



زمین شناسی پزشکی خلیج فارس

دکتر رازقه اخباری زاده دکتر ایرج نبی پور



زمین‌شناسی پزشکی خلیج فارس

دکتر رازقه اخباری‌زاده

دکتر ایرج نبی‌پور



بنیاد رشد و اندیشه سازندگی
استان بوشهر



مرکز تحقیقات زیست‌فناوری دریایی
خلیج فارس



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
مرکز تحقیقات بهداشت محیط سیستمی و تدریسی



بنیاد علمی نجفگان
بنیاد نجفگان استان بوشهر



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت آموزشی
کلان منطقه پنج

به نام خداوند اندیشه و خرد

سرشناسه	:	اخباری زاده، رازقه، ۱۳۶۶-
عنوان و نام پدیدآور	:	زمین شناسی پزشکی خلیج فارس / رازقه اخباری زاده، ایرج نبی پور.
مشخصات نشر	:	بوشهر: دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	۴۰۱ ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۹۷۱۹۴۷-۳
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	جغرافیای پزشکی -- ایران -- بوشهر (استان)
موضوع	:	Medical geography -- Iran -- Bushehr (Province)
موضوع	:	آلاینده‌ها -- ایران -- بوشهر (استان)
موضوع	:	Pollutants -- Iran -- Bushehr (Province)
موضوع	:	گنبد های نمکی -- ایران -- بوشهر (استان)
موضوع	:	Salt domes -- Iran -- Bushehr (Province)
موضوع	:	آب های معدنی -- ایران -- بوشهر (استان)
موضوع	:	Mineral waters -- Iran -- Bushehr (Province)
شناسه افزوده	:	نبی پور، ایرج، ۱۳۴۲ -
شناسه افزوده	:	دانشکده علوم پزشکی بوشهر
رده بندی کنگره	:	RA۹۲۴
رده بندی دیویی	:	۶۱۴/۴۲۵۵۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۷۳۶۱۱۰۸
وضعیت رکورد	:	فیپا

زمین شناسی پزشکی خلیج فارس

نویسندگان: دکتر رازقه اخباری زاده و دکتر ایرج نبی پور

ویراستار و صفحه‌آرا: دارا جوکار

ناشر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۹

چاپ: احمدی

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تصویر روی جلد: گنبد نمکی جاشک (دشتی) [عکس از ایرج نبی پور]

تصویر پشت جلد: مومیایی استخراج شده از کوه درنگ شهرستان دیر در استان بوشهر [عکس از میلاد آزموده]

این کتاب با حمایت‌های معاونت نخبگان و سرآمدان بنیاد ملی نخبگان (معاونت علمی و فناوری ریاست

جمهوری)، در قالب برنامه پژوهانه پسادکترت تدوین و به زیور چاپ آراسته گردید.



بنیاد رشد و اندیشه سازندگی
استان بوشهر



مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی
خلیج فارس



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
مرکز تحقیقات بهداشت محیط سیستمی و انرژی



بنیاد ملی نخبگان
بنیاد نخبگان استان بوشهر



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت آموزشی
کلان منطقه پنج

بوشهر، خیابان معلم، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

تقدیم بہ

پدر عزیزم

جناب آقای محمد حسن اخباری زاده

کہ ہموارہ سر مشا ارتراق روحی و معنوی ام بود
و باہمراہی بی شائبہ خود سبب شد تا با آسودگی خیال
ہموارہ شوق آموختن داشتہ باشم

دکتر رازقہ اخباری زاده

تقدیم بہ

معلم کوشای عزیزم

جناب آقای محمد حسن اخباری زاده

یادگار دیرستان پر آوازہ و ماندگار سعادت بو شہر

دکتر ابرج نبی پور

فهرست مطالب

پیش درآمد.....	۱
پیش‌گفتار.....	۳
فصل اول: مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی پزشکی.....	۵
۱-۱- زمین‌شناسی پزشکی.....	۷
۲-۱- طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی عناصر.....	۹
۱-۲-۱- توزیع عناصر در سنگ‌های آذرین.....	۱۱
۲-۲-۱- توزیع عناصر در سنگ‌های رسوبی.....	۱۲
۳-۲-۱- توزیع عناصر در سنگ‌های دگرگونی.....	۱۴
۳-۱- چرخه زیست زمین‌شیمیایی.....	۱۵
۴-۱- پیشرفت زمین‌شناسی پزشکی و اهمیت ارتباط عنصری.....	۱۷
۵-۱- تهیه نقشه‌های بیماری.....	۱۸
۶-۱- چالش‌های آینده.....	۱۹
۷-۱- منابع.....	۲۰
فصل دوم: زمین‌شناسی استان بوشهر.....	۲۱
۱-۲- موقعیت جغرافیایی.....	۲۳
۲-۲- زمین‌شناسی زاگرس.....	۲۴
۳-۲- زمین‌شناسی خلیج فارس.....	۲۴
۲-۳-۱- رسوبات در خلیج فارس.....	۲۸
۲-۳-۲- نرخ رسوب‌گذاری در خلیج فارس.....	۳۱
۲-۳-۳- شکستگی‌ها و گسل‌ها در خلیج فارس.....	۳۱
۴-۲- زمین‌شناسی استان بوشهر.....	۳۲
۱-۴-۲- سازندها.....	۳۳

۳۹	۲-۴-۲- چین خوردگی‌ها و گسل‌های استان بوشهر.....
۴۲	۳-۴-۲- رودخانه‌های استان بوشهر و کیفیت آب آن‌ها.....
۴۴	۴-۴-۲- رسوبات ساحلی استان بوشهر.....
۴۶	۵-۲- منابع.....
۵۱	فصل سوم: مهم‌ترین عناصر آلاینده در استان بوشهر.....
۵۳	۱-۳- جیوه.....
۵۴	۳-۱-۱- جیوه در استان بوشهر.....
۵۵	۳-۱-۲- منظرهای پزشکی جیوه.....
۵۶	۳-۲- سلنیم.....
۵۸	۳-۲-۱- سلنیم در استان بوشهر.....
۵۸	۳-۲-۲- منظرهای پزشکی سلنیم.....
۵۹	۳-۳- آرسنیک.....
۶۰	۳-۳-۱- آرسنیک در استان بوشهر.....
۶۱	۳-۳-۲- منظرهای پزشکی آرسنیک.....
۶۲	۳-۴- کادمیم.....
۶۳	۳-۴-۱- کادمیم در استان بوشهر.....
۶۵	۳-۴-۲- منظرهای پزشکی کادمیم.....
۶۸	۳-۵- روی.....
۶۸	۳-۵-۱- روی در استان بوشهر.....
۷۰	۳-۵-۲- منظرهای پزشکی روی.....
۷۳	۳-۶- سرب.....
۷۴	۳-۶-۱- سرب در استان بوشهر.....
۷۵	۳-۶-۲- منظرهای پزشکی سرب.....
۷۷	۳-۷- مس.....
۷۸	۳-۷-۱- مس در استان بوشهر.....
۷۹	۳-۷-۲- منظرهای پزشکی مس.....
۸۱	۳-۸- آهن.....
۸۲	۳-۸-۱- آهن در استان بوشهر.....
۸۴	۳-۸-۲- منظرهای پزشکی آهن.....

۸۴	..... ۳-۹- منگنز
۸۵	..... ۳-۹-۱- منگنز در استان بوشهر
۸۶	..... ۳-۹-۲- منظرهای پزشکی منگنز
۸۷	..... ۳-۱۰- نیکل
۸۸	..... ۳-۱۰-۱- نیکل در استان بوشهر
۹۰	..... ۳-۱۰-۲- منظرهای پزشکی نیکل
۹۱	..... ۳-۱۱- وانادیم
۹۲	..... ۳-۱۱-۱- وانادیم در استان بوشهر
۹۴	..... ۳-۱۱-۲- منظرهای پزشکی وانادیم
۹۴	..... ۳-۱۲- کروم
۹۶	..... ۳-۱۲-۱- کروم در استان بوشهر
۹۶	..... ۳-۱۲-۲- منظرهای پزشکی کروم
۹۸	..... ۳-۱۳- منابع
۱۰۳	..... فصل چهارم: گنبد‌های نمکی و عناصر اصلی آن‌ها در استان بوشهر
۱۰۵	..... ۴-۱- گنبد‌های نمکی
۱۰۷	..... ۴-۲- عناصر اصلی همراه با گنبد‌های نمکی
۱۰۷	..... ۴-۲-۱- سدیم
۱۰۸	..... ۴-۲-۲- کلر
۱۰۹	..... ۴-۲-۳- گوگرد
۱۱۰	..... ۴-۲-۴- کلسیم
۱۱۰	..... ۴-۲-۵- منیزیم
۱۱۱	..... ۴-۲-۶- پتاسیم
۱۱۲	..... ۴-۳- گنبد‌های نمکی استان بوشهر
۱۱۳	..... ۴-۳-۱- گنبد نمکی جاشک (دشتی/ کوه نمک)
۱۱۸	..... ۴-۳-۲- گنبد نمکی چاه‌پیر
۱۱۸	..... ۴-۳-۳- گنبد نمکی خشت و کمارج
۱۱۹	..... ۴-۳-۴- گنبد نمکی خورموج
۱۲۰	..... ۴-۳-۵- بالش نمکی دارنگ (گنبد نمکی مدفون)
۱۲۰	..... ۴-۴- گنبد‌های نمکی و اثر بر سلامت انسان

- ۱۲۳-۴-۴-۱- اثر بر فشار خون.....
- ۱۲۴-۴-۴-۲- سلامت مادر و کودک.....
- ۱۲۵-۴-۴-۳- اثر شوری و ریزگرد بر دستگاه تنفس.....
- ۱۲۵-۴-۴-۴- شوری و سلامت روان.....
- ۱۲۶-۴-۴-۵- شوری و پدیداری بیماری‌های وابسته به ناقل.....
- ۱۲۷-۴-۴-۶- نمک و سنگ کلیه.....
- ۱۲۸-۴-۴-۷- نتیجه‌گیری.....
- ۱۳۰-۴-۵- منابع.....
- فصل پنجم: چشمه‌های آب گرم استان بوشهر..... ۱۳۵**
- ۱۳۷-۵-۱- چشمه‌های آب گرم.....
- ۱۳۸-۵-۲- چشمه‌های آب گرم استان بوشهر.....
- ۱۳۹-۵-۲-۱- چشمه‌های دالکی.....
- ۱۴۰-۵-۲-۲- چشمه اهرم (اوبا).....
- ۱۴۱-۵-۲-۳- چشمه گرو.....
- ۱۴۲-۵-۲-۴- آب گرم میراحمد.....
- ۱۴۶-۵-۲-۵- آب گرم طلحه.....
- ۱۴۷-۵-۲-۶- چشمه قوچارک.....
- ۱۴۷-۵-۲-۷- آب گرم گنویه.....
- ۱۴۸-۵-۲-۸- آب گرم میانلو.....
- ۱۴۸-۵-۲-۹- آب گرم حاج احمدی.....
- ۱۴۹-۵-۳- چشمه‌های آب گرم و اثر بر سلامت انسان.....
- ۱۴۹-۵-۳-۱- اثرات زیست محیطی.....
- ۱۵۳-۵-۳-۲- کاربرد پزشکی چشمه‌های آب گرم.....
- ۱۵۷-۵-۴- منابع.....
- فصل ششم: آلاینده‌های آلی ناشی از آلودگی نفتی در استان بوشهر..... ۱۶۱**
- ۱۶۳-۶-۱- آلودگی‌های نفتی.....
- ۱۶۴-۶-۱-۱- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH).....
- ۱۶۶-۶-۱-۲- هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs).....
- ۱۶۸-۶-۱-۳- هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs).....

۱۷۲	۲-۶- آلودگی‌های نفتی در استان بوشهر.....
۱۷۳	۲-۶-۱- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در استان بوشهر.....
۱۷۳	۲-۶-۲- هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs) در استان بوشهر.....
۱۷۷	۲-۶-۳- هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) در استان بوشهر.....
۱۸۷	۲-۶-۴- توپ‌تارها در استان بوشهر.....
۱۸۹	۳-۶- اثر آلاینده‌های نفت و گاز بر سلامت.....
۱۹۵	۳-۶-۱- سرطان.....
۱۹۸	۳-۶-۲- آسم و بیماری‌های تنفسی.....
۱۹۹	۳-۶-۳- پیامدهای باروری.....
۲۰۰	۳-۶-۴- مسمومیت عصبی (نوروتوکسیسیته).....
۲۰۱	۳-۶-۵- اثرات روانی - اجتماعی.....
۲۰۲	۴-۶- منابع.....
۲۱۱	فصل هفتم: آلاینده‌های پرتوزا در استان بوشهر.....
۲۱۳	۷-۱- آلاینده‌های پرتوزا.....
۲۱۴	۷-۱-۱- اورانیوم.....
۲۱۶	۷-۱-۲- رادیم.....
۲۱۶	۷-۱-۳- ید.....
۲۱۷	۷-۱-۴- استرانسیم.....
۲۱۷	۷-۱-۵- توریم.....
۲۱۸	۷-۱-۶- پلوتونیم.....
۲۱۹	۷-۱-۷- سزیم.....
۲۱۹	۷-۲- آلاینده‌های پرتوزا در استان بوشهر.....
۲۱۹	۷-۲-۱- نیروگاه هسته‌ای بوشهر.....
۲۲۴	۷-۲-۲- اورانیوم فقیر شده.....
۲۲۶	۷-۲-۳- پرتوزایی طبیعی.....
۲۲۷	۷-۲-۴- آب‌های سازندی همراه با نفت.....
۲۲۸	۷-۳- انرژی هسته‌ای و سلامت.....
۲۳۲	۷-۳-۱- بیماری پرتویی حاد.....
۲۳۴	۷-۳-۲- سرطان‌ها.....

۲۳۸	۴-۷- منابع
۲۴۳	فصل هشتم: گردوغبار در استان بوشهر
۲۴۵	۱-۸- آلاینده‌های جوی
۲۴۶	۲-۸- اثرات سلامتی گردوغبار
۲۴۸	۳-۸- گردوغبار در استان بوشهر
۲۵۰	۱-۳-۸- فلزات سنگین
۲۵۵	۲-۳-۸- هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)
۲۵۶	۳-۳-۸- گازهای جوی
۲۵۷	۴-۸- گردوغبار خاورمیانهای و اثر بر سلامت
۲۶۶	۵-۸- منابع
۲۶۹	فصل نهم: عنصر ید در استان بوشهر
۲۷۱	۱-۹- زمین‌شیمی زیست محیطی عنصر ید
۲۷۳	۲-۹- انتقال ید از دریا به خشکی به وسیلهٔ جو
۲۷۴	۳-۹- زمین‌شیمی ید در خاک و گیاه
۲۷۴	۴-۹- ید در استان بوشهر
۲۷۶	۵-۹- منظرهای پزشکی ید
۲۸۳	۶-۹- منابع
۲۸۵	فصل دهم: عنصر فلئور در استان بوشهر
۲۸۷	۱-۱۰- زمین‌شیمی زیست محیطی فلئور
۲۸۹	۲-۱۰- فلئور در استان بوشهر
۲۹۰	۱-۲-۱۰- فلئور در منطقهٔ دشتستان
۲۹۳	۲-۲-۱۰- فلئور در منطقهٔ بوشهر
۲۹۵	۳-۲-۱۰- فلئور در مناطق کنگان، لاور ساحلی و نخل تقی
۲۹۵	۴-۲-۱۰- فلئور در مناطق دشتی و دیر
۲۹۵	۵-۲-۱۰- فلئور در مناطق عسلویه و بندر طاهری
۲۹۷	۳-۱۰- منظرهای پزشکی فلوراید
۲۹۸	۱-۳-۱۰- فلئورزیس دندان‌ی
۳۰۱	۲-۳-۱۰- فلئورزیس استخوانی
۳۰۳	۴-۱۰- منابع

فصل یازدهم: اسیدی شدن خلیج فارس در محدوده استان بوشهر.....	۳۰۷
۱-۱۱- اسیدی شدن اقیانوس ها.....	۳۰۹
۲-۱۱- اسیدی شدن خلیج فارس در استان بوشهر.....	۳۱۰
۳-۱۱- اثر بر سلامت انسان.....	۳۱۴
۱-۳-۱۱- سوء تغذیه و مسمومیت از طریق تغییر در کمیت و کیفیت غذا.....	۳۲۰
۲-۳-۱۱- موارد تنفسی از طریق اختلال در کیفیت هوا.....	۳۲۲
۳-۳-۱۱- اثرات بر سلامت روانی از طریق تغییر فضای طبیعی.....	۳۲۳
۴-۳-۱۱- کاهش فرصت جهت توسعه و به دست آوردن منابع پزشکی از طریق از دست دادن تنوع زیستی دریایی.....	۳۲۳
۴-۱۲- منابع.....	۳۲۴
فصل دوازدهم: خاک خواری (ژئوفازی).....	۳۲۷
۱-۱۲- ژئوفازی.....	۳۲۹
۲-۱۲- منظرهای پزشکی ژئوفازی.....	۳۳۲
۳-۱۲- منابع.....	۳۳۵
فصل سیزدهم: پاتوزن های خاک.....	۳۳۷
۱-۱۳- پاتوزن های خاک.....	۳۳۹
۲-۱۳- مثال موردی بیماری لیتوسپیروز.....	۳۴۳
۳-۱۳- منابع.....	۳۴۸
فصل چهاردهم: زمین شناسی پزشکی در طب سنتی.....	۳۵۱
۱-۱۴- مومیایی.....	۳۵۳
۲-۱۴- مطالعات نوین پیرامون اثر زیستی و دارویی مومیا.....	۳۵۹
۳-۱۴- منابع.....	۳۶۳
نمایه.....	۳۶۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- نقشه زمین ساختی خلیج فارس میان صفحه اوراسیا و صفحه عربی. مخفف‌ها عبارتند از: محور اصلی زاگرس (MZT)، کمربند چین‌خوردگی زاگرس (ZFTB)، زون گسلی میناب - زندان - پالامی (ZMP) و گسل جیرفت (JF)..... ۲۵
- شکل ۲-۲- ستون چینه‌شناسی خلیج فارس و سازندهای حاوی نفت و گاز در آن..... ۲۷
- شکل ۳-۲- ساختار رسوبات خلیج فارس در مرکز آن به طوری که صفحه عربی در سمت چپ و کمربند زاگرس در سمت راست قرار دارد. (۱) پرکامبرین، (۲) نمک‌های کامبرین، (۳ تا ۹) سنگ‌های رسوبی در دوره‌های (۳) پالئوزویک پایینی و میانی، (۴) پرمین، (۵) تریاس، (۶) ژوراسیک، (۷) کرتاسه، (۸) ترشیاری، (۹) کواترنری..... ۳۰
- شکل ۴-۲- سازندهای زمین‌شناسی استان بوشهر..... ۳۶
- شکل ۵-۲- موقعیت مکانی و ویژگی‌های زمین‌شناختی مهم‌ترین تاقدیس‌ها و گنبد‌های نمکی (پلی‌گون‌های قرمز) استان بوشهر..... ۳۷
- شکل ۶-۲- نقشه موقعیت گسل کازرون و توزیع پراکندگی گنبد‌های نمکی هرمز و ذخایر نفت و گاز در زاگرس..... ۴۰
- شکل ۷-۲- موقعیت گسل برازجان نسبت به تاقدیس‌های گیسکان، چاه‌پیر، خورموج و سیاه..... ۴۱
- شکل ۸-۲- مقطع عرضی گسل برازجان در تاقدیس گیسکان و جابه‌جایی لایه‌های زمین..... ۴۲
- شکل ۹-۲- موقعیت جغرافیایی رودخانه باهوش در استان بوشهر..... ۴۳
- شکل ۱۰-۲- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی دو رودخانه دالکی و شاپور در شهرستان دشتستان استان بوشهر..... ۴۵
- شکل ۱-۴- موقعیت جغرافیایی گنبد‌های نمکی ایران (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)..... ۱۰۷
- شکل ۲-۴- موقعیت جغرافیایی گنبد نمکی جاشک و تصویر ماهواره‌ای آن..... ۱۱۵
- شکل ۳-۴- نقشه زمین‌شناسی گنبد نمکی جاشک در تاقدیس نمک..... ۱۱۶

- شکل ۴-۴- موقعیت مکانی و ساختاری گنبد‌های نمکی خورموج و جاشک..... ۱۱۹
- شکل ۴-۵- تأثیراتی که در نفرون‌های کلیوی بعد از مصرف فراوان نمک غذایی رخ می‌دهند. ۱۲۷
- شکل ۵-۱- شکل شماتیک چرخش زیرسطحی آب در منطقه‌ای که چشمه آب‌گرم وجود دارد. ۱۳۸
- شکل ۵-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه دالکی و محل قرارگیری چشمه‌های آب‌گرم اهرم (اوبا)، گرو، میراحمد و راهدار..... ۱۴۴
- شکل ۵-۳- نقشه زمین‌شناسی تاق‌دیس‌های اهرم و خورموج نقطه ۱: چشمه آب‌گرم اهرم؛ ۲: چشمه آب‌گرم گرو؛ نقطه ۳: چشمه آب‌گرم میراحمد؛ نقطه ۶: چشمه تنگ سدار؛ نقطه ۸: چشمه بنایان؛ نقطه ۹: چشمه یخ؛ نقطه ۱۰: چشمه گشی..... ۱۴۵
- شکل ۵-۴- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی چشمه آب‌گرم حاج احمدی..... ۱۴۹
- شکل ۶-۱- ساختار ۱۶ ترکیب الویت‌دار PAH..... ۱۶۹
- شکل ۶-۲- آلاینده‌ها در صنعت نفت‌وگاز..... ۱۸۹
- شکل ۶-۳- مرگ در نتیجه سرطان ریه در زنان، با تنفس هوای آلوده مجتمع‌های پتروشیمی توأم بوده است..... ۱۹۱
- شکل ۶-۴- نقایص مادرزادی به صورت لب شکری، در مکان‌هایی که پالایشگاه‌های نفت و فلیرینگ گاز دارند، شایع‌تر دیده می‌شوند..... ۱۹۴
- شکل ۶-۵- چندین مطالعه جمعیتی (مبتنی بر مورد - شاهد) نشان داده است که افزایش خطر سرطان کلیه با تماس با فرآورده‌های نفتی همبستگی دارد..... ۱۹۶
- شکل ۶-۶- در ژورنال آمریکایی اپیدمیولوژی که در سال ۲۰۰۶ انتشار یافت، به زیست در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی و افزایش خطر سرطان خون (لوسمی)، در دهه ۲۰ زندگی، اشاره شده است..... ۱۹۷
- شکل ۶-۷- در مطالعه تومورهای مغزی کودکان که به صورت یک پیمایش بین‌المللی بر روی ۱،۲۱۸ کودک با تومور مغزی انجام شد، آشکار گردید که تماس پدر با هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک، در بیش از بستن نطفه کودک، می‌تواند با افزایش شانس رخداد سرطان مغز در کودک وی همراه شود..... ۱۹۸
- شکل ۶-۸- کودکانی که در مجاورت مناطق پتروشیمی زندگی می‌کنند بیشتر به نشانگان تنفسی و آسم (درمقایسه با گروه شاهد) دچار می‌شوند..... ۱۹۹
- شکل ۶-۹- در مطالعاتی به همبستگی میان تولد نوزادان با وزن کم و زیست در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی اشاره شده است..... ۲۰۰

- شکل ۷-۱- موقعیت مکانی نیروگاه هسته‌ای بوشهر..... ۲۲۰
- شکل ۷-۲- نقشه پراکنش نشت سالانه آلاینده‌های پرتوزا در اطراف نیروگاه هسته‌ای بوشهر..... ۲۲۳
- شکل ۷-۳- میزان بروز سرطان تیروئید در کودکان، نوجوانان و جوانان بلاروسی، پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل..... ۲۳۵
- شکل ۷-۴- کودکانی که در زمان رخداد چرنوبیل زیر ۸ سال سن داشتند، ۸۰ درصد از موارد سرطان تیروئید را پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل به خود اختصاص می‌دهند. سرطان تیروئید در این افراد، به شکل تهاجمی همراه با متاستاز منطقه‌ای، ظاهر می‌کند..... ۲۳۷
- شکل ۸-۱- تصویر ماهواره‌ای عبور گردوغبار منطقه‌ای خلیج فارس..... ۲۵۹
- شکل ۸-۲- تأثیر ذرات گردوغبار بر اندام‌ها و بخش‌های بدن انسان..... ۲۶۱
- شکل ۹-۱- برهم‌کنش‌های ید در درون سامانه خاک - گیاه - اتمسفر..... ۲۷۷
- شکل ۹-۲- هیپوتیروئیدی اولیه مادرزادی در سه ماهگی با تأخیر در رشدونمو..... ۲۸۰
- شکل ۱۰-۱- نقشه سنگ‌شناسی منطقه دشتستان..... ۲۹۱
- شکل ۱۰-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه عسلویه..... ۲۹۶
- شکل ۱۰-۳- فلئورزیس دندانی در روستاییان منطقه دشتستان استان بوشهر..... ۳۰۰
- شکل ۱۱-۱- روند pH سطح دریا و دی‌اکسید کربن جو در طی سال‌های گوناگون..... ۳۱۴
- شکل ۱۱-۲- اسیدی شدن اقیانوس‌ها موجب حل شدن کربنات کلسیم ارگانسیم‌های دریایی می‌شود..... ۳۱۶
- شکل ۱۱-۳- اسیدی شدن اقیانوس‌ها اثر منفی بر چهار عملکرد اصلی آن‌ها دارد (منبع غذای دریایی، کیفیت هوا، فضاهاى خنثی و تنوع زیستی دریایی). همه این عملکردها با سلامت فیزیکی و روانی انسان‌ها از طریق مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم به هم پیوسته، ارتباط دارند..... ۳۱۹
- شکل ۱۳-۱- اسکن الکترومیکروگراف *Leptospira interrogans*..... ۳۴۴
- شکل ۱۳-۲- تلفات دامی لپتوسپیروز در رودخانه بوشهر بعد از سیلاب دی‌ماه ۱۳۸۲ [عکس از آقای علی برغندان]..... ۳۴۷

- شکل ۱۴-۱- مومیایی استخراج شده از کوه درنگ شهرستان دیر در استان بوشهر [عکس از آقای میلاد آزموده]..... ۳۵۴
- شکل ۱۴-۲- شکاف صخره‌ای در دامنه کوه درنگ در شهرستان دیر در استان بوشهر که مکان برداشت مومیایی است [عکس از آقای حسین معین]..... ۳۵۸
- شکل ۱۴-۳- تصویر بالا، گروه شاهد: نکروز و خون‌ریزی در کل بخش‌های مخاط معده در رت‌های آزمایشگاهی القا شده با زخم معده توسط اتانول؛ تصویر وسط، گروه درمانی: مکان‌های نقطه‌ای نکروز در بخش فوقانی مخاط معده در رت‌های آزمایشگاهی القا شده با زخم معده توسط اتانول که با مومیایی درمان شده بودند؛ تصویر پایین، گروه درمانی: خون‌ریزی کم منتشر در مخاط معده در رت‌های آزمایشگاهی القا شده با زخم معده توسط اتانول که با مومیایی درمان شده بودند..... ۳۶۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی عناصر..... ۱۰
- جدول ۱-۲- غلظت عناصر جزئی در پوسته زمین و سنگ‌های مختلف..... ۱۰
- جدول ۱-۳- تحرک عناصر در محیط‌های سطحی..... ۱۶
- جدول ۱-۴- عناصر جزئی در بدن انسان..... ۱۷
-
- جدول ۱-۲- ویژگی‌های زمین‌شناختی سازندهای استان بوشهر..... ۳۸
- جدول ۱-۳- غلظت آرسنیک در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۶۲
- جدول ۲-۳- غلظت کادمیم در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۶۶
- جدول ۳-۳- غلظت روی در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۷۱
- جدول ۴-۳- غلظت سرب در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۷۶
- جدول ۵-۳- غلظت مس در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۸۰
- جدول ۶-۳- غلظت منگنز در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۸۷
- جدول ۷-۳- غلظت نیکل در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۹۰
- جدول ۸-۳- غلظت کروم در محیط‌های مختلف استان بوشهر..... ۹۷
-
- جدول ۱-۴- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب چاه (W)، رودخانه مند (R) و شورابه گنبد نمکی (G) در دشت کاکلی - بردخون..... ۱۱۷
-
- جدول ۱-۵- خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب چشمه‌های آب گرم دالکی..... ۱۴۰
- جدول ۲-۵- خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب چشمه‌های آب گرم اهرم، گرو و میراحمد..... ۱۴۴
- جدول ۳-۵- ستون چینه‌شناختی در محل تاق‌دیس‌های اهرم و خورموج (چشمه‌های آب گرم اهرم، گرو و میراحمد) در کوه‌های زاگرس..... ۱۴۶

- جدول ۶-۱- برخی از ترکیبات آلیفاتیک..... ۱۶۶
- جدول ۶-۲- غلظت هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs) در آب دریا، رسوبات ساحلی و آبزیان استان بوشهر..... ۱۷۵
- جدول ۶-۳- غلظت مجموع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوب ساحلی و آبزیان مناطق عسلویه و نایبند..... ۱۷۸
- جدول ۶-۴- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوبات ساحلی و آبزیان جزیره خارک..... ۱۸۱
- جدول ۶-۵- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوب ساحلی و صدف خوراکی بوشهر، دیر و گناوه..... ۱۸۳
- جدول ۶-۶- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در رسوب ساحلی و صدف تیغه‌ای استان بوشهر؛ نانوگرم بر گرم وزن خشک..... ۱۸۶
- جدول ۶-۷- غلظت زیست‌نشانگرهای نفتی در توپ‌تارهای استان بوشهر..... ۱۸۸
- جدول ۷-۱- آلاینده‌های پرتوزا ناشی از فعالیت معمول نیروگاه هسته‌ای بوشهر..... ۲۲۳
- جدول ۷-۲- فازهای آسیب پرتویی..... ۲۳۳
- جدول ۸-۱- غلظت فلزات سنگین در گردوغبار استان بوشهر..... ۲۵۲
- جدول ۸-۲- غلظت هیدروکربن‌های آلی کل و مجموع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در غبار استان بوشهر..... ۲۵۶
- جدول ۹-۱- طیف اختلالات ناشی از کمبود ید (IDD)..... ۲۷۹
- جدول ۱۰-۱- اسیدیته خاک، اسیدیته آب و غلظت فلوئور در خاک، آب زیرزمینی، آب چاه، آب چشمه، آب رودخانه، گندم و خرما در منطقه دشتستان..... ۲۹۲
- جدول ۱۰-۲- غلظت فلوراید در آب‌های ساحلی خلیج فارس و آب زیرزمینی در منطقه کنگان..... ۲۹۴
- جدول ۱۰-۳- غلظت فلوراید در آب زیرزمینی مناطق دشتی و دیر..... ۲۹۵
- جدول ۱۱-۱- اسیدیته (pH) آب‌های خلیج فارس در محدوده استان بوشهر..... ۳۱۳

جدول ۱-۱۲- تجزیه شیمیایی از دو قپه (مشت) گل کرمان (گل گیوه)..... ۳۳۱

جدول ۲-۱۲- تجزیه شیمیایی گل ارمنی..... ۳۳۲

جدول ۱-۱۳- نمونه‌هایی از پاتوژن‌های برخاسته از خاک و بیماری‌های عفونی وابسته به آن‌ها.. ۳۴۲

پیش‌درآمد

زمین‌شناسی پزشکی یا «زمین پزشکی»، علمی است که به بررسی تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده می‌پردازد. به بیان دیگر، در این علم، تأثیر عوامل محیطی مرتبط با هر منطقه جغرافیایی بر مسائل پزشکی مربوط به ساکنان آن منطقه، بررسی می‌شود. زمین‌شناسی پزشکی پل ارتباطی میان علوم مختلف مانند زمین‌شناسی، جغرافیا، پزشکی و بهداشت است که گستره آن شامل ارتباط عناصر و بیماری‌ها، ژئوشیمی، بیماری‌های مسری عفونی، هیدروژئوشیمی، آلودگی معادن، رادیوژن‌ها، بیماری‌های مزمن، ژئومیکروبیولوژی و ژئوبوتانی می‌باشد. در نتیجه، این علم، دانشمندان رشته‌های مختلف را گرد هم آورده تا با همکاری بین‌رشته‌ای بتوانند بیماری‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از مواد و فرآیندهای زمین‌شناسی را کاهش دهند.

قدمت و تاریخچه زمین‌شناسی پزشکی به سال ۱۲۷۱ میلادی و سفر مارکوپولو به چین و بیماری به نام «کشان» در بعضی از نواحی این کشور برمی‌گردد. با پیشرفت علم در قرون ۱۹ و ۲۰ میلادی، بسیاری از ارتباط‌های مبتنی بر مشاهدات به صورت علمی اثبات شدند و علم زمین‌شناسی پزشکی به وجود آمد. طی چند دهه اخیر این علم در مناطق مختلف جهان از جمله اتحادیه اروپا، ایالت متحده آمریکا، استرالیا و چین گسترش یافته است تا ارتباط دقیق بین عوامل زمین‌شناختی، عناصر شیمیایی و سلامت انسان و سایر موجودات زنده به خوبی شناخته شود. کشور ایران نیز با توجه به وضعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی، از جمله مناطق مستعد جهت شیوع بیماری‌هایی با منشأ زمین‌شناسی است. وجود آمارهای مستند در مورد ابتلا به بیماری‌هایی مانند گواتر، فلئورزیس و کرتنیسم در نقاط مختلف کشور، نشان دهنده این امر است که به مطالعات زمین‌شناسی پزشکی باید توجه خاص شود. همچنین، با توجه به این که ایران بخشی از کمربند بیماری‌هایی همچون کم‌خونی، دیابت و سرطان را تشکیل می‌دهد، لزوم شناخت منشأ محیطی این بیماری‌ها در سطح ملی و فراملی، امری ضروری است.

از طرفی دیگر بیش از دو میلیارد نفر از جمعیت کره زمین در مناطق گرمسیری زندگی می‌کنند که اکثر آن‌ها در ارتباط مستقیم با محیط اطراف خود از طرق مختلف هستند. ژئوشیمی منحصر به فرد مناطق گرمسیری، تأثیر قابل توجهی بر سلامتی ساکنان این مناطق دارد. استان بوشهر نیز در منطقه فوق حاره‌ای قرار دارد که آب‌وهوای آن در نوار ساحلی خلیج فارس گرم و مرطوب و در قسمت‌های داخلی گرم و خشک صحرائی است. این استان به دلیل طبیعت و ساختارهای زمین‌شناختی منحصر به فرد همچون مجاورت با خلیج فارس و موقعیت جغرافیایی، وجود معادن مختلف و منابع نفت و گاز متعدد، کشاورزی و غیره مورد توجه می‌باشد. این ویژگی‌ها می‌توانند سلامت ساکنان و سایر موجودات زنده را در این استان و همچنین استان‌های مجاور به شیوه‌های مختلف تحت تأثیر قرار دهند.

کتاب حاضر با عنوان زمین‌شناسی پزشکی خلیج فارس که توسط آقای دکتر ایرج نبی‌پور، فوق تخصص غدد درون ریز و متابولیسم و سرکار خانم دکتر رازقه اخباری‌زاده به رشته تحریر درآمده است، خود نمایانگر تلاشی میان‌رشته‌ای میان پژوهشگران علوم پزشکی و علوم زمین است. این مجموعه ارزشمند با جمع‌بندی مطالعات موجود در زمینه تأثیر عوامل مختلف زمین‌شناسی نظیر گنبد‌های نمکی و عناصر اصلی آن‌ها، چشمه‌های آب گرم، آلاینده‌های آلی ناشی از آلودگی‌های نفتی، آلاینده‌های پرتوزا، گرد و غبار و اثر آن بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده و... در مقیاس منطقه‌ای، زمین‌شناسی پزشکی جنوب کشور را مورد بررسی دقیق قرار داده است. علاوه بر آن، این دست نوشته گرانبها پنجره‌ای را برای مطالعات آتی در زمینه زمین‌شناسی پزشکی با بررسی جنبه‌های جدید خطرات سلامتی ناشی از عوامل زمین‌شناسی، توسعه اصول صحیح، استراتژی‌ها، برنامه‌ها و رویکردهای لازم برای از بین بردن یا به حداقل رساندن این خطرات، می‌گشاید.

دکتر سینا دوبرادران

رئیس مرکز بهداشت محیط سیستمی و انرژی
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

پیش‌گفتار

شناخت اصول و پدیده‌های اصلی زمین‌شناختی و ارتباط آن با چرخه زیست - زمین - شیمیایی عناصر و ترکیبات آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در حفظ محیط زیست و تندرستی انسان‌ها ایفا کند. اگر چه گمانه‌زنی در خصوص ارتباط میان سلامت انسان‌ها و ویژگی‌های مکان زندگی آن‌ها، به چهارصد سال پیش از میلاد مسیح باز می‌گردد، اما درک اهمیت موضوعی آن و شکوفایی دانشی میان‌رشته‌ای به نام «زمین‌شناسی پزشکی» طی چند دهه اخیر رونق گرفته است. به طوری که اخیراً مقالات، کتب و گزارش‌های زیادی مسائل مرتبط با زمین‌شناسی پزشکی و عوامل بیماری‌زای محیطی را به تفصیل توصیف کرده‌اند.

پیکره زمین نیز مانند بدن انسان‌ها از عناصر مختلف و ترکیبات آن‌ها تشکیل شده است، که برخی از آن‌ها برای زندگی انسان‌ها لازم و ضروری و برخی دیگر برهم زنده تعادل بدن انسان هستند. به بیان دیگر، برخی از عناصر موجود در سنگ‌ها و کانی‌های موجود در خاک، علاوه بر این که در تداوم حیات بشر نقش مهمی ایفا می‌کنند گاهی نیز تعادل بدن را برهم‌ریخته و موجب بروز مشکلات و بیماری‌های مختلفی می‌شوند. بنابراین در بروز برخی بیماری‌ها به خصوص بیماری‌هایی که در منطقه‌ای خاص به صورت اپیدمی مشاهده می‌شود می‌توان به تاثیر عوامل زمین‌شناختی به عنوان عامل بیماری‌زای طبیعی شک کرد.

هدف نویسندگان از تألیف این کتاب فراهم کردن و جمع‌بندی مطالعات زمین‌شناسی / زمین‌شناسی پزشکی در حوزه خلیج فارس و استان‌های مجاور آن بوده است. در جلد اول کتاب زمین‌شناسی پزشکی خلیج فارس (کتاب حاضر) به ارتباط میان عوامل زمین‌شناسی و سلامت مردم در استان بوشهر پرداخته شده است. برای تألیف این کتاب، درج داده‌های مناسب و به‌روز ضروری بوده است و سعی بر آن بوده که از همه منابع موجود به خوبی استفاده شود. با این حال، تردیدی نیست که استناد به همه آثار منتشر شده امکان‌پذیر نبوده است و نویسندگان تأسف خود از اتخاذ چنین تصمیم‌گیرناپذیری را اعلام می‌دارند.

بیشتر فصل‌های این کتاب شامل دو بخش است. بخش اول به معرفی پدیده‌های زمین‌شناختی استان بوشهر و حضور آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف محیط زیست استان (خاک، آب، هوا و گیاه) می‌پردازد و بخش دوم به بروز بیماری‌های ناشی از آلاینده‌ها اختصاص دارد. بنابراین، داده‌های مفصلی از حضور آلاینده‌های زیست محیطی مختلف در استان بوشهر و بیماری‌های ناشی از آن‌ها، گردآوری و ارائه شده است.

نویسندگان امیدوارند که اطلاعات ارائه شده در این کتاب، به درک بهتر عوامل زمین‌شناختی مؤثر در ایجاد بیماری‌ها منجر شود. علاوه بر این، امید است که پژوهشگران و خوانندگان این کتاب به موضوعات و مفاهیم میان‌رشته‌ای «زمین‌شناسی پزشکی» علاقمند شوند. در نهایت، چنانچه این کتاب به شناخت عوامل طبیعی بیماری‌زا و ارتقای تندرستی ساکنین استان بوشهر منجر شود، نویسندگان به هدف خود از تألیف این کتاب دست یافته‌اند. امید است بتوانیم در جلد‌های دوم و سوم این مجموعه به زمین‌شناسی پزشکی استان‌های خوزستان و هرمزگان نیز بپردازیم تا بتوانیم سیمایی جامع و یکپارچه از زمین‌شناسی پزشکی منطقه خلیج فارس را ترسیم نماییم. بی‌شک، این گذاری دشوار و پرلغزش است و نویسندگان مشتاقانه جویای دیدگاه‌های نقادانه پژوهشگران، دانشمندان و اندیشه‌ورزان ایران زمین می‌باشند.

دکتر رازقه اخباری زاده

دکترای زمین‌شناسی زیست محیطی

دکتر ایرج نبی پور

فوق تخصص غدد درون‌ریز و متابولیسم

عضو پیوسته فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران

فصل اول

مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی پزشکی

۱-۱- زمین‌شناسی پزشکی

زمین‌شناسی پزشکی، علم برقراری ارتباط میان فاکتورهای زمین‌شناختی و سلامت انسان‌ها و حیوانات است. به بیان دیگر، در این علم، تأثیر عوامل محیطی مربوط به هر منطقه جغرافیایی (مانند سنگ‌ها، کانی‌ها، منابع آبی، زمین‌لرزه‌ها، چشمه‌های آب‌گرم و طوفان‌های غبار) بر مسائل پزشکی مربوط به مردم آن منطقه (مانند بروز بیماری‌های ناشی از کمبود یا بیشبود عناصر و ترکیبات مختلف) بررسی می‌شود [۱].

به رغم فاصله ظاهری زمین‌شناسی و سلامت انسان‌ها، ارتباط میان عوامل زمین‌شناختی و سلامت موجودات زنده از دیرباز مورد توجه محققان و طبیبان قرار داشته است. به طوری که می‌توان نخستین نظریات در این زمینه را به حکیمان چینی، مصری و یونانی نسبت داد [۲]. به طور مثال، هیپوکراتوس^۱ (۴۶۰-۳۷۷ قبل از میلاد) اعتقاد داشت که سلامت افراد و مکان زندگی آن‌ها به هم مرتبط است [۱]. بر اساس نظریات وی، آب‌های گرمی که از خاک بیرون می‌آید آبی کدر و حاوی آلاینده‌های مختلف است و چنین آبی برای همهٔ مصارف بد است. علاوه بر این، در قرن اول پس از میلاد، یک پزشک یونانی به نام گالن^۲ در خصوص خطر ناشی از زهاب اسیدی معادن هشدار داد [۱]. با پیشرفت علم در قرون ۱۹ و ۲۰ میلادی، بسیاری از ارتباط‌های مبتنی بر مشاهدات به صورت علمی اثبات شدند و علم زمین‌شناسی پزشکی به وجود آمد. اکنون به خوبی می‌دانیم که کمبود یا عدم تعادل عناصر معدنی می‌تواند به طور مستقیم (اثر کمبود ید در بیماری گواتر) و غیرمستقیم (تأثیر کمبود سلنیم در بیماری قلبی) بر سلامت انسان‌ها مؤثر باشد.

¹ Hippocrates

² Galen

مهم‌ترین بیماری‌های انسان که منشأ زمین‌شناسی دارند عبارتند از: فلئورزیس، گواتر، کرتینیسم، سندروم پای سیاه (بلک فوت)، بیماری‌های کشان و کشان بک، مزوتلیوما (سرطان پرده جنب)، سرطان ریه و آسیب‌های سیستم عصبی [۱]. بنابراین، سلامت انسان‌ها به شدت به شرایط محیطی محل زندگی آن‌ها از لحاظ مواد زمین و فرآیندهای مختلف بستگی دارد. چرخه‌های زمین‌شناختی مشخصی برای ورود عناصر از درون زمین به گیاهان، حیوانات و انسان وجود دارد.

سنگ‌ها و کانی‌ها ساختار اصلی کره زمین را تشکیل می‌دهند و حاوی عناصر مختلفی می‌باشند. بسیاری از این عناصر برای سلامتی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها ضروری هستند. سنگ‌هایی که فرآیندهای هوازدگی را تجربه می‌کنند به خاک‌هایی تبدیل می‌شوند که عناصر مورد نیاز گیاهان و سپس حیوانات را فراهم می‌کنند. آب‌هایی که از میان و یا بر سطح سنگ‌ها و خاک‌ها عبور می‌کنند بسیاری از عناصر آن‌ها را با خود حمل می‌کنند. بخش عمده غبار و گازهای موجود در جو نیز منشأ زمین‌شناختی دارند. بنابراین، انسان‌ها و حیوانات از طریق خوردن، آشامیدن و استنشاق به طور مستقیم در معرض آلاینده‌های زمین قرار دارند [۱]. انقلاب صنعتی در کشورهای مختلف جهان، مردم را ترغیب کرد تا از کشاورزی سنتی دست کشیده و به سمت زندگی در شهرها و کار در کارخانه‌ها، نیروگاه‌ها و ریخته‌گری‌ها روی آورند. بنابراین، بسیاری از کارگران در معرض غلظت‌های بالایی از عناصر و ترکیبات شیمیایی قرار گرفتند (در معرض بودن شغلی). علاوه بر این، گسترش فعالیت‌های انسان‌زاد منجر به افزایش آلودگی جو و محیط زیست در مناطق مختلف دنیا گردیده است. با این حال، طی چند دهه اخیر رشته زمین‌شناسی پزشکی (یا زمین‌پزشکی^۱) در مناطق مختلف جهان گسترش یافته تا ارتباط دقیق بین عوامل زمین‌شناختی، عناصر شیمیایی و سلامت انسان به خوبی شناخته شود. ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و طی دو دهه اخیر مطالعات زمین‌پزشکی مختلفی در نقاط مختلف کشور انجام شده است. در این مجموعه کتاب به جمع‌بندی مطالعات زمین‌شناسی/زمین‌شناسی پزشکی در حوزه خلیج فارس و استان‌های مجاور آن اهتمام ورزیده خواهد شد. در جلد اول کتاب زمین‌شناسی پزشکی خلیج فارس به ارتباط میان عوامل

¹ Geomedicine

زمین‌شناسی و سلامت مردم در استان بوشهر پرداخته خواهد شد. با توجه به این که ساختار همه موجودات زنده از عناصر اصلی، فرعی و ناچیز موجود در محیط طبیعی (زمین) تشکیل شده است، پیش از آغاز فصل‌های کتاب، ذکر خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و اهمیت عناصر در زمین‌شناسی پزشکی خالی از لطف نیست.

۱-۲- طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی عناصر

اصول زمین‌شیمی و در نتیجه زمین‌شناسی پزشکی، از زمانی آغاز شد که دستگاه‌های تشخیصی اختراع شدند و بسیاری از دانشمندان موفق شدند ترکیب شیمیایی دقیق اجزای زمین را اندازه‌گیری کنند. به رغم محدودیت‌ها و مشکلاتی که برای نمونه‌برداری و آنالیز سریع خاک‌ها و سنگ‌ها وجود داشت، نخستین ترکیب شیمیایی ابتدایی عناصر زمین در قرن بیستم توسط فرانک کلارک منتشر شد. کتاب کلارک نقش مهمی در مطالعات زمین‌شیمیایی و آگاهی از ارتباط زمین‌شناسی و سلامتی ایفا کرد. پس از آن نظریات گلداشمیت^۱ تأثیر قابل ملاحظه‌ای در زمین‌شناسی پزشکی داشت. دو نظریه وی عبارتند از: طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی عناصر و اهمیت شعاع یونی در توضیح ناخالصی‌ها در کریستال‌های طبیعی [۳]. گلداشمیت عناصر را در چهار گروه اصلی (جدول ۱-۱) طبقه‌بندی کرد. عناصر سیدروفیل^۲ عناصر همراه با آهن - نیکل (Fe-Ni) در هسته زمین هستند؛ بنابراین حضور عناصر این گروه در سنگ‌های پوسته‌ای ناچیز است. عناصر اتموفیل^۳، عناصر رایج در هوای اطراف ما هستند و عناصر لیتوفیل^۴ آن‌هایی هستند که در پوسته سیلیکاتی رایجند. عناصر کلکوفیل^۵ آن‌هایی هستند که به طور محلی و با غلظت‌های بالا در سولفیدها حضور دارند و باعث کاهیدگی سولفات به سولفید در ذخایر سولفیدی مانند پیریت (FeS_2)، گالن (PbS) و اسفالریت (ZnS) می‌شود.

¹ Goldschmidt

² Siderophilic elements

³ Atmosphic elements

⁴ Lithophilic elements

⁵ Chalcophilic elements

عناصر لیتوفیل در سیلیکات‌ها، آلومینوسیلیکات‌ها، اکسیدها، کربنات‌ها، سولفات‌ها، هالیت‌ها، فسفات‌ها و وانادات‌ها دیده می‌شوند [۱، ۴].

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی عناصر [۳]

عناصر	گروه
Fe, Co, Ni, Pt, Au, Mo, Ge, Sn, C, P	سیدروفیل
H, N, O, He, Ne, Ar, Kr, Xe	اتموفیل
Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Pb, As, S, Sb, Bi, Se, Te	کلکوفیل
Li, Na, K, Rb, F, Cl, Br, I, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, Si, Ti, Zr, Th, V, Cr, Mn, U, REE*	لیتوفیل

REE* = عناصر نادر خاکی

جدول ۱-۲- غلظت عناصر جزئی در پوسته زمین و سنگ‌های مختلف [۱]

Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	As (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (µg/kg)	
۹۴	۶۳	۲	۸۹	۱۱۰	۰/۲	۱۲	۹۰	پوسته زمین
۸۱	۵۰	۱/۷	۶۱	۷۷	۰/۲	۱۳	۸۰	پوسته قاره‌ای بالایی
سنگ‌های آذرین								
۱۰۵	۸۷	۲	۲۰۰۰	۱۶۰۰	۰/۱	۱	۴	الترامافیک
۶۰	۳۰	۲	۱۳۰	۱۷۰	۰/۲	۶	۱۳	مافیک
۶۰	۳۰	۲	۱۵	۲۲	۰/۱	۱۵	۲۱	میانی
۳۹	۱۰	۱	۵	۴	۰/۱	۱۹	۳۹	فلسیک
سنگ‌های رسوبی								
۱۶	۱۵	۱	۳	۱۲۰	۰/۰۲	۱۴	۵۷	ماسه سنگ
۱۶	۴	۲	۱۳	۷	۰/۰۵	۱۶	۴۶	سنگ آهک
۱۳۰	۴۵	۹	۲۹	۴۲۳	۰/۲	۸۰	۲۷۰	شیل
۱۸۹	۵۰	۲۲	۶۸	۱۸	۴	۱۵		شیل سیاه

برای بسیاری از عناصر، گروه‌های مشترک نیز وجود دارد به طوری که گروه‌بندی فوق در بهترین حالت تنها می‌تواند گرایش‌های عناصر برای قرار گیری در موقعیت‌های مختلف را نشان دهد. برای مثال، آهن که در گروه سیدروفیل قرار دارد، نه تنها عنصر اصلی هسته زمین است، بلکه در کانسارهای سولفیدی و سنگ‌های آذرین نیز به وفور یافت می‌شود. این همپوشانی در گروه‌های مختلف تا حدی بر مبنای توزیع عناصر در فرآیندهای بسیار دما بالا و شرایط کم دمای سطحی، گریزناپذیر است. غلظت عناصر در پوسته زمین و انواع مختلف سنگ در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

در ادامه به توزیع عناصر در سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی پرداخته خواهد شد:

۱-۲-۱- توزیع عناصر در سنگ‌های آذرین

بیشتر سنگ‌های آذرین را می‌توان نتیجه تفریق ماگمای بازالتی در نظر گرفت. نخست کانی‌های مافیک از این ماگما ته‌نشین شده و سنگ‌های الترامافیک مانند اولیوین و پلاژیوکلاز کلسیم را به وجود آورده‌اند. سپس ماگمای مذاب باقی‌مانده به صورت گابرو، دیوریت، گرانودیوریت، گرانیت و پگماتیت تغییر کرده است. به بیان دیگر بخشی از اولیوین طی افت دما با مذاب واکنش داده و پیروکسن را به وجود می‌آوردند و پس از آن نیز، آمفیبول و بیوتیت تشکیل می‌شوند. در همین زمان، ترکیب پلاژیوکلاز به تدریج سدیک‌تر شده و پیش از خاتمه تبلور، کوارتز و فلدسپار پتاسیم همراه با پلاژیوکلاز سدیک ظاهر می‌شوند. بنابراین، عناصر آهن، منیزیم و کلسیم، بیشتر در مراحل اولیه و فلزات قلیایی در مراحل بعدی از مذاب خارج می‌شوند. آلومینیوم در همه مراحل تفریق وارد فلدسپار شده و در اواخر تفریق نیز وارد میکا می‌شود. اگر فوگاسیتة اکسیژن پایین باشد، این توالی تغییر می‌کند. به طوری که مقدار زیادی از آهن تا مراحل نهایی تبلور در مذاب باقی می‌ماند و غلظت سیلیس در سیال باقی‌مانده کمتر خواهد بود. علاوه بر این، در چنین شرایطی فراوانی کانی‌های آبدار نیز در مذاب افزایش یافته و مقدار زیاد فلوئور، کلر و بور باعث تشکیل کانی‌های غیرعادی می‌شود.

برای این که یک عنصر در یک کانی مستقل تبلور یابد، باید غلظت قابل توجهی از آن در

مذاب وجود داشته باشد. چرا که اگر غلظت عنصر پایین باشد، به جای تشکیل کانی مستقل، به صورت جانشینی‌های ایزومرفی یک عنصر فراوان یا به صورت میانبرهای بی‌نظم در حفرات شبکه بلوری ساختارهای سیلیکاته می‌شوند. جانشینی یون‌های فرعی با اصلی به شرایط زیر بستگی دارد:

- (۱) اختلاف شعاع یون‌ها باید کمتر از ۱۵ درصد باشد.
 - (۲) اختلاف بار آن‌ها یک واحد باشد. مشروط بر این که شعاع آن‌ها مشابه باشد و اختلاف بار توسط عنصر دیگری جبران شود.
 - (۳) یون با شعاع کوچکتر و یا بار بیشتر، پیوند قوی‌تری با یون‌های مجاور تشکیل می‌دهد.
 - (۴) اگر پیوند ایجاد شده خصلت کووالانسی بسیار متفاوتی داشته باشد، جانشینی بسیار محدود می‌شود.
- علاوه بر این، فشار، دما و ترکیب کلی سنگ نیز می‌توانند بر جانشینی عناصر مؤثر باشند [۴]. بنابراین، کاتیون‌های با شعاع بزرگ و بار الکتریکی کم (مانند Ti, Pb, Ba, Cs, Rb که به آن‌ها یون‌های بزرگ لیتوفیل گفته می‌شود) جانشین پتاسیم با شعاع ۱/۳۸ آنگستروم می‌شوند و به جای سنگ‌های مافیک، بیشتر در سنگ‌های فلسیک متمرکز می‌شوند. کاتیون‌های با شعاع کوچکتر و بار بیشتر (U^{4+} , Th^{4+} , B^{3+} , Be^{2+} , Mo^{6+} , W^{6+} , Nb^{6+} , Ta^{5+} , Sn^{4+} , Zn^{4+}) نیز در بخش فلسیک سری متمرکز می‌شوند. دلیل این تمرکز، اندازه کوچک و بار زیاد است که مانع جانشینی آن‌ها در کانی‌های سیلیکاتی رایج می‌شود و در نتیجه می‌توانند کانی‌های مستقلی مانند اورانینیت، بریل، کلمبیت، زیرکن و... شوند. در حالی که بسیاری از عناصر با شعاع یونی حد واسط (فلزات گروه‌های واسطه) به آسانی جانشین آهن و منیزیم شده و در اوایل توالی تفریق فراوان هستند. به طور مثال، عناصر Ni, Cr و Co همراه با Mg در سنگ‌های الترامافیک و عناصر V, Mn و Ti در گابروها و بازالت‌ها، فراوانی بالایی دارند [۴].

۱-۲-۲- توزیع عناصر در سنگ‌های رسوبی

فرایندهای هوازدگی به عنوان یک فرآیند جدایش شیمیایی عظیم عمل می‌کنند و

مجموعه‌های عنصری موجود در سنگ‌های آذرین را از هم جدا می‌کنند و در نهایت آن‌ها را به مجموعه‌های معمولاً ساده‌تری تبدیل می‌کنند. این فرآیندها در مقیاس محلی می‌توانند بسیار مؤثر باشند چرا که سیلیس را به شکل ماسه‌سنگ کوارتزی خالص یا چرت در می‌آورند. آلومینیم را وارد بوکسیت و آهن را وارد لاتریت یا اکسیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌های رسوبی می‌کنند. این فرآیندها می‌توانند کلسیم را به شکل سنگ آهک یا ژبیس و سدیم و پتاسیم را به شکل نهشته‌های نمکی درآورند. طی این روند، برخی عناصر کم‌مقدار می‌توانند بر اساس چگالی و مقاومت کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها در برابر محلول‌ها و سایش از دیگر عناصر جدا شوند. ذخایر پلاستی، پلاتین، موناژیت و زیرکن از این دسته هستند. در حالی که کانی‌های با مقاومت کمتر، تغلیظ محدودی را نشان می‌دهند.

فرایندهای شیمیایی، فرآیندهای پیچیده‌تری هستند که منجر به ته‌نشینی انتخابی عناصر فرعی از محلول می‌شوند. اختلاف انحلال‌پذیری ترکیب‌ها، فرآیندهای جذب سطحی و فعالیت جانداران، نقش مهمی در این زمینه ایفا می‌کند. فسفات‌ها، برات‌ها، نترات‌ها، برخی نهشته‌های منگنز، مس، وانادیم و اورانیم همراه با مواد آلی، مثال‌هایی از تمرکز عناصر از راه فرآیندهای رسوبی است [۴].

به استثنای Sr و Mn در رسوبات کربناته و Zr و عناصر نادر خاکی (REEها) در ماسه‌سنگ‌ها، بیشتر عناصر کمیاب در شیل‌ها فراوانی بالاتری نسبت به ماسه‌سنگ‌ها و سنگ آهک‌ها دارند. دلایل احتمالی این فرآیند، واکنش برخی از عناصر با مواد آلی و غنی‌شدگی از راه جذب است. غنی‌شدگی V و Mo در آسفالت، U و Cu در شیل‌های سیاه و Ge در زغال‌سنگ مثال‌هایی از نقش مؤثر مواد آلی در تغلیظ عناصر در سنگ‌های رسوبی است. در حالی که غنی‌شدگی کانی‌های مقاوم مانند زیرکن و موناژیت با تمرکز مکانیکی آن‌ها قابل توضیح است و غنی‌شدگی Sr در سنگ آهک ناشی از جانشینی Sr^{2+} با Ca^{2+} می‌باشد. رسوبات ریزدانه، ذرات ریز بسیار متنوعی با مساحت سطحی زیاد و مواضع جذب فراوان دارند که می‌توانند عناصر مختلف را در خود جای دهند [۴]. علاوه بر این، پتانسیل یونی^۱ و فرآیندهای

^۱ پتانسیل یونی: خارج قسمت بار مثبت یک یون ساده تقسیم بر شعاع آن

ته نشینی، اکسایش و کاهش نیز در غنی‌شدگی عناصر فرعی در رسوبات ریزدانه نقش مهمی ایفا می‌کنند. پتانسیل یونی اثر بیشتری بر رفتار عناصر فرعی در رسوباتی که دارای هیدروکسید فراوان هستند مانند بوکسیت‌ها و برخی کانسنگ‌های آهن رسوبی دارد. غلظت اندک بریلیم و تیتانیوم در بوکسیت‌ها دلیلی بر جانمایی به دلیل شباهت پتانسیل یونی است. ته‌نشینی مستقیم عناصر فرعی تنها در موارد محدودی مانند نهشته‌های کمیاب تبخیری حاوی کانی‌های بور، نیتروژن و ید، فسفریت‌ها و کربنات‌های منگنز مشاهده شده است. در حالی که ته‌نشینی از راه فرآیندهای اکسایش - کاهش رایج‌تر است. مهم‌ترین عنصر فرعی که در نتیجه اکسایش در محیط‌های رسوبی ته‌نشین می‌شود منگنز است. اگرچه آرسنیک و آنتیموان نیز از طریق اکسایش ته‌نشین می‌شوند اما آرسنات‌ها و آنتیموان‌های انحلال‌پذیری که به طور محلی از راه اکسایش کانسارها به وجود می‌آیند، در سنگ‌های رسوبی سهم چندانی ندارند. نهشته‌های مس آزاد، اورانیم و وانادیم در رسوبات ناشی از ته‌نشینی در فرآیندهای کاهشی است که در حضور مواد آلی فاسد نشده رخ می‌دهد. اگر فرآیند کاهش در حضور یون سولفید رخ دهد، آهن، مس، روی و سرب می‌توانند به صورت کانی‌های سولفیدی ته‌نشین شوند [۴].

۱-۲-۳- توزیع عناصر در سنگ‌های دگرگونی

در خصوص توزیع عناصر هنگام دگرگونی یا دگرسانی گرمایی اطلاعات کمی وجود دارد و تنها در برخی موارد تغییرات شیمیایی اندکی همراه با فرآیندهای دگرگونی رخ می‌دهد. به طور مثال دگرگون شدن سنگ‌های ریز دانه به هورنفلس و فیلیت هیچ‌گونه تغییر قابل توجهی در مقدار فلزات کمیاب ایجاد نمی‌کند مگر این که ضمن فرآیند دگرگونی، محلول‌هایی وارد سنگ شود. سیال‌ها پس از ورود به سنگ به دلیل تغییر در ترکیب سنگ، دما، فشار و آمیختگی با سایر سیالات در حالت تعادل نیستند و واکنش‌های حاصله ممکن است منجر به حل یا ته‌نشین شدن عناصر مختلف شود. افزوده شدن یا کاسته شدن عناصر حین دگرگونی را انتقال متاسوماتیک جرم می‌نامند. هنگامی که دگرگونی به مراحل پایانی ذوب جزئی می‌رسد، بیشتر عناصر فرعی وارد مذاب می‌شوند و سپس بر اساس الگوی که برای سنگ‌های آذرین گفته شد، تبلور مجدد می‌یابند.

متغیرهایی که نوع و محدوده توزیع عناصر را در سنگ‌های دگرگونی و دگرسان شده گرمایی را تعیین می‌کنند، عبارتند از: ترکیب سنگ و سیال، دما، فشار، تخلخل سنگ، تراوایی سنگ، پتانسیل جریان سیال و آهنگ تغییر این متغیرها در زمان.

۱-۳- چرخه زیست زمین شیمیایی

مجموع فرآیندهای هوازی و غیرهوازی که منجر به جابه‌جایی عناصر از سنگ به خاک‌ها، رسوبات، آب‌ها، گیاهان و حیوانات می‌شود، چرخه زیست زمین شیمیایی نامیده می‌شود. با ادامه این روند، عناصر می‌توانند از موجودات زنده به آب‌ها، رسوبات و خاک‌ها برگردند و در صورتی که زمان زمین‌شناسی کافی به آن‌ها داده شود، به سنگ جدید تبدیل خواهند شد. بنابراین، در نتیجه چرخه زیست زمین شیمیایی، عناصر جزئی در محیط‌های مختلف پراکنده می‌شوند. با این حال، نرخ حرکت عناصر در بخش‌های مختلف چرخه متفاوت است [۱]. یکی از مهم‌ترین عوامل انتقال عناصر در چرخه فوق، زیست دسترس‌پذیری و قدرت تحرک عناصر در محیط‌های آبی (مانند آب منفذی خاک یا رسوب، دریاچه یا رودخانه، آب و رسوب دریا)، است. جدول ۱-۳ میزان تحرک‌پذیری عناصر در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد.

در فاز جامد عناصر زمانی متحرک می‌شوند که روی سطح کانی یا در کمپلکس آلی-فلزی باشند. بنابراین، یک حلال ضعیف مانند اسید استیک، استات سدیم یا آمونیم، کلسیم کلراید، نیترات پتاسیم، سدیم یا آمونیم و عوامل کیلیت‌ساز مانند EDTA، DTPA و سدیم پیروفسفات در مطالعات آزمایشگاهی مربوط به گیاه‌دسترس‌پذیری^۱ عناصر در خاک استفاده می‌شود. در حالی که برای شبیه‌سازی غلظت عناصر رها شده از خاک در دستگاه گوارش حیوانات و انسان از اسید هیدروکلریدریک رقیق شده استفاده می‌شود [۱]. واضح است که برهم‌کنش انسان به عنوان بخش نهایی از زنجیره غذایی با محیط زیست (کانی‌ها و تحرک‌پذیری عناصر)، بسیار مهم است.

در فرآیند رشدونموی همه موجودات زنده (به خصوص انسان)، هریک از عناصر عملکرد خاصی دارد. بازده عنصر در عملکرد سیستم زیست‌شناختی همه موجودات زنده نقش بسیار

^۱ Phytoavailability

مهمی ایفا می‌کنند. به طوری که ۹۹/۹ درصد از اتم‌های بدن انسان از عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد، فسفر، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر و پتاسیم تشکیل شده است. این عناصر به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. عناصر اصلی شامل هیدروژن، اکسیژن، کربن و نیتروژن است و بیش از ۹۹٪ از اتم‌های بدن را شامل می‌شوند. عناصر فرعی شامل سدیم، منیزیم، فسفر، گوگرد، کلر، پتاسیم و کلسیم است که به آن‌ها الکترولیت نیز گفته می‌شود. علاوه بر این، بدن همه موجودات زنده از جمله انسان، حاوی عناصر جزئی نیز هست (جدول ۱-۴). از میان عناصر جزئی آن‌هایی که ۱) در همه بافت‌های سالم بدن موجودات زنده حضور دارند، ۲) غلظت آن در حیوانات تقریباً برابر است، ۳) حذف آن از بدن موجودات باعث ایجاد علائم فیزیولوژی مشابه در آن‌ها شود و ۴) اضافه کردن آن‌ها، ناهنجاری‌ها را برطرف می‌کند، عناصر ضروری هستند. برخی از عناصر ضروری یا احتمالاً ضروری شناخته شده عبارتند از: لیتیم، وانادیم، کروم، منگنز، کبالت، مس، تنگستن، مولیبدن، سیلیس، سلنیم، ید، روی، بور، آهن و فلوئور، مثال‌هایی از عناصر ضروری می‌باشند [۱].

جدول ۱-۳- تحرک عناصر در محیط‌های سطحی [۱]

میزان تحرک	محیط‌های اکسایشی (pH=۵-۸)	محیط‌های اکسایشی (pH<۴)	محیط‌های کاهش‌ی
تحرک بالا	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, Se, Te	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
تحرک متوسط	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As, Sb, Sr, Hg	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, F, Zn Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
تحرک کم	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, Cd, In, Ra, Be, W	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Si, P, Fe
نامتحرک	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, REEs*, Au, Cr, Nb, Ta, Bi, Cs	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, REEs, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, Fe, REEs, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, V, U, Se, Te, Mo, In, Cr, Nb, Ta

* عناصر نادر خاکی

جدول ۱-۴- عناصر جزئی در بدن انسان [۱]

عنصر	مقدار (میکروگرم بر گرم)	عنصر	مقدار (میکروگرم بر گرم)
آرسنیک	۰/۲۶	منگنر	۰/۱۷
بور	۲/۹	مولیبدن	۰/۰۸
کبالت	۰/۰۲۱	نیکل	۰/۱۴
کروم	۰/۰۹۴	سلنیم	۰/۱۱
مس	۱	سیلیس	۲۶۰
فلوئور	۳۷	قلع	۰/۲۴
آهن	۶۰	تنگستن	۰/۰۰۸
ید	۰/۱۹	وانادیم	۰/۱۱
لیتیم	۰/۰۰۹	روی	۳۳

۱-۴- پیشرفت زمین‌شناسی پزشکی و اهمیت ارتباط عنصری

در قرن بیستم، زمین‌شناسان و اپیدمیولوژیست‌ها به آگاهی بیشتری در مورد راه‌های مختلفی که زمین می‌تواند ساکنانش را تحت تأثیر قرار دهد، پی بردند. مسمومیت با فلزات و شناخت ارتباط میان تغذیه و سلامتی، مثال‌هایی از پاسخ انسان به در معرض بودن با محیط زمین‌شیمیایی است. بیماری‌های گواتر، مورتون ماینز^۱ و پای سیاه^۲ مثال‌هایی واضح از ارتباط میان زمین‌شناسی و سلامتی است که به ترتیب با کمبود ید، کمبود کبالت و بیشبود آرسنیک در محیط زیست مرتبط است.

بررسی عناصر به صورت تکی دو اصل مهم زمین‌شیمیایی را زیر سوال می‌برد: (۱) معمولاً مجموعه‌ای از عناصر در هر محیط با هم حضور دارند و (۲) رفتار عناصر با هم می‌تواند هم‌افزا^۳

^۱ Morton Mains disease

^۲ Blackfoot disease

^۳ Synergistic

یا هم‌کاهنده^۱ باشد. در برخی مناطق کادمیم خاک به دلیل نوع سنگ (مانند شیل‌های سیاه) یا فعالیت‌های معدن‌کاری بالاست. کادمیم به راحتی از طریق خاک وارد دانهٔ برنج شده و می‌تواند سلامتی مصرف‌کنندگان را به خطر بیندازد. از سوی دیگر، شواهد نشان می‌دهد که کمبود همزمان آهن و روی می‌تواند جذب کادمیم در بدن را تا ۱۵ برابر افزایش دهد. مثالی دیگر از ارتباط میان عنصری را می‌توان با مس و مولیبدن بیان کرد. بررسی این دو عنصر به صورت تکی و همزمان نشان داد که حضور آن‌ها در محیط به یکدیگر وابسته است. به طوری که افزایش یکی منجر به کاهش دیگری خواهد شد.

۱-۵- تهیه نقشه‌های بیماری

یکی از راه‌های کمک به پیشرفت زمین‌شناسی پزشکی تهیه نقشه‌های بیماری در مناطق مختلف است. برای برخی از بیماری‌های مهم مانند انواع سرطان، سیستم اعصاب مرکزی و بیماری قلبی، دلایل وقوع بسیار گسترده است. با توجه به عدم قطعیت‌هایی که وجود دارد تهیه نقشهٔ مربوط به بیماری‌های مختلف در مناطق جغرافیایی گوناگون می‌تواند به برقراری ارتباط میان احتمال وقوع بیماری‌های غیر واگیردار، از راه بررسی‌های ژنتیکی، تغذیه‌ای و اجتماعی کمک کند. علاوه بر این، بررسی همزمان نقشه‌های زمین‌شناسی و بیماری در هر منطقه می‌تواند در پژوهش‌های همه‌گیرشناسی و بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد تا منشأ بیماری‌های مختلف مرتبط با زمین مشخص شود. به طور مثال، ارتباط بین سرطان معده و تشعشع رادیواکتیو ناشی از شیل‌های سیاه ولز توسط میلر در سال ۱۹۶۱ اثبات شد [۵]. مواد آلی خاک، روی و کبالت در خاک نیز با سرطان معده در شمال ولز ارتباط مستقیم نشان داده است. در حالی که کروم با هر دو سرطان معده و روده در ارتباط است [۶]. بر اساس نتایج این مطالعه، افرادی که بیش از ۱۰ سال در یک محل ساکن بودند و به سرطان معده مبتلا شده بودند، دارای میانگین نسبت لگاریتمی روی/مس بالاتری در خاک باغچهٔ خود بودند. ذکر این مسئله حائز اهمیت است که ارتباط، الزاماً به معنای رابطهٔ علت و معلولی نیست.

¹ Antagonistic

برای این که نقشه‌ها قابل استناد باشند، باید به نکات زیر توجه کرد: (۱) باید رابطه مستقیم در معرض بودن با منبع (مانند خاک) و عملکردهای فیزیولوژیک (مانند سیستم آنزیم) برای رساندن آلاینده به اندام هدف مشخص باشد. (۲) فرضیه باید تکرارپذیر و قابل پیش‌بینی باشد: اگر ارتباط مثبت در منطقه‌ای وجود دارد باید در منطقه دیگری با زمین‌شناسی مشابه نیز وجود داشته باشد. به طور مثال ارتباط بین فلوراید و پوسیدگی دندان به گونه‌ای است که در همه مناطق که فلوراید در آب آشامیدنی به طور طبیعی بالاست، نرخ پوسیدگی دندان کمتر است [۱].

۱-۶- چالش‌های آینده

مهم‌ترین چالش آینده تهیه داده‌های زمین‌شیمیایی معتبر، دقیق و قابل استناد برای پژوهش‌های همه‌گیرشناختی، زیست محیطی و کشاورزی و جنگل‌داری است. چرا که عناصر می‌توانند از طریق زنجیره غذایی و آب آشامیدنی به حیوانات و سپس انسان‌ها برسد. چالش دوم، تأمین منابع مالی برای تهیه نقشه‌های آلودگی و بیماری در مقیاس منطقه‌ای و قاره‌ای است. در حال حاضر تنها در چین، اروپا، استرالیا و بخش‌هایی از آمریکای شمالی، سازمان‌های ملی برای بررسی وضعیت محیط زیست و پایش دقیق آن وجود دارد. چالش سوم، تشکیل تیم‌های بین‌رشته‌ای است که بتوانند پایش‌های منظم و کاملی را در مقیاس ملی، منطقه‌ای و قاره‌ای را هدایت کنند تا در نهایت به مقادیر جهانی زمینه زمین‌شیمیایی دست یابند.

تغییرات سریع در مقیاس جهانی منجر به ایجاد استرس در منابع طبیعی زمین و جلوگیری از توسعه پایدار می‌گردد. این تغییرات در محیط زیست جهانی که به واسطه فعالیت‌های انسان‌زاد رخ می‌دهد باعث شده که این دوره را آنتروپوسن (عصر انسان) نامند. تغییرات زیست محیطی بیشتر در محیط‌های طبیعی شکننده مانند مناطق گرمسیری، استوایی و بیابان‌ها حاد است چرا که این مناطق طی دوران زمین‌شناسی انواع هوازدگی‌های شیمیایی و فیزیکی را تجربه کرده‌اند. بدیهی است که تغییرات اجتناب‌ناپذیر است و روند آن‌ها باید بررسی شود اما در صورتی که مقدار زمینه در مناطق مختلف مشخص نباشد پایش صحیح تغییرات غیرممکن است.

۱-۷- منابع

- 1) Selinus, O., *et al.*, Essentials of medical geology. 2016: Springer.
- ۲) حاج علیلو، ب.، وثوق، ب. زمین‌شناسی پزشکی. ۱۳۸۸، تهران، ایران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- 3) Goldschmidt, V.M., Geochemistry. Vol. 78. 1954: LWW.
- 4) Krauskopf, K.B. and D.K. Bird, Introduction to geochemistry. Vol. 721. 1967: McGraw-Hill New York.
- 5) Millar, I.B., Gastro-intestinal cancer and geochemistry in north Montgomeryshire. 1961. 15(2): p. 175.
- 6) Stocks, P. and. Davies, R. Zinc and copper content of soils associated with the incidence of cancer of the stomach and other organs. 1964. 18(1): p. 14.

فصل دوم

زمین‌شناسی استان بوشهر

۲-۱- موقعیت جغرافیایی

استان بوشهر با مساحتی حدود ۲۷،۶۵۳ کیلومتر مربع بین ۲۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و پنجاه درجه و ۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی قرار دارد [۱]. این استان ۶۲۵ کیلومتر مرز آبی با خلیج فارس دارد [۲]. بر اساس تقسیمات کشوری استان بوشهر از ۱۰ شهرستان به نام‌های بوشهر، دیر، کنگان، عسلویه، جم، دشتستان، تنگستان، دشتی، دیلم و گناوه تشکیل شده و مرکز آن شهرستان بوشهر است. استان بوشهر از شمال به فارس، از شرق به هرمزگان و از غرب به خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد متصل می‌باشد [۳]. میزان رطوبت نسبی استان بوشهر بین ۷۵-۵۸ درصد و میزان متوسط بارندگی سالیانه آن ۲۲۰ میلی‌متر است. حداقل و حداکثر ارتفاع استان به ترتیب صفر و ۱۹۵۴ متر می‌باشد و اقلیم آن به روش دومارتن، نیمه‌خشک است [۴].

بخش وسیعی از استان ریخت‌شناسی بلند و کوهستانی دارد در حالی که بخش‌های ساحلی آن سیمای دشت‌گونه را نشان می‌دهد. به همین دلیل استان بوشهر دو ریختار متفاوت دارد: (۱) واحد کوهساز که همانند سایر نواحی زاگرس روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق دارد که شامل تناوبی از تاقدیس‌های نامتقارن و ناودیس‌های فشرده به سمت جنوب است و (۲) دشت ساحلی استان که زایش فرسایشی دارد و نواحی کوهپایه‌ای تا سواحل دریا را پوشش می‌دهند. بخش جلگه‌ای استان توسط رسوبات رودخانه‌های شاپور، دالکی، اهرم و مند پوشیده شده و عرض برخی از این جلگه‌ها در ناحیه دالکی بالغ بر ۷۰ کیلومتر می‌رسد. یکی از اساسی‌ترین عوامل گسترش مناطق بیابانی، ساختار زمین‌شناسی و نوع سنگ‌شناسی سازندهای مختلف تشکیل‌دهنده حوزه است [۱].

۲-۲- زمین‌شناسی زاگرس

کمر بند چین خورده - رانده کوه‌های زاگرس بخشی از سیستم کوهزایی آلپ - هیمالیا می‌باشد که با روند شمال غربی - جنوب شرقی به طول تقریبی ۱۳۰۰ کیلومتر در داخل کشور از مرز غربی واقع در حوالی قصر شیرین تا خط عمان در نزدیکی‌های شرق بندرعباس گسترش دارد. پهنای این کمر بند بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر متغیر بوده و شامل مجموعه‌ای از چین‌خوردگی‌های موازی در ردیف‌های رسوبی فانروزوئیک می‌باشد که گسل‌های متعددی را عموماً از نوع معکوس یا رو رانده در بردارد. مرز شمالی این واحد مهم زمین‌ساختی منطبق بر گسل رانده زاگرس است که آن را از واحد دگرگونی سنندج - سیرجان جدا می‌سازد و از سوی جنوب و جنوب غربی به خلیج فارس و سپر عربستان محدود و حد شرقی آن نیز به گسل میناب ختم می‌شود.

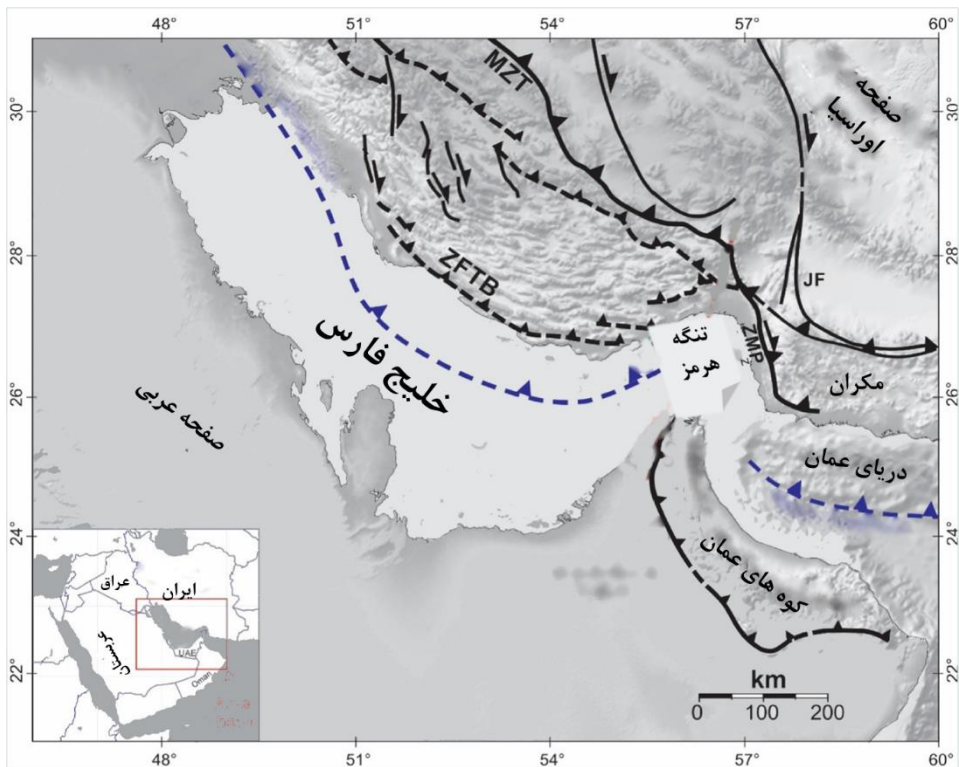
بر اساس تقسیم‌بندی بربریان ناحیه زاگرس به پنج واحد مورفوتکتونیک تقسیم می‌شود که عبارتند از: (۱) کمر بند رو رانده زاگرس بلند، (۲) کمر بند ساده چین خورده، (۳) فرورفتگی پیشانی زاگرس، (۴) دشت ساحلی زاگرس و (۵) زمین‌های پست خلیج فارس و بین‌النهرین [۵].

۲-۳- زمین‌شناسی خلیج فارس

خلیج فارس، فرونشست تکتونیک کم‌عمقی است که از فعالیت صفحات عربستان و اوراسیا تشکیل شده و مرز آن در شمال و شمال شرق رشته‌کوه‌های زاگرس و در غرب سپر عربی می‌باشد [۶]. نقشه تکتونیک خلیج فارس در شکل ۲-۱ قابل ملاحظه است. حوضه خلیج فارس در اواخر دوره ترشیری تشکیل شده است؛ حال آن که محور و روند اصلی آن در زمان پلیو پلیستوسن در اثر چین‌خوردگی زاگرس شکل گرفته است [۷]. خلیج فارس یکی از نفت‌خیزترین مناطق جهان است که ذخایر بزرگ نفت و گاز از جمله سازندهای پرمو تریاس دالان و کنگان و سازند میوسن آسماری در آن قرار دارند که ۵۰ تا ۶۸ درصد از نفت قابل استخراج جهان و بیش از ۴۰ درصد از گاز جهان را در خود دارد [۶، ۸]. شکل ۲-۲، ستون چینه‌شناسی خلیج فارس و سازندهای حاوی نفت و گاز موجود در آن را نشان می‌دهد. این

حوضه، ساختاری نامتقارن دارد و شیب آن در بخش سواحل ایران زیادتر و بیشینه عمق آن در این بخش واقع شده است. ژرفگاه خلیج فارس آن‌ها به دو بخش پایدار عربی در جنوب و ناپایدار چین‌خورده ایرانی تقسیم می‌کند. مساحت کلی خلیج فارس حدود ۲۴ هزار کیلومترمربع است. بیشینه ژرفای خلیج فارس ۹۰ تا ۱۳۰ متر (تنگه هرمز) و میانگین آن ۳۶ متر است [۹].

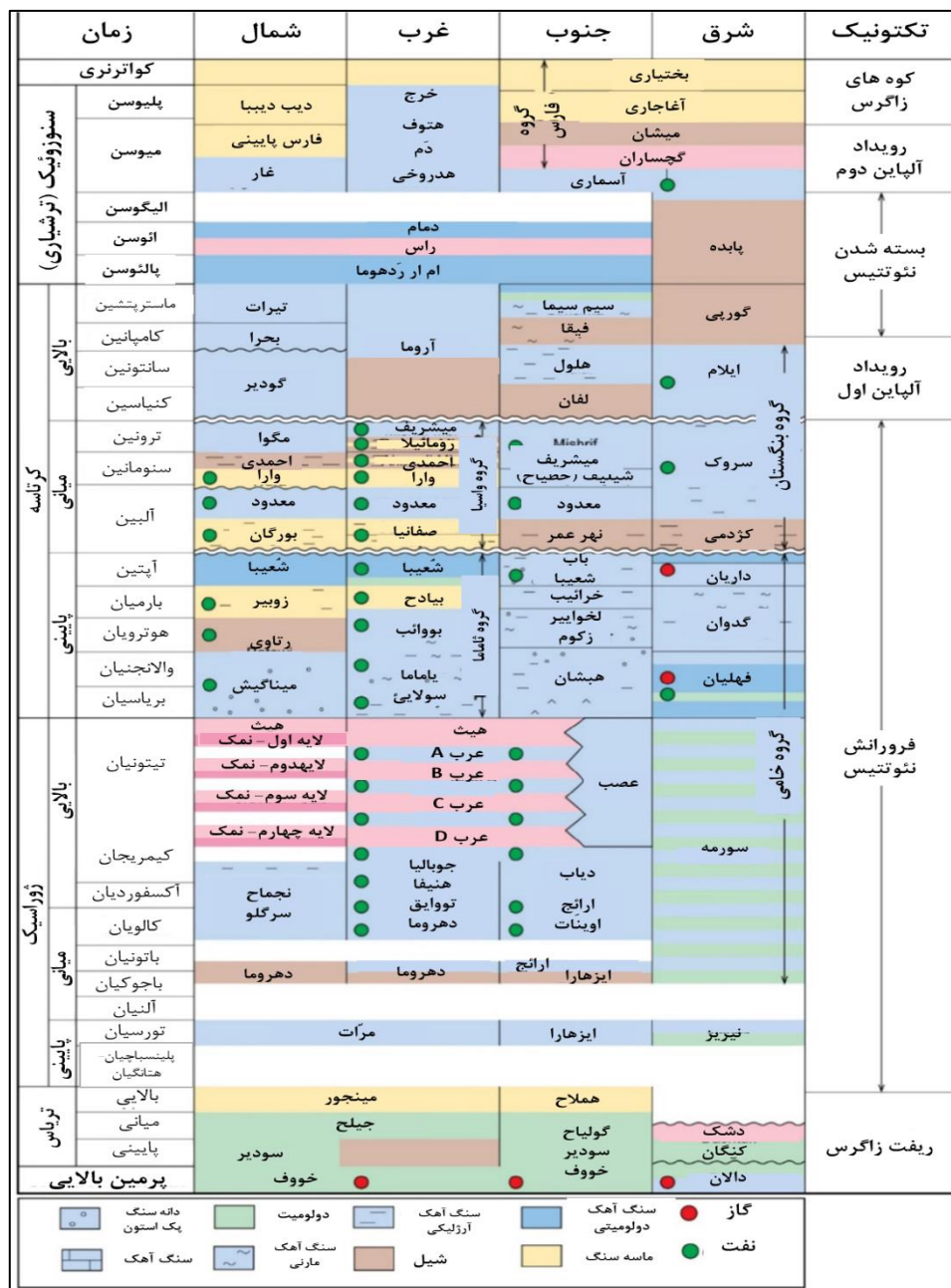
[۱۰]. بیشینه و کمینه پهنای خلیج فارس به ترتیب ۳۶۰ و ۵۶ کیلومتر است [۱۱].



شکل ۲-۱- نقشه زمین‌ساختی خلیج فارس میان صفحه اوراسیا و صفحه عربی [۶].
 مخفف‌ها عبارتند از: محور اصلی زاگرس (MZT)، کمربند چین‌خوردگی زاگرس (ZFTB)،
 زون گسلی میناب - زندان - پالامی (ZMP) و گسل جیرفت (JF).

میزان چین‌خوردگی‌ها در خشکی‌های ایران شدید است (شیب ۵۰ درجه و بیشتر) و با شیب‌های کمتر به طرف دریا ادامه دارد به گونه‌ای که در دریا به ۱۰ تا ۲۰ درجه می‌رسد. کرانه ایرانی خلیج فارس، از سازندهای سخت و بلند با ریختار خطی ساخته شده و با واسطه یک دشت ساحلی باریک، با دریا در ارتباط است. کرانه ایرانی خلیج فارس، کرانه‌ای کوهستانی با روند شمال باختری است که پشته‌های تاقدیسی با بلندی بیش از ۱۵۰۰ متر هستند. به همین دلیل، ساختارهای کرانه شمالی خلیج فارس، از دیدگاه هندسی، با آنچه در کرانه جنوبی است، تفاوت دارد.

توپوگرافی زیردریایی خلیج فارس از برخورد ساختارهای کرانه عربی و رشته‌کوه زاگرس، تشکیل شده است. اگرچه شیب بستر بسیار آرام است، ولی حدود ۲۰ جزیره و تعدادی پشته‌های کوتاه و بلند زیردریایی در آن وجود دارد که بی‌هنجاری‌های توپوگرافی را تشکیل می‌دهند. جزایر ایرانی خلیج فارس از نظر شکل کلی یا به صورت پشته‌های کشیده و موازی ساحل و یا کم‌وبیش دایره‌ای شکل هستند [۱۲]. از گروه نخست، جزایر قشم و کیش را می‌توان نام برد که در واقع دنباله زاگرس بوده و بر اثر بالا آمدن سطح آب به صورت جزیره درآمده‌اند. ولی جزایری مانند هرمز، ابوموسی، تنب کوچک و بزرگ جزئی از گنبد‌های نمکی سری هرمز هستند که در اثر بالا آمدن نمک از لایه‌های زیرین به وجود آمده‌اند [۶]. سطح این جزایر، بیشتر از رسوبات تخریبی و مارن تشکیل شده و کم‌وبیش دارای صدف هستند. علاوه بر این، خاک این جزایر شور و یا گچ‌دار است و به همین دلیل رشد گیاهان محدود به انواع خاص است.



شکل ۲-۲- ستون چینه‌شناسی خلیج فارس و سازندهای حاوی نفت و گاز در آن [۱۳]

۱-۳-۲- رسوبات در خلیج فارس

ردیف رسوبات شناخته شده در نواحی فارس و خلیج فارس از پرکامبرین تا کنگلومرای بختیاری را در برمی‌گیرد که در ناحیه شمال بندرعباس بیشترین ضخامت و در محدوده میدان‌های پارس جنوبی و هامون کمترین ضخامت را شامل می‌شود [۱۴]. به طور کلی رسوبات عهد حاضر خلیج فارس، از سمت ساحل به سمت اعماق، دانه‌ریزتر می‌شوند، به گونه‌ای که مارن‌ها در بخش مرکزی خلیج فارس تشکیل و نهشته می‌شوند. آهک‌های مارنی، عمیق‌ترین رخساره عهد حاضر خلیج فارس است [۱۲]

رسوبات بستر در سواحل شرقی و غربی ایرانی خلیج فارس دانه‌ریز بوده و از نوع گل و گل ماسه‌ای است در حالی که بستر خلیج فارس در نواحی دور از ساحل بحرین، قطر، امارات متحده عربی، در اطراف جزایر و در نواحی بلند بستر سنگی با رسوبات دانه‌درشت‌تر ماسه‌ای تا ماسه گلی پوشیده شده است. مارن‌ها از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده رسوبات در بخش عربی خلیج فارس هستند در حالی که در نواحی ساحلی ایران میزان کربنات‌های موجود در رسوبات به ۵۰ تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. کربنات کلسیم موجود در رسوبات شامل: کربنات‌های تخریبی حاصل از تخریب سازندهای آهکی و کربنات‌ها با منشأ زیستی است که کربنات‌های زیستی آن توسط اندامگان‌های آهن‌ساز مانند فرامینفرا، مرجان‌ها، جلبک‌ها و بریوزوآ تولید می‌شوند. افزایش میزان کربنات کلسیم با افزایش قطر میانگین ذرات رسوبی بالاتر از ۶۳ میکرون رابطه مستقیم دارد [۱۵].

در مناطق بین جزر و مدی خرده‌های کربنات‌های زیستی به وسیله سیمان آراگونیتی به هم متصل می‌شوند. در حالی که در زمین‌های مسطح بالای منطقه جزر و مدی، دولومیت همراه با گچ بیشتر مشاهده می‌شود. در اثر عملکرد امواج ساحلی، آلیت‌های آهکی در مناطق کم‌عمق و پرانرژی اطراف قطر و تنگه هرمز به وفور تشکیل می‌گردد. موجودات زنده نظیر ریف‌های مرجانی و جلبکی به صورت ریف‌های حاشیه‌ای و یا به صورت توده‌ای و حجیم در آن وجود دارند. همچنین در مجاورت کولاب‌های اشباع شده از نمک، گسترش جلبک‌های آبی‌رنگ نیز مشاهده می‌گردد [۱۶].

رسوبات آبرفتی به طور عمده از طریق دلتای اروندرود به خلیج فارس وارد می‌شوند اما سایر رودهای دائمی و فصلی منتهی به خلیج فارس نیز در حمل و رسوب‌گذاری مارن و آهک در سواحل شمالی خلیج فارس سهم به سزایی دارند. علاوه بر این، مواد حمل شده توسط باد بر فراز خلیج فارس که به صورت توده‌های گردوغبار و ماسه است، گاهی با رسوبات دریایی مخلوط شده و رسوبات دوگانه دریایی - بادی را به وجود می‌آورند [۱۶].

بر اساس نظریات ریر و محافظ سری رسوبات خلیج فارس (شکل ۲-۳) از رخساره‌های مختلفی تشکیل شده که عبارتند از:

(۱) رسوبات تبخیری به ضخامت ۱۰۰۰ متر که متشکل از رسوبات رسی، دولومیت‌های

ورقه‌ای (سری هرمز)، توفها و ریولیت‌های مربوط به دوره اینفراکامبرین

(۲) سری رسوبات ناشی از پیشروی دریا بر روی قاره‌ها به ضخامت ۵۰۰ متر و متشکل از

رسوبات رسی - تخریبی همراه با آهک‌های دریایی فسیل‌دار به صورت بین لایه‌ای

مربوط به دوره کامبرین

(۳) سری رسی - تخریبی به ضخامت تقریبی ۷۰۰ متر مربوط به سیلورین

(۴) سری ماسه‌سنگی به ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مربوط به دوره کربونیفر

(۵) آهک فوزولین‌دار به ضخامت تقریبی ۵۰۰ متر مربوط به دوره پرمین

(۶) تناوبی از دولومیت و انیدریت که ضخامت آن‌ها به ۱۰۰۰ متر می‌رسد مربوط به دوره

تریاس (در این بخش رسوبات پرمین به طور پیوسته به تریاس ختم می‌شوند)

(۷) رسوبات آهکی ناشی از پس‌روی دریا و ته‌نشینی رسوبات انیدریت به ضخامت ۸۰۰

متر مربوط به دوره ژوراسیک

(۸) رسوبات کربناته به ضخامت تقریبی ۶۰۰ متر که به وسیله رسوبات رسی کژدمی

(آلبین) پوشانده شده‌اند؛ مربوط به کرتاسه زیرین.

(۹) رسوبات کربناته به ضخامت ۲۰۰ متر مربوط به دوره کرتاسه میانی. این لایه به دلیل

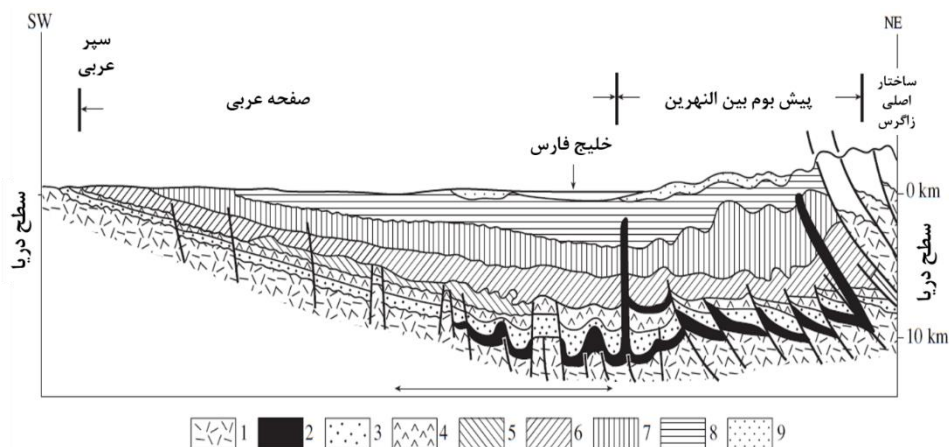
بیرون ماندن از آب و حرکات خشکی‌زایی ضخامت خود را از دست داده‌اند.

(۱۰) رسوبات دریایی مارنی همراه با رسوبات آهکی بین لایه‌ای به ضخامت چند صد متر

مربوط به کرتاسه فوقانی. این رخساره مارنی تا دوره ائوسن ادامه دارد.

(۱) در بخش غربی آهکی و در بخش شرقی رسی است. ضخامت این لایه بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر و مربوط به دوره ائوسن است.

(۱۲) در بخش فوقانی آهک‌های آسماری لایه‌های رسی - تبخیری به ضخامت ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر وجود دارند که مربوط به دوره اولیگوسن و میو - پلیوسن است. ضخامت این سری در بخش شمالی حوزه خلیج فارس اندک ولی به سمت جنوب شرقی ضخامت آن بیشتر است و به ۳۰۰ متر می‌رسد [۱۷].



شکل ۲-۳- ساختار رسوبات خلیج فارس در مرکز آن به طوری که صفحه عربی در سمت چپ و کمربند زاگرس در سمت راست قرار دارد.

(۱) پرکامبرین، (۲) نمک‌های کامبرین، (۳ تا ۹) سنگ‌های رسوبی در دوره‌های (۳) پالئوزویک پایینی و میانی، (۴) پرمین، (۵) تریاس، (۶) ژوراسیک، (۷) کرتاسه، (۸) ترشیاری، (۹) کواترنری [۱۸]

به طور کلی رسوبات سطحی خلیج فارس در بخش ایرانی آن متشکل از رسوبات کربناتی (شیمیایی، زیست‌شیمیایی) و آواری (رودخانه‌ای، غبار) می‌باشد و نقش رسوبات کربناتی بر آواری برتری دارد [۱۱]. رسوبات آواری بیشتر در رسوبات سطحی و زیرین بستر خلیج فارس وجود دارند و حضور آن‌ها بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی کوه‌های زاگرس و انتقال

رسوبات توسط رودخانه‌های منتهی به حوضه است [۱۰]. کانی‌های سازنده رسوبات خلیج فارس عبارتند از: کلسیت، آراگونیت، کوارتز، دولومیت، فلدسپار، مسکوویت و کانی‌های رسی [۱۹]. حضور کانی‌های رسی و مقادیری رسوب کربناتی در شمال باختری خلیج فارس ناشی از طوفان‌های گردوخاک جنوب عراق و کویت، رودخانه‌های منتهی به خلیج و تهنشینی مستقیم آن‌ها از آب دریاست [۲۰].

۲-۳-۲- نرخ رسوب‌گذاری در خلیج فارس

رسوب‌گذاری دریایی خلیج فارس از ۱۸ هزار سال قبل که پیشروی دریا به سمت خشکی رخ داده، آغاز شده است [۲۱]. نرخ رسوب‌گذاری خلیج فارس در بخش‌های مختلف آن متفاوت است. این تفاوت بیشتر ناشی از نوع رسوبات و ریخت‌شناسی مناطق مختلف است. به طور کلی رسوبات خلیج فارس از دو منبع داخلی (خرد شدن قطعات سنگی، اجزای ریف و موجودات زنده) و خارجی (رودخانه‌های منتهی به خلیج و طوفان‌های غبار) تغذیه می‌شوند [۱۹]. میانگین نرخ رسوب‌گذاری در بخش ایرانی خلیج فارس ۸۰ تا ۵۰۰ سانتی‌متر در هزار سال (۸/۰ تا ۵ میلی‌متر در هر سال) است [۲۱]. در مناطق کم‌عمق سواحل بوشهر و بین بندرعباس - قشم، نرخ رسوب‌گذاری حدود یک میلی‌متر در سال محاسبه شده است [۱۱].

۲-۳-۳- شکستگی‌ها و گسل‌ها در خلیج فارس

در منطقه حاشیه خلیج فارس شکستگی‌هایی شناسایی شده است که مهم‌ترین آن‌ها گسل رازک و گسل کازرون هستند. گسل رازک از بندر نخیلو شروع شده و تا حدود ۲۳۵ کیلومتر در جهتی تقریباً عمود بر امتداد محور چین‌خوردگی‌ها به سوی راندگی زاگرس ادامه می‌یابد و سرانجام در نزدیکی کوه بیران در منطقه‌ای که شکستگی‌ها زیاد می‌شوند در امتداد تغییر جهت راندگی زاگرس به سوی جنوب ناپدید می‌شود. گسل رازک به طور عرضی تمام نوار زاگرس چین‌خورده را قطع می‌کند ولی هیچ‌گونه جابه‌جایی امتدادی بعد از کوهزایی زاگرس (پلیوسن) در آن دیده نمی‌شود؛ اما چون به خوبی در سطح زمین قابل مشاهده است، لذا باید تمام سری‌های

رسوبی از عمق تا سطح را قطع کرده باشد؛ بنابراین، گسل رازک را می‌توان حاصل فعالیت یک گسل قدیمی پی‌سنگ در زاگرس دانست که فعالیت مجدد آن بعد از کوه‌زایی زاگرس یا در مرحله پایانی فعالیت آن به وقوع پیوسته و در سطح خود را نمایان کرده است [۲۲]. حدود ۸۵ درصد از بیرون‌زدگی گنبد‌های نمکی در شرق گسل رازک و ۲۵ درصد از آن‌ها در غرب آن قرار دارند. بررسی‌های دقیق گنبد‌های نمکی جنوب ایران نشان داده است که در شمال بندرلنگه و شمال بندر کنگان، پراکندگی گنبد‌های نمکی فراوان‌تر است. گسل کازرون گسل مهمی در منطقه خلیج فارس است که خود متشکل از چندین گسل متفاوت می‌باشد. این گسل ۲۱۰ متری از کوه دینار در شمال شروع می‌شود و تا ساحل بوشهر و قطر ادامه دارد. گسل کازرون به احتمال زیاد حاصل فعالیت یک گسل قدیمی در پی‌سنگ منطقه است.

۲-۴- زمین‌شناسی استان بوشهر

استان بوشهر دارای طبیعت و ساختارهای زمین‌شناختی منحصر به فردیست که به واسطه موقعیت، جغرافیایی، آب‌وهوا و مرز مشترک با خلیج فارس ایجاد شده است [۲۳]. قدیمی‌ترین واحد رسوبی استان بوشهر که بخشی از واحدهای گروه فارس است، به اوایل میوسن می‌رسد. از میان واحدهای سنگی گروه فارس، سازند آغاچاری به ویژه بخش لهبری آن بیشترین گستردگی را دارد که تغییرات سنی آن‌ها از میوسن میانی تا پلیوسن است. کنگلومرای بختیاری به عنوان یک ردیف سنگ چینه‌ای پلیو- پلیوسن عموماً در بخش کوهپایه‌ای تاقدیس‌ها و یا در هسته ناودیس‌ها رخنمون دارند [۲۴]. توالی واحدهای چینه نگاری در نواحی جنوب شرقی (شرق گسل کازرون) کامل‌تر است (شکل ۲-۴). پیرترین واحد سنگی این بخش مجموعه تبخیری - آوری سری هرمز است که سن پرکامبرین پسین - کامبرین دارد و به صورت چند گنبد نمکی در هسته تاقدیس و یا در امتداد گسل کازرون برون‌زد دارند (شکل ۲-۵). هر یک از سازندهای استان بوشهر دارای ویژگی‌های ساختاری و سنگ‌شناختی متفاوتی هستند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود. علاوه بر این، خلاصه‌ای از سازندها و ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

۲-۴-۱- سازندها

۲-۴-۱-۱- سری هرمز

سری هرمز قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناسی منطقه است و فاقد مقطع نمونه می‌باشد. ردیف کامل آن در هیچ منطقه‌ای از زاگرس رخنمون ندارد. سنگ‌های این واحد عبارتند از: سنگ نمک به رنگ‌های گوناگون، انیدریت، ژیپس، لایه‌های نازکی از آهک‌های سیاه‌رنگ و دولومیت‌های بدبوی چرتی، ماسه‌سنگ‌های قرمز، شیل‌های رنگارنگ و رس‌های قرمز. علاوه بر این، سنگ‌های آذرین مانند بازالت، تراکیت، کراتوفیر و ریولیت نیز همراه با کانی‌های کلسیت، دولومیت و همتایت در آن دیده می‌شوند. بر اساس مطالعات انجام شده، سن سری هرمز از کامبرین زیرین تا کامبرین میانی است و ضخامت آن از ۹۰۰ تا ۴۰۰۰ متر متغیر می‌باشد [۲۵، ۲۶].

۲-۴-۱-۲- سازند کژدمی

این سازند از لایه‌های شیل و مارن خاکستری و قهوه‌ای همراه با لایه‌های نازک آهک رس‌دار کرم‌رنگ تشکیل شده است. در این سازند، لایه‌های ضخیم آهک در بخش میانی قابل مشاهده است. حد پایینی سازند کژدمی با سازند داریان و حد بالایی آن با آهک‌های بنگستان قابل انطباق است. سن سازند شیلی - آهکی کژدمی از آلبین تا سنومانین در نظر گرفته می‌شود. این سازند در هسته تأقدیس‌های شاه‌نشین و گیسکان رخنمون دارد [۲۶].

۲-۴-۱-۳- سازندهای سروک و ایلام

سازندهای آهکی ایلام و سروک در اغلب نقاط استان یک رخساره آهکی کم‌عمق را تشکیل می‌دهند. وجود گرهک‌های چرت که رنگ سطح آن‌ها قرمز و قهوه‌ای است، از ویژگی‌های این سازندهاست. سن سازند سروک را آلبین تا تورونین و سن سازند ایلام را کامپانین در نظر گرفته می‌شود. این دو سازند را می‌توان در هسته تأقدیس‌های شاه‌نشین، دشتک، سربالش و گیسکان مشاهده کرد.

۲-۴-۱-۴- سازند پابده - گورپی

این سازند از لایه‌های مارن و شیل بارنگ‌های مختلف تشکیل شده است. رنگ لایه‌های شیل در بخش پابده ارغوانی و خاکستری و در بخش گورپی خاکستری مایل به آبی است. علاوه بر این، لایه‌های نازک آهک‌های رسی در آن دیده می‌شود. سن این سازند کرتاسه بالایی است و در برش نمونه، حد بالایی آن سازند آسماری و در برخی قسمت‌ها جهرم است. این سازند را می‌توان در هسته تأقدیس‌های شاه‌نشین، دشتک، سربالش و گیسکان دید. با توجه به نفوذپذیری پایین سنگ‌ها، این سازند فاقد ارزش هیدروژئولوژیکی است.

۲-۴-۱-۵- سازند جهرم

این سازند دارای سه بخش است: بخش زیرین که متشکل از دولومیت‌های قهوه‌ای‌رنگ است، بخش میانی شامل دولومیت نازک لایه تا متوسط لایه و بخش بالایی که از آهک دولومیتی با میکروفسیل‌های فراوان تشکیل یافته است. سن این سازند ائوسن است.

۲-۴-۱-۶- سازند آسماری

این سازند از آهک‌های کرم تا قهوه‌ای تشکیل شده است. حد زیرین این سازند، در برخی قسمت‌ها شیل‌ها و مارن‌های سازند پابده - گورپی را می‌پوشاند و در برخی قسمت‌ها سازند جهرم را فرا می‌گیرد. در مرز بالایی آن، سازند گچساران (و در برخی قسمت‌ها سازند رازک) قرار دارد. در تمام مناطق زاگرس، هر جایی که سازند آسماری زیر سازند گچساران قرار گیرد، سنگ مخزن نفت محسوب می‌شود. سن سازند آسماری الیگوسن است.

۲-۴-۱-۷- سازند گچساران

این سازند به طور عمده از لایه‌های مارن سبز متمایل به خاکستری و قهوه‌ای همراه با نوارهایی از مارن با لایه‌های سفید و خاکستری ژیپس و انیدریت و لایه‌های آهکی خاکستری تشکیل شده است. از آنجا که مقاومت سازند گچساران پایین است، اغلب، درز و شکستگی‌های

فراوانی دارد. سن آن میوسن پایینی است و حد پایینی و بالایی آن سازندهای آسماری - جهرم و میشان می‌باشد. در بخش غربی گسل کازرون و در شمال کمارج این سازند به وفور مشاهده می‌شود. این سازند نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد.

۲-۴-۱-۸- سازند میشان

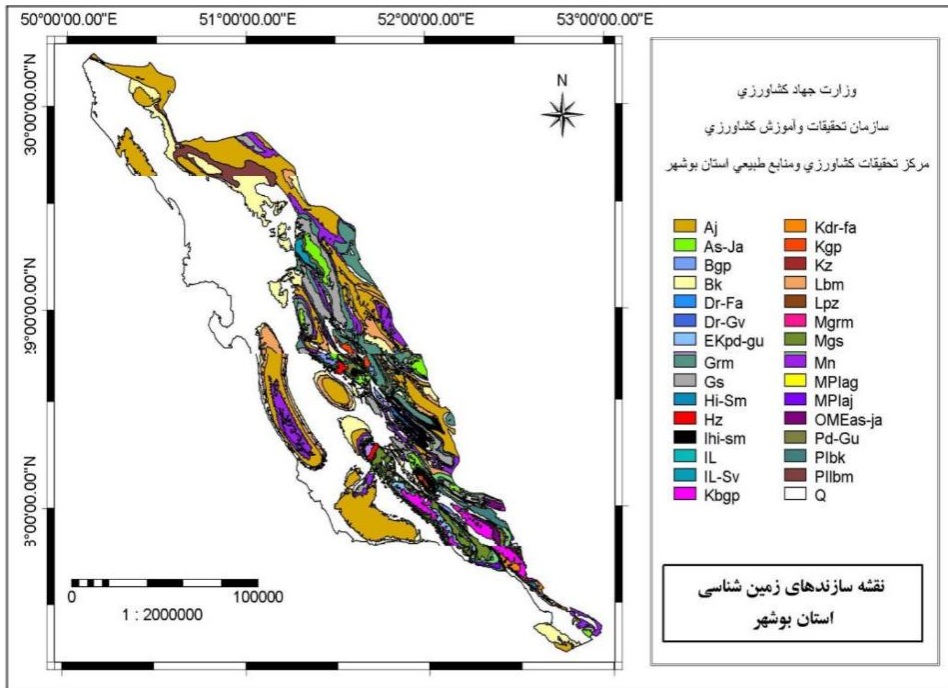
این سازند بیشتر از آهک‌های صدف‌دار در تناوب با مارن‌های خاکستری تشکیل شده است. حد پایینی سازند میشان با سازند گچساران به صورت ناگهانی و همساز است و حد بالایی آن نیز با سازند آغاچاری همساز است. سن سازند میشان از میوسن پایینی تا میوسن میانی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴-۱-۹- سازند آغاچاری

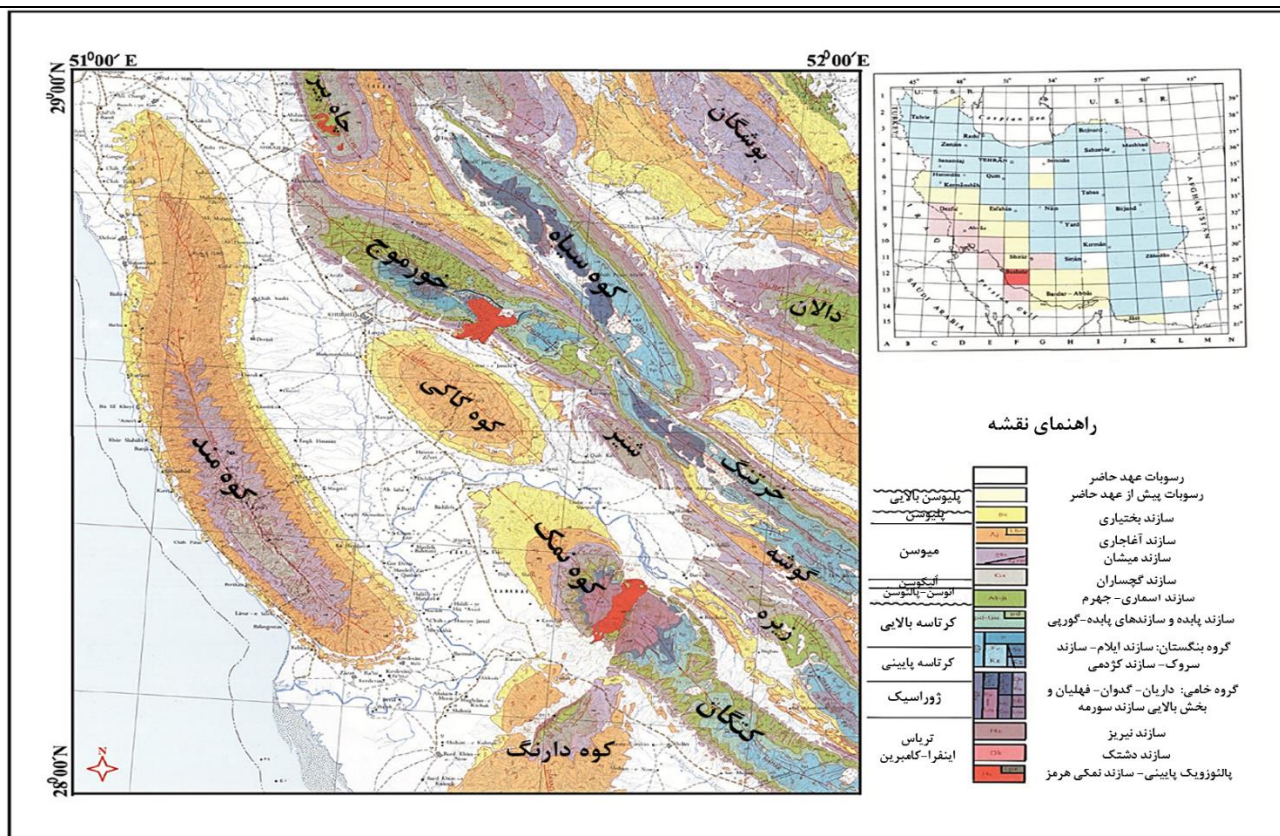
این سازند شامل تناوب ماسه‌های آهکی قهوه‌ای تا خاکستری و مارن‌های قرمز رنگ با رگه‌های ژئپس و در نهایت سنگ سیلت قرمز رنگ است. مرز بالایی سازند آغاچاری به صورت تدریجی و همساز با کنگلومرای بختیاری است و سن آن میوسن بالایی تا پلیوسن است.

۲-۴-۱-۱۰- سازند کنگلومرای بختیاری

نام این سازند از اسم قبیله بختیاری گرفته شده است و از کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های آهکی چرتی تشکیل شده است. این کنگلومرا شامل قطعات خوب گرد شده در ابعاد خرده قلوه‌سنگ و ریگ می‌باشد که از مجموعه رخنمون‌های زاگرس با سنین مختلف فرسایش یافته‌اند و با سیمان کلسیتی درشت‌دانه که معرف محیط آب شیرین است، به هم سیمان شده‌اند. در کنگلومرای بختیاری ذرات چرت به فراوانی یافت می‌شود ولی ترکیب اصلی را ذرات و قطعات آهکی تشکیل می‌دهند. در سازند بختیاری فسیل‌های قابل تشخیص یافت نشده و سن آن پلیوسن پایانی و جوان‌تر از آن ذکر شده است.



شکل ۲-۴ - سازندهای زمین‌شناسی استان بوشهر [۱]



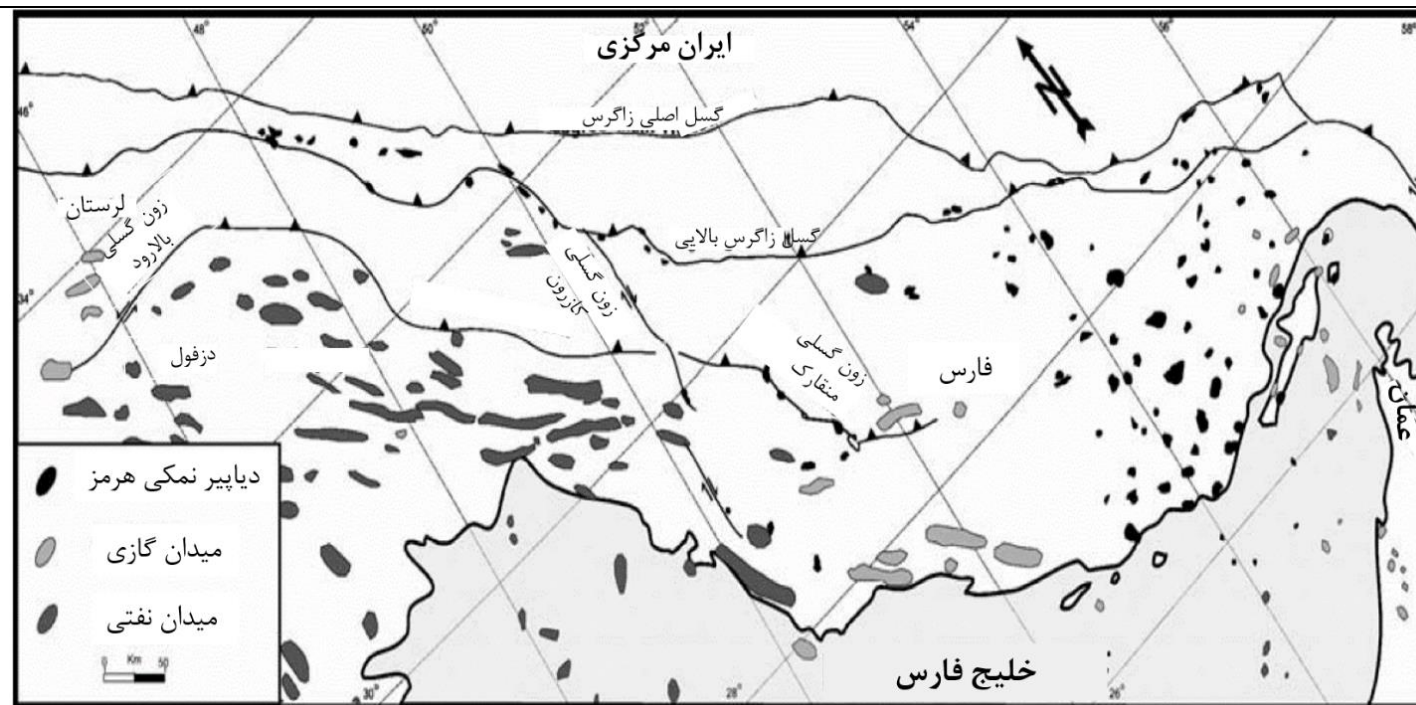
شکل ۲-۵- موقعیت مکانی و ویژگی‌های زمین‌شناختی مهم‌ترین تاقدیس‌ها و گنبد‌های نمکی (پلی‌گون‌های قرمز) استان بوشهر [۲۴، ۲۷]

جدول ۲-۱- ویژگی‌های زمین‌شناختی سازندهای استان بوشهر (۱، ۲۸)

نام سازند	سنگ‌شناسی	سن	استحکام سنگ	وضعیت هوازدگی	حساسیت به هوازدگی	نفوذپذیری
بختیاری	کنگلومرای سیمانی شده همراه با لایه‌های ماسه سنگ	پیوسن	ضعیف - نسبتاً قوی توالی لایه‌های ضعیف و قوی	هوازدگی متوسط	متوسط	متخلخل و نفوذپذیر
آغاجاری	سنگ‌آهک ماسه‌ای قهوه‌ای، ژپس و مارن قرمز و سیلت سنگ	میوسن	ضعیف - نسبتاً قوی	هوازدگی متوسط	غیرقابل نفوذ	
میشان	سنگ‌آهک، مارن و مارن شیلی	میوسن	ضعیف - نسبتاً قوی	نسبتاً هوازده	غیرقابل نفوذ	
گچساران	مارن‌های ژپسی، سنگ‌آهک و دولومیت، انیدریت	میوسن پیشین	ضعیف - نسبتاً قوی	نسبتاً هوازده	غیرقابل نفوذ	
رازک	ماسه سنگ و مارن‌های قرمز و سبز	الیگومیوسن	ضعیف	نسبتاً هوازده	غیرقابل نفوذ	
آسماری	سنگ‌آهک	الیگومیوسن	قوی - بسیار قوی همگن	نسبتاً هوازده	نفوذپذیری پایین در اعماق زیاد	
چهرم	دولومیت	اتوسن	قوی - بسیار قوی	بسیار هوازده	زیاد	نفوذناپذیر
پابده - گورپی	شیل و مارن سنگ	کرتاسه بالایی	ضعیف - نسبتاً قوی توالی لایه‌های ضعیف و قوی، نایکنواخت	بسیار هوازده	زیاد	نفوذناپذیر
ایلام	چرت‌های قرمز و قهوه‌ای	کامپانین	نسبتاً قوی	هوازدگی کم	غیرحساس	نفوذپذیری پایین در اعماق زیاد
سروک	چرت‌های قرمز و قهوه‌ای	آلبین تا تورونین	قوی - بسیار قوی همگن	هوازدگی کم	غیرحساس	نفوذپذیری پایین در اعماق زیاد
کژدمی	شیل و سنگ‌آهک	آلبین تا سنومانین	ضعیف - نسبتاً قوی نایکنواخت	هوازدگی متوسط	متوسط	نفوذناپذیر
سری هرمز	ترکیبی از سنگ‌های آذرین و پیروکلاستیک، مارن و نمک	پرکامبرین بالا - پرکامبرین زیرین	ضعیف - نسبتاً قوی غیر همگن - نایکنواخت	هوازدگی زیاد	بسیار زیاد	نفوذناپذیر

۲-۴-۲- چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های استان بوشهر

روند کلی چین‌خوردگی‌های زاگرس شمال‌غرب - جنوب‌شرق بوده و به موازات گسل تراست زاگرس است و طول تاقدیس زاگرس بین ۶ تا ۲۰۰ کیلومتر متغیر است [۲]. گسل قطر - کازرون با طول تقریبی ۳۰۰ کیلومتر در شرق شهرستان دشتستان واقع است. این گسل از روستای خشت آغاز می‌شود و با کمی انحراف به سمت باختر تا منطقه‌ای در جنوب شهر خورموج ادامه دارد [۲۹]. این گسل به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود. در امتداد گسل قطر - کازرون و در بخش شرقی آن، برون‌داد گنبد‌های نمکی قابل مشاهده است در حالی که در سمت غرب آن گنبد نمکی وجود ندارد (شکل ۲-۶). بنابراین، به نظر می‌رسد که این گسل در زمان ته‌نشست سری نمکی هرمز، فعال بوده است [۳۰]. تاقدیس گیسکان با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق یکی از بزرگ‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در شهرستان بوشهر است [۲۳]. این تاقدیس به شدت تحت تأثیر گسل برازجان قرار گرفته است و نیروهای کششی این گسل باعث ایجاد شکستگی متعددی در منطقه شده است [۳۱]. گسل برازجان، گسلی راستالغز است که با طول تقریبی ۱۸۰ کیلومتر در غرب گسل کازرون قرار گرفته است و در نتیجه جابه‌جایی راست‌گرد در طول این گسل، محور شمال‌غرب - جنوب‌شرق تاقدیس‌های خورموج و گیسکان به سمت یک روند شمالی - جنوبی، کشیدگی و چین‌خوردگی پیدا کرده‌اند [۲۷]. این گسل، جدا کننده لایه‌های به شدت چین‌خورده فارس و لایه‌های کم‌چین‌خورده دزفول است [۳۰]. همان‌طور که در شکل ۲-۷ در محل‌هایی که گسل برازجان به صورت امتدادلغز عمل کرده است، تاقدیس‌های گیسکان، چاه‌پیر، خورموج و سیاه نیز به موازات گسل برازجان جابه‌جا شده‌اند [۲۹]. شکل ۲-۸ نیز مقطع عرضی گسل کازرون در تاقدیس گیسکان و جابه‌جایی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. گسل دارنگ (بردخون) گسلی امتدادلغز در منطقه تاقدیس دارنگ و با راستای شمالی - جنوبی است که طول آن بیش از ۶۰ کیلومتر می‌باشد. این گسل در بخش شمالی خود به صورت خمش مهارای و در بخش جنوبی به صورت خمش‌رهایی عمل کرده و شرایط مناسب برای حرکت هیدروکربورها را در منطقه فراهم کرده است [۲۷].

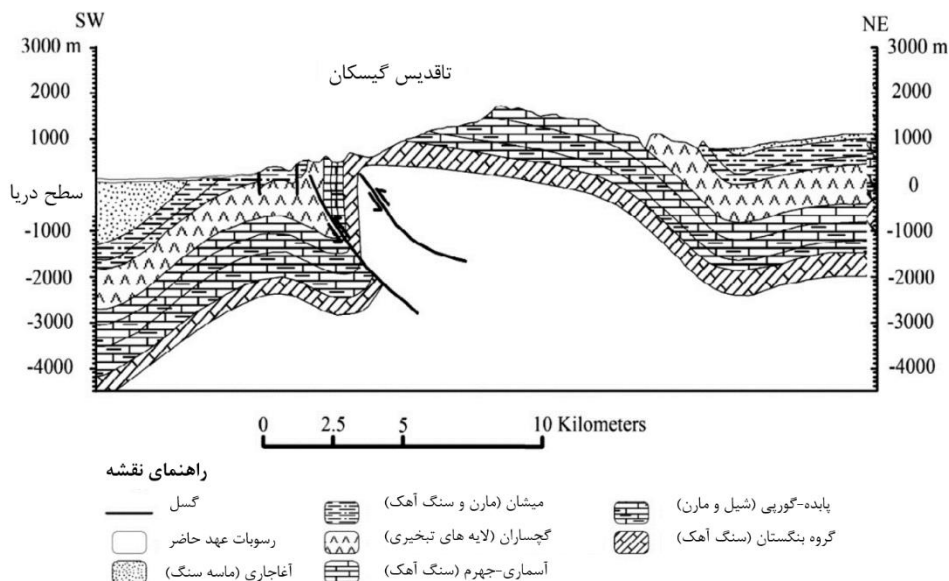


شکل ۲-۶- نقشه موقعیت گسل کازرون و توزیع پراکندگی گنبد‌های نمکی هرمز
و ذخایر نفت و گاز در زاگرس [۲۹]

گسل کمارج نیز دیگر گسل استان بوشهر است که ادامهٔ گسل یاسوج می‌باشد اما جابه‌جایی عمودی آن در استان بوشهر قابل ملاحظه است [۲۹]. گسل اسلام‌آباد در جنوب بخش شنبه و در مجاورت روستای ابلهان با راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق ایجاد گردیده است. این گسل تراستی (دارای شیب شمال‌شرقی) باعث شده که نهشته‌های سازند گچساران در بعضی از نقاط بر روی سازند میشان قرار گرفته باشند. گسل نرمال خرتنگ با جهت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی در دامنه‌های جنوب‌غربی تاقدیس‌های خرتنگ و سیاه قرار گرفته و باعث راندگی و پیدایش چشمه‌های کارستی در دامنه جنوب‌غربی این تاقدیس‌ها شده و دشت باریک پشت تنگ در شمال شنبه و دشت طلحه در جنوب دشت بوشکان را شکل داده است [۳].



شکل ۲-۷- موقعیت گسل برازجان نسبت به تاقدیس‌های گیسکان، چاه‌پیر، خورموج و سیاه [۲۹]



شکل ۲-۱- مقطع عرضی گسل برازجان در تاقدیس گیسکان و جابه‌جایی لایه‌های زمین [۳۲]

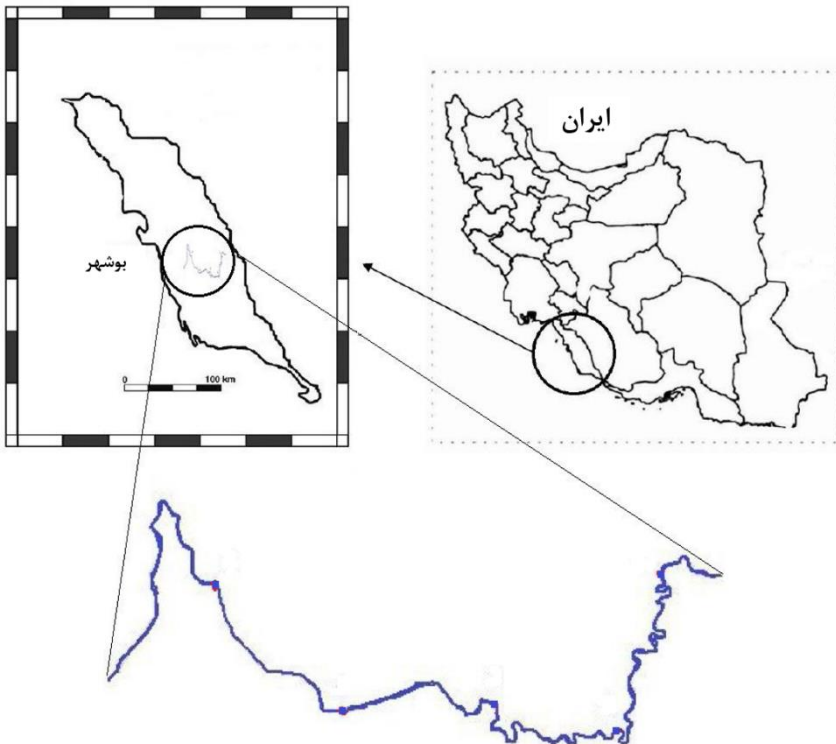
۲-۴-۳- رودخانه‌های استان بوشهر و کیفیت آب آن‌ها

استان بوشهر دارای رودخانه‌های فصلی و دائمی زیادی است که از آن میان، رودخانه‌های مند، حله، دالکی، باهوش، باغان و شاپور مهم‌ترین رودخانه‌های استان بوشهر محسوب می‌شوند. رودخانه مند با طول ۷۳۵ کیلومتر پنجمین رودخانه طویل ایران و مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه استان بوشهر است. این رودخانه از استان فارس سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از چهرم، فیروزآباد، جم، دشتی و دیر، در نهایت در جنوب بندر کنگان به خلیج فارس می‌ریزد [۳۳].

دو رودخانه دالکی و شاپور در شهرستان دشتستان استان بوشهر قرار دارند که سالانه به ترتیب ۵۳۰ و ۴۲۵ میلیون مترمکعب آب را جابه‌جا می‌کنند [۳۴] و حدود دو میلیون درخت نخل با آن‌ها آبیاری می‌شوند. شوری آب رودخانه دالکی ناشی از عبور آب از سازندهای گچساران، آجاجاری و میشان و چشمه آب گرم دالکی است [۳۱]. غلظت بالای جامدهای حل نشده کل (TDS) و سولفات در رودخانه شاپور ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری (هالیت و ژیپس) و اختلاط آب رودخانه با آب زیرزمینی منطقه است [۳۱].

رودخانه حله از اتصال دو رودخانه شاپور و دالکی در ۱۰ کیلومتری شمال غرب برازجان ایجاد می‌شود. جهت جریان آن ابتدا از شرق به غرب به طول حدود ۴۰ کیلومتر و سپس به سمت جنوب غرب متمایل شده و پس از طی ۲۰ کیلومتر به خلیج فارس می‌ریزد [۳۵]. از آب این رودخانه نیز برای آبیاری نخلستان‌های و مزارع منطقه استفاده می‌شود [۳۴].

رودخانه سیاه‌رود که از چشمه‌های آهکی دشت دادین سرچشمه گرفته و دارای دبی قابل ملاحظه‌ای است، در انتهای دشت دادین به رودخانه دالکی ملحق می‌شود و دبی تابستانی آن را تشکیل می‌دهد [۳۵].



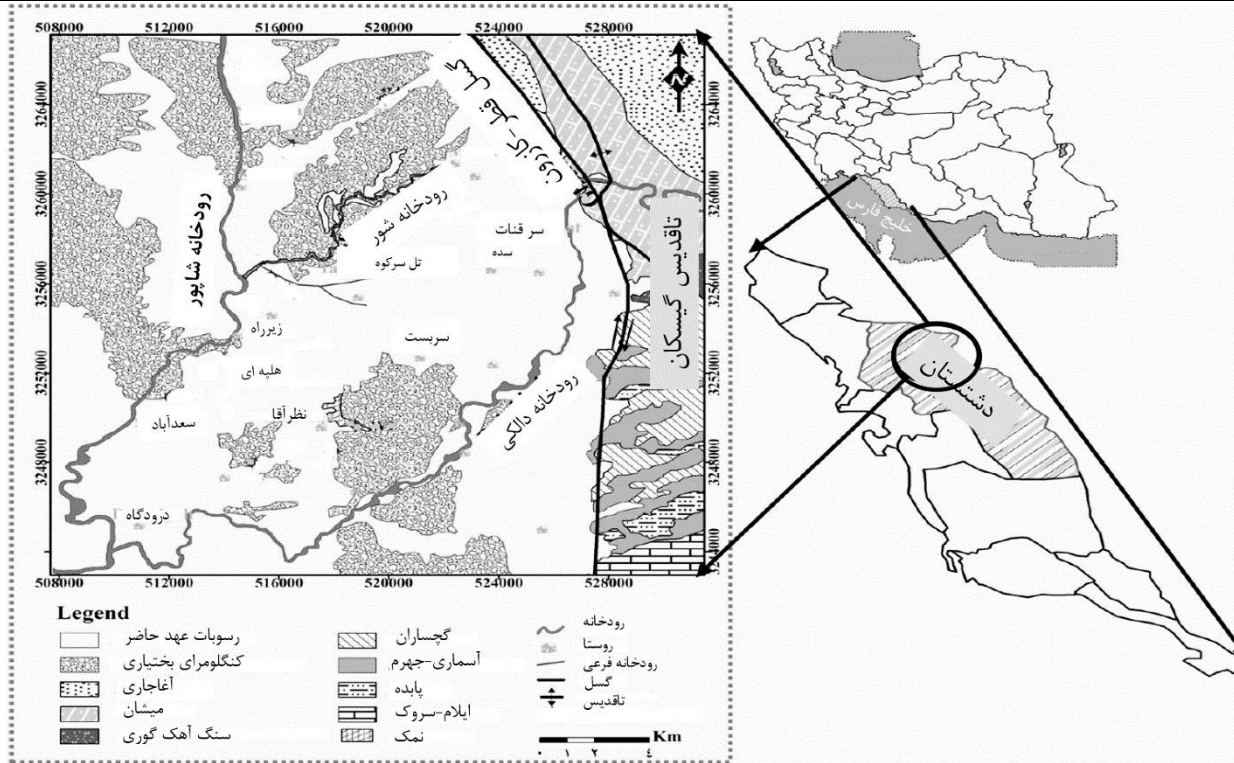
شکل ۲-۹- موقعیت جغرافیایی رودخانه باهوش در استان بوشهر [۳۷]

رودخانه باهوش یک رودخانه دائمی به طول ۱۲۱ کیلومتر در شهرستان تنگستان واقع شده است [۳۶]. این رودخانه از بلندی‌های کلمه و فاریاب و کوه‌های سیاه و مور تلخی واقع در بوشکان، خورموج، کوه‌های بیرمی و قلعه دختر که بلندترین کوه‌های شهرستان تنگستان هستند، سرچشمه می‌گیرد. این رود از دو شاخه اصلی به نام‌های باهوش و شیرین تشکیل شده است و در نهایت وارد اراضی دشت اهرم می‌شود. عرض متوسط این رود ۷ متر، میانگین عمق آن ۶۰ سانتی‌متر و بیشینه عمق آن دو متر است [۳۷]. شکل ۲-۹ موقعیت جغرافیایی رودخانه باهوش را در استان بوشهر نشان می‌دهد.

رودخانه شور (شکل ۲-۱۰) از انحلال کانی‌های تبخیری مانند هالیت و ژیپس، تبخیر شدید آب‌های جاری و حرکت کند آب‌های زیرزمینی در منطقه تشکیل شده است [۳۱].

۲-۴-۴- رسوبات ساحلی استان بوشهر

سواحل بوشهر بیشتر از رسوبات آواری که از کوه‌های شمال و شرق استان همراه با جریان‌های آبی به مناطق ساحلی حمل شده‌اند، تشکیل شده است. آب‌وهوای گرم‌وخشک منطقه نیز باعث تبخیر شدید آب‌های خلیج فارس و رسوب‌گذاری نمک در این سواحل شده است. علاوه بر این، مقداری از مواد رسوبی نیز با آب‌های زیرزمینی به مناطق ساحلی راه می‌یابد. همچنین نقش بادهای شمال‌غرب در حمل مقدار زیادی خاک‌های نرم به سواحل و رسوبات با منشأ زیستی نیز غیرقابل چشم‌پوشی است [۳۸]. ماسه‌های ساحلی استان بوشهر عمدتاً از ماسه، سیلت، رس و بقایای زیستی تشکیل شده‌اند [۳۹]. بررسی بافت رسوبات ساحلی استان بوشهر نشان داد که آن‌ها در گروه رسوبات لومی از لوم سیلتي تا لوم ماسه‌ای متغیرند [۳۸].



شکل ۲-۱۰- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی دو رودخانه دالکی و شاپور

در شهرستان دشتستان استان بوشهر [۳۱]

۲-۵- منابع

- (۱) فخری، ف.، جعفری، س. م. الف.، خسروشاهی، م. بررسی عوامل زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل بیابان‌های استان بوشهر و تعیین قلمرو آن. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳۸۶. جلد ۱۴، شماره ۳، صفحات ۳۹۱-۴۰۲.
- (۲) فرزین، م.، نظری سامانی، ع. الف.، فیض نیا، س.، کاظمی، غ. تعیین نواحی احتمالی تخلیه آب زیرزمینی زیر دریایی به سواحل خلیج فارس در استان بوشهر با استفاده از نقشه ناهنجاری دمای استاندارد. مجله اکو هیدرولوژی، ۱۳۹۶. دوره ۴، شماره ۲، صفحات ۴۷۷-۴۸۸.
- (۳) صائب، ز. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه چاهگاه، استان بوشهر. ۱۳۹۱، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز. ایران.
- (۴) طباطبایی، ط.، امیری، ف. مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی بر اساس ارزیابی چند معیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: استان بوشهر). مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۳۹۴. سال ۶، شماره ۱، صفحات ۱-۱۵.
- 5) Berberian, M., Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 1995. 241(3-4): p. 193-224.
- 6) Ranjbar-Karami, R., *et al.*, Contemporary tectonic stress pattern of the Persian Gulf Basin, Iran. 2019. 766: p. 219-231.
- 7) Purser, B.H., *The Persian Gulf: Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea.* 2012: Springer Science & Business Media.
- 8) Hosseiny, E., A.R. Rabbani, and S.A. Moallemi, Source rock characterization of the Cretaceous Sarvak Formation in the eastern part of the Iranian sector of Persian Gulf. *Organic geochemistry*, 2016. 99: p. 53-66.
- 9) Al-Ghadban, A., *et al.*, Mineralogy, genesis and sources of surficial sediments in the ROPME Sea area. 1998: p. 65-88.
- 10) Teller, J.T., *et al.*, Calcareous dunes of the United Arab Emirates and Noah's Flood: the postglacial reflooding of the Persian (Arabian) Gulf. 2000. 68: p. 297-308.

- (۱۱) لک، ر. و تقی زاده، م. بررسی رخساره‌های رسوبی هولوسن و نرخ رسوب‌گذاری در شمال شرقی خلیج فارس. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۴، صفحات ۱۸۳-۱۹۲.
- (۱۲) آقاناتی، س.ع. چینه‌شناسی ژوراسیک ایران. ۱۳۷۸. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. تهران، ایران.
- 13) Al-Husseini, M.I.J.G., Iran's crude oil reserves and production. 2007. 12(2): p. 69-94.
- 14) Van Buchem, F., et al. Aptian organic rich intra shelf basin creation in the Dezful Embayment-Kazhdumi and Dariyan Formations, South West Iran. in American Association of Petroleum Geologists Annual Convention, Houston. Abstract. 2006.
- 15) Seibold, E., *et al.*, Holocene sediments and sedimentary processes in the Iranian part of the Persian Gulf, in *The Persian Gulf*, 1973, Springer. p. 57-80.
- (۱۶) درویش‌زاده، ع. زمین‌شناسی ایران. ۱۳۷۰. انتشارات ندا. تهران، ایران.
- 17) Reyre, D. and S. Mohafez, A first contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology. 1972: Editions Technip Paris.
- 18) Konyuhov, A. and B. Maleki, The Persian Gulf Basin: Geological history, sedimentary formations, and petroleum potential. *Lithology and Mineral Resources*, 2006. 41(4): p. 344-361.
- (۱۹) لک، ر.، بهبهانی، ر.، چنانی، ن. زمین‌شناسی دریایی خلیج فارس. ۱۳۹۲. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نشر رهی. تهران، ایران.
- 20) Gischler, E., Lomando, A., Alhazeem, Sh., *et al.*, Coral climate proxy data from a marginal reef area, Kuwait, northern Arabian-Persian Gulf. 2005. 228(1-2): p. 86-95.
- 21) Kassler, P., The structural and geomorphic evolution of the Persian Gulf, in *The Persian Gulf*. 1973, Springer. p. 11-32.
- (۲۲) اسفندیاری، ب. برزگر، ف. بررسی گنبد‌های نمکی جنوب ایران بر مبنای تفسیر ماهواره لندست. ۱۳۵۸. مجله دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد یازدهم، شماره اول و دوم. صفحات ۵۱-۶۹.
- 23) Pazira, A., Abdoli, A., Ghanbari, F., *et al.*, Comparison of fish species diversity in Dalaki and Helleh Rivers of the Persis basin in Bushehr Province. *Iranian Journal of Ichthyology*, 2016. 3(3): p. 222-228.

- 24) Jamalian, M., and Adabi, M., Geochemistry, microfacies and diagenetic evidences for original aragonite mineralogy and open diagenetic system of Lower Cretaceous carbonates Fahliyan Formation (Kuh-e Siah area, Zagros Basin, South Iran). *Journal of Carbonates and Evaporites*. 2015. 30(1): p. 77-98.
- ۲۵) پهلوزاده، ب. بررسی اثرات زیست‌محیطی و زمین‌پزشکی گنبد نمکی جاشک، استان بوشهر. ۱۳۹۶. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور مرکز تفت، یزد، ایران.
- ۲۶) ساجدی، س. ح. الف. تحلیل روابط ساختاری منطقه گسلی کازرون-قطر حدفاصل چنارشاهیجان-برازجان. ۱۳۷۹. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- ۲۷) خلیلی، م.، ایزدی، م. بررسی ارتباط بین گسل دارنگ و سیستم گسلی کازرون-برازجان و الگوی شکستگی آن‌ها. ۱۳۹۸. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سال ۲۸، شماره ۱۱۱، صفحات ۱۳۳-۱۳۸.
- 28) Hassanpour, J., Vanani, A. A. G., Rostami, J., *et al.*, Evaluation of common TBM performance prediction models based on field data from the second lot of Zagros water conveyance tunnel (ZWCT2). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016. 52: p. 147-156.
- 29) Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., Role of the Kazerun Fault Zone in the formation and deformation of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Tectonics*, 2005. 24(5).
- ۳۰) ساجدی، س. ح. الف. روابط ساختاری منطقه گسلی کازرون-برازجان. ۱۳۷۵. مجله اکتشاف و تولید. شماره ۴۱. صفحات ۱-۷.
- 31) Sarikhani, R., Dehnavi., A. G., Ahmanejad, Z., *et al.*, Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Bushehr Province, SW Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2015. 74(7): p. 6265-6281.
- 32) Mohammadi, Z., M. Salimi, and A. Faghih, Assessment of groundwater recharge in a semi-arid groundwater system using water balance equation, southern Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 2014. 95: p. 1-8.
- 33) Pouladi, M., Qadermarzi, A., Baharvand, F., *et al.*, Effects of physicochemical factors on seasonal variations of phytoplankton in the Mond River Estuary of Bushehr Province, Persian Gulf, Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 2017. 18(1).
- 34) Shiati, K., A regional approach to salinity management in river basins. A case study in southern Iran. *Agricultural Water Management*, 1991. 19(1): p. 27-41.
- ۳۵) بنی‌هاشمی، ب. اندازه‌گیری آلودگی و مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه‌های شاپور، دالکی و حله. ۱۳۸۸. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۳۶) میرزایی، ر. الف، عباسی، ن. ساکی زاده، م. بررسی کیفیت آب رودخانه‌های جاری در استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفیت آب طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۶. ۹۲. دو ماهنامه طب جنوب، پژوهشکده زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی بوشهر، سال ۲۰، شماره ۵، صفحات ۴۷۰-۴۸۰.

۳۷) قنبری، ف.، پذیرا، ع.، امیری، ف.، مغدانی، س.، ساکی انتظامی، م. پهنه‌بندی آلودگی رودخانه باهوش اهرم با استفاده از تنوع زیستی ماکروبنتوزها (استان بوشهر). ۱۳۹۵. نشریه فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبی‌پروری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر. سال ۱۰، شماره ۲، صفحات ۹-۲۰.

۳۸) تاجیک، م.، خامه‌چیان، م.، چرخابی، ا. ح. بررسی زمین زیست‌محیطی توزیع آلودگی‌های نفتی در رسوبات ساحلی (مطالعه موردی استان بوشهر). ۱۳۹۲. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۵، شماره ۳. صفحات ۵۳-۶۵.

۳۹) نوان مقصودی، م. بررسی مقدار آلودگی ناشی از هفت عنصر سنگین و هیدروکربن‌های جامد کل در بندرهای شهید رجایی و باهنر بندرعباس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

فصل سوم

مهم‌ترین عناصر آلاینده در استان بوشهر

۳-۱- جیوه

جیوه از زمان پیش از میلاد شناخته شده است و در تمدن بشری جایگاه ویژه‌ای دارد. این عنصر بیش از ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد توسط کیمیاگران چینی کشف شده است و بیش از یک قرن است که آن را یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی می‌دانیم [۱].

جیوه عنصری کمیاب است و مقدار آن در سنگ‌های قلیایی و ماگماهای بازالتی بیشتر است. برخی از پژوهشگران، منشأ جیوه را پوسته پایینی می‌دانند. این عنصر گوگرد دوست (کالکوفیل) است و به صورت خالص نیز یافت می‌شود. مهم‌ترین کانی جیوه سینابر (HgS) است. کانی‌های دیگر جیوه، ترکیبات ساده آن با برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها است. بخار جیوه یکی از مهم‌ترین نشانه‌های تشخیص کانسارهای جیوه و دیگر کانی‌های سولفیدی است. مهم‌ترین کانسارهای اقتصادی جیوه، کانسارهای سولفید توده‌ای، گرمابی و آتشفشانی - رسوبی است.

جیوه تنها فلزی است که در دمای محیط مایع است و عناصر طلا، نقره، کادمیم، سرب و بیسموت به راحتی در آن حل می‌شوند. نشت جیوه از کانسارهای آن منجر به آلودگی جو در محدوده کانسار، آلودگی خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه می‌شود.

غلظت‌های طبیعی جیوه در خاک بسیار کم است اما به دلیل گستردگی آلودگی ناشی از جیوه و پیوند قوی این عنصر در خاک، غلظت‌های بالایی از آن نیز گزارش شده است. بیشترین غلظت جیوه در خاک، مربوط به مناطق معدن‌کاری و واحدهای ذوب کانسنگ‌های فلزی است [۱].

غلظت جیوه در آب دریا بسیار متفاوت است و از ۰/۵ تا ۳ نانوگرم بر لیتر گزارش شده است در حالی که در آب‌های ساحلی و خلیج‌ها به دو تا ۶۵ نانوگرم بر لیتر می‌رسد [۲]. جیوه در آب به شکل‌های مختلف معدنی و آلی حضور دارد که می‌تواند به صورت حل شده یا متصل

به ذرات معلق حضور داشته باشد. میزان متیلی شدن جیوه و زیست‌انباشت آن در محیط‌های آبی به فعالیت‌های میکروبی، مقدار مواد مغذی، pH، پتانسیل اکسایش - کاهش، دما و برخی عوامل دیگر بستگی دارد [۱، ۳].

متیل جیوه بسیار زیست دسترس پذیر است و به آسانی در ماهی انباشته می‌شود. ماهی جیوه را به طور مستقیم از آب و غذای خود دریافت می‌کند. بنابراین، متیل جیوه قابلیت انتقال در زنجیره غذایی را دارد. غلظت جیوه در گونه‌های مختلف ماهی به نوع تغذیه آن‌ها بستگی دارد.

۳-۱-۱- جیوه در استان بوشهر

اخیراً در یک مطالعه کلی، غلظت جیوه در رسوبات ساحلی استان بوشهر اندازه‌گیری شده است [۴]. بر اساس نتایج به دست آمده گستره تغییرات جیوه از ۰/۰۱ تا ۰/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و میانگین آن ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بیشینه غلظت جیوه در این مطالعه در ایستگاه شهر بوشهر گزارش شده است که نشان دهنده اثر تخلیه فاضلاب تصفیه نشده به دریا و یا نهشت غبار شهری بر سطح دریا و رسوبات ساحلی است [۴].

غلظت جیوه در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه در دو مطالعه بررسی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از یک مطالعه، غلظت جیوه از ۳۲ تا ۳۶۵ میکروگرم بر کیلوگرم (با میانگین ۱۱۶/۳۸ میکروگرم بر کیلوگرم) می‌باشد. [۵]. در حالی که در پژوهشی دیگر غلظت جیوه از ۰/۱۶ تا ۲/۶۹ میکروگرم بر گرم متغیر است و میانگین آن ۱/۰۹ میکروگرم بر گرم می‌باشد [۶]. در این مطالعه عمق آب نقاط نمونه‌برداری از یک تا ۷۲ متر متغیر بود و اختلاف معناداری میان غلظت جیوه و افزایش عمق آب مشاهده نشد. نتایج محاسبه شاخص زمین انباشت (Igeo) نشان داد که وضعیت نمونه‌ها از بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قابل تقسیم است. با توجه به این که مهم‌ترین منبع جیوه در منطقه، نفت و فعالیت‌های مرتبط با صنعت نفت می‌باشند، تخلیه پساب شهری و صنعتی، نفت‌ریزی‌ها و تردد کشتی‌های نفتکش هم می‌توانند منابع قابل ملاحظه‌ای برای این عنصر باشند.

غلظت جیوه در آب دریا و رسوبات ساحلی جزیره خارک در سه مطالعه بررسی شده

است. در مطالعه اول، گستره تغییرات جیوه در رسوبات از ۱۰ تا ۶۰ میکروگرم بر کیلوگرم با میانگین ۳۶/۳۶ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است [۷]. محاسبه شاخص زمین انباشت و ضریب آلودگی نشان داد که رسوبات جزیره خارک نسبت به جیوه آلودگی کم تا متوسط دارند. در حالی که در مطالعات دیگر، گستره تغییرات جیوه در آب دریا از ۴۰ تا ۸۰ میکروگرم بر لیتر (با میانگین ۶۰ میکروگرم بر لیتر) و در رسوبات جزیره از ۲۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم تا ۱۹۹۰ میکروگرم بر کیلوگرم (میانگین ۸۹۰ میکروگرم بر کیلوگرم) گزارش شده است [۸، ۹]. محاسبه ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی نشان داد که آب و رسوب در وضعیت آلودگی شدید نسبت به جیوه قرار دارند و آلودگی آن‌ها بیشتر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد است. بر اساس دستورالعمل ارائه شده برای کیفیت رسوب کانادا، اگر غلظت جیوه کمتر از ۱۷۰ نانوگرم بر گرم باشد هیچ‌گونه خطری برای آبزیان وجود ندارد؛ در حالی که اگر بیش از ۴۸۶ نانوگرم بر گرم باشد، ایجاد اثرات سلامتی منفی در آبزیان محتمل است [۱۰].

مطالعه گونه‌زایی جیوه در رسوبات ساحلی خلیج فارس در استان بوشهر توسط آگاه و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت جیوه کل (THg) در بندر طاهری، بندر دیر و جزیره فارسی به ترتیب برابر است با ۳۴، ۲۵/۶۷ و ۳۳/۶۷ نانوگرم بر گرم. در حالی که غلظت متیل جیوه (MMHg) در ایستگاه‌های فوق به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲ و ۰/۲۶ نانوگرم بر گرم می‌باشد [۱۱]. در ایستگاه‌های بندر دیر و جزیره فارسی درصد متیلی شدن جیوه بالاتر است که به نظر می‌رسد به دلیل فراهم بودن شرایط متیلی شدن (شرایط Eh و pH مناسب، دما و حضور سولفات) در آب‌های کم‌عمق این ایستگاه‌ها باشد. بنابراین، اگرچه غلظت جیوه در رسوبات استان بوشهر کم است اما پتانسیل متیلی شدن در آن‌ها قابل ملاحظه می‌باشد که برای آبزیان منطقه بسیار خطرناک است.

۳-۱-۲- منظرهای پزشکی جیوه

به رغم سمی بودن جیوه، بیش از دو هزار سال است که انسان از جیوه در درمان بیماری‌ها، تولید ملقمه، صنایع پزشکی و دندانپزشکی، رنگ‌سازی و تولید کاغذ استفاده

می‌کند. از آنجا که جیوه در بدن موجودات زنده بیشتر به صورت متیل جیوه (HgCH_3) است، تمایل شدیدی به انباشت در بافت‌های مختلف دارد. همان طور که اشاره شد، جیوه عنصری است که زیست‌بزرگ‌شدگی^۱ آن در زنجیره غذایی دریایی اثبات شده است. جیوه حل شده در آب توسط ریزاندامگان‌ها بلعیده شده و در نهایت از راه زنجیره غذایی به انسان می‌رسد [۱۱]. ترکیبات آلی جیوه به راحتی به بافت‌های خونی - مغزی وارد می‌شوند. تجمع ترکیبات غیرآلی جیوه، بیشتر در کلیه‌ها رخ می‌دهد. دفع جیوه انباشته نشده در بدن از راه ادرار و مدفوع صورت می‌گیرد. با این حال مقادیر جزئی از جیوه از راه تعریق یا شیر مادر نیز دفع می‌شوند. سردرد، گیجی، عصبانیت، کاهش قدرت درک، لرزش، بی‌قراری، کاهش وزن، افسردگی، نارسایی قلبی، کاهش دفع ادرار، التهاب لثه، مدفوع خونی، لق شدن دندان‌ها، نارسایی کبدی، اختلالات بینایی و هذیان‌گویی از علائم مسمومیت با جیوه هستند. بیماری میناماتا یکی از شناخته شده‌ترین بیماری‌های ناشی از مسمومیت با جیوه است.

۳-۲- سلنیم

سلنیم عنصری تقریباً کمیاب است و تنها به واسطه ویژگی‌های گوگرد دوستی (کالکوفیلی) خود در کانی‌های سولفیدی به عنوان عنصر فرعی حضور دارد. علاوه بر کانسارهای سولفیدی، حضور سلنیم در کانسارهای زغال‌سنگ نیز گزارش شده است. غلظت سلنیم در پوسته زمین ۰/۰۵ تا ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این عنصر معمولاً ۴ حالت اکسایشی دارد که حالت اکسایشی ۲- آن در ترکیبات آلی غالب است. در حالی که پایدارترین شکل آن در شرایط محیطی، سلنیم عنصری است. گونه‌های ۴+ و ۶+ سلنیم معمولاً به کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب می‌شوند. متیلی شدن سلنیم بیشتر در اثر فرآیندهای زیست‌شناختی رخ می‌دهد که نقش بسیار مهمی در چرخش زمین‌شیمیایی این عنصر دارد [۱].

سلنیم خاک از سنگ مادر نشأت می‌گیرد و توزیع آن در خاک بازتاب فرآیندهای تشکیل

¹ Biomagnification

خاک و نهشت جوی است. بیشترین غلظت سلنیم در خاک‌های آلی و آهکی یافت می‌شود. میانگین سلنیم خاک‌های جهان، $0/۳۳$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است اما گستره آن از $0/۰۰۵$ تا $۳/۵$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

عوامل اصلی کنترل‌کننده شکل و رفتار Se در خاک، Eh و pH است. با این حال نقش لیگاندهای آلی، رس‌ها و هیدروکسیدها نیز غیرقابل انکار است. به طوری که عامل اصلی جذب سطحی در خاک‌های کشاورزی ژاپن، Al و Fe گزارش شده است [۱۲]. به طور کلی، در خاک‌های با pH و Eh بالا سلنیم به شدت متحرک است و در خاک‌های با غلظت بالای مواد آلی و رس‌ها متحرک بسیار پایینی دارد.

غلظت سلنیم در آب‌های طبیعی معمولاً کمتر از یک میکروگرم بر لیتر است و گستره تغییرات آن در آب دریا از $0/۱$ تا $0/۳۵$ میکروگرم بر لیتر متغیر است. به طور معمول، آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی غلظت‌های بالاتری از سلنیم دارند.

غلظت سلنیم در جو به دلیل منابع مختلف آن شامل (۱) تبخیر از سطح اقیانوس و دریا، (۲) فوران‌های آتشفشانی و (۳) گسیل‌های صنعتی، بسیار متغیر است. گستره تغییرات این عنصر از $0/۰۶$ (قطب جنوب) تا ۴ نانوگرم بر مترمکعب می‌باشد [۱]. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد اقیانوس منبع مهم Se در مناطق ساحلی است. علاوه بر این، سلنیم طی احتراق سوخت‌های فسیلی نیز در هوا رها می‌شود.

جذب سلنیم در گیاه به چند عامل مانند اقلیم، پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک و توانایی انباشت گیاه بستگی دارد. زمانی که سلنیم به شکل انحلال‌پذیر در خاک حضور دارد، این عنصر به سهولت جذب گیاه می‌شود. جذب اولیه Se از خاک به صورت سلنات یا سلنیت است [۱۳] و میان Se در بافت‌های گیاهی و Se در خاک همبستگی مثبت است. غلات و سیر، به عنوان رایج‌ترین منبع Se در رژیم غذایی، توجه ویژه‌ای را به خود معطوف کرده و به طور گسترده‌ای تحلیل شده است.

۳-۲-۱- سلنیم در استان بوشهر

نتایج بررسی غلظت سلنیم در رسوبات سطحی (عمق نمونه‌برداری از رسوب ۵-۱ سانتی‌متر و عمق آب از یک تا ۷۲ متر) منطقهٔ عسلویه استان بوشهر نشان داد که گستره تغییرات این عنصر از ۰/۲۷ تا ۰/۶۴ میکروگرم بر گرم با میانگین ۰/۴۳ میکروگرم بر گرم گزارش شده است [۶]. گستره غلظت سلنیم در رسوبات ساحلی جزیرهٔ خارک از ۰/۲ تا ۰/۵ میکروگرم بر گرم متغیر بود و میانگین آن ۰/۲۹ میکروگرم بر گرم محاسبه شده است [۱۴].

۳-۲-۲- منظرهای پزشکی سلنیم

از میان عناصر ضروری برای بدن انسان، سلنیم کمیاب‌ترین آن‌هاست. بدن انسان به طور معمول حاوی ۲۰ میلی‌گرم سلنیم است. حدود ۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم آن در بافت قلب و ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آن در بافت ماهیچه ذخیره شده است. میانگین غلظت Se در خون، سرم، ادرار و شیر عبارت است از: ۱۰۷، ۸۰، ۲۲ و ۱۳ میکروگرم بر لیتر [۱].

این عنصر نقش مهمی در تشکیل و ثبات ساختار پروتئین‌ها و ویتامین‌ها دارد. غلظت کافی عنصر سلنیم (۷۰ تا ۷۵ میکروگرم بر لیتر پلاسما خون) پیش‌نیاز سوخت‌وساز مناسب است که در تبدیل تیروکسین به تری‌یدوتیرونین کمک می‌کند. علاوه بر این، سلنیم می‌تواند مسمومیت ناشی از عناصری مانند جیوه، کادمیم، سرب، نقره، مس و آرسنیک را تعدیل نماید.

کمبود سلنیم منجر به بروز بیماری قلبی کشان می‌شود که ناشی از ضعف ماهیچه‌های قلب است. علاوه بر این، بیماری کشان - بک (تورم شدید مفاصل) در سنین بلوغ نیز ناشی از کمبود سلنیم در بدن است. با این حال، غلظت‌های بالای آن در بدن انسان منجر به بروز علائمی مانند سردرد، ریزش مو، تغییر حالت ناخن، بی‌اشتهایی، اسهال، اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، ناراحتی‌های کلیه و بیماری کبدی می‌شود. غلظت مناسب سلنیم در بدن انسان می‌تواند ایمنی بدن را افزایش داده و به عنوان عامل پیشگیرانه برای بسیاری از بیماری‌ها مانند انواع سرطان، پیری زودرس، غلظت خون، فشارخون بالا، روماتیسم، آسم، دیابت و آرتروز باشد [۱، ۱۵].

۳-۳- آرسنیک

آرسنیک یک شبه‌فلز و یکی از عناصر جزئی در پوسته زمین است. غلظت این عنصر در پوسته زمین از ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و در رسوبات رسی تا ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز می‌رسد [۱].

از منظر زمین‌شیمیایی این عنصر کالکوفیل و سیدروفیل است و به لحاظ میل ترکیبی فراوان با گوگرد، اغلب در کانسارهای سولفیدی یافت می‌شود. رفتار زمین‌شیمیایی آرسنیک مشابه فسفر است و به همین دلیل در کانی‌های این عنصر یافت می‌شود [۱۶].

مهم‌ترین کانی‌های آرسنیک‌دار عبارتند از: رآلگار، اورپیمان و آرسنوپیریت و مهم‌ترین کانسار آن، کانسارهای گرمابی هستند. بر اساس حالت اکسایش - کاهش آرسنیک در طبیعت به شکل آرسنات (As^{+5})، آرسنین (As^{+3})، آرسنیک عنصری (As^0) و آرسین (As^{-3}) یافت می‌شود. علاوه بر این، ترکیبات اکسیدی و سولفیدی آرسنیک فراور هستند و بر اثر احتراق سوخت‌های فسیلی (به ویژه زغال سنگ) و استخراج کانی‌های سولفیدی در هوا پخش می‌شوند. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک شامل Eh, pH, اندازه ذرات و ترکیب خاک بر محتوای آرسنیک و خاک و توانایی جذب آن مؤثر است. فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و حیوانی از مهم‌ترین منابع آزادسازی آرسنیک به محیط زیست هستند. علاوه بر این، آبیاری خاک با آب آلوده به آرسنیک نیز غلظت این عنصر را در خاک افزایش می‌دهد. آرسنین در خاک، تحرک و سمیت بیشتری نسبت به سایر گونه‌های آرسنیک دارد. با این حال، گونه‌های کاتیونی آرسنیک در شرایط مساند می‌توانند به سطح کانی‌های رسی، اکسی هیدروکسی‌های آهن و منگنز و ترکیبات آلی جذب شوند [۱۷]. بیشینه جذب سطحی آرسنات در pH ۷ و بیشینه جذب آرسنین در pH ۴ رخ می‌دهد. شکل‌های رایج آرسنیک در خاک‌های اسیدی، ترکیبات Al-As و Fe-As و در خاک‌های قلیایی، گونه‌های Ca-As هستند [۱].

آب‌های طبیعی دارای غلظت پایینی از آرسنیک می‌باشند. با این حال، عبور آب از واحدهای سنگی غنی از آرسنیک ممکن است سطح آلودگی آب را به شدت افزایش دهد. pH, Eh, حضور مواد آلی و حضور هیدروکسیدهای آهن و منگنز مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده

گونه‌سازی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی هستند [۱۷، ۱۸]. آرسنیک در آب دریا به شکل سه ظرفیتی، پنج ظرفیتی و متیلی حضور دارد [۱۹]. As^{+5} در آب با پلانکتون‌های گیاهی و فسفات واکنش می‌دهد و به آرسنیت، متیل آرسنیت و دی‌متیل آرسنیت تبدیل می‌شود. آرسنیک متیلی شده حدود ۱۰ درصد از غلظت کل As زون نورگیر بیشتر اقیانوس‌ها را شامل می‌شود [۱]. علاوه بر این، غذاهای دریایی هم می‌توانند حاوی مقادیر بالایی از آرسنیک باشند. غلظت As در آبزیان پلانکتون خوار بیش از گونه‌های گوشت‌خوار یا همه‌چیز خوار است. با این حال، محتوای آرسنیک در آبزیان بیشتر به صورت آرسنیک آلی است که شکل غیرسمی آن محسوب می‌شود.

۳-۳-۱- آرسنیک در استان بوشهر

سنگ‌ها و کانی‌هایی نظیر پیریت که در دامنه گنبد‌های نمکی استان بوشهر مانند گنبد نمکی جاشک به وفور یافت می‌شوند، حاوی مقادیر زیادی آرسنیک هستند. هوازگی این سنگ‌ها منجر به آزادسازی آرسنیک و انتقال آن به نمک و آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه می‌شود [۲۰]. غلظت آرسنیک در محیط‌های مختلف استان بوشهر در چند مطالعه اندازه‌گیری شده است. نتایج این مطالعات در جدول ۳-۱ ارائه شده است. در برخی مطالعات نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی انجام شده است؛ در حالی که در یکی از آن‌ها از رسوبات سطحی منطقه عسلویه (عمق نمونه‌برداری از رسوب ۵-۱ سانتی‌متر و عمق آب از ۱ تا ۷۲ متر) نمونه برداشته شده است. اگرچه میانگین غلظت آرسنیک در همه مطالعات انجام شده در منطقه از میانگین شیل‌های جهان (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است اما در برخی از ایستگاه‌ها از میانگین رسوبات جهان (۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین پوسته جهانی (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر می‌باشد [۲۱-۲۳]. محاسبه ضریب غنی‌شدگی^۱، شاخص زمین‌انباشت و ضریب آلودگی^۲ نشان داد که رسوبات استان بوشهر به خصوص نمونه‌هایی که از خارک و نایبند گرفته شده‌اند،

^۱ Enrichment Factor

^۲ برای مطالعه روش محاسبه شاخص‌ها و ضریب‌ها لطفاً به مقالات ذکر شده رجوع شود.

غنی‌شدگی متوسط تا شدید آرسنیک را دارند. غنی‌شدگی بالای عنصر آرسنیک می‌تواند نشان دهنده غلبه منابع انسان‌زاد این عنصر در منطقه باشد [۶، ۷]. علاوه بر فعالیت‌های مرتبط با نفت و تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی به دریا که مهم‌ترین منبع آلاینده در سواحل استان است، تردد کشتی‌های نفتکش و مسافربری، گسیل‌های ناشی از مشعل‌ها، دودکش‌های صنعتی، زباله‌سوز و صنعت ماهیگیری، دیگر منابع مهم آلودگی‌های انسان‌زاد در استان بوشهر هستند. نتایج استخراج ترتیبی^۱ عنصر آرسنیک از رسوبات ساحلی منطقه خارک نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر آرسنیک ۳۲/۹۴ درصد است [۷].

غلظت آرسنیک در آب هر دو چاه اندازه‌گیری شده در منطقه عسلویه و بندر طاهری [۲۴] (جدول ۳-۱) کمتر از مقدار استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی (حداکثر ۱۰ میکروگرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۳-۲- منظرهای پزشکی آرسنیک

گستره غلظت آرسنیک در بافت‌های بدن انسان از ۱۰ تا ۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم است. کمترین غلظت این عنصر در قلب و بیشترین آن در کبد است [۲۵]. در مناطق آلوده، غلظت‌های بالاتری از آرسنیک در بافت‌ها و سیالات بدن افراد مشاهده شده است.

آرسنیک یک عنصر غیرضروری و سمی است. به طور کلی ترکیبات غیرآلی آرسنیک نسبت به گونه‌های آلی آن سمیت بیشتری دارند [۲۶]. ورود مقادیر زیادی آرسنیک به بدن منجر به ایجاد جهش‌زایی، سرطان‌زایی و ناقص‌الخلقه‌زایی می‌شود [۱]. مسمومیت با آرسنیک بسته به غلظت آن در آب آشامیدنی و جذب روزانه غذا، معمولاً در دوره‌ای ۲ تا ۶ ساله بروز می‌کند [۲۷].

گلبول‌های قرمز خون از اصلی‌ترین حامل‌های آرسنیک در بدن هستند. آرسنیک از راه خون به اندام‌های کبد، استخوان، پوست، مو و ناخن انتقال می‌یابد و در آن‌ها انباشته می‌شود. ایجاد لکه‌های پوستی، سخت و شاخی شدن کف دست‌ها و پاها، ریزش مو، دیابت، بیماری‌های

^۱ Sequential extraction

قلبی - عروقی، اختلالات کبدی و سرطان پوست از جمله بیماری‌های مرتبط با آرسنیک هستند [۱۵]. دفع آرسنیک از بدن بیشتر از راه ادرار و مدفوع است.

جدول ۳-۱- غلظت آرسنیک در محیط‌های مختلف استان بوشهر

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۳/۷ - ۱/۸	۶/۱۲ [۴]
مناطق عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی و دریایی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵/۸ - ۲/۲	۲/۹۸ [۲۸]
عسلویه	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۱۴/۴۰ - ۲/۳۹	۵/۱۶ [۶]
خارک	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۱ - ۰/۵	۴/۵۶ [۷]
عسلویه	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۰۴ - ۰/۰۷	۰/۰۶ [۸]
بندر طاهری	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۳/۱۴ - ۰/۱۵	۱/۲۸ [۹, ۸]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۲	- [۲۴]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۲	-

۳-۴- کادمیم

کادمیم از عناصر کمیاب در طبیعت است و به دلیل خاصیت گوگرد دوستی (کالکوفیلی) قوی که دارد، معمولاً همراه با دیگر ترکیبات سولفوری یافت می‌شود. میانگین غلظت پوسته‌ای این عنصر از ۰/۱ تا ۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم است و فراوانی آن در سنگ‌های آذرین و رسوبی تقریباً مشابه است. این عنصر در طبیعت به ندرت به صورت شکل خالص یافت می‌شود و انحلال کادمیم در محیط بیشتر توسط تشکیل کربنات کادمیم کنترل می‌شود. بنابراین، در محیط‌های اسیدی، انباشت قابل ملاحظه کادمیم رخ می‌دهد. علاوه بر این، مواد آلی، هوموس، زغال و شیل‌های نفتی نیز محیط‌های مناسب برای تمرکز کادمیم هستند.

تنها کانی مهم کادمیم، گرینوکیت است که بسیار کمیاب است و بیشتر کادمیم مورد استفاده در صنایع، از معادن سرب و روی استخراج می‌شود. اما از آنجا که ساختار یونی و خواص

زمین شیمیایی دو عنصر روی و کادمیم مشابه هستند، اسفالریت مهم‌ترین میزبان و حمل‌کننده Cd در فرآیندهای زمین شیمیایی است [۱]. علاوه بر این، کانسارهای گرمابی - آتشفشانی، کانسارهای سرب و کانسارهای قلع نیز می‌توانند میزبان کادمیم باشند. طی فرآیندهای هوازدگی، کادمیم از سنگ میزبان آزاد شده و ترکیبات ساده‌ای مانند $CdCl_2$ ، $Cd(OH)_2$ ، CdO و CdF_2 را تشکیل می‌دهد.

گستره تغییرات کادمیم در خاک ۰/۰۶ تا ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در بسیاری از خاک‌ها، کادمیم با کلوئیدهای خاک همراه است و به راحتی وارد فاز محلول می‌شود. کادمیم در شرایط اکسیده، pH کمتر از ۳ و کمبود اکسی - هیدروکسیدهای آهن - منگنز، تحرک بسیار بالایی دارد. با این حال، حضور گوگرد در محیط می‌تواند تحرک کادمیم را در pHهای بالای ۵ نیز بالا نگه دارد.

منابع اصلی آلودگی کادمیم در خاک، آب و هوا، نهشت جوی، فعالیت‌های صنعتی، کودهای شیمیایی فسفردار، فعالیت‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی جنگل و غبار سنگ است. بیشتر آلودگی کادمیم در لایه‌های بالایی خاک (تا عمق ۱۵ سانتی‌متری) باقی می‌ماند و در آب دریا نیز کاملاً متحرک است [۱]. ریزگردهای کادمیم تا مدت‌ها در جو باقی می‌مانند و می‌توانند مسافت‌های طولانی را طی کنند.

۳-۴-۱- کادمیم در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت کادمیم در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۲ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده تفاوت معنادار آلودگی در ایستگاه‌های مختلف است. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۲۹]. علاوه بر این، غلظت کادمیم در محیط‌های دریایی توسط فرآیندهای زیست‌زمین‌شیمیایی^۱ مختلفی کنترل می‌شود که یکی از مهم‌ترین این فرآیندها در تجزیه کادمیم در لایه‌های سطحی آب دریا، اندامگان‌های فتوسنتز کننده است [۳۰، ۳۱].

^۱ Biogeochemical processes

مقادیر اندازه‌گیری شده کادمیم در برخی از ایستگاه‌های بررسی شده بیش از میانگین رسوبات دریایی (۰/۴۲ میکروگرم بر گرم)، پوسته زمین (۰/۱ میکروگرم بر گرم) و محدود راپمی (۰/۱ تا ۰/۷ میکروگرم بر گرم) بود. غلظت بالاتر این عنصر در سواحل دیر، عسلویه و نایبند می‌تواند ناشی از فعالیت واحدهای صنعتی پتروشیمی و پالایشگاهی، تردد کشتی‌های تجاری و لنج‌های ماهیگیری، تردد نفتکش‌ها، نفت‌ریزی و تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی در هر منطقه باشد. علاوه بر فعالیت‌های انسانی، ویژگی‌های جغرافیایی و کوتاه بودن جریان‌های کهکشندی^۱ نیز می‌تواند در بالا بودن غلظت عناصر در رسوبات ساحلی نقش مؤثری ایفا کند (خلیج نایبند). نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی کادمیم در استان بوشهر در بیشتر نقاط بررسی شده شدید تا بسیار شدید است. غنی‌شدگی بالای عنصر کادمیم می‌تواند نشان دهنده غلبه منابع انسان‌زاد این عنصر در منطقه باشد. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقه عسلویه و خارک نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر کادمیم به ترتیب ۲۴ و ۷۸/۸ درصد است [۷، ۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی^۲ (میزان حل شدن فلزات در اسید معده و دسترسی بدن برای جذب آن) نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر کادمیم در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه، ۴۶/۲۶ درصد است [۲۸]. دستیابی زیستی بالای این عنصر در pHهای بسیار پایین معده (حدود ۱/۵)، نشان می‌دهد که این عناصر به صورت حل شده از محیط معده خارج می‌شوند [۳۲]. به طور کلی، در معرض بودن با عناصری که در فاز تبادل‌پذیر، جذب شده به اکسیدهای آهن/ منگنز و جذب شده به مواد آلی قرار دارند، برای سلامتی موجودات زنده خطرناک‌تر است.

غلظت کادمیم در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدوده جزیره خارک اندازه‌گیری شد مقایسه غلظت کادمیم در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره

¹ Tidal Currents

² Bioaccessibility

و همچنین محاسبه ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده^۱ نشان داد که مرجان‌های این منطقه میکروتغلیظ‌کننده^۲ کادمیم هستند [۳۳].

غلظت کادمیم در آب دو چاه در منطقه عسلویه و بندر طاهری کمتر از مقدار استاندارد کادمیم در آب آشامیدنی (حداکثر ۳ میکروگرم بر لیتر) است (WHO, 2008) [۲۴].

۳-۴-۲- منظرهای پزشکی کادمیم

گستره غلظت Cd در بافت‌های بدن انسان ۰/۰۰۶ تا ۱۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بیشترین غلظت آن در کلیه‌ها و کمترین آن در ماهیچه است [۲۵]. کادمیم دارای توانایی اتصال به گروه‌های سولفیدریل و ایجاد اختلال در عملکرد چند آنزیم گروه SH- برخوردار است که به تغییر در پروتئین‌ها منجر می‌شود. کادمیم یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین است و علائم مسمومیت با آن عبارتند از: تهوع، مشکلات تنفسی، کم‌خونی، بیهوشی و انقباض‌های عضلانی، کاهش قدرت یادگیری، اختلال در عملکرد کلیه، از بین رفتن حس بویایی، بروز ناراحتی قلبی، تشنج و مرگ.

بیماری ایتای-ایتای (آخ-آخ به زبان چینی) شناخته شده‌ترین بیماری مربوط به کادمیم در بدن انسان است. این بیماری نوعی پوکی استخوان همراه با دردهای شدید مفصلی است. کمبود کلسیم و ویتامین D می‌تواند احتمال مسمومیت با کادمیم را افزایش دهد. زمان ماندگاری کادمیم در بدن انسان بیش از ۱۰ سال است. اگرچه شناخته شده‌ترین اندام هدف برای کادمیم، کلیه است و در مسمومیت‌های مزمن دفع پروتئین از ادرار رخ می‌دهد، اما تشکیل ترکیبات کلریدی آن باعث بروز آسیب‌های جدی به کبد و پروستات می‌شود [۱۵].

¹ Biota-sediment accumulation factor values (BSAF)

² Micro-concentrator

جدول ۳-۲- غلظت کادمیم در محیط‌های مختلف استان بوشهر.

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین	مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۲ - ۰/۰۶	۰/۱۴	[۴]
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۴/۸۵ - ۱/۰۲	۲/۴۱	[۲۹]
استان بوشهر (نیمه شمالی)	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۰/۹۶ - ۰/۶۴	۰/۷۶	[۳۴]
مناطق عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۲۶ - ۰/۲۲	۰/۲۴	[۲۸]
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۵/۱۲ - ۱۰/۹۸	۱۳/۴۵	
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۴/۱۲ - ۱/۰۴	۱/۷۳	[۳۵]
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵/۳۲ - ۷/۴۴	۵/۰۶	
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی گرم بر کیلوگرم	ND* - ۱/۰۹	۰/۸۳	
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۳/۳۸ - ۱/۳۴	۲/۴۵	[۳۶]
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۲/۰۴ - ۱/۳۴	۱/۸۵	
	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۰/۲۷ - ۰/۰۵	۰/۱۱	[۶]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۰/۴	-	[۲۴]

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین	مرجع
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۰/۸۹	[۳۳]
	مرجان	میکروگرم بر گرم	-	۱/۲۲	
خارک	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۱ - ۰/۳۴	۰/۲۳	[۷]
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۰۸ - ۰/۱۵	۰/۱۲	[۸]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۱۲ - ۴/۳۶	۱/۷۰	[۹, ۸]
بندر طاهری	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۰/۹	-	[۲۴]

* زیر حد آشکارسازی دستگاه

۳-۵-۲- روی

عنصر روی از عناصر جزئی در محیط طبیعی است و در فرآیندهای هوازدگی بسیار متحرک است. غلظت روی از سنگ‌های الترا بازیک به سمت بازیک و اسیدی در حال افزایش است. این عنصر ماهیتی گوگرد دوست (کالکوفیل) دارد و در کانی‌های سولفیدی به ویژه اسفالریت یافت می‌شود. سولفات‌های روی به آسانی در آب‌های سطحی حل می‌شوند و توسط آب‌های زیرزمینی به مناطق دیگر حمل می‌شوند. حدود ۶۴ کانی روی شناخته شده است که مهم‌ترین آن‌ها اسفالریت و ورتزیت می‌باشد. مهم‌ترین کانسارهای روی، کانسارهای استراتی باند و استراتی فرم (همراه با سرب) می‌باشند.

گستره غلظت روی در خاک از ۱۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است [۱]. فعالیت‌های کشاورزی از عوامل افزایش غلظت روی خاک‌های سطحی است. حضور مواد آلی، ترکیبات سیلیکاتی، کربناتی، فسفاتی و اکسیدی در خاک می‌تواند تحرک روی را تحت تاثیر قرار دهد.

عنصر روی در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و خورها به شکل متصل به هیدروکسیدها، کانی‌های رسی و دیگر مواد رسوبی است. بخش قابل ملاحظه‌ای از روی می‌تواند به صورت یون روی $+۲$ در آب حضور داشته باشد.

افزایش آلودگی خاک‌های کشاورزی به عنصر روی که ناشی از استفاده طولانی‌مدت از کودهای شیمیایی حاوی روی و نیز ورود این عنصر از پساب و دیگر منابع آلودگی انسان‌زاد است، نگرانی‌هایی را سبب شده است. غلظت‌های بالای روی در خاک به راحتی وارد گیاه شده و آن را آلوده می‌کنند. عنصر روی بیشتر در برگ‌های بالغ و ریشه گیاه متمرکز می‌شود [۱].

۳-۵-۱- روی در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت روی در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۳ ارائه شده است. بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که تفاوت معناداری میان غلظت روی در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های

فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۴]. همان‌طور که در جدول ۳-۳ قابل ملاحظه است، مهم‌ترین منابع روی در آب دریا عبارتند از انتقال آلودگی‌های شهری و صنعتی از راه رواناب و تخلیه فاضلاب‌های تصفیه نشده به دریا [۳۱]. علاوه بر این، آزاد شدن روی از ذرات جامد و رسوبات نیز دیگر منابع افزایش غلظت روی حل شده در آب دریا هستند. میانگین غلظت روی در برخی از مطالعات، از میانگین پوسته جهانی (۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین شیل‌های جهان (۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر می‌باشد است [۲۳-۲۱] بالاتر بودن غلظت این عنصر در سواحل جم، بوشهر، عسلویه و نایبند می‌تواند ناشی از فعالیت واحدهای صنعتی پتروشیمی و پالایشگاهی، فعالیت‌های صنعتی مرتبط با استحصال و انتقال نفت، تردد کشتی‌های تجاری، تردد نفتکش‌ها، نفت‌ریزی، ضایعات ناشی از لنج‌ها و کشتی‌ها و تخلیه پساب‌های خانگی و صنعتی و نهشت غبار شهری در منطقه است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، علاوه بر فعالیت‌های انسانی، موقعیت مکانی و کوتاه بودن جریان‌های کهکشندی نیز می‌تواند در بالا بودن غلظت عناصر در رسوبات ساحلی، نقش مؤثری ایفا کند (خلیج نایبند).

نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی روی در استان بوشهر در نقاط بررسی شده از کم تا شدید (نایبند و نخل تقی) متغیر است. نخل تقی از بنادر پرتردد کشتی‌های تجاری در استان بوشهر است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، عنصر روی یکی از ترکیبات مهم در رنگ بدنه کشتی‌ها می‌باشد. بنابراین، آلودگی محیط ساحلی و دریایی می‌تواند ناشی از تجزیه رنگ کشتی‌ها در مناطق پرتردد باشد. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقه عسلویه و خارک نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر روی به ترتیب ۴۹ و ۵۵ درصد است [۷، ۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر روی در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه، ۱۴/۶۱ درصد است [۲۸].

غلظت روی در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدوده جزیره خارک اندازه‌گیری شد مقایسه غلظت روی در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین

محاسبه ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده نشان داد که مرجان‌های این منطقه ماکروتغلیظ‌کننده^۱ روی هستند [۳۳].

غلظت روی در آب دو چاه در منطقهٔ عسلویه و بندر طاهری [۲۴] کمتر از مقدار استاندارد روی در آب آشامیدنی (حداکثر ۵ میلی‌گرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۳-۵- منظرهای پزشکی روی

گسترهٔ غلظت روی در بدن انسان ۱۳ تا ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بیشترین غلظت آن در کلیه و کبد و کمترین آن در پوست است [۲۵]. روی از عناصر ضروری برای حیات است و در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها و هورمون‌ها دخالت دارد. این عنصر در سنتز پروتئین، پایداری ساختار DNA و RNA، فعالیت و کارایی انسولین، انتقال ویتامین A، بهبود زخم‌ها، تولیدمثل و باروری، تقسیم سلولی، حس چشایی، سیستم ایمنی، رشد جنین و افزایش قدرت یادگیری نقش مهمی ایفا می‌کند. علائم کمبود روی عبارتند از: اسهال، بی‌اشتهایی، ریزش مو، کند شدن روند ترمیم زخم، کوتولگی، ضعف حافظه، اختلال حواس و بروز سکت. ریسک کمبود روی در بدن نوزادان، کودکان، افراد مسن، بیماران و گیاه‌خواران بیشتر است. با این حال، غلظت‌های بالای آن می‌تواند بر قدرت باروری مردان، عملکرد کبد و ساختار استخوان آثار نامطلوبی داشته باشد. سایر عوارض بیشبود روی عبارت است از: تب، دل‌آشوب، تهوع، استفراغ و اسهال. پروستات، خون، کبد، لوزالمعده، برخی عضلات و استخوان‌ها مناطق اصلی تجمع روی در بدن هستند [۱، ۱۵].

¹ Macro-concentrator

جدول ۳-۳- غلظت روی در محیط‌های مختلف استان بوشهر.

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین	مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۶/۷ - ۳۷/۶	۲۳/۳۷	[۴]
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۴۷/۸۹ - ۵۸/۲۹	۵۲/۴	[۲۹]
	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۷ - ۸۸	۳۲/۸۷	[۲۸]
مناطق عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی و دریایی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۵/۱۰ - ۱۲۳/۶۰	۲۱/۰۸	[۵]
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳۷۷/۸۸ - ۵۰۶/۳۲	۴۲۷/۱۶	
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۶۳/۸۷ - ۱۶۷/۶۲	۹۷/۴۵	[۳۵]
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۹۸/۶۵ - ۲۷۶/۴۴	۲۴۷/۸۸	
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۴/۲۱ - ۴۱/۲۳	۲۷/۴۳	
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۹۳/۸۹ - ۱۰۵/۴	۱۰۰	[۳۶]
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۸۷/۳۲ - ۹۸/۷۶	۹۳/۰۷	
	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۲۲/۲۱ - ۱۲۴/۴۳	۵۵/۵۳	[۶]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۰/۰۴	-	[۲۴]

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین	مرجع
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۲۱/۲۹	[۳۳]
	مرجان	میکروگرم بر گرم	-	۴۸/۲۳	
خارک	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۷/۲۵ - ۱۵۰/۰۰	۵۷/۱۰	[۷]
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۲ - ۰/۴۷	۰/۳۱	[۸]
	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۵/۸۷ - ۵۳/۸۰	۲۷/۳۹	[۹, ۸]
بندر طاهری	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۰/۰۵	-	[۲۴]

۳-۶- سرب

سرب یک عنصر کالکوفیل است و به طور معمول در سولفیدها غلظت بالایی دارد. غلظت سرب از سنگ‌های الترابازیک به سمت سنگ‌های بازیک و اسیدی افزایش می‌یابد. بیش از ۱۸۰ نوع کانی حاوی سرب وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: گالن، سروزیت و بولانژیت. مهم‌ترین کانسارهای سرب، کانسارهای سولفیدی مشترک با روی هستند. اگرچه کانسارهای اسکارنی، استراتی فرم، استراتی باند، رگه‌ای و جانشینی نیز مقادیر قابل ملاحظه‌ای سرب دارند. در آب‌هایی که سختی پایینی دارند و غلظت کلسیم محلول کم است، جذب سرب با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد و نمک‌های انحلال‌ناپذیر سرب مانند $PbCO_3$ و $PbSO_4$ تشکیل می‌شود.

سرب از منابع طبیعی و غیرطبیعی شامل سوزاندن زغال‌سنگ و نفت، احتراق بنزین و سوزاندن انواع پسماند به جو وارد می‌شود. شکل شیمیایی و اندازه ذرات سرب در جو به منبع آن بستگی دارد. سرب ناشی از احتراق زغال‌سنگ در جو به صورت PbO ، $PbCl_2$ و PbS است در حالی که سرب ناشی از سوزاندن نفت، بیشتر به شکل PbO است. اندازه ذرات سرب خارج شده از آگزوز اتومبیل‌ها ۰/۱ تا یک میکرومتر است. ذرات سرب معلق در هوا توسط نهشت‌های خشک و تر به سطح خاک و آب وارد می‌شوند [۳۷].

غلظت طبیعی سرب در خاک از سنگ مادر ناشی می‌شود و با اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی خاک رابطه مستقیم دارد به طوری که غلظت آن در رسوبات رس اندازه و دارای هیدروکسیدهای آهن و منگنز بیش از ماسه‌ها، ماسه سنگ‌ها و سنگ آهک‌ها می‌باشد.

تحرك سرب در محیط معمولاً اندک است و تنها با تغییر شرایط خاک به اسیدی و تشکیل کمپلکس‌های آلی سرب این عنصر متحرک می‌شود. با این حال، آلودگی خاک به خصوص خاک‌های کنار جاده‌ای به سرب از مهم‌ترین نگرانی‌های زیست محیطی سال‌های اخیر است. به رغم ممنوعیت استفاده از افزودنی‌های سرب‌دار به بنزین در بسیاری از کشورها، هنوز غلظت‌های بالایی از سرب در خاک‌های مناطق شهری و جاده‌ای یافت می‌شود [۳۸]. برخی عوامل کیلیت‌ساز و لیگاندهای آلی می‌توانند باعث تعدیل رفتار سرب در خاک شوند.

شیمی سرب در سامانه‌های آبی، به دلیل وجود گونه‌های مختلف سرب در آب، بسیار پیچیده است. غلظت سرب در آب توسط منبع آلودگی، غلظت سرب، pH و مقدار نمک حل شده در آب کنترل می‌شود. Pb در آب دریا بیشتر به شکل $PbCO_3$ و $PbCl_2$ است و در نهایت در رسوبات بستر ته‌نشین می‌شود. سرب وارد شده به رسوبات می‌تواند بار دیگر به حالت تعلیق در آمده و به صورت ذرات جامد معلق وارد ستون آب شده و بار دیگر زیست دسترس پذیر شوند.

۳-۶-۱- سرب در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت سرب در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۴ ارائه شده است. بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که تفاوت معناداری میان غلظت سرب در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۲۸]. در پژوهش‌های انجام شده میانگین غلظت سرب در برخی ایستگاه‌ها از میانگین شیل‌های جهان (۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین پوسته جهانی (۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر است [۲۱-۲۳]. غلظت بالاتر این عنصر در سواحل جم، بندر ریگ، گناوه و عسلویه می‌تواند ناشی از فعالیت واحدهای صنعتی مرتبط با نفت (استخراج، انتقال، پتروشیمی و پالایشگاهی)، تردد نفتکش‌ها، نفت‌ریزی، تخلیهٔ پساب‌های شهری و صنعتی، عبور شناورهای صیادی و تردد کشتی‌ها در این مناطق است. آلودگی سرب در نزدیکی شهرها می‌تواند ناشی از اتومبیل‌ها نیز باشد، چرا که استفاده از سرب به عنوان عامل ضدکوبش در موتورهای بنزینی رایج است [۳۹].

نتایج محاسبهٔ ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی سرب در استان بوشهر در نقاط بررسی شده از کم تا بسیار شدید متغیر است. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر سرب، ۶ درصد است [۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر سرب در رسوبات ساحلی

منطقهٔ عسلویه، ۱۰/۸۸ درصد است.

غلظت سرب در مرجان‌های گونهٔ *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدودهٔ جزیرهٔ خارک اندازه‌گیری شد مقایسهٔ غلظت سرب در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین محاسبهٔ ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده نشان داد که مرجان‌های این منطقه جذب‌کننده و تغلیظ‌کنندهٔ سرب نیستند [۳۳].

غلظت سرب اندازه‌گیری شده در آب دو چاه در منطقهٔ عسلویه و بندر طاهری [۲۴] در جدول ۳-۴ ارائه شده است. در یکی از چاه‌ها غلظت سرب بیش از مقدار استاندارد سرب در آب آشامیدنی (حداکثر ۱۰ میکروگرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۶-۲- منظرهای پزشکی سرب

گستره غلظت سرب در بدن انسان از ۰/۲ تا ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. کمترین غلظت این عنصر در بافت ماهیچه و بیشترین آن در کبد و کلیه‌ها می‌باشد [۲۵]. غلظت سرب در موی انسان می‌تواند نشانگر خوبی برای تشخیص در معرض بودن فرد با سرب باشد [۱]. استنشاق و بلع مهم‌ترین مسیرهای در معرض بودن با سرب هستند. کارگران صنایع مختلف به خصوص کوره‌های ذوب سرب - روی، بیش از سایر افراد در معرض استنشاق سرب هستند. کودکان یک تا ۶ ساله از راه تماس دست با دهان و بلعیدن مستقیم غبار و گردوخاک حاوی سرب به شدت در معرض خطر قرار دارند.

سرب یکی از عناصر به شدت سمی است و بر هموستازی هموگلوبین، کم‌خونی، افزایش فشارخون، عملکرد کلیه، سلامت جنین، ناباروری مردان و قدرت یادگیری تأثیر دارد. این عنصر در ساخت مواد و وسایل مختلفی مانند باتری‌ها، کابل‌ها، مواد رنگی، گازوئیل و بنزین کاربرد دارد [۳۴]. ترکیبات آلی تترااتیل و تتراامتیل سرب که در ترکیب بنزین سرب‌دار وجود دارد از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی است.

بیش از ۹۰ درصد سرب وارد شده به بدن در استخوان‌ها ذخیره می‌شود. اما بافت‌های نرم مانند مغز، کلیه‌ها، کبد، عضلات و پوست نیز سایر محل‌های مناسب برای ذخیرهٔ این عنصر

هستند. در نخستین مرحله ورود سرب به بدن انسان، این عنصر وارد خون شده و جانشین آهن در هموگلوبین می‌شود. کم‌خونی و حضور لکه‌های آبی روی لثه‌ها و دندان‌ها از نشانه‌های مسمومیت با سرب است. سرب از فعالیت آنزیم‌های ضروری برای ساختن پروتئین‌ها نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین، عوارض مسمومیت حاد و مزمن با سرب عبارتند از: سردرد، احساس دائمی طعم فلز در دهان، کم‌خونی، بی‌اشتهایی، شکم‌درد، آسیب به سیستم اعصاب مرکزی، پرخاشگری، عصبانیت، درد مفصلی، بی‌حسی اندام‌های حرکتی و عدم توانایی در کنترل اعضای بدن (فلج) [۱۵]. علاوه بر این، این عنصر می‌تواند از جفت عبور کرده و به جنین آسیب برساند. درمان کودکانی که با عوارض مادرزادی مسمومیت سرب متولد می‌شوند به طور تقریبی غیرممکن است.

جدول ۳-۴ - غلظت سرب در محیط‌های مختلف استان بوشهر

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۰/۹۱ - ۱/۷۵	۹/۹۷ [۴]
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۱۴/۷۶ - ۷/۵۱	۱۱/۵۳ [۲۹]
استان بوشهر (نیمه شمالی)	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۲۳/۵۶ - ۷/۹۶	۱۳/۲۵ [۳۴]
	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴ - ۷	۴/۹۳ [۲۸]
	رسوب ساحلی و دریایی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۴/۴۸ - ۰/۹۷	۳/۳۹ [۵]
مناطق عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۴۷۶/۷۹ - ۱۱۸۹/۹۳	۱۳۴۷/۴۴
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۹۳/۴۴ - ۳۳/۱۲	۶۴/۰۹
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲۴۷/۴۳ - ۱۰۹/۸۷	۱۶۴/۸۹ [۳۵]
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴/۴۳ - ND	۳/۱۸

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۷۹/۹ - ۵۰/۳۳	۶۵/۸۳ [۳۶]
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۶/۷ - ۲۲/۳۶	۳۴/۳۴
	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۳/۸۵ - ۱۰/۰۰	۸/۰۷ [۶]
خارک	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۶	- [۲۴]
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۳۱/۸۹ [۳۳]
	مرجان	میکروگرم بر گرم	-	۲۰/۶۳
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۳۶/۱۰ - ۲/۸۶	۱۳/۹۵ [۷]
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۲۶ - ۰/۱۴	۰/۲۱ [۸]
بندر طاهری	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۴/۸۶ - ۰/۱۳	۱/۸۹ [۹, ۸]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۲۰	- [۲۴]

۳-۷- مس

عنصر مس، از عناصر جزئی سنگ‌کره محسوب می‌شود. میانگین پوسته‌ای مس ۲۵ تا ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و بیشینه غلظت آن در سنگ‌های بازیک (۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) وجود دارد. با این حال، سنگ‌های اسیدی نیز می‌توانند میزبان مقادیر کمی از این عنصر باشند. مس در سنگ‌های بازیک بیشتر خواص سیدروفیلی و در سنگ‌های اسیدی بیشتر خواص کالکوفیلی دارد. در محیط‌های اسیدی مس بیشتر به صورت سولفات و در محیط‌های قلیایی به صورت کربنات حمل می‌شود. بیش از ۲۰۰ نوع کانی مس‌دار شناخته شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها کالکوپریت، بورنیت، کالکوزین، کوولین، کوپریت، مالاکیت و آزوریت هستند. مهم‌ترین کانسارهای مس، کانسارهای پورفیری، کانسارهای رسوبی، اسکارنی و گرمابی هستند. گستره مس در خاک‌های مختلف از ۲۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متفاوت است. محتوای مس رابطه مثبت و معناداری با بافت خاک دارد، به طوری که کمترین غلظت مس در خاک‌های ماسه‌ای سبک و بیشترین آن در خاک‌های گل ماسه‌ای یافت می‌شود [۱]. علاوه بر این،

محتوای آلی خاک، pH و کانی‌های رسی خاک نیز نقش قابل ملاحظه‌ای در توزیع و رفتار مس دارند. با این حال، زیست دسترس‌پذیری (انحلال‌پذیری) مس در خاک بیشتر تحت تاثیر گونه شیمیایی آن است تا غلظت کل آن.

غلظت مس در آب در تعادل دینامیکی با غلظت آن در رسوبات سطحی و خاک است و شواهد نشان می‌دهد که مس در آب‌های طبیعی و رسوبات به شکل‌های پیوندی حضور دارد.

۳-۷-۱- مس در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت مس در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۵ ارائه شده است. بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که تفاوت معناداری میان غلظت مس در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۲۹]. علاوه بر این، نتایج مطالعاتی که در فصول مختلف انجام شده است نشان داد که غلظت‌های اندازه‌گیری شده در تابستان بیش از زمستان است. غلظت پایین مس در آب دریا می‌تواند ناشی از تشکیل کمپلکس‌های آلی مس (تشکیل لیگاندهای آلی با ترکیبات هومیک و فولویک که در فاضلاب فراوانند) باشد [۳۱]. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده غلظت مس رسوبات در برخی از نقاط استان بیش از میانگین شیل‌های جهان (۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین پوسته جهانی (۱۴/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است [۲۳-۲۱]. غلظت بالاتر این عنصر در سواحل گناوه، عسلویه و نخل تقی می‌تواند ناشی از فعالیت واحدهای صنعتی، تردد بالای کشتی‌های تجاری و لنج‌های ماهیگیری و تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی در منطقه است. علاوه بر این، از مس به عنوان زیست‌کش^۱ و پایدار کننده رنگ قایق‌ها استفاده می‌شود. بنابراین در مکان‌هایی که تعمیر و نگهداری قایق و یا تردد قایق وجود دارد فراوانی مس قابل پیش‌بینی است.

نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در

¹ Biocide

مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی مس در استان بوشهر در نقاط بررسی شده از کم تا بسیار شدید (عسلویه، گناوه و نخل تقی) متغیر است. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقه عسلویه نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر مس، ۳۰ درصد است [۲۸]. بر اساس نتایج به دست آمده از استخراج ترتیبی رسوبات جزیره خارک، مس بیشتر در فاز اکسایش‌پذیر و همراه با مواد آلی حضور دارد [۷]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر مس در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه، ۶/۲۳ درصد است [۲۸]. این نتایج نشان می‌دهد که عنصر مس در pHهای پایین آزاد نمی‌شود در حالی که در pHهای بالاتر روده کوچک، این عنصر با کمپلکس‌سازی با لیگاندهای عالی موجود در محیط، به صورت حل شده در می‌آید و جذب بدن می‌شود [۴۰]. از سوی دیگر، در مواجهه با اسیدهای صفراوی، کمپلکس‌های مس پایداری بیشتری نسبت به کادمیم و روی آزاد شده در محیط معده دارند [۴۱].

غلظت مس در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدوده جزیره خارک اندازه‌گیری شد مقایسه غلظت مس در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین محاسبه ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده^۱ نشان داد که مرجان‌های این منطقه تغلیظ کننده مس نیستند [۳۳].

غلظت مس در آب دو چاه در منطقه عسلویه و بندر طاهری [۲۴] کمتر از مقدار استاندارد مس در آب آشامیدنی (حداکثر یک میلی‌گرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۷-۲- منظرهای پزشکی مس

مس یکی از عناصر ضروری است که کمبود آن منجر به کم‌خونی شدید خواهد شد (به دلیل اثر مستقیم مس بر جذب و هموستازی آهن). در بدن هر انسان بالغ حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم مس وجود دارد که از این میان بیشتر آن در کبد، مغز و خون قرار دارد. علاوه بر این، مس در ساختار آنزیم‌ها، تنظیم سوخت‌وساز چربی‌ها، جوش خوردگی و ترمیم شکستگی‌ها

^۱ Biota-Sediment Accumulation Factor values (BSAF)

و تنظیم ضربان قلب مؤثر است. با این حال، تنها ۵ درصد از مس موجود در مواد غذایی جذب بدن می‌شود.

تولد نوزادان ناقص‌الخلقه، نازایی و اختلال در جذب/ واجذب ویتامین C از اثرات کمبود عنصر مس در بدن انسان است. در حالی که بیشبود آن ممکن است منجر به افزایش کلسترول خون، ایجاد آب‌مروارید، سبز شدن مو، بیماری‌های روانی و حتی مرگ شود [۱۵].

جدول ۳-۵- غلظت مس در محیط‌های مختلف استان بوشهر.

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۳۶/۸۶ - ۳/۲۲	۹/۹۷ [۴]
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۴۳/۲ - ۲۹/۴۳	۳۴/۹۹ [۲۹]
استان بوشهر (نیمه شمالی)	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۲۵/۲۰ - ۵/۶۰	۱۴/۵۴ [۳۴]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۶۵ - ۶	۲۳/۶۷ [۲۸]
	رسوب ساحلی و دریایی	میلی گرم بر کیلوگرم	۳۰۴/۸۳ - ۱/۹۰	۱۵/۴۳ [۵]
مناطق عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۲۲/۳۴ - ۴۰/۱۵۴	۴۶۵/۰
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۱۹/۵۶ - ۵۰/۴۷	۷۹/۹۰
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۵۵/۴۷ - ۷۳/۹۸	۱۱۶/۸۴ [۳۵]
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی گرم بر کیلوگرم	۴۱/۲۳ - ۲/۳۱	۲۷/۴۳
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۱ - ۳۳/۹۷	۳۹/۹۳ [۳۶]
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۴۲/۵۶ - ۳۱/۷۴	۳۶/۳۶
	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۸۷/۷۰ - ۳/۲۰	۱۷/۱۸ [۶]

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۱۷/۶۷ [۳۳]
	مرجان	میکروگرم بر گرم	-	۴/۵۲
خارک	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲/۴۵ - ۷۷/۴۰	۲۵/۶۳ [۷]
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۲۳ - ۰/۵۹	۰/۴۲ [۸]
	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۲/۹۵ - ۴۱/۱۸	۳۳/۰۵ [۹، ۸]
عسلویه	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۷	- [۲۴]
بندر طاهری	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۹	-

۳-۸- آهن

آهن پس از آلومینیم دومین فلز و پس از اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیم چهارمین عنصر فراوان در سنگ‌کره است. میانگین غلظت آن در پوسته زمین ۵ درصد است [۱]. از منظر زمین‌شیمیایی، آهن عنصری است که همزمان خواص سیدروفیلی، کالکوفیلی و لیتوفیلی دارد. به همین دلیل رفتار آن در محیط خشکی بسیار پیچیده است. آهن از نظر شیمیایی بسیار واکنش‌پذیر است و رفتار شیمیایی آن شبیه به Ni، Co، O، S، C و Mn می‌باشد.

بیشترین غلظت طبیعی آهن در سنگ‌های بازیک (همراه با تیتانیم و وانادیم) و الترابازیک (همراه با نیکل، کروم و کبالت) دیده می‌شود. آهن در طبیعت به شکل کانی‌های اکسیدی، سولفیدی، کربناته و سیلیکاته دیده می‌شود. بیش از ۳۰۰ کانی آهن‌دار در طبیعت شناخته شده است که از میان آن‌ها کانی‌های مگنتیت، هماتیت، سیدریت و لیمونیت فراوان‌تر و مهم‌تر هستند. علاوه بر این، مهم‌ترین کانسارهای آهن عبارتند از: کانسارهای رسوبی، ماگمایی، اسکارنی و گرمایی.

سرنوشت آهن در فرآیندهای هوازدگی به Eh، pH و سایر ترکیبات موجود در محیط وابسته است. در مجموع، شرایط اکسایشی و قلیایی به ته‌نشینی آهن منجر می‌شود در حالی

که شرایط کاهنده و اسیدی موجب تحرک آهن است. رفتار زمین‌شیمیایی پیچیده آهن همراه با ته‌نشین شدن آن در فرآیندهای اکسایش - کاهش، مانند منگنز، منجر به تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای زیادی در محیط می‌شود.

گستره طبیعی آهن در خاک از ۰/۱ تا ۱۰ درصد است و بافت خاک همبستگی بالایی با مقدار غلظت آهن دارد [۳۸]. رخداد آهن در خاک بیشتر به شکل اکسیدها، هیدروکسیدها، ترکیبات آریخت، ذرات ریز، پرشدگی شکافها و رگه‌ها و پوشش روی دیگر کانی‌ها می‌باشد. علاوه بر این، لیگاندهای آلی نیز در جابه‌جایی آهن خاک نقش دارند.

واکنش‌های زیادی در انحلال‌پذیری آهن در خاک نقش دارند، اما ظاهراً آبکافت و تشکیل گونه‌های کمپلکس شده، مهم‌ترین واکنش‌ها هستند [۱]. از سوی دیگر، تشکیل فسفات‌ها، سولفیدها و کربنات‌های حاوی آهن، تحرک آهن را کاهش می‌دهند. انحلال‌پذیری آهن، در عرضه آهن به گیاه نقش بسیار مهمی دارد [۳۸].

رفتار و شیمی آهن در سامانه‌های آبی بسیار پیچیده است و توسط عوامل مختلفی کنترل می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها pH و Eh هستند. بیشتر ترکیبات آهن در pH کمتر از ۷، در آب انحلال‌پذیرند. با این حال، در محیط دریا بیشتر آهن به ذرات معلق و رسوبات جذب می‌شود. از آنجا که آهن به عنوان یک ریزمغذی اصلی نقش مهمی در سلامت اندامگان‌های دریایی دارد و زیست‌دسترس‌پذیری محدود آن در محیط دریا می‌تواند رشد پلانکتون‌ها را محدود کند.

۳-۸-۱- آهن در استان بوشهر

غلظت آهن در رسوبات استان بوشهر از ۲۵۰۰ تا ۱۸،۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۱۰،۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است [۴]. علاوه بر این، محتوای آهن در رسوبات منطقهٔ عسلویه در سه مطالعهٔ دیگر بررسی شده است [۵، ۶، ۳۶]. نتایج بررسی غلظت آهن در رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه نشان داد که گسترهٔ تغییرات این عنصر از ۴۹،۶۰۰ تا ۵۸،۱۲۶ (با میانگین ۵۱،۷۹۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم در بخش شهری و از ۴۷،۳۵۰ تا ۶۲،۰۰۰

(با میانگین ۵۴،۹۷۳) میلی‌گرم بر کیلوگرم در بخش صنعتی متغیر است [۳۶]. در مطالعه انجام شده توسط آقاداتاشی و همکاران (۲۰۱۹)، غلظت آهن در رسوبات سطحی (عمق نمونه‌برداری از رسوب ۵-۱ سانتی‌متر و عمق آب از یک تا ۷۲ متر) منطقه عسلویه از ۲،۸۱۷/۳ تا ۲۵،۱۷۳/۷ میکروگرم بر گرم متغیر است و میانگین آن ۱۷،۲۸۴/۹۹ میکروگرم بر گرم گزارش شده است. در حالی که در مطالعه دلشب و همکاران، گستره تغییرات آهن از ۱۵۰۰ تا ۱۶،۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۴۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است. غلظت آهن در آب دریا و رسوبات ساحلی جزیره خارک نیز در چهار مطالعه اندازه‌گیری شد. در پژوهش انجام شده توسط سوری و همکاران، میانگین غلظت آهن ۱،۳۵۸/۳۲ میکروگرم بر گرم گزارش شده است [۳۳]. در حالی که میانگین غلظت آهن در آب دریا و رسوب در مطالعات رنجبر جعفرآبادی و همکاران، به ترتیب ۰/۰۹ میکروگرم بر لیتر و ۲۵،۸۴۳ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است [۸، ۹]. علاوه بر این، گستره تغییرات آهن در مطالعه اخباری زاده (۱۳۹۶) از ۴۰۰ تا ۱۴،۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین ۵۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است.

غلظت آهن در اغلب نمونه‌های بررسی شده در سطح استان بسیار کمتر از میانگین پوسته بالایی (۳۰،۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، شیل‌های جهان (۴۷،۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رسوبات دریایی (۴۱،۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد [۲۳-۲۱]. محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی نیز نشان داد که آلودگی این عنصر در نقاط مختلف استان بوشهر از کم تا متوسط متغیر است. بنابراین، آهن در استان بوشهر بیشتر تحت تأثیر عوامل زمین‌زاد^۱ می‌باشد.

غلظت آهن در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدوده جزیره خارک اندازه‌گیری شد مقایسه غلظت آهن در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین محاسبه ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده نشان داد که مرجان‌های این منطقه تغلیظ‌گر آهن نیستند [۳۳].

^۱ Geogenic

غلظت آهن در آب دو چاه در منطقهٔ عسلویه و بندر طاهری، ۵۰ و ۴۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شده است [۲۴]. این مقادیر کمتر از مقدار استاندارد آهن در آب آشامیدنی (حداکثر ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۸-۲- منظرهای پزشکی آهن

آهن یکی از عناصر ضروری در بدن انسان است که سوخت‌وساز بسیار پیچیده‌ای دارد و مسمومیت با آن نادر است. غلظت آهن در بدن یک فرد بالغ ۳ تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بخشی از این آهن در پلاسماي خون و بخش اعظم آن در ترکیب مولکول‌های هموگلوبین در گلبول‌های قرمز خون قرار دارد. آهن موجود در هموگلوبین دو ظرفیتی است و زنجیرهٔ گلوبین‌ها از اکسایش آن‌ها جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، عملکرد سایر اندام‌های بدن از جمله کبد، طحال و مغز استخوان نیز به آهن وابسته است.

برهم‌کنش بین چند عنصر در بدن می‌تواند دسترس‌پذیری آهن را کاهش دهد. به طور مثال میان آهن و منگنز، سرب و فسفر رابطه هم‌کاهنده (آنتاگونیستی) وجود دارد. کمبود آهن می‌تواند علائمی مانند سستی و رخوت، تنگی نفس، زردی چهره، سردردهای مزمن، بی‌نظمی در خواب، اختلال در ساعت زیست‌شناختی بدن، شکنندگی ناخن و ریزش مو داشته باشد. از سوی دیگر، افزایش غلظت آهن در بدن انسان، انقباض‌های معده، سرگیجه، استفراغ، شوک و بیماری هموسیدروسیس^۱ را به وجود می‌آورد [۱۵].

۳-۹- منگنز

منگنز از فراوان‌ترین عناصر جزئی در سنگ‌کره است. منگنز از عناصر لیتوفیل است و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی این عنصر باعث تجمع و انباشته شدن آن در زون حاوی اکسیژن آزاد در بخش‌های بالایی سنگ‌کره می‌شود. غلظت این عنصر در سنگ‌ها از ۳۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و بیشترین غلظت‌ها در سنگ‌های مافیک حضور دارد. مقدار

^۱ Hemosidrosis

منگنز از سنگ‌های اسیدی به طرف سنگ‌های بازیک افزایش می‌یابد و بیشترین ذخایر آن از نوع رسوبی می‌باشد. علاوه بر سنگ‌های رسوبی، شیبست‌های مارنی نیز غنی از منگنز هستند. بیش از ۱۵۰ نوع کانی حاوی منگنز شناسایی شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از پیرولوسیت، مانگانیت، پسیلوملان، ورنادیت و براونیت.

منگنز جزو خانواده آهن است و چرخه آن در فرآیندهای زمین شیمیایی از چرخه آهن پیروی می‌کند. طی فرآیندهای هوازدگی، منگنز به راحتی متحرک می‌شود و ذخایر جدیدی تشکیل می‌دهد. با این حال، رفتار پیچیده این عنصر در فرآیندهای رسوب‌گذاری، به انباشت آن در لایه‌های مختلف رسوبی منجر می‌شود. رایج‌ترین کاتیون منگنز Mn^{2+} است که به آسانی می‌تواند جانشین Fe^{2+} و Mg^{2+} شود. اکسیدهای آهن و منگنز در زمره فراوان‌ترین ترکیبات پوسته زمین به شمار می‌روند که در جذب و کنترل بسیاری از عناصر جزئی مؤثر هستند.

گستره تغییرات منگنز در خاک از ۱۰ تا ۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و میانگین جهانی آن ۴۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شده است [۳۸]. مقدار منگنز در خاک با محتوای رس آن رابطه مثبت دارد. این عنصر در خاک بیشتر به صورت اکسید و هیدروکسید و به شکل پوشش ذرات خاک رخ می‌دهد. تحرک منگنز در خاک به شدت به پتانسیل اکسایش - کاهش و pH محیط بستگی دارد. از آنجا که این فلز یک مغذی ضروری برای گیاه است، انحلال‌پذیری آن در خاک بسیار مهم است.

منگنز در محیط آب به راحتی به ذرات معلق و رسوبات متصل می‌شود و به همین دلیل غلظت آن در آب پایین است. غلظت منگنز در آب دریا از ۰/۴ تا ۱۰ میکروگرم بر لیتر متغیر است و میانگین آن دو میکروگرم بر لیتر گزارش شده است [۱]. غلظت منگنز در آب دریا با عمق تغییر می‌کند و با افزایش عمق، افزایش می‌یابد.

۳-۹-۱- منگنز در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت منگنز در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۶ ارائه شده است. غلظت بالای منگنز در ستون آب دریا می‌تواند ناشی از تخریب اکسیدهای منگنز

در پی هوازدگی، فروکاهی میکروبی و فرآیندهای کاهشی بستر دریا باشد [۳۱]. میانگین غلظت منگنز در رسوبات همه ایستگاه‌ها، از میانگین شیل‌های جهان (۸۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین پوسته جهانی (۵۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۷۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است [۲۱-۲۳].

نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که در حال حاضر آلودگی منگنز در استان بوشهر کم تا متوسط است. بنابراین، منگنز در استان بوشهر بیشتر تحت تأثیر عوامل زمین‌زاد می‌باشد. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه و خارک نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر منگنز به ترتیب ۶۶ و ۶۰/۳ درصد است [۷، ۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر منگنز در رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه، ۵۰/۰۱ درصد است. آزادسازی بالای منگنز در pHهای پایین نشان دهنده جذب سریع معدوی آن توسط بدن انسان است. غلظت منگنز در آب دو چاه در منطقهٔ عسلویه و بندر طاهری [۲۴] در جدول ۳-۶ ارائه شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار استاندارد منگنز در آب آشامیدنی (حداکثر ۵۰ میکروگرم بر لیتر) است (WHO, 2008).

۳-۹-۲- منظرهای پزشکی منگنز

غلظت منگنز در اندام‌های مختلف بدن انسان از ۰/۲ تا ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است [۲۵] که کمترین غلظت آن در ماهیچه و بیشترین غلظت آن در کلیه‌ها گزارش شده است. منگنز یکی از عناصر ضروری است که برای عملکرد طبیعی مغز لازم است. این فلز به وفور در بافت‌های گیاهی و جانوری حضور دارد و به مقدار بسیار کم نیز در بدن انسان یافت می‌شود. منگنز در پایه‌ریزی بافت همبند چربی و کلسترول، استخوان، لخته شدن خون و پروتئین نقش دارد. همچنین نقش منگنز در فرآیندهای نمود ژنی و تثبیت ساختار DNA شناخته شده است [۱].

در بدن انسان، سوخت‌وساز منگنز و آهن ارتباط نزدیکی دارند، به طوری که غلظت فریتین در زنان با جذب غلظت بالای منگنز کاهش می‌یابد. بخش بزرگی از منگنز بدن انسان

در سلول‌های کبد جای دارد. غلظت منگنز در بدن مردان با افزایش سن، کاهش می‌یابد. با این حال، نشانه‌های کمبود منگنز در بدن انسان نادر است.

اگر چه مسمومیت منگنز از راه مواد غذایی چندان رایج نیست، اما استفاده از مکمل‌های منگنز، رژیم‌های گیاه‌خواری، کمبود آهن، کم خونی و نارسایی کبدی می‌تواند به مسمومیت مزمن منگنز منجر شود. بیشبود منگنز منجر به ابتلای انسان به آلزایمر و پارکینسون می‌شود [۱۵].

جدول ۳-۶- غلظت منگنز در محیط‌های مختلف استان بوشهر

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۷۲ - ۴۵۹	۳۱۰/۵۴ [۴]
مناطق عسلویه و نابیند	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۳۴۲ - ۵۵۲	۱۶۵/۴ [۲۸]
	رسوب ساحلی و دریایی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۰/۰ - ۴۶۶/۰	۱۶۸/۷۱ [۵]
عسلویه	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۵۰/۰۵ - ۳۴۹/۴۹	۲۶۴/۹۹ [۶]
	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۴	[۲۴] -
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۲۱/۰ - ۴۰۷/۰	۱۴۴/۳۶ [۷]
خارک	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۳۸ - ۰/۸۸	۰/۵۸ [۸]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۲/۳۶ - ۴۶/۷۲	۳۳/۴۶ [۹, ۸]
بندر طاهری	آب چاه	میکروگرم بر لیتر	۳۰	[۲۴] -

۳-۱۰- نیکل

نیکل یک عنصر جزئی و سیدروفیل / کالکوفیل است و میانگین غلظت آن در پوسته زمین حدود ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است [۱]. به دلیل شباهت عناصر نیکل و منیزیم، نیکل می‌تواند در کانی‌های اولیوین، پیروکسن و آمفیبول جانشین Mg شود و در شرایط برون‌زاد نیز به شکل بی‌کربنات نیکل از ترکیب آن‌ها خارج شود و پس از حمل توسط آب‌های زیرزمینی، به صورت سیلیکات‌های آبدار نیکل تجمع یابد. اگرچه نیکل به راحتی در آب حل

نمی‌شود، اما املاح کلریدی، نیتراتی و سولفات‌های آن در آب حل می‌شوند. نیکل از مهم‌ترین عناصر همراه با نفت در خلیج فارس و شاخص آلودگی نفتی در منطقه خلیج فارس است [۴۲]. نیکل در سنگ‌ها بیشتر با آهن، کبالت، گوگرد و آرسنیک ترکیب می‌شود. در پی هوازدگی، بیشتر نیکل از سنگ‌های مادر جدا شده و با اکسیدهای آهن و منگنز نهشته می‌شوند. این عنصر در ساختار کربنات‌ها، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها نیز یافت می‌شود. علاوه بر این، حضور غلظت‌های بالای نیکل در نفت و زغال‌سنگ نشان دهنده تمایل بالای این عنصر برای همراهی با ماده آلی است.

گستره غلظت نیکل از ۰/۲ تا ۴۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغییر است [۱]. ارتباط مثبت و معناداری میان غلظت نیکل خاک و حضور اکسیدهای آهن و منگنز در خاک دارد. نیکل در خاک کم تحرک است و بیشتر در کسر بازماندی یافت می‌شود.

از آنجا که نیکل به راحتی به مواد معلق و هیدروکسیدهای Fe-Mn جذب می‌شود برای مدت طولانی نمی‌تواند به صورت انحلال‌پذیر در آب باشد و به سرعت ته‌نشین می‌شود. به همین دلیل، غلظت نیکل در آب‌های سطحی بسیار پایین است.

غلظت نیکل در گیاهان تا حد زیادی به نوع گیاه، ویژگی‌های خاک و منشأ کنترل‌کننده آن بستگی دارد. ترشح آنیون‌های آلی و تغییر pH خاک توسط ریشه‌ها و قارچ‌ها در ریزوسفر می‌تواند دسترس‌پذیری نیکل را برای گیاه افزایش دهد [۱].

۳-۱۰-۱- نیکل در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت نیکل در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۷ ارائه شده است.

نتایج بررسی غلظت نیکل در رسوبات ساحلی و صدف‌های خوراکی (*S. cucullata*) استان بوشهر (بوشهر، گناوه، بندر دیر و نایبند) نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت نیکل در رسوبات و بافت نرم صدف به ترتیب در ایستگاه‌های گناوه و نایبند گزارش شده است [۴۲]. نتایج نشان داد که اختلاف معناداری میان غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب و صدف خوراکی ایستگاه‌های

مختلف وجود دارد. بالا بودن غلظت نیکل در ایستگاه گناوه بیشتر مربوط به بار آلودگی نفتی در این ایستگاه است. تأسیسات جدا کننده نفت بهرکان، چاه‌های نفتی بی‌بی حکیمه و وجود بزرگ‌ترین پایانه نفتی ایران (جزیره خارک) در حدفاصل قلمروی دریایی بنادر دیلم و گناوه مهم‌ترین منابع آلودگی نفتی در منطقه هستند. با این حال، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی در دریا و تردد کشتی‌های نفتکش و تجاری نیز دیگر منابع آلودگی در منطقه هستند [۴۳].

بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که تفاوت معناداری میان غلظت مس در رسوبات ساحلی ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۶]. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده غلظت نیکل رسوبات در برخی از نقاط استان بیش از رسوبات دریایی (۲۵ میکروگرم بر گرم)، میانگین پوسته جهانی (۱۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین رسوبات جهان (۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین شیل‌های جهان (۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رسوبات محدوده راپمی (۱۰۴-۵۵ میکروگرم بر گرم) است [۲۳-۲۱]. به طور کلی غلظت نیکل در خاک‌های جنوب ایران (مقدار زمینه) بالا می‌باشد [۴۴]. کانی‌های رسی، ماسه‌سنگ‌ها، اسلیت‌ها و اکسی/هیدروکسیدهای منگنز مهم‌ترین منابع نیکل در استان بوشهر هستند [۸]. با این حال، بالا بودن غلظت نیکل در خور لیلتین و عسلویه می‌تواند ناشی از فعالیت صنایع نفت و گاز، نفت‌ریزی‌های تصادفی و تخلیه فاضلاب تصفیه نشده به محیط‌های دریایی باشد. نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی نیکل در استان بوشهر در نقاط بررسی شده از کم تا شدید متغیر است. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقه عسلویه نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر نیکل، ۱۱ درصد است [۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر نیکل در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه، ۹/۲۰ درصد است [۲۸]. بنابراین، جذب نیکل حین پروسه هضم در بدن، بیشتر از راه مخاط روده کوچک رخ می‌دهد و دستیابی زیستی آن در فاز روده‌ای بیش از فاز معدوی آن است [۴۱].

غلظت نیکل در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدوده جزیره

خارک اندازه‌گیری شد مقایسه غلظت نیکل در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین محاسبه ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده نشان داد که مرجان‌های این منطقه میکروتغلیظ کننده نیکل هستند [۳۳].

۳-۱۰-۲- منظرهای پزشکی نیکل

میانگین غلظت نیکل در بافت‌های نرم بدن انسان ۸۸ میکروگرم بر کیلوگرم است؛ بیشینه آن در ریه (۱۷۳ میکروگرم بر کیلوگرم) و کمینه آن در پانکراس (۳۴ میکروگرم بر کیلوگرم) است [۴۵]. نیاز روزانه افراد بالغ به نیکل ۲۵ تا ۳۵ میکروگرم است [۱] با این حال، کمبود نیکل در انسان به ندرت رخ می‌دهد [۴۵].

نیکل به صورت کمپلکس با ترکیب‌هایی مانند آدینوزین تری‌فسفات‌ها، اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها در بدن انسان حضور دارد. با این حال، اثرات منفی نیکل بر پوست و دستگاه تنفسی اثبات شده است. استنشاق نیکل منجر به بیماری‌های حاد تنفسی، سوزش شدید نای و سرطان‌های بینی، حلق و ریه می‌شود. علاوه بر این، نوشیدن آب حاوی غلظت‌های بالای نیکل منجر به تخریب اندام‌های داخلی بدن و افزایش تولید ماکروفاژها در بدن انسان می‌شود. بنابراین در معرض بودن با غلظت‌های بالای نیکل به بیماری‌های پوستی، عفونت‌های موضعی، انواع سرطان، التهاب و مرگ منجر می‌شود [۴۵، ۱۵].

جدول ۳-۷- غلظت نیکل در محیط‌های مختلف استان بوشهر

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴/۳ - ۸۵/۸	۳۷/۴۳ [۴]
استان بوشهر (نیمه شمالی)	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۱۹/۶۷ - ۶۶/۰۴	۴۹/۷۸ [۳۴]
گناوه	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۵۱/۱۰ [۴۲]
	صدف دوکفه‌ای	میکروگرم بر گرم	-	۱۰/۵۱

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
بوشهر	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۴۵/۸۶
	صدف دوکفه‌ای	میکروگرم بر گرم	-	۷/۸۱
دیر	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۳۲/۸۵
	صدف دوکفه‌ای	میکروگرم بر گرم	-	۹/۴۸
نایبند	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۲۲/۴۸
	صدف دوکفه‌ای	میکروگرم بر گرم	-	۴/۲۲
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۶۲ - ۸	[۲۸] ۲۳/۵۳
	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۱۱۹/۹۹ - ۷/۴۰	[۶] ۵۷/۷۷
عسلویه و نایبند	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۸/۶۷ - ۶/۳۳	۷/۰۹
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۶/۴۳ - ۲/۴۵	[۳۵] ۲/۵۵
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی گرم بر کیلوگرم	۶/۶۷ - ۹/۱۲	۷/۴۵
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی گرم بر کیلوگرم	ND - ۲/۸۸	۱/۱۸
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۸۸/۷ - ۲/۴۰	[۷] ۲۰/۷۹
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۱/۰ - ۰/۵۴	[۸] ۰/۸۳
خارک	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۵۶/۵۸ - ۵۲/۶۵	[۹] ۱۳۳/۹۱
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	-	۱۹/۹۶
[۳۳]	مرجان	میکروگرم بر گرم	-	۲۱/۱۶
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۷۷/۳ - ۵۹/۷۱	[۳۶] ۶۷/۱۵
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۷/۵۶ - ۴۵/۰۳	۵۱/۱
[۵]	رسوب ساحلی و دریایی	میلی گرم بر کیلوگرم	۸۰/۰ - ۵/۴۰	۱۹/۰۴

۳-۱۱- وانادیم

وانادیم عنصری جزئی و لیتوفیل است. این عنصر بیشتر در گابروها و بازالت‌ها متمرکز است. به دلیل شباهت‌های ژئوشیمیایی وانادیم با آهن سه‌ظرفیتی و تیتانیم چهار ظرفیتی، این عنصر در ساختار کانی‌های تیتانومگنتیت، اسفن، روتیل، ایلمنیت، پیروکسن و آمفیبول

وارد می‌شود. به بیان دیگر، عنصر وانادیم به طور معمول، محصول جانبی و کانی همراه در کانسارهای آهن، تیتانیوم و مس می‌باشد و کانی‌های مستقل حاوی وانادیم بسیار کمیاب هستند. اگرچه غلظت وانادیم در محیط کم است، اما یکی از فراوان‌ترین عناصر در نفت خام برخی مناطق دنیا مانند ونزوئلا محسوب می‌شود.

غلظت وانادیم در خاک با ترکیب سنگ مادر ارتباط نزدیکی دارد. میانگین ۷ در خاک‌های جهانی ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شده است [۱]. خاک‌های دارای بافت سبک اغلب دارای مقدار کمی وانادیم هستند در حالی که خاک‌های حاوی مادهٔ آلی، کانی‌های رسی و اکسیدهای آبدار آهن، مقدار بیشتری وانادیم در خود دارند. کاتیون وانادیل (VO^{2+}) رایج‌ترین شکل وانادیم در خاک است. این کاتیون در خاک‌های اسیدی غالب بوده و احتمالاً از راه کمپلکس‌سازی با اسیدهای آلی متحرک می‌شود. شکل‌های آنیونی وانادیم بیشتر در خاک‌های خنثی و قلیایی یافت می‌شود [۳۸].

گسترهٔ غلظت وانادیم در آب دریا یک تا ۳ میکروگرم بر لیتر و میانگین آن ۲/۵ میکروگرم بر لیتر است [۱]. شیمی یون‌های ۷ در محیط آبی متغیر و به عوامل فیزیکوشیمیایی مختلفی بستگی دارد. با این حال، اغلب گونه‌های وانادیم به آسانی در رسوبات بستر تثبیت می‌شوند و نشانگر خوبی برای آلودگی محیطی محسوب می‌شوند.

۳-۱۱-۱- وانادیم در استان بوشهر

وانادیم فراوان‌ترین عناصر همراه با نفت در خلیج فارس است و شاخص آلودگی نفتی در منطقه محسوب می‌شوند [۴۲].

نتایج بررسی غلظت وانادیم در رسوبات ساحلی و صدف‌های خوراکی (*S. cucullata*) استان بوشهر (بوشهر، گناوه، بندر دیر و نایبند) نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت وانادیم در رسوبات و بافت نرم صدف به ترتیب در ایستگاه‌های گناوه (به ترتیب ۳۰/۷۰ و ۱/۶۳ میکروگرم بر گرم) و نایبند (به ترتیب ۷/۶۴ و ۱/۲۶ میکروگرم بر گرم) گزارش شده است [۴۲]. نتایج نشان داد که اختلاف معناداری میان غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب و صدف خوراکی ایستگاه‌های

مختلف وجود دارد. بالا بودن غلظت وانادیم در ایستگاه گناوه بیشتر مربوط به بار آلودگی نفتی در این ایستگاه است. تأسیسات جدا کننده نفت بهرکان، چاه‌های نفتی بی‌بی حکیمه و وجود بزرگ‌ترین پایانه نفتی ایران (جزیره خارک) در حدفاصل قلمروی دریایی بنادر دیلم و گناوه مهم‌ترین منابع آلودگی نفتی در منطقه هستند. با این حال، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی در دریا، تخلیه آب توازن و تردد کشتی‌های نفتکش و تجاری نیز دیگر منابع آلودگی در منطقه هستند.

محتوای وانادیم در رسوبات منطقه عسلویه (عسلویه و یا نایبند) در سه مطالعه مختلف بررسی شده است [۵، ۶، ۲۸]. محتوای وانادیم در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه از ۸ تا ۴۲ (میانگین ۲۲/۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش است [۲۸]. به طور مشابه، گستره غلظت وانادیم در مطالعه اول از ۴/۰ تا ۴۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۱۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است [۵]. در حالی که در مطالعه انجام شده توسط آقاداتاشی و همکاران (۲۰۱۹)، غلظت وانادیم در رسوبات سطحی (عمق نمونه‌برداری از رسوب ۵-۱ سانتی‌متر و عمق آب از یک تا ۷۲ متر) منطقه عسلویه از ۶/۷۵ تا ۶۰/۹۰ میکروگرم بر گرم متغیر است و میانگین آن ۳۹/۹۰ میکروگرم بر گرم گزارش شده است. طی سال‌های اخیر، غلظت وانادیم در آب دریا و رسوبات سطحی جزیره خارک در چهار مطالعه بررسی شده است. گستره غلظت وانادیم در یکی از مطالعات از ۲/۰ تا ۴۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۱۲/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است [۷]، در مطالعات دوم و سوم، گستره تغییرات وانادیم در آب دریا از ۰/۳۸ تا ۰/۸۸ میکروگرم بر لیتر (میانگین ۰/۵۸ میکروگرم بر لیتر) و در رسوبات از ۲۱/۷۲ تا ۱۴۳/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۸۰/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است [۸، ۹]. در مطالعه چهارم، میانگین غلظت وانادیم در رسوبات ساحلی جزیره خارک ۵/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است [۳۳]. در همه مطالعات به جز جعفرآبادی و همکاران (۲۰۱۸)، غلظت وانادیم در همه ایستگاه‌های استان، از میانگین شیل‌های جهان (۱۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۱۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است، در حالی که در برخی نمونه‌های مطالعه آقاداتاشی و همکاران از میانگین پوسته جهانی (۵۳ میلی‌گرم بر

کیلوگرم) بیشتر است [۲۳-۲۱]. نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه و خارک نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر وانادیم به ترتیب ۳۱ و ۶۴/۴۵ درصد است [۲۸]. وانادیم بیشتر در فاز کاهش‌پذیر قرار دارد که نشان دهنده اتصال قوی این عنصر با اکسیدهای آهن و منگنز است. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر وانادیم در رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه، ۱۳/۹۷ درصد است.

غلظت وانادیم در مرجان‌های گونهٔ *Acropora downingi* خلیج فارس و در محدودهٔ جزیرهٔ خارک اندازه‌گیری شد مقایسهٔ غلظت نیکل در رسوبات ساحلی و مرجان‌های جزیره و همچنین محاسبهٔ ضریب تجمع میان رسوب و زیست‌توده نشان داد که مرجان‌های این منطقه میکروتغلیظ‌کنندهٔ نیکل هستند [۳۳].

۳-۱۱-۲- منظرهای پزشکی وانادیم

گسترهٔ غلظت وانادیم در بدن انسان دو تا ۳۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم است [۲۵]. بیشینهٔ غلظت وانادیم در ریه، کبد و کمینهٔ آن در بافت‌های نرم بدن انسان گزارش شده است. وانادیم برای بسیاری از موجودات زنده ضروری محسوب می‌شود. با این حال، عملکرد دقیق آن در بدن انسان هنوز به درستی شناخته نشده است. تصور بر این است که وانادیم می‌تواند به عنوان جزئی از آنزیم‌هایی باشد که مبادلات هیدروژن را انجام می‌دهند. علاوه بر این، با سوخت‌وساز لیپیدها، گلوکز و فسفوترانسفرین در ارتباط است [۱]. وانادیم در سرم خون بیشتر به ترانسفرین و آلبومین‌ها متصل است اما انتقال وانادیم در بدن به حالت اکسایشی آن بستگی دارد. شواهد کمبود وانادیم چندان رایج نیست و تنها ممکن است بر غلظت لیپیدهای خون و فرآیندهای کانی‌سازی استخوان مؤثر باشد [۱] از سوی دیگر، غلظت بالای وانادیم می‌تواند منجر به بروز برونشیت مزمن و سرطان خون شود [۱۵].

۳-۱۲- کروم

از لحاظ ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، عنصر کروم لیتوفیل است و تمرکز آن در سنگ‌های

آذرین مافیک (الترامافیک) و رسوبات رسی، بیش از سایر سنگ‌ها می‌باشد [۱]. کروم در مراحل اولیه تفریق ماگمایی از ماگما جدا می‌شود و رسوب می‌کند. همه کانی‌های حاوی کروم نسبت به هوازدگی مقاوم هستند و با توجه به چگالی بالای این عنصر، در انواع ذخایر متمرکز می‌شود. با این حال، تنها کانی اقتصادی کروم، کرومیت می‌باشد که به طور معمول با سنگ‌های نفوذی اولترامافیک مانند دونیت، پریدوتیت و پیروکسنیت تشکیل می‌شود. گونه‌سازی کروم در بیشتر شرایط محیطی به pH و Eh محیط بستگی دارد. کروم موجود در ذخایر کرومیت سه ظرفیتی است و انحلال‌پذیری بسیار کمی در آب دارد.

میانگین غلظت کروم در خاک، ۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است. بیشینه غلظت آن در خاک‌های ناشی از سنگ‌های مافیک و رسوبات رسی یافت می‌شود. همبستگی مثبت کروم با کسر ریزدانه خاک، باعث می‌شود که غلظت این عنصر در خاک‌های سیلتی و گل ماسه‌ای بیش از خاک‌های ماسه‌ای باشد. علاوه بر این، pH خاک و محتوای مواد آلی نیز بر گونه‌سازی و میزان تحرک کروم مؤثر است. بخش عمده کروم خاک در شرایط طبیعی در کسر بازماندی و نامتحرک جای دارد [۳۸]، اما در خاک‌های بسیار اسیدی و قلیایی گونه‌های کروم متحرک می‌شوند. جذب کروم در خاک، بیش از هر چیز با مقدار رس و پس از آن با هیدروکسیدهای آهن و منگنز در ارتباط است.

میان غلظت کروم در آب اقیانوس‌های جهان ۰/۳ میکروگرم بر لیتر گزارش شده است [۱] و برخی بی‌مهرگان دریایی (مانند خرچنگ‌ها) می‌توانند غلظت‌های بالایی از کروم را در بدن خود انباشته کنند. تحرک کروم در فرآیندهای فرسایش و انتقال کم است به طوری که نسبت غلظت کروم در آب به غلظت آن در پوسته قاره‌ای ۰/۰۲ است [۴۶]. از آنجا که لیگاندهای آلی و معدنی تعیین‌کننده شکل کروم هستند، گونه‌سازی کروم در پساب تغییرات گسترده‌ای از خود بروز می‌دهد. بنابراین، مقدار زیادی کروم از راه پساب‌های صنایع آبکاری، چرم‌سازی و منسوجات به آب‌های سطحی وارد می‌شود [۱].

۳-۱۲-۱- کروم در استان بوشهر

نتایج اندازه‌گیری غلظت کروم در محیط‌های مختلف استان بوشهر در جدول ۳-۸ ارائه شده است. بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که تفاوت معناداری میان غلظت مس در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از منابع مختلف آلاینده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و قابلیت دسترس‌پذیری آن‌ها باشد [۳۵]. برخلاف رسوبات، غلظت کروم حل شده در ستون آب خلیج فارس پایین است؛ دلیل این مسئله این است که کروم رسوبات بیشتر در فاز بازماندی قرار دارد و به راحتی از ساختار خاک و رسوب جدا نمی‌شود [۳۱]. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت کروم در برخی ایستگاه‌ها، از میانگین شیل‌های جهان (۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین پوسته جهانی (۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و میانگین رسوبات جهان (۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر است [۲۳-۲۱].

نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت (Igeo) و ضریب آلودگی در مطالعات مختلف نشان داد که آلودگی کروم در استان بوشهر در نقاط بررسی شده از کم تا متوسط متغیر است [۴، ۶، ۹، ۲۸، ۳۵، ۳۶]. بنابراین، کروم در استان بوشهر بیشتر تحت تأثیر عوامل زمین‌زاد می‌باشد.

نتایج استخراج ترتیبی عناصر از رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه نشان داد که میزان زیست دسترس‌پذیری عنصر کروم، ۱۱ درصد است [۲۸]. علاوه بر این، نتایج بررسی دستیابی زیستی نشان داد که میانگین دستیابی زیستی عنصر کروم در رسوبات ساحلی منطقهٔ عسلویه، ۶/۶۶ درصد است [۲۸].

۳-۱۲-۲- منظرهای پزشکی کروم

گسترهٔ غلظت کروم در بافت‌های مختلف بدن انسان از ۳۰ تا ۲۹۰ میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد. بالاترین غلظت آن در پوست و پایین‌ترین آن در قلب و کبد اندازه‌گیری شده است [۲۵]. غلظت کروم در بسیاری از اندام‌های انسان با افزایش سن، کاهش می‌یابد در حالی که این روند در ریه‌ها برعکس است [۱].

جدول ۳-۸- غلظت کروم در محیط‌های مختلف استان بوشهر

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
استان بوشهر	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۴/۹ - ۹/۷	۳۳/۶۶ [۴]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۳۰ - ۱۴	۴۵/۸۷ [۲۸]
مناطق عسلویه و نابیند	رسوب ساحلی و دریایی	میلی گرم بر کیلوگرم	۵۲/۴۰ - ۵/۷۰	۱۶/۱۳ [۵]
	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۴۱/۶۱ - ۲۴/۹۵	۳۴/۲۰
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۶/۳۸ - ۴/۱۴	۵/۳۰
	رسوب ساحلی مناطق کشاورزی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۳/۰۴ - ۸/۸۳	۱۱/۰۹ [۳۵]
	رسوب ساحلی مناطق بکر	میلی گرم بر کیلوگرم	ND - ۳/۹۱	۱/۹۴
عسلویه	رسوب ساحلی مناطق صنعتی	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۰۵/۶۱ - ۹۸/۸۷	۹۴/۴۵ [۳۶]
	رسوب ساحلی مناطق شهری	میلی گرم بر کیلوگرم	۷۹/۶۳ - ۵۴/۳۲	۶۳/۸۵
خارک	رسوب سطحی	میکروگرم بر گرم	۸۷/۹۵ - ۱۱/۴۸	۵۸/۴۸ [۶]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۶۲/۰ - ۰/۴	۲۱/۱۸ [۷]
	آب دریا	میکروگرم بر لیتر	۰/۲۱ - ۰/۱۱	۰/۱۷ [۸]
	رسوب ساحلی	میلی گرم بر کیلوگرم	۴۴/۲۲ - ۱/۲۲	۱۶/۹۵ [۹, ۸]

کروم یکی از ریزمغذی‌های ضروری برای بدن انسان است. نیاز روزانه بدن انسان بالغ به کروم حدود ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این میزان کروم در هضم و سوخت‌وساز مواد قندی و چربی‌ها نقش به‌سزایی دارد. کمبود کروم منجر به افزایش کلسترول، افزایش قند خون، نارسایی قلبی و تحریک عصبی می‌شود.

اگرچه شواهدی مبنی بر سمی بودن کروم ۳ ظرفیتی وجود ندارد اما تأثیر منفی کروم ۶

ظرفیتی بر سلامت انسان اثبات شده است. سوختگی پوست، حساسیت‌های پوستی، آسیب‌های دستگاه تنفسی، آسیب‌های کلیه‌ها، کبد و دستگاه گوارش و انواع سرطان از بیماری‌های منصوب به کروم شش ظرفیتی هستند [۱۵].

۲-۱۳- منابع

- 1) Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., Trace elements from soil to human. 2007: Springer Science & Business Media.
- 2) Reiman, C. and Caritat, P.d., Chemical elements in the environment. Pactsheets for the Geochemist and Environmental Scientist Springer Verlag, Berlin-Heidellberg, 1998.
- 3) Celo, V., Ananth, R.V., Scott, S.L., *et al.*, Methylmercury artifact formation during solid-phase extraction of water samples using sulfhydryl cotton fiber adsorbent. *Analytica chimica acta*, 2004. 516(1-2): p. 171-177.
- 4) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Geochemistry and environmental effects of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and microplastics in coastal sediments of the Persian Gulf. 2019. 78(15): p. 492.
- 5) Delshab, H., Farshchi, P., and Keshavarzi, B., Geochemical distribution, fractionation and contamination assessment of heavy metals in marine sediments of the Asaluyeh port, Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 2017. 115(1-2): p. 401-411.
- 6) Aghadadashi, V., Neyestani, M.R., Mehdinia, A., *et al.*, Spatial distribution and vertical profile of heavy metals in marine sediments around Iran's special economic energy zone; Arsenic as an enriched contaminant. *Marine pollution bulletin*, 2019. 138: p. 437-450.
- 7) Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., *et al.*, Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environmental Pollution*, 2017. 220: p. 720-731
- 8) Jafarabadi, A.R., Bakhtiyari, A.R., Toosi, A.S., *et al.*, Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*, 2017. 185: p. 1090-1111.

- 9) Jafarabadi, A.R., Bakhtiari, A.R., Spanò, N., *et al.*, First report of geochemical fractionation distribution, bioavailability and risk assessment of potentially toxic inorganic elements in sediments of coral reef Islands of the Persian Gulf, Iran. *Marine pollution bulletin*, 2018. 137: p 185-197.
 - 10) CCME, Canadian environmental quality guidelines. 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg, Manitoba.
 - 11) Agah, H., Elskens, M., Fatemi, S.M.R., *et al.*, Mercury speciation in the Persian Gulf sediments. *Environmental monitoring and assessment*, 2009. 157(1-4): p. 363-373.
 - 12) Nakamaru, Y., Tagami, K., and Uchida, S., Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils. *Chemosphere*, 2005. 58(10): p. 1347-1354.
 - 13) Ellis, D.R. and Salt, D.E., Plants, selenium and human health. *Current opinion in plant biology*, 2003. 6(3): p. 273-279.
- (۱۴) اخباری‌زاده، ر. ارزیابی ریسک بوم‌شناختی عناصر بالقوه سمناک و ترکیبات آلی در ساحل و حوضچه‌های تخلیهٔ پساب مخازن جزیرهٔ خارک و بررسی روش‌های احتمالی حذف آلودگی. ۱۳۹۶، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شیراز. ایران.
- 15) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, *Essentials of medical geology*. 2016: Springer.
 - 16) Goldschmidt, V.M., *Geochemistry*. Vol. 78. 1954: LWW.
 - 17) Bhattacharya, P., Jacks, G., Ahmed, K., *et al.*, Arsenic in groundwater of the Bengal Delta Plain aquifers in Bangladesh. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002. 69(4): p. 538-545.
 - 18) Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G., A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied geochemistry*, 2002. 17(5): p. 517-568.
 - 19) Matschullat, J., Arsenic in the geosphere—a review. *Science of the Total Environment*, 2000. 249(1-3): p. 297-312.
- (۲۰) پهلوزاده، ب.، بررسی اثرات زیست‌محیطی و زمین‌پزشکی گنبد نمکی جاشک، استان بوشهر. ۱۳۹۶، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور مرکز تفت، یزد، ایران.
- 21) Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H., Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 1961. 72(2): p. 175-192.
 - 22) Wedepohl, K.H., The composition of the continental crust. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 1995. 59(7): p. 1217-1232.
 - 23) Bowen, H.J.M., *Environmental chemistry of the elements*. 1979: Academic Press.

- ۲۴) سجادی میان آب، ز.، بررسی هیدروشیمی و باکتریولوژیکی منابع آب زیرزمینی محدوده بندر عسلویه تا بندر طاهری در استان بوشهر. ۱۳۹۰، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
- 25) Jørgensen, S.E. and Halling-Sørensen, B., Drugs in the environment. *Chemosphere*, 2000. 40(7): p. 691-699.
- 26) Hughes, M.F., Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology letters*, 2002. 133(1) p. 1-16.
- 27) Chowdhury, D., Santen, L., and Schadschneider, A., Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Physics Reports*, 2000. 329(4-6): p. 199-329.
- 28) Keshavarzifard, M., Moore, F., and Sharifi, R., The influence of physicochemical parameters on bioavailability and bioaccessibility of heavy metals in sediments of the intertidal zone of Asaluyeh region, Persian Gulf, Iran. *Geochemistry*, 2019. 79(1): p. 178-187.
- ۲۹) حق‌شناس، آ.، حاتمی‌منش، م.، صادقی، م.، همکاران.، سنجش و ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس و روی) در رسوبات ساحلی استان بوشهر. نشریه مهندسی بهداشت محیط، ۱۳۹۷. ۵(۴): صفحات ۳۷۴-۳۵۹.
- 30) Abe, K., Cd in the western equatorial Pacific. *Marine Chemistry*, 2001. 74(2-3): p. 197-211.
- 31) Padhi, R., Biswas, S., Mohanty, A., et al., Temporal distribution of dissolved trace metal in the coastal waters of southwestern Bay of Bengal, India. *Water environment research*, 2013. 85(8): p. 696-705.
- 32) Gao, P., Guo, H., Zhang, Z., et al., Bioaccessibility and exposure assessment of trace metals from urban airborne particulate matter (PM10 and PM2. 5) in simulated digestive fluid. *Environmental Pollution*, 2018. 242: p. 1669-1677.
- 33) Souri, A., Niyogi, S., and Naji, A., Distribution, source apportionment, bioavailability and ecological risks of metals in reef sediments and corals of the Persian Gulf (Iran): Khark Island, Chirouyeh, and Hendorabi Island. *Marine Pollution Bulletin*, 2019. 149: p. 110654.
- ۳۴) حبیبی، س.، صفاهیه، ع. و پاشازانوسی، ح.، تعیین سطح ناپاکی رسوبات ساحلی استان بوشهر نسبت به فلزات سنگین (Cd, Ni, Pb, Cu). *مجله علوم و فنون دریایی*، ۱۳۹۱. ۱۱(۴): صفحات ۱۰۲-۹۲.
- 35) Arfaenia, H., Dobaradaran, S., Moradi, M., et al., The effect of land use configurations on concentration, spatial distribution, and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. *Science of the Total Environment*, 2019. 653: p. 783-791.

- 36) Seifi, M., Mahvi, A.H., Hashemi, S.Y., *et al.*, Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. *Desalination and Water Treatment*, 2019. 158: p. 130-139.
- 37) Mishra, V.K., Kim, K.-H., Kang, C.-H., *et al.*, Wintertime sources and distribution of airborne lead in Korea. *Atmospheric Environment*, 2004. 38(17): p. 2653-2664.
- 38) Kabata-Pendias, A.P., H.(2001): *Trace Elements in Soils and Plants*. 2010, Boca Raton, USA: CRC Press.
- 39) Manno, E., Varrica, D., and Dongarra, G., Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment*, 2006. 40(30): p. 5929-5941.
- 40) Sialelli, J., Davidson, C.M., Hursthouse, A.S., *et al.*, Human bioaccessibility of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in urban soils from the city of Torino, Italy. *Environmental Chemistry Letters*, 2011. 9(2): p. 197-202.
- 41) Turner, A. and Ip, K.-H., Bioaccessibility of metals in dust from the indoor environment: application of a physiologically based extraction test. *Environmental science & technology*, 2007. 41(22): p. 7851-7856.
- ۴۲) میرزا، ر.، فخری، ع.، فقیری، ا.، همکاران.، بررسی نسبت نیکل و وانادیوم ناشی از آلودگی‌های نفتی در رسوبات و صدف صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) در سواحل استان بوشهر، خلیج فارس. فصلنامه اقیانوس شناسی، ۱۳۹۲. ۴(۱۴): صفحات ۳۵-۴۳.
- 43) Mirza, R., Mohammadi, M., Sohrab, A.D., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater, sediment, and rock oyster *Saccostrea cucullata* from the northern part of the Persian Gulf (Bushehr Province). *Water, Air, & Soil Pollution*, 2012. 223: (1) p. 189-198.
- 44) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Fractionation, source identification and risk assessment of potentially toxic elements in street dust of the most important center for petrochemical products, Asaluyeh County, Iran. *Environmental earth sciences*, 2018. 77(19): p. 673.
- 45) Sunderman Jr, F.W., Nickel. *Elements and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance*, 2004: p. 841-865.
- 46) Gaillardet, J., Viers, J., and Dupré, B., Trace elements in river waters. *TrGeo*, 2003. 5: p. 605.

فصل چهارم

گنندهای نمکی

و عناصر اصلی آنها در استان بوشهر

۴-۱- گنبد‌های نمکی

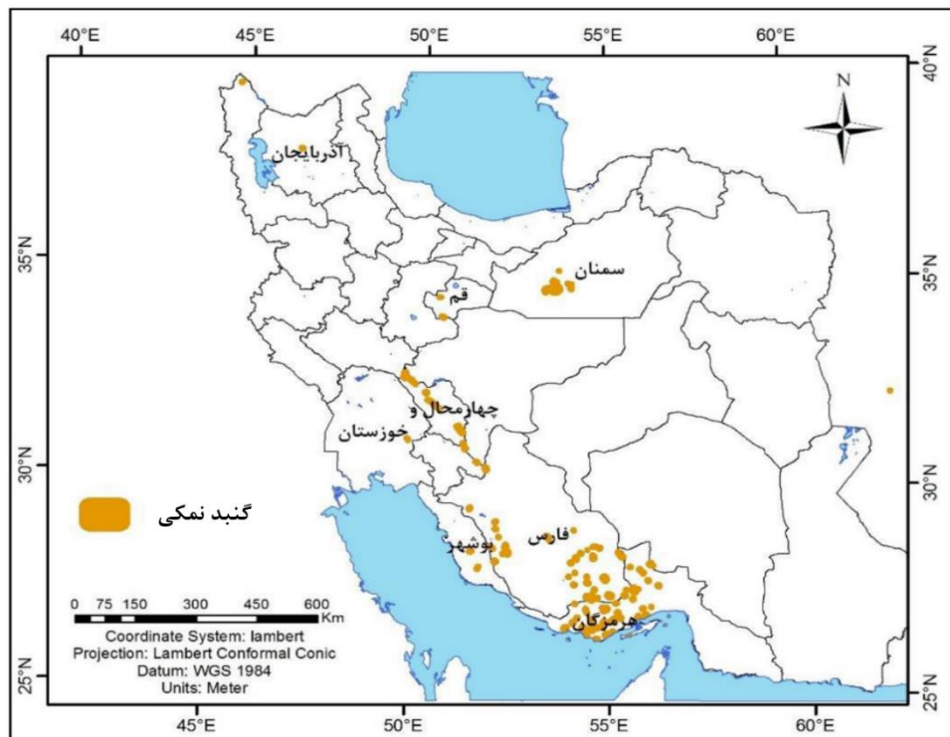
گنبد‌های نمکی ساختمان زمین‌شناسی گنبد مانندی است که هسته مرکزی آن را نمک تشکیل می‌دهد. هر گنبد را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. هسته مرکزی که از نمک تشکیل شده و بخش کناری که در اطراف حلقه مرکزی بوده و از سنگ‌های رسوبی و آذرین که از هسته مرکزی جوان‌تر هستند، تشکیل شده است [۱، ۲].

لایه‌های ضخیم نمک در اعماق زمین وجود دارند که ضخامت آن‌ها در برخی موارد ممکن است به بیش از ۱۰۰۰ متر برسد. نمک به مرور زمان از منبع تغذیه‌کننده خود به سمت بالا حرکت می‌کند. علت اصلی حرکت نمک به سمت بالا تفاوت چگالی نمک (۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) با سنگ‌های اطراف (۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. حرکت مواد به سمت بالا و اطراف سبب ایجاد چین‌های دی‌پیری، گسل‌های عادی با شبکه شعاعی، ناودیس حاشیه‌ای و... می‌شود. حرکت نمک‌ها با توجه به تغییرات سرعت در حین رسوب‌گذاری، موجب ایجاد ساختارهای رویشی، دگرشیبی‌های کم‌زاویه، تغییرات رخساره‌ای و در مواردی حذف طبقات می‌گردد. اهمیت اقتصادی آن‌ها به واسطه قرارگیری مخازن نفتی در ساخت‌های همراه با گنبد نمکی و همچنین وجود منابع سولفیدی پتاسیم، آهن و نمک در آن‌هاست [۲].

گنبد‌های نمکی از پدیده‌های بارز زمین ریخت‌شناختی در نواحی جنوبی زاگرس چین‌خورده هستند و اغلب آن‌ها به زمان اینفراکامبرین تعلق دارند [۳]. در حاشیه خلیج فارس حدود ۲۰۰ عدد گنبد نمکی شناسایی شده که ۱۱۸ عدد از آن‌ها بیرون‌زدگی نمک دارند [۴، ۵]. نخستین بار در سال ۱۸۷۲، Blandford نام سری هرمز را برای توصیف گنبد‌های نمکی ایران به کار برد [۶]. شکل ۴-۱، موقعیت جغرافیایی گنبد‌های نمکی ایران را نشان می‌دهد. گنبد‌های

نمکی خلیج فارس، چین‌خوردگی‌های زاگرس را در محل‌های مختلف از قبیل قله، محور تاقدیس و ناودیس و گسل‌ها قطع می‌کنند و در سه قسمت به خوبی دیده می‌شوند: حواشی گسل‌های کازرون و برازجان، هینترلند بندرعباس و در مجاورت راندگی زاگرس [۷]. در بیشتر گنبدهای نمکی منطقه، سطح فوقانی به وسیله طبقات رسوبی پوشیده شده است در حالی که برخی فاقد پوشش سطحی هستند. پوشش سنگی ممکن است بقایای موادی باشد که از انحلال نمک قسمت بالای گنبد برجای مانده باشد و یا ممکن است طبقاتی باشد که بر روی نمک از ابتدا قرار داشته و با حرکت نمک به سمت بالا حرکت کرده باشد. توصیف حرکت نمک به سمت بالا و دگرگونی مجاورتی شیل‌ها توسط سنگ‌های نفوذی سری هرمز در گنبدهای نمکی جنوب ایران، توسط De Böckh و همکاران در سال ۱۹۲۹ انجام شد [۸]. بررسی دقیق گنبدهای نمکی سری هرمز (هرمزگان، لارستان، فارس شمالی و خلیج فارس) در سال ۱۹۹۸ توسط Bosak انجام شده و نقشه محل و موقعیت ساختاری هر یک از آن‌ها ترسیم شده است [۹].

گنبدهای نمکی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، ایجاد نفت‌گیرهای ساختمانی و چینه‌ای، حمل قطعات زیرین به سطح، تأثیر بر سازه‌های مهندسی و غیره تأثیر دارند. با توجه به وجود طبقات شیلی، مارن، انیدریت و نمک در منطقه که فرسایش‌پذیری بالا و نفوذپذیری کمی دارند، توان رسوب‌زایی آن‌ها باعث ایجاد زهاب‌هایی باکیفیت نامطلوب از نوع سولفات و کلروره می‌شود [۲]. در هنگام بارندگی، باران از روی گنبدهای نمکی عبور کرده و توسط آبراهه‌ها به سمت دشت‌های مجاور سرازیر می‌شود و باعث از بین رفتن کیفیت خاک‌های این مناطق می‌شود. شوری آب زیرزمینی و سطحی ناشی از وجود گنبدهای نمکی موجب توقف فوری رشد گیاهان، اختلال در فعالیت‌های زیست‌شناختی خاک، تخریب ساختمان خاک و کاهش تولید در زیست‌توده گیاهی و سرانجام رها شدن اراضی و گسترش اراضی بیابان می‌شود. علاوه بر شوری، تولید زهاب اسیدی ناشی از واکنش پیریت با اکسیژن هوا و همچنین تشکیل سولفات از گوگرد آزاد شده منجر به آسیب‌های جدی به خاک می‌شود [۱].



شکل ۴-۱- موقعیت جغرافیایی گنبد های نمکی ایران
(تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور [۱]).

۴-۲- عناصر اصلی همراه با گنبد های نمکی

۴-۲-۱- سدیم

سدیم از فراوان ترین عناصر قلیایی رایج در پوسته زمین است. این عنصر به شدت لیتوفیل است و فراوان ترین یون فلزی در آب دریا می باشد. سدیم در ساختار بسیاری از کانی های سیلیکاته مانند پلاژیوکلازها وارد می شود. این عنصر که به راحتی در آب حل می شود، در تماس با آب های سطحی و زیرزمینی از سطح کانی ها شسته شده و به صورت یون Na^+ با آب همراه می شود.

سدیم برای حیات بشر ضروری است. غلظت آن در سرم خون بین ۱۳۶ تا ۱۴۶ میلی مول

بر لیتر و در گلبول‌های قرمز خون ۱۱ میلی‌مول بر لیتر است. حدود ۹۰ درصد از سدیم بدن در فضای برون‌سلولی (همراه با کلر و پتاسیم) قرار دارد. مبادلهٔ سدیم و پتاسیم نقش مهمی در کنترل تعادل بارهای الکتریکی در سطح سلول‌ها دارد. همراهی همیشگی میان عناصر سدیم و پتاسیم، پتانسیل الکتریکی موجود در غشای سلول‌ها و تغییرات میزان pH را کنترل می‌کند. یون سدیم درون‌سلولی در سطح بسیار پایینی نگاه‌داشته می‌شود. از گرادیان Na^+ به عنوان یک منبع انرژی برای انتقال برخی از املاح (آمینواسیدها، یون کلسیم، یون منیزیم و یون هیدروژن) به درون سلول استفاده می‌شود. نگهداشت گرادیان Na^+ با سیستم‌های انتقالی مشخصی مانند پمپ Na^+-K^+ ، مبدل Na^+-H^+ ، هم‌انتقال دهندهٔ $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{Cl}^-$ ، مبدل $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ ، مبدل $\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}$ و کانال‌های Na^+ تنظیم شده با ولتاژ^۲ انجام می‌شود. غلظت سدیم در بدن انسان، به دقت توسط کلیه‌ها کنترل می‌شود تا موازنهٔ اسمزی به درستی عمل کند. یکی از عملکردهای مهم سدیم در بدن انسان، انتقال پیام‌های عصبی است.

نیاز روزانهٔ بدن انسان به سدیم حدود ۸ تا ۹ گرم است که به راحتی از راه نمک جذب بدن می‌شود. کمبود سدیم در بدن انسان موجب گرفتگی عضلات، سردرد، بی‌اشتهایی و خستگی می‌شود [۱۰]. از سوی دیگر افزایش غلظت سدیم در بدن منجر به انباشت آب در بافت‌ها (تورم موضعی) و فشارخون شود.

۴-۲-۲- کلر

کلر عنصری هالوژن و فراوان است و بیشتر به صورت یون کلرید در واکنش‌های مختلف شرکت می‌کند. کلرید در سامانه‌های آبی تحرک بسیار بالایی دارد و بیشترین مقدار آن در اقیانوس‌ها می‌باشد. غلظت یون کلر در آب دریا ۵۴۹ میلی‌مول بر لیتر است. به طور معمول همبستگی مثبت و معناداری میان آرسنیک و کلر در چشمه‌های آب گرم مشاهده می‌شود. این ارتباط نشان دهندهٔ شباهت‌های زمین‌شیمیایی این دو عنصر به یکدیگر و رفتار مشابه آن‌ها

¹ Co-transporter

² Voltage-regulated Na^+ channels

در جدایش فازی و ورود به فاز مایع در حال جوش است.

کلر یک عنصر ضروری برای حیات است و در سلولها و سیالات بدن حضور دارد. غلظت آن در سرم خون بین ۹۸ تا ۱۰۶ میلیمول بر لیتر و در گلبولهای قرمز خون ۵۰ میلیمول بر لیتر است. این عنصر مهمترین آنیون برونسلولی است و سطح آن در سیالات بدن حدود ۱۰۰ تا ۱۱۰ میلیمول بر لیتر می‌باشد. همانند سدیم کنترلی برای جذب یون کلر وجود ندارد و هموستازی آن توسط دفع/بازجذب کلیوی انجام می‌گیرد. انتقال و جذب سلولی یون کلر با استفاده از همانتقال دهنده K^+-Cl^- ، همانتقال دهنده $Na^+K^+-2Cl^-$ ، مبدل $Cl^-HCO_3^-$ ، کانالهای کلر فعال شده با یون کلسیم، کانالهای Cl^- تنظیم شده با ولتاژ و کانالهای Cl^- مکانیکی فعال شده انجام می‌شود [۱۰].

۴-۲-۳- گوگرد

گوگرد عنصری فراوان در کره زمین است که بخش عمده آن در هسته و بخش کمتر آن در پوسته زمین قرار دارد. با این حال، با توجه به ویژگیهای زمین‌شیمیایی منحصربه‌فرد خود، با بسیاری از عناصر ترکیب می‌شود. گوگرد معمولاً در پی اکسیداسیون کانیهای سولفیدی مثل پیریت، مارکازیت و پیروتیت، در پی فعالیت‌های زمین‌گرایی مثل چشمه‌های آب‌گرم و طی فرآیندهای پالایش نفت و گاز حاصل می‌شود.

گوگرد یکی از عناصر ضروری برای حیات انسان است و در همه سلولهای بدن حضوری فعال و غیرقابل انکار دارد. این عنصر در ساختمان پروتئینها و اسیدهای آمینه، آنزیمها و ویتامینها حضور دارد. علاوه بر این، گوگرد در فرآیندهای مربوط به رشد و تقسیم سلولی و جلوگیری از مسمومیت نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. عناصر و عوامل مسمومیت‌زا پس از ترکیب با گوگرد به ترکیباتی بی‌ضرر تبدیل می‌شوند و از بدن دفع می‌گردند. علاوه بر این، از گوگرد می‌توان برای درمان برخی از قارچ‌های پوستی و باکتری‌ها استفاده کرد. یکی از دلایل استفاده از چشمه‌های آب‌گرم گوگردی در سراسر جهان، از بین بردن بیماری‌های پوستی، درمان جوش و کورک، درمان عفونت‌ها و بهبود زخم‌ها می‌باشد.

اگرچه غلظت‌های کمی از ترکیبات گوگرد می‌تواند اثرات مثبتی بر برخی بیماری‌ها داشته باشد، در معرضی با غلظت‌های بالای گوگرد دی‌اکسید (SO_2)، سولفید هیدروژن (H_2S) و کربن دی‌سولفید (C_2S_2) بسیار خطرناک است.

۴-۲-۴- کلسیم

کلسیم پنجمین عنصر فراوان پوستهٔ زمین است و به شدت سنگ‌دوست (لیتوفیل) است. این عنصر در همهٔ ترکیبات طبیعی خود به صورت Ca^{2+} حضور دارد. این یون به دلیل آزاد شدن آسان در فرآیندهای هوازدگی، در همهٔ آب‌های طبیعی وجود دارد و رایج‌ترین کاتیون فلزی در اغلب منابع آب شیرین است.

کلسیم برای همهٔ موجودات ضروری است. در بدن انسان، حدود ۱/۵ تا ۲ درصد از جرم بدن را کلسیم تشکیل می‌دهد. غلظت آن در سرم خون بین ۲/۲۰ تا ۲/۵۵ میلی‌مول بر لیتر و در گلبول‌های قرمز خون 10^{-4} میلی‌مول بر لیتر است. بیشتر کلسیم موجود در بدن انسان (۹۹ درصد) در استخوان‌ها و دندان‌ها ذخیره می‌شود. حدود یک درصد از کلسیم موجود در بدن انسان در خون، عضلات و سایر بافت‌های نرم قرار دارد. بنابراین، نقش کلسیم در تغییرات سلولی، ساختار غشای سلولی، آزاد شدن منتقل‌کننده‌های عصبی، هدایت پیام‌های عصبی و انقباض ماهیچه‌ای انکارناپذیر است.

انقباض عضلات، لرزش و عدم کنترل بر عضلات از عوارض کمبود کلسیم است. در صورت وقوع کمبود طولانی‌مدت، بدن کلسیم مورد نیاز خود را از بافت‌های استخوانی دریافت خواهد کرد که عوارضی مانند ناهنجاری‌های استخوانی و حرکتی را در پی خواهد داشت. از سوی دیگر افزایش بیش از حد کلسیم در بدن منجر به سفت شدن مفاصل، بروز سنگ کلیه و اختلال در عملکرد کلیه می‌شود [۱۰].

۴-۲-۵- منیزیم

منیزیم سومین عنصر فراوان ترکیب زمین و ششمین عنصر فراوان پوسته است. منیزیم

در جبهه در ساختار کانی‌های اولیوین و پیروکسن نقش اساسی دارد. یون‌های Mg^{2+} در پی هوازدگی سنگ‌های حاوی منیزیم آزاد و در آب‌های سطحی و زیرزمینی حل می‌شوند. این عنصر در سنگ‌های الترامافیک و افیولیتی بیشترین غلظت را دارد. کانی‌های اقتصادی منیزیم عبارتند از: منیزیت، دولومیت، بروسیت و کارنالیت.

منیزیم یکی از عناصر ضروری برای حیات گیاهان، جانوران و انسان است. به طور معمول بدن انسان بالغ بین ۲۰ تا ۲۸ گرم منیزیم دارد. غلظت آن در سرم خون بین ۰/۷۶ تا ۱/۱۰ میلی‌مول بر لیتر و در گلبول‌های قرمز خون ۲/۵ میلی‌مول بر لیتر است. برخلاف یون‌های سدیم و کلسیم، منیزیم به طور یکنواخت در درون سلول‌ها و سیالات بدن توزیع شده‌اند. محل اصلی تجمع منیزیم در بدن انسان، استخوان است که ۶۰ تا ۶۵ درصد از منیزیم را در خود جای داده است. ۳۵ تا ۴۰ درصد باقیمانده منیزیم در خون، ماهیچه‌ها و سیالات برون‌سلولی حضور دارد. منیزیم در افزایش توان ماهیچه‌ها، سنتز و تولید پروتئین، فعالیت آنزیم‌های بدن و رشد، تقسیم و تکثیر سلول‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. علاوه بر این، Mg^{2+} در ساختار RNA و ریبوزم‌ها و حداقل ۳۰۰ فعالیت آنزیمی درون بدن انسان نقش مؤثری دارد.

غلظت منیزیم در پلاسما بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۸ میلی‌مول بر لیتر است. جذب منیزیم معمولاً به راحتی و از راه فرآیند انتشار ساده رخ می‌دهد و مقدار اضافی آن از راه ادرار دفع می‌شود. کمبود منیزیم در بدن^۱ منجر به ایجاد ناراحتی‌های قلبی، گرفتگی عضلات، تب و لرز، حالت تهوع و استفراغ، عصبانیت و پرخاشگری، احساس وز-وز در گوش می‌شود. مسمومیت منیزیم فقط در صورتی رخ می‌دهد که منابع غیر غذایی منیزیم مصرف شود. با این حال، نتایج پژوهش‌های همه‌گیر شناختی در قسمت‌های مختلف جهان نشان داد که ارتباط مثبت و معناداری میان سختی آب (غلظت‌های بالای منیزیم) و بیماری‌های قلبی - عروقی وجود دارد [۱۰].

۴-۲-۶- پتاسیم

پتاسیم از عناصر فراوان قلیایی و به شدت لیتوفیل است. این عنصر در ساختار فلدسپارها

^۱ Hypomagnesemia

شرکت می‌کند. غلظت پتاسیم در پوستهٔ زمین به طور تقریبی برابر با سدیم است، اما در آب رودخانه دو برابر بیشتر و در آب دریا ۴۰ برابر کمتر از سدیم است. مهم‌ترین کانی‌های پتاسیم سیلویت و کارنالیت می‌باشند.

پتاسیم عنصر ضروری برای حیات و فراوان‌ترین کاتیون در بدن انسان است. غلظت آن در سرم خون بین ۳/۵ تا ۵/۱ میلی‌مول بر لیتر و در گلبول‌های قرمز خون ۹۲ میلی‌مول بر لیتر است. برخلاف سدیم، بیشتر پتاسیم (۹۸٪ آن) در بافت‌های درون‌سلولی تجمع می‌یابد. بیشتر سلول‌ها حدود ۱۵۰ میلی‌مول یون پتاسیم دارند در حالی که مقدار پتاسیم در سیالات برون‌سلولی تنها ۴ میلی‌مول است. پتاسیم با استفاده از Na^+ ، K^+ -ATPase، H^+ ، K^+ -ATPase، هم‌انتقال دهندهٔ Na^+ -2Cl⁻-K⁺ و کانال‌های هدایت K^+ از پلاسما به درون سلول راه یابد. افزایش غلظت یون پتاسیم در فضای بین سلولی می‌تواند ناشی از گشاد شدن عروق و افزایش جریان خون در پی ورزش و انتقال یون پتاسیم از میوسیت‌ها باشد.

نیاز روزانهٔ یک فرد بالغ به پتاسیم ۱۳۱-۱۱۵ گرم است. پتاسیم به راحتی جذب می‌شود و هموستازی آن به وسیلهٔ دفع کلیوی انجام می‌شود. پتاسیم در کنار سدیم نقش مهمی در حفظ موازنه و توازن یونی و اسمزی در بافت‌های داخلی بدن دارد. این عنصر موجب افزایش انرژی و استقامت بدن می‌شود.

کمبود پتاسیم^۱ معمولاً در پی دفع زیاد (اسهال یا پرخوری روانی^۲)، سوءتغذیه و مسافرت‌های طولانی رخ می‌دهد و عوارض آن عبارت است از: دردهای عضلانی، ضعف ماهیچه‌ای، ناراحتی‌ها و ناهنجاری‌های دستگاه گوارش شامل بی‌اشتهایی، تهوع، استفراغ و یبوست، آریتمی قلبی، کاهش ترشح انسولین و اختلال در عملکرد کلیه به دلیل کاهش جریان خون [۱۰].

۳-۴- گنبد‌های نمکی استان بوشهر

نفوذ گنبد‌های نمکی در مجاورت گسل‌های محلی در استان بوشهر ساختارهای خاصی

¹ Hypokalemia

² Bulimia

را ایجاد کرده است. سن اغلب گنبد‌های نمکی منطقه به اینفراکامبرین برمی‌گردد. مهم‌ترین گنبد‌های نمکی در استان بوشهر عبارتند از گنبد نمکی اهرم (چاه پیر)، گنبد نمکی خشت و کمارج، گنبد نمکی خورموج، گنبد نمکی جاشک و کوه نمک. عملکرد گسل‌های منطقه مهم‌ترین علت خروج این گنبد‌ها در این مناطق است [۳].

۴-۳-۱- گنبد نمکی جاشک (دشتی / کوه نمک)

گنبد نمکی جاشک یکی از بزرگ‌ترین و فعال‌ترین گنبد‌های نمکی ایران است. این گنبد نمکی در نزدیکی روستای گنخک و در فاصله ۱۴۴ کیلومتری شرق بندر بوشهر و ۶۴ کیلومتری شمال شرق شهر خورموج قرار دارد (شکل ۴-۲). گنبد نمکی جاشک تاقدیس کوه نمک را به صورت عرضی قطع کرده است و مرز گسلی در غرب و شرق این گنبد کاملاً مشخص است. ارتفاع قله آن ۱۴۹۰ متر از سطح دریا می‌باشد و کمینه ارتفاع آن از سطح دریا ۷۰ متر است. وسعت این گنبد نمکی حدود ۵۰ کیلومترمربع است [۱]. از لحاظ سنگ‌شناختی بخش اصلی گنبد مربوط به سازند هرمز است (شکل ۴-۳) و توالی نمک‌های به رنگ قرمز، صورتی، سیاه، قهوه‌ای، ماسه‌سنگ‌های کوارتزی و شیل‌های ملون در آن به خوبی مشاهده می‌شود [۱۱]. شیل‌های این گنبد غنی از اکسیدهای آهن، گوگرد، پیریت و مواد آلی هستند. سازندهای بختیاری، میشان، آغاچاری، گچساران، آسماری، جهرم، پابده، گورپی، بنگستان، گدون، داریان، فهلیان و سورمه با این گنبد نمکی در ارتباط هستند. نمک هرمز پس از حرکت به سمت بالا و خروج از رأس تاقدیس کوه بیرمی به طرف جنوب بر روی یال تاقدیس جاری شده و نتیجه آن تشکیل روانه‌ای عظیم از نمک است. حرکت نمک با ایجاد ساختمان‌های متنوعی همراه است که مهم‌ترین آن ساختمان‌های چین‌خورده از نوع تایت در سایر واحدهای نامحلول سازند هرمز است که پس از انحلال نمک می‌تواند طرح حرکت آن را نمایش دهد. نمک‌شارها، مناطق کارستی، چشمه‌های نمکی، آبشارها، دره‌های گل‌کلمی، ستون فرسایشی، تنگه‌ها و گسل‌های معکوس محیطی، دورتادور گنبد دیده می‌شوند [۱، ۱۲]. با توجه به فوق اشباع بودن آب از نمک، ساختارهای استالاگمیت و استالاگمیت به وفور در غارها قابل مشاهده است اما به دلیل

داشتن ساختار سست و ضعیف، احتمال ریزش غارها وجود دارد.

گنبد نمکی جاشک از دو بخش هسته و سنگ‌پوش تشکیل شده است. سنگ‌پوش گنبد دارای انواع کانی‌های رسوبی از جمله گچ‌ها، مارن‌ها، آهک‌ها و ماسه‌سنگ‌هاست و بخش هسته مملو از کانی‌های نمکی می‌باشد. بخش مرتفع گنبد پوشیده از کانی‌های نمکی و بخش پست‌تر شامل انواع کانی‌های رسوبی به ویژه تبخیری‌ها، گچ و ژئپس است. تنوع رنگ‌ها در کانی‌های رسوبی گنبد نمکی جاشک شگفت‌انگیز است به طوری که مارن‌های خاکستری مایل به بنفش، هماتیت‌های قرمز، لیمونیت‌های زرد و انواع اکسیدهای رنگی در کنار بلورهای سفید نمک همزمان دیده می‌شوند و بلورهای زیبای نمک و کانی‌هایی نظیر پیریت و فلورین با تنوع رنگ و جلای فلزی و غیرفلزی خود بسیار چشم‌نواز هستند.

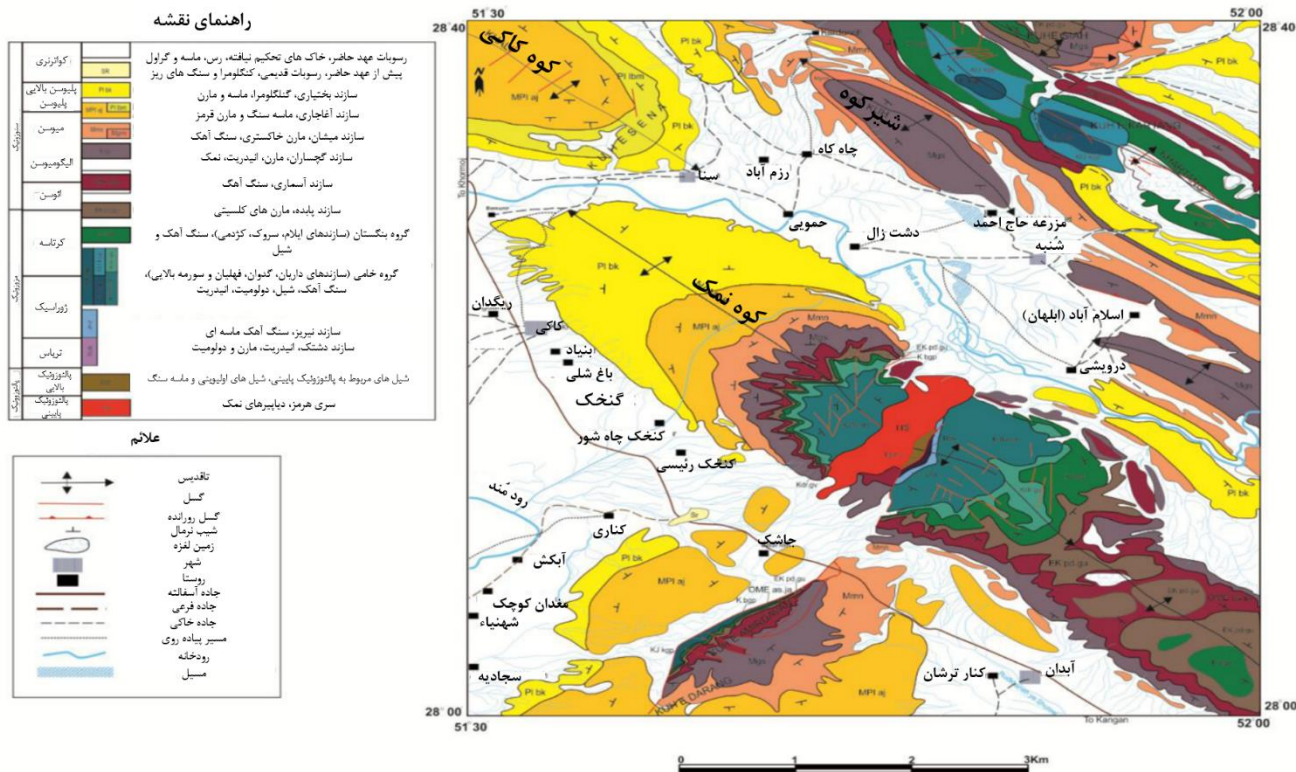
از لحاظ ریخت‌شناسی بخش شمالی گنبد نسبت به بخش جنوبی آن ارتفاع بیشتری دارد و آبراهه‌های متعددی از بخش شمالی گنبد سرچشمه می‌گیرند و مستقیماً به رودخانه مند می‌ریزند. آبراهه‌های جنوبی گنبد نیز پس از طی مسافتی در نزدیکی روستای برم به رودخانه مند ملحق می‌شوند که در زمان بارندگی حجم قابل ملاحظه‌ای از آب شور را به رودخانه منتقل می‌کنند [۱]. بنابراین، گنبد نمکی جاشک به طور مستقیم بر کیفیت رودخانه مند و آب‌های زیرزمینی دشت کاکلی - بردخون در جنوب‌شرق استان تأثیر دارد. به طوری که ساکنین و پوشش گیاهی و جانوری منطقه در معرض اثرات زیست‌محیطی آثار انحلال نمک در آب‌های منطقه قرار دارند [۱۳].

در پژوهشی که اخیراً در این خصوص انجام شده است از ۲۵ حلقه چاه در منطقه، ۴ نقطه در رودخانه مند و یک نقطه از شورابه‌های گنبد نمکی نمونه‌برداری شده و مقدار شوری و غلظت یون‌های اصلی شامل Mg ، Cl ، HCO_3 ، SO_4 ، Na و Ca اندازه‌گیری شده است [۱۴]. نتایج این پژوهش در جدول ۴-۱ قابل مشاهده است. نسبت بیش از یک یون سولفات به یون بی‌کربنات و همچنین یون کلر به یون بی‌کربنات و یون سدیم به کلر بیانگر انحلال املاح تبخیری است. در پژوهشی دیگر تجزیه شیمیایی رسوبات آبراهه‌های اطراف گنبد نشان داد که غلظت Cu ، Ni ، Cr و Co کمتر از میانگین پوسته و استانداردهای جهانی خاک است.

در حالی که بالا بودن غلظت عناصر Na، Ca، K، Cl و S به صورت کانی‌های تبخیری موجب آلودگی شدید خاک‌های منطقه شده است [۱].



شکل ۴-۲- موقعیت جغرافیایی گنبد نمکی جاشک و تصویر ماهواره‌ای آن [۱]



شکل ۴-۳- نقشه زمین‌شناسی گنبد نمکی جاشک در تاق‌دیس نمک [۱۵]

جدول ۴-۱- پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی نمونه‌های آب چاه (W)، رودخانه مند (R) و شورابه گنبد نمکی (G) در دشت کاکلی - بردخون [۱۴]

SO ₄	HCO ₃	Cl	K	Na	Mg	Ca	جامدهای کل حل شده (TDS)	شوری	pH		
۲.۲۳۳	۲۶۲/۴	۱.۲۴۱	۱۷/۹	۷۱۸/۷	۵۴۰/۸	۶۰۱/۲	۴.۶۹۷	۷۰۶۵	۷/۷	بیشینه	آب چاه (W) نمونه ۲۵
۴۲۵/۶	۱۰۹/۸	۸۸/۶۳	۴/۳	۵۳/۱۱	۳۰/۳۸	۹۰/۱۸	۱.۲۷۳	۱.۹۴۳	۶/۷	کمینه	
۱.۴۶۱/۸۵	۱۷۲/۱۸	۴۸۲/۳۳	۹/۸	۲۳۰/۷۸	۲۰۵/۱۴	۴۰۴/۰۱	۲.۹۰۹/۷۲	۴.۲۳۶/۷۲	۷/۰۷	میانگین	
۱.۵۸۵	۱۸۳/۱	۱۹.۴۹۹	۷۶/۲	۱۰.۳۹۶	۷۵۹/۵	۱.۲۵۲	۳۳.۶۲۵	۳۴.۲۸۰	۸/۳	بیشینه	آب رودخانه (R) نمونه ۴
۱.۲۰۱	۱۳۴/۲	۱۱.۵۲۲	۶۴/۵	۶.۸۹۲	۱۵۱/۹	۳۸۰/۷	۲۰.۷۸۳	۲۹.۵۸۲	۸/۱	کمینه	
۱.۴۱۷	۱۶۰/۱۸	۱۴.۰۴۸	۷۰/۳۵	۸۰.۳۱/۷۵	۴۱۳/۱۸	۸۹۶/۵۵	۲۵.۰۵۴/۷۵	۳۱.۸۹۴/۵	۸/۲	میانگین	
۵.۷۶۰	-	۲۱۳.۰۰۰	۱.۵۸۴/۲	۱۲۹.۷۶۶	۵۵۵	۱.۳۲۵	۳۵۱.۹۹۰	۴۷.۷۰۰	۸/۷	-	شورابه (G) یک نمونه

۴-۳-۲- گنبد نمکی چاه‌پیر

این گنبد در هسته و یال جنوب‌غربی تاقدیس چاه‌پیر واقع در شمال‌شرقی شهر اهرم، رخنمون دارد. طول این گنبد نمکی به بیش از ۴ کیلومتر و پهنای آن گاه تا دو کیلومتر می‌رسد. وضعیت کشیده گنبد نمکی گویای تأثیر گسلش برازجان و چین‌خوردگی بر روی آن می‌باشد [۷]. محل برون‌زد این گنبد نمکی محل انطباق دو گسل برازجان در قشر رسوبی و گسل پی‌سنگ برازجان می‌باشد. این گنبد نمکی در میوسن میانی (سازند گچساران) به طور ناگهانی به سمت راست چرخیده و رخساره‌های پیشین خود (گروه بنگستان) را قطع کرده است [۱۶].

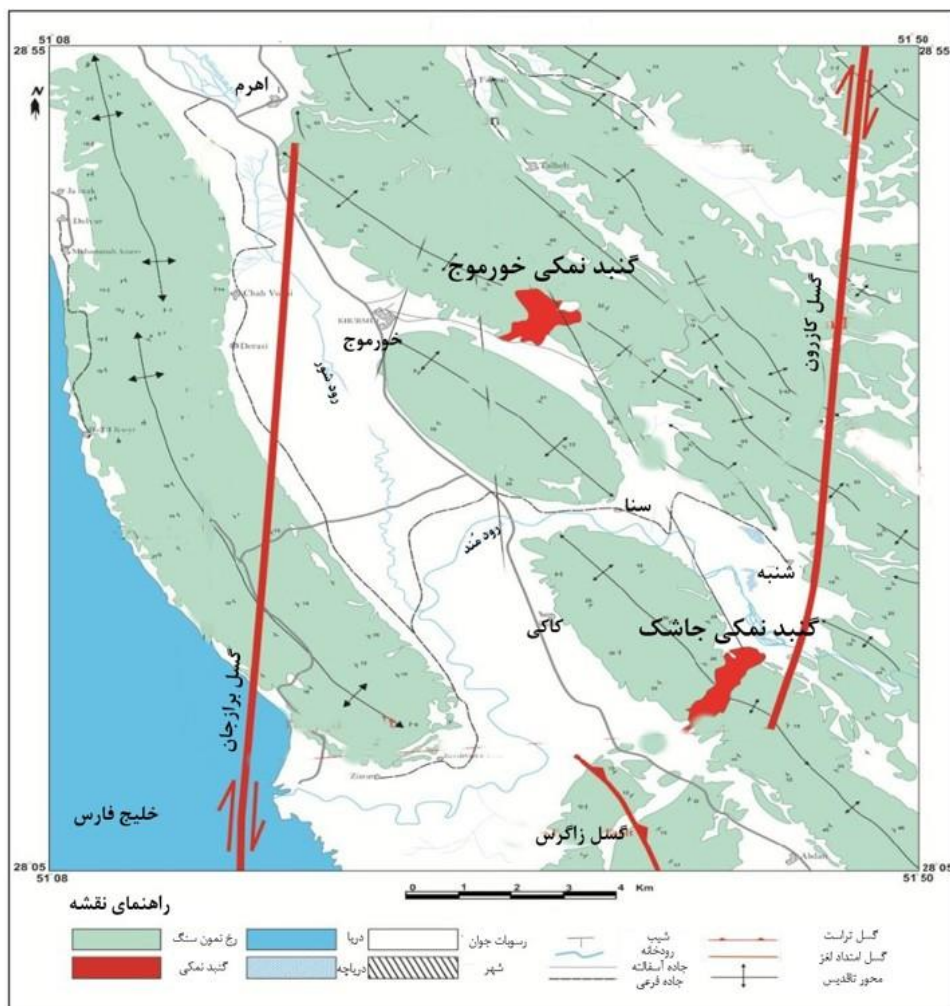
۴-۳-۳- گنبد نمکی خشت و کمارج

در منطقه کمارج و در غرب تاقدیس سربالش دو گنبد نمکی رخنمون دارند. این گنبدهای نمکی در راستای شمالی - جنوبی و به موازات گسل کازرون واقع شده‌اند. کشیدگی این گنبد نشان دهنده تأثیر گسلش بر آن است. گنبد نمکی کمارج از درون سازندهای گچساران و بختیاری بیرون زده شده و همراه با خود قطعات بزرگ نابرجا را به سطح آورده است. سنگ‌های بیگانه‌ای که در درون نمک‌های این گنبد نمکی دیده می‌شود عبارتند از شیل‌های سیاه‌رنگ، آهک‌ها و دولومیت‌های سیاه‌رنگ و بدبو که حالت استروماتولیت^۱ دارد. چین‌خوردگی کنگلومرای بختیاری و سازند گچساران در حاشیه گنبد نمکی کمارج نشان دهنده فعالیت این گنبد در زمان پس از رسوب‌گذاری کنگلومرای بختیاری است. در شمال روستای بوشیگان رخنمون کوچکی از سنگ‌های کربناته و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ دیده می‌شود که آن را جزو سری هرمز می‌دانند. رخنمون کربناته این واحد از نوع گل‌سنگ متعفن است که آثاری از مرجان در آن دیده می‌شود [۷].

^۱ به سنگ‌های رسوبی لایه‌لایه و به حالت پشته‌ای و ستونی گفته می‌شود که بر اثر گسترش لایه‌ای بر روی لایه‌ای دیگر از سیانوباکتر که میکروبی تک‌سلولی فتوسنتزی است، تشکیل شده است.

۴-۳-۴- گنبد نمکی خورموج

گنبد نمکی خورموج نیز همانند گنبد نمکی جاشک در میان گسل‌های کازرون و برازجان و در محل انطباق گسل پی‌سنگ بوشیگان و گسل کازرون است (شکل ۴-۴) [۱۵]. زمان ظاهر شدن سطحی این گنبد نمکی به احتمال زیاد در اوایل نئوکومین (گروه خامی) بوده است و به صورت جزیره‌ای تا زمان چین‌خوردگی زاگرس در پلیستوسن - پلیوسن پیرجا بوده است [۱۶، ۱۷].



شکل ۴-۴- موقعیت مکانی و ساختاری گنبد‌های نمکی خورموج و جاشک [۱۵]

در پژوهشی که در سال ۷۴ در مورد کیفیت آب دشت خورموج انجام شده است از ۳۰ حلقه چاه در منطقه نمونه‌برداری شده و مقدار شوری و غلظت یون‌های اصلی شامل Cl ، Mg ، Ca و Na ، SO_4 ، HCO_3 اندازه‌گیری شده است [۱۸]. نتایج نشان داد که تیپ آب منطقه در جهت جریان از سولفات به کلروه متغیر است. عوامل مؤثر در کاهش کیفیت آب در این آبخوان عبارتند از وجود گنبد نمکی خورموج، سازندهای گچی و تبخیری در منطقه، تبخیر بالای آب‌های سطحی به دلیل آب‌وهوای گرم و فعالیت‌های کشاورزی در دشت خورموج.

۴-۳-۵- بالش نمکی دارنگ (گنبد نمکی مدفون)

محل قرارگیری بالش نمکی دارنگ، جنوب گسل دشتی است و از هسته تاقدیس دارنگ (مربوط به ژوراسیک زیرین) شکل گرفته است. این گنبد نمکی به صورت مدفون است و تنها رخنمون سطحی کوچکی از نمک (در حد چند متر) در امتداد گسل دارنگ را نشان می‌دهد [۱۲]. شواهد نشان می‌دهد که این ساختار نمکی در پالئوزویک و مزوزویک تکامل یافته است و پیشینه گسترش آن در دوره پالئوزویک بوده است [۱۶]. اگرچه توالی چینه‌شناختی مشخصی در بالای ساختار تاقدیس وجود دارد اما سازندهای کژدمی و سروک مربوط به میان و اواخر کرتاسه در این توالی دیده نمی‌شوند یا ضخامت بسیار کمی دارند (کمتر از ۵ متر) که نشان دهنده فرسایش یا عدم رسوب‌گذاری آن‌هاست. همچنین ضخامت سازند گورپی کمتر از ۱۰ متر است و سازند پابده توسعه چندانی ندارد و اغلب به سازند جهرم تغییر رخساره می‌دهد. سازند آسماری نیز رخساره کاملاً کم‌عمق و یکنواخت دارد. حرکت رو به بالای نمک در این گنبد منجر به نازک شدن لایه‌ها در بالای گنبد نمکی و حتی فرسایش و توسعه ناپیوستگی‌های محلی شده است. علاوه بر این، در برش‌های سطحی از رخنمون‌های موجود در تاقدیس دارنگ، تمام سازندها به طور قابل ملاحظه‌ای نازک شده‌اند [۱۲].

۴-۴- گنبدهای نمکی و اثر بر سلامت انسان

یکی از منابع آلاینده منابع آب‌های سطحی و آبخوان‌ها، گنبدهای نمکی هستند. در

منطقه خلیج فارس و جنوب ایران حدود ۲۰۰ گنبد نمکی شناخته شده وجود دارند که عمدتاً از کانی‌های تبخیری نمک و گچ با قابلیت انحلال‌پذیری بالا تشکیل شده‌اند. انحلال نمک‌های مختلف این گنبدهای نمکی می‌تواند نه تنها بر کیفیت آب‌های سطحی و آبخوان‌ها اثر گذارد بلکه بر کیفیت خاک زمین‌های پایین دست خود نیز مؤثر است [۱۹، ۲۰].

بالا رفتن املاح هالوژنه در آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک منجر به تخریب و نابودی اکوسیستم‌های خاک و شوری آن‌ها می‌شود. امروزه می‌دانیم که مهم‌ترین عامل شوری اغلب رودخانه‌های کشور، گنبدهای نمکی هستند؛ به طوری که اغلب رودهای ایران با گذر از گنبدهای نمکی، شور و غیرقابل استفاده می‌شوند (مانند رودهای زهره، جراحی، مند، شاپور و دالکی) که این پدیده در نتیجه گذر طولانی رودخانه‌ها از تشکیلات زمین‌شناسی شور و گنبدهای نمکی می‌باشد. شستن رسوبات سازندهای زمین‌شناسی مختلف همراه با دمای بسیار بالای منطقه خلیج فارس و تبخیر بیش از حد، بر کیفیت و شوری آن‌ها اثر می‌گذارد [۲۱]. همچنین نفوذ آب‌های شور حاصل از گنبدهای نمکی به درون تاقدیس پایین دست، می‌تواند باعث شور شدن چاه‌های منطقه شود [۲۲].

از این رو، گنبدهای نمکی یکی از عوامل اصلی شوری آب و خاک در منطقه خلیج فارس می‌باشند که می‌توانند بر اکوسیستم‌های زنده اثر گذاشته و در کشاورزی و سلامت انسان نیز اثرات مخرب خود را نشان دهند. اثر مخرب سازندهای گنبدهای نمکی بر کیفیت آب و خاک در ایران به خوبی در مطالعات گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹، ۲۰، ۲۶-۲۲].

گاهی این اثر چندان چشمگیر است که می‌تواند نتایج طرح‌های کلان عمرانی کشور را مورد تاثیر قرار دهد [۲۵، ۲۶]. برای مثال، اثر منفی گنبدهای نمکی عنبل لالی در مخزن سد گتوند بر کشاورزی و صنعت آبی‌پروری و کیفیت آب، مورد توجه قرار گرفته است زیرا اثر این سازندهای زمین‌شناسی که با انحلال لایه‌های نمک و ژپس گنبدنمکی عنبل توأم بوده است بر روی کیفیت آب مخزن سد گتوند علیا اثرات چشمگیری را فرود آورده و کشاورزی و دامداری را در ۵۰۰۰ هکتار زمین‌های پایین دست، دچار مشکل نموده است [۲۶].

بنابراین، وجود گنبدهای نمکی می‌تواند بر کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع

طبیعی و سلامت انسان مورد توجه قرار گیرد. برای مدیریت بهینه زمین‌ها و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی و پیشگیری از آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی، مطالعه اثر این گنبد‌های نمکی بر اکوسیستم‌های خاکی و آبی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این موضوع شور شدن اراضی برای کشور ایران که حدود هفت میلیون هکتار از سرزمین‌های آن در قلمروی شور قرار دارند، می‌تواند شور شدن اراضی را در زمره مسائل استراتژیک در توسعه انسانی جای داد. زیرا نمک‌های محلول ناشی از آب‌شویی گنبد‌ها (سدیم، کلسیم، منیزیم، کلرید، سولفات، پتاسیم، بیکربنات، کربنات، نترات) در شور شدن این اراضی نقش مهمی را ایفا می‌کنند [۱۹، ۲۰].

برای مثال، در استان بوشهر، رودخانه مند با عبور از گنبد نمکی جاشک (دشتی)، میزان شوری آن بسیار افزایش می‌یابد و در فصول پر باران، آب این رودخانه، دشت‌های مجاور را فرا می‌گیرد و به دلیل وجود میزان تبخیر بالا، موجب شور شدن خاک و آب‌های منطقه می‌شود. همچنین شور شدن آب‌های زیرزمینی نیز که به طور مستقیم تحت تأثیر گنبد نمکی هستند روی می‌دهد مثل چاه‌های مل گاودان و زایرعباسی که شوری آن‌ها خیلی بیشتر از چاه‌های عالی غلامی و دهداری می‌باشند که در دامنه ارتفاعات قرار دارند [۲۳].

در هر صورت، وجود سازندهای گنبد‌های نمکی در حاشیه سواحل و جزایر خلیج فارس در شوری اراضی و آب‌های سطحی و زیرزمینی نقش مهمی دارند و این شوری می‌تواند اثرات فراوانی را بر سلامت انسان در دراز مدت ایجاد کند. برای مثال، دفع بیش از ۱۰۰ میلی‌مول در روز سدیم در طی ۳۰ سال با افزایش فشارخون سیستولی در حد ۳/۱ تا ۶ میلی‌متر جیوه و فشار دیاستولیک ۰/۱ تا ۲/۵ میلی‌متر جیوه در یک زن یا مرد ۲۰ تا ۵۹ ساله، توأم است. با در نظر گرفتن این اثر بر فشارخون در گذر ۳۰ ساله، می‌توان یک فرونی در شیوع فشارخون و مسائل همراه مربوطه را پیش‌بینی نمود [۲۷].

تاکنون مطالعات بسیار فراوانی در مورد مصرف نمک خوراکی و اثر آن بر سلامت انسان انجام شده است اما در مورد مصرف نمک از طریق آب آشامیدنی، مطالعات چندان گسترده نمی‌باشد و این مطالعات تمرکز بر دو نقطه از جهان دارند یکی در بنگلادش و دیگری در جنوب غربی استرالیا [۲۸-۳۰].

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، سطح سدیم را برای مصرف انسانی ۰/۰۲ قسمت در هزار^۱ (ppt) پیشنهاد داده است و استاندارد آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی، آن را ۰/۲ ppt (که بالاتر از آن سدیم بر مزه آب آشامیدنی اثر می‌گذارد) تعیین کرده است. این در حالی است که شوری رودخانه در بخش‌های ساحل جنوب‌غربی بنگلادش به ۴ ppt در فصول بارانی و به ۱۳ ppt در فصل خشکی می‌رسد [۲۷]. در مطالعاتی که در استرالیا، بنگلادش، برزیل، چین، کالیفرنیا و هلند انجام شده‌اند به اثرات مستقیم و غیرمستقیم شوری بر سلامت انسان پرداخته‌اند [۲۷] که نتایج این مطالعات می‌تواند دورنمایی از اثر بر سلامت انسان حاصل از گنبد‌های نمکی که با شوری آب آشامیدنی و خاک منطقه خلیج فارس در توآمان است را ترسیم نماید. ما در ادامه به چکیده‌ای از این مطالعات می‌پردازیم.

۴-۴-۱- اثر بر فشار خون

سدیم یک ماده مغذی مهم در بدن است و کمک می‌کند تا اعصاب و ماهیچه‌ها به درستی کار کنند. سدیم همچنین در خودتنظیمی آب و تعادل مایعات بدن نقش دارد. مصرف نمک خوراکی به میزان بالا یک چالش برای کلیه‌ها است تا مقادیر بالای تجویزی را دفع کنند. یکی از ارگان‌های سیستمی که مستعد اثرات جانبی سدیم زیادی در رژیم غذایی است، دستگاه گردش خون می‌باشد که مصرف خوراکی سدیم، فرد را مستعد فشارخون بالا می‌کند [۳۱]. در مورد شوری آب آشامیدنی و خطر فشارخون نیز یک مطالعه مروری نظامند و متاآنالیز نشان داد که یک همبستگی میان سدیم آب و فشارخون، به ویژه برای فشارخون دیاستولیک، وجود دارد [۳۲].

اثر شوری آب شامیدنی در افراد جوان در سواحل بنگلادش به خوبی مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج مطالعه حاکی از آن بود که شوری با افزایش فشارخون سیستولیک و دیاستولیک در این جمعیت، همبستگی داشته است. علت این شوری تغییر سطح آب دریا به دلیل شرایط اقلیمی و فزونی سطوح شوری در آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده است [۳۳].

^۱ part per thousand

از آنجا که سدیم آب آشامیدنی، یک منبع بحرانی برای دریافت سدیم است، سازمان بهداشت جهانی و FDA به صورت مشترک، دریافت سدیم غذایی را ۲ گرم در روز (کمتر از ۸۵ میلی‌مول در روز) تعیین کرده‌اند. اما همان گونه که اشاره شد این مقدار در بسیاری از نقاط ساحلی بنگلادش، افزایش می‌یابد.

در یک مطالعه موردی دارای شاهد در منطقه دلتای مکونگ در ویتنام، یک همبستگی میان میزان شوری آب آشامیدنی و پذیرش بیمارستانی برای فشارخون یافت گردید؛ به این صورت که در ترکیب عوامل فردی و اکولوژیک، ۹ درصد افزایش خطر پذیرش بیمارستانی فشارخون در میان افراد ساکن در مناطق در معرض شوری در مقایسه با گروه شاهد به دست آمد است [۳۴].

۴-۴-۲- سلامت مادر و کودک

سدیم آب آشامیدنی اثرات جدی بر سلامت جامعه، به ویژه زنان باردار دارد. افراد در معرض مقدار ناچیز نمک (۲۰۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و غلظت‌های متوسط نمک (بالا تر یا مساوی ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) آب آشامیدنی به ترتیب ۱۷ درصد و ۴۲ درصد شانس پر فشار خون بودن را در مقابل کسانی که آب شیرین (با غلظت کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مصرف می‌کردند را از خود نشان دادند؛ این در حالی بود که زنان ۳۱ درصد شانس پرفشارخونی را بیشتر از مردان نشان دادند. میزان خطر تعدیل شده پراکلامسی^۱ و فشارخون بارداری به شکل وابسته به دوز برای افزایش غلظت سدیم در آب آشامیدنی، افزایش از خود نشان داده است.

پراکلامسی و فشارخون بارداری در زمان حاملگی روی می‌دهند و چنانچه با تشنج توأم گردد اکلامپسی نامیده می‌شود که نوع شدید پراکلامسی محسوب می‌گردد. در بنگلادش همچنین نشان داده شده که حتی در زمان حاملگی، زنانی که منبع آب شرب آن‌ها در فصل خشک از آب باران به سوی منابع دیگر که دارای نمک بالایی هستند، سوق می‌یابد، فشارخون بارداری بیشتری را دچار می‌شوند [۲۹]. در کشور بنگلادش، شوری آب آشامیدنی به عنوان

¹ Pre-eclampsia

عامل اصلی برای مرگ و میر کودکان و نوزادان مطرح شده است. در یک مطالعه، زنانی که در مراحل انتهایی بارداری خود در معرض آب آشامیدنی شور قرار داشتند، نشان داده شد که اثر قابل ملاحظه‌ای را بر مرگ و میر کودکان زیر دو ماه داشته‌اند ولی مصرف آب شور در ماه‌های حاملگی، اثر چشمگیری را نشان نداد. این مطالعه، اثر مهم در معرض قرار گرفتن مادر در ماه‌های آخر حاملگی با آب آشامیدنی شور و سلامت کودک را پس از تولد، آشکار نمود [۳۵].

۴-۴-۳- اثر شوری و ریزگرد بر دستگاه تنفس

شوری اراضی اطراف گنبدهای نمکی، خشکی سرزمین و کاهش پوشش گیاهی و آسیب به اراضی در نتیجه شور شدن، عواملی هستند که می‌توانند ذرات خاک را به شکل معلق (در حد ریزگرد) در آورده و با جریان باد آنها را روانه سازند. استنشاق این ذرات غیرارگانیک که می‌توانند با میکروب‌ها و قارچ‌ها نیز توأم شوند، موجب اثرات جدی بر سلامت افراد در معرض می‌شوند که این گستره‌ای از تشدید علائم آسم و یا ایجاد تحریک مخاط ریوی، چشمی و بخش‌های فوقانی تنفسی را در بر می‌گیرد. در زمین‌های کشاورزی دچار شوری در فصل تابستان که با تبخیر فوق‌العاده همراه می‌شوند و میزان بارش‌ها ناچیز می‌گردد، غلظت آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی نیز افزایش یافته و با جریان باد، گردوغبار حاصله که توأم با این مواد هستند، آسیب‌های مهمی را ایجاد می‌کنند. برای مثال، در ازبکستان، خشک شدن دریای آرال موجب وزش گردوغبار آلوده با نمک و علف‌کش‌ها گردیده و منجر به فزونی در کم‌خونی، آسم و بیماری‌های کلیوی و کبدی شده است. از این رو، شور شدن اراضی کشاورزی در مجاورت گنبدهای نمکی می‌تواند با بیماری‌های مهمی در نتیجه بروز گردوغبار و ریزگردها توأم باشد [۲۸].

۴-۴-۴- شوری و سلامت روان

شوری اراضی که با از دست دادن پوشش گیاهی و از دست دادن پتانسیل کشاورزی توأم می‌شود می‌تواند با کاهش در بهره‌وری، آموزش و اشتغال همراه شود که این پدیده‌ها به صورت

مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت روان ساکنین اثر می‌گذارند و حتی در ساختار جمعیتی و ایجاد موج مهاجرت نیز تغییر ایجاد می‌کنند. مفهوم سولاستالژی^۱ که درد و اندوه در نتیجه از دست دادن و یا فقدان آرامش است و حس جدایی در رابطه با وضعیت کنونی خانه و قلمروی فرد است می‌تواند موجب مسائل جدی سلامت مانند افسردگی و حتی خودکشی شود. بنابراین، ترکیبی از سولاستالژی، کاهش بهره‌وری و منفعت اقتصادی و کاهش شبکه‌های اجتماعی در نتیجه شور شدن سرزمین و بیابان‌زدایی حاصله می‌تواند با کاهش سلامت روان توأم گردد. مسائل سلامت روان در توأمان با آسیب‌های زیست محیطی، در استرالیا، آفریقا و چین گزارش شده‌اند [۲۸].

در یک مطالعه، این اثر کاهش سلامت روان در پیوند با بیماری‌های همراه دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان دادند افسردگی به شکل ثابتی با اسکان در مناطقی که شوری بالایی دارند در ارتباط بوده است. همبستگی آسم، خودکشی و بیماری‌های قلبی - عروقی با شوری، با شرایط بیماری‌های همراه با افسردگی ارتباط داشته‌اند. از این رو، در مناطقی که دچار شوری اراضی می‌شوند (مانند مناطق مجاور گنبد‌های نمکی)، مردم ساکن این مناطق می‌توانند پدیده‌های همراه با استرس روحی روانی را از خود بروز دهند [۳۶].

۴-۴-۵- شوری و پدیداری بیماری‌های وابسته به ناقل

تغییرات در تراکم ناقل و انتشار آن‌ها پس از ایجاد دگرگونی در شرایط اکولوژیک و زیست محیطی، از عوامل عمده مسئول در انتقال بیماری‌های رو به افزایش حاصل از پشه‌ها در سراسر جهان می‌باشد. شور شدن اراضی یکی از این عواملی است که می‌تواند به صورت منفی بر تنوع آبی و تنظیم‌کنندگان جمعیت طبیعی پشه‌ها (مانند شکارگران بی‌مهره که بیشتر از بعضی از پشه‌های ناقل بیماری به شوری حساس هستند)، اثر گذارد؛ همچنین شوری در کاهش رقابت طبیعی منابع زیستی آبی حساس به نمک با این پشه‌ها مؤثر است [۲۸]. برای مثال، ویروس

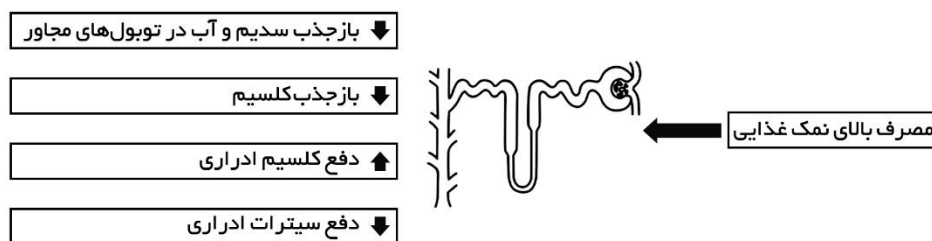
¹ Solastalgia

رودخانه روس^۱ که ناقل اصلی آن *Ades camptorhynchus* است، نسبت به نمک مقاوم است و در اراضی خشک جنوب غربی استرالیا که با پدیده شوری روبه‌رو هستند، می‌تواند موجب بیماری‌زایی شود. رخداد چنین پدیده‌ای در مجاورت گنندهای نمکی نیز دور از تصور نیست زیرا با شور شدن اکوسیستم آب شیرین نقاط پایین دست، تنوع زیستی پشه‌های آنها کاهش یافته و به دلیل نبود رقابت زیستی، جمعیت یک گونه از پشه‌ها چیرگی می‌یابد و موجب بروز بیماری وابسته به آن می‌شود.

با توجه به این که منطقه اطراف گنبد نمکی جاشک (دستی) به عنوان کانون مالاریا شناخته شده بوده است، بررسی روابط اکولوژیک برآمده از شور شدن سرزمین‌های اطراف آن و آبگیری‌های مربوطه می‌تواند حائز اهمیت باشد [۳۷].

۴-۴-۶- نمک و سنگ کلیه

مطالعات گوناگونی نشان داده‌اند که فزونی در مصرف نمک با افزایش خطر سنگ‌سازی در کلیه همراه است. کریستالیزه شدن سنگ‌های کلیوی با پایه کلسیم (اگزالات کلسیم یا فسفات کلسیم) در ادرار فوق‌اشباعی روی می‌دهد که از منع کننده‌های کریستالیزه تهی باشد. مصرف نمک ممکن است به هیپرکلسمی اوری و هیپوسیترات اوری منتهی شود که این دو خود از عوامل خطر برای سنگ‌های کلسیمی کلیه هستند [۳۸].



شکل ۴-۵- تأثیراتی که در نفرون‌های کلیوی بعد از مصرف فراوان نمک غذایی رخ می‌دهند [۳۸].

^۱ Ross River Virus

در واقع، در مطالعاتی که با دادن نمک همراه بوده‌اند و یا در گزارشات از سطح جمعیت‌های انسانی، آشکار شده است که دفع ادراری کلسیم تقریباً یک میلی‌مول (۴۰ میلی‌گرم) به ازای هر ۱۰۰ میلی‌مول (۲۳۰۰ میلی‌گرم) افزایش در سدیم دریافتی، در افراد طبیعی، افزایش می‌یابد. این در حالی است که نظر می‌رسد کسانی که سنگ کلیه کلسیمی می‌سازند و هیپرکلسمی اوری دارند به نسبت، افزایشی را در دفع ادراری کلسیم (تقریباً دو میلی‌مول در هر ۱۰۰ میلی‌مول افزایش در نمک دریافتی) داشته باشند [۳۹]. در مطالعه‌ای دیگر به رابطه مثبت دفع سدیم با دفع ادراری کلسیم در هر دو گروه یعنی افراد سنگ ساز کلیوی و شاهد اشاره شده است. از این رو، به دلیل وجود رابطه مثبت میان سدیم بر روی کلسیم، کاهش در نمک دریافتی می‌تواند شیوه‌ای برای کاهش دفع سنگ کلسیمی برای گروه بیماران سنگ‌ساز مطرح باشد [۴۰].

در هر صورت، در دو مطالعه بزرگ که بر روی ۹۰،۰۰۰ نفر زن سالم و ۷۸،۰۰۰ نفر از زنان شرکت کننده در مطالعه آینده‌نگرانه WHIOS انجام شده است به روند افزایش خطر سنگ کلیوی با مصرف سدیم اشاره شده است [۳۸].

۴-۴-۷- نتیجه‌گیری

هنوز مطالعه‌ای جامع در خصوص سلامت افراد ساکن در مجاورت گنبد‌های نمکی انجام نگرفته است اما مطالعات انجام شده در مورد اثر شوری اراضی و خشکی که با بیابان‌زایی توأم بوده است و یا نفوذ آب شور دریا به سفره‌های آب سرزمین‌های خشکی و شور شدن آب آشامیدنی این مناطق که با دریافت سدیم بالاتر از حد مجاز در ساکنین این مکان‌ها همراه بوده است، نشانگر آن است که این دریافت سدیم از طریق آب آشامیدنی می‌تواند با فشارخون بالا، فزونی در فشارخون دوران بارداری، مرگ‌ومیر کودکان و سنگ‌های کلیوی، توأم باشد.

همچنین شوری سرزمین‌ها می‌تواند با رخداد بیماری‌های ویروسی که ناقلین آن‌ها پشه‌ها هستند، پیدایی گردوغبار و ریزگردهای حاوی نمک و آفت‌کش‌ها همراه شود که با شیوع آسم، افسردگی، خودکشی و بیماری‌های قلبی - عروقی و کاهش سطح سلامت روانی ساکنین توأم

می‌شود. گزارشاتی دال بر افزایش بیماری‌های پوستی، ریزش مو، اسهال و بیماری‌های معده در کسانی که در معرض سدیم بالا قرار دارند نیز وجود دارد [۴۱].

هم‌اکنون می‌دانیم که شور شدن سرزمین‌ها می‌تواند با تغییر میکروارگانیسم‌های خاک‌های کشاورزی نیز توأم شود و این تغییرات میکروارگانیسمی بر سلامت انسان‌ها بی‌شک تاثیر خواهد داشت [۴۲]. از سوی دیگر، شور شدن زمین‌های کشاورزی می‌تواند به ایجاد سوءتغذیه در ساکنین و کاهش ایمنی غذایی آن‌ها منجر شود [۴۳، ۴۴].

همچنین، امروزه آشکار شده است که شور شدن خاک بر سمیت یونی، استرس اسموتیک، کمبود مواد مغذی (نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، آهن، روی)، استرس اکسیداتیو گیاهان و در نتیجه کاهش بهره‌وری از اراضی کشاورزی مؤثر است و این اثرات نه تنها بر رشد و نمو گیاه بلکه بر میزان زایش دانه، فعالیت آنزیمی، DNA، RNA، سنتز پروتئین و میتوز آن‌ها، اثر می‌گذارد [۴۵]. از این رو، یک مطالعه جامع‌تر که اثر سدیم بر گیاهان مناطق حاوی گنبدنمکی را شامل می‌شود می‌تواند اثر بر سلامت انسانی این گنبدهای نمکی را بهتر هویدا نماید. از سوی دیگر، از آنجا که شور شدن اراضی، فرآیندی است که با انباشت نمک‌های دیگری غیر از سدیم نیز همراه است، باید اثرات نمک‌های دیگر مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بیکربنات، CO_3^{2-} و NO_3^- نیز مورد بررسی قرار گیرد [۴۴].

رهیافت میان‌رشته‌ای برای مطالعه اثر گنبدهای نمکی بر سلامت انسان جهت آشکار کردن گستره پیچیده اثرات سیستمی و فرآیندهای مربوطه با حضور جامعه مدنی، پژوهشگران و سیاست‌گذاران، باید مورد تأکید قرار گیرد [۲۸].

۴-۵- منابع

- ۱) پهلوزاده، ب. بررسی اثرات زیست‌محیطی و زمین پزشکی گنبد نمکی جاشک، استان بوشهر. ۱۳۹۶. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور مرکز تفت، یزد، ایران.
 - ۲) صائب، ز. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه چاهگاه، استان بوشهر. ۱۳۹۱. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز. ایران.
 - ۳) بنی‌هاشمی، ب. اندازه‌گیری آلودگی و مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه‌های شاپور، دالکی و حله. ۱۳۸۸. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز. ایران.
 - ۴) درویش‌زاده، ع. زمین‌شناسی ایران. ۱۳۷۰. انتشارات ندا. تهران، ایران.
 - ۵) درویش‌زاده، ع. گنبدهای نمکی و زمین‌شناسی حوزه خلیج فارس. ۱۳۶۸. سخنرانی در حوزه معاونت فنی استانداری استان هرمزگان، ایران.
 - 6) Blanford, W., Notes on the geological formations seen along the coasts of Baluchistan and Persia from Karachi to the head of the Persian Gulf and some Gulf Islands. Records of the Geological Survey of India, 1872: 5(2). p. 41-5.
 - ۷) الف، ساجدی، س. ح. الف. تحلیل روابط ساختاری منطقه گسلی کازرون-قطر حدفاصل چنارشاهیجان-بrazجان. ۱۳۷۹. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
 - 8) De Böckh, H., G. Lees, and F. Richardson, Contribution to the stratigraphy and tectonics of the Iranian ranges. The structure of Asia: London, Methuen, 1929: p. 58-176.
 - 9) Bosák, P., Salt plugs in the eastern Zagros, Iran: results of regional geological reconnaissance. 1998: Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic.
 - 10) Selinus, O., *et al.*, Essentials of medical geology. 2016: Springer.
- ۱۱) فخری، ف.، جعفری، س. م. الف.، خسروشاهی، م. بررسی عوامل زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل بیابان‌های استان بوشهر و تعیین قلمرو آن. ۱۳۸۶. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد ۱۴، شماره ۳، صفحات ۴۰۲-۳۹۱.

- (۱۲) حسن پور، ج.، جهانی، س.، ولی‌نژاد، م.، مرسل نژاد، د. تکامل دیاپیرهای نمکی دشتی و دارنگ و ارتباط آن‌ها با چین‌خوردگی زاگرس (جنوب‌شرق بوشهر، ایران). ۱۳۹۳.
- هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- (۱۳) قانع اردکانی، ج.، پهلوزاده، ب. بررسی مقدماتی اثرات زیست‌محیطی چشمه آب‌گرم معدنی گنویه بخش آبدان استان بوشهر. ۱۳۹۵. اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران.
- (۱۴) رضانی، ن. ع.، قطمیری، س. ح.، حقیر ابراهیم آبادی، م. ح.، کریمی، م. اثرات زیست محیطی گنبد نمکی جاشک بر رسوبات و دشتهای اطراف، ۱۳۹۰. چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی، خوراسگان - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.
- 15) Fourudi Jahromi, M.R., Solgi, A., Pourkermani, M., *et al.*, Role of the Kazerun and Borazjan faults in emplacements Dashti salt dome, Boushehr. *Journal of Applied Science and Agriculture*, 2014. 9(4): p. 1884-1892.
- 16) Jahani, S., Hassanpour, J., Mohammadi-Firoz, S., Letouzey, J., *et al.*, Salt tectonics and tear faulting in the central part of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 2017. 86: p. 426-446.
- 17) Kent, P. The emergent Hormuz salt plugs of southern Iran. 1979. 2(2): p. 117-144.
- (۱۸) فروغی، ف. و م. رضایی، بررسی روند کیفی تغییرات آب زیر زمینی در دشت خورموج، ۱۳۷۴. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران.
- 19) Sarvati, M., Mougholi, M., Shafei, R., *et al.*, The influence of Konar-Siah salt dome on water and soil resources of Konar- Siah plain (Firouzbad-Fars province). *Journal of Physical Geography*, 2012. 5 (16).
- 20) Nosrati, K., Amini, M., Ansari, M., *et al.*, The survey of salt domes impacts on the soil quality of lowlands using multivariate statistical methods (Case study; salty dome of Korsia-Darab plain). *Desert Management*, 2017. 4(8): p. 1-14.
- 21) Mousavi, S., The phenomenon of salt diapirism. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 2013. 21: p. 70-76.
- (۲۲) بوستانی، س.، کمپانی زارع، م.، نوشادی، م.، بررسی اثر گنبد‌های نمکی بر روی منابع آب در منطقه دهرم استان فارس، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز. ۱۳۸۶. کرج - دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- (۲۳) دهقان، ع. ح.، نقش گنبد‌های نمکی در بیابان زایی. جنگل و مرتع (جنگل‌ها و مراتع)، ۱۳۸۳. ۶۲.

- 24) Afifi ME and K. P, Salt Domes of Bastak, Hormozgan Province and its influence on the soil and water Resources. territory, 2008. 5 (18).
- 25) Mansournejad, M., B. Kalantari, and M.M. Adeli, The investigation of negative effects of salt dome on the quality of water in Gotvand Olya dam and the use of cut-off wall as treatment. American Journal of Civil Engineering, 2015. 3(2-2): p. 53-56.
- ۲۶) رستمی پایدار ق.ا.، شاه‌رخی س. و.، حسینیان س.ا. اثرات زمین‌شناسی زیست محیطی گنبد نمکی عنبل لالی در مخزن سد گتوند علیا بر کشاورزی و صنعت آبی‌پرووری گتوند، دشت عقیلی و شوشتر. ۱۳۹۱. اولین همایش ملی جغرافیا، مخاطرات محیطی و توسعه پایدار. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران.
- 27) Vineis, P. and A. Khan, Climate Change–Induced Salinity Threatens Health. Science, 2012. 33 (8): p. 1028-1029.
- 28) Jardine, A., Speldewine, P., Carver, S., *et al.*, Dryland salinity and ecosystem distress syndrome: human health implications. EcoHealth, 2007. 4(1): p. 10-17.
- 29) Shammi, M., *et al.* Impacts of salinity intrusion in community health: a review of experiences on drinking water sodium from coastal areas of Bangladesh. in Healthcare. 2019. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- 30) Zaman, F., Impact of salinity on poor coastal people's health: Evidende from Two coastal vilages in Bangladesh. Journal of the Asiatic Society of Bangladesh 2017. 62(1): p. 1-14.
- 31) Ha, S.K., Dietary salt intake and hypertension. Electrolytes & Blood Pressure, 2014. 12(1): p. 7-18.
- 32) Talukder, M.R.R., Rutherford, S., Huang, C., *et al.*, Drinking water salinity and risk of hypertension: A systematic review and meta-analysis. Archives of environmental & occupational health, 2017. 72(3): p. 126-138.
- 33) Talukder, M.R.R., Rutherford, S., Phung, D., *et al.*, The effect of drinking water salinity on blood pressure in young adults of coastal Bangladesh. Environmental Pollution, 2016. 214: p. 248-254.
- 34) Talukder, M.R.R., Rutherford, S., Chu, C., *et al.*, Association between salinity and hospital admission for hypertension: an ecological case–control study in the Mekong Delta Region in Vietnam. Journal of Public Health, 2018. 40(1): p. 75-81.
- 35) Dasgupta, S., M. Huq, and D. Wheeler, Drinking water salinity and infant mortality in coastal Bangladesh. Water Economics and Policy, 2016. 2(01): p. 1650003.
- 36) Speldewinde, P.C., Cook, A., Davies, P., *et al.*, The hidden health burden of environmental degradation: disease comorbidities and dryland salinity. EcoHealth, 2011. 8(1): p. 82-92.

- 37) Jardine, A., Corkeron, M., and Weinstein, P. Dryland salinity and vector-borne disease emergence in southwestern Australia. *Environmental geochemistry and health*, 2011. 33(4): p. 363-370.
- 38) Afsar, B., Kiremit, M. C., Sag, A. A., *et al.*, The role of sodium intake in nephrolithiasis: epidemiology, pathogenesis, and future directions. *European journal of internal medicine*, 2016. 35: p. 16-19.
- 39) Massey, L.K., Dietary salt, urinary calcium, and kidney stone risk. *Nutrition reviews*, 1995. 53(5): p. 131-134.
- 40) Eisner, B.H., Eisenberg, M.L., and Stoller, M.L. Impact of urine sodium on urine risk factors for calcium oxalate nephrolithiasis. *The Journal of urology*, 2009. 182(5): p. 2330-2333.
- 41) Javed, M.A., A. Paul, and T.K. Nath, Peoples' perception of the water salinity impacts on human health: A case study in South-Eastern Coastal Region of Bangladesh. *Exposure and health*, 2020. 12(1): p. 41-50.
- 42) de Souza Silva, C.M.M. and E.F. Fay, Effect of salinity on soil microorganisms. *Soil health and land use management*, 2012. 10: p. 177-198.
- 43) Ding, Z., Kheir, A. M. S., Ali, M., *et al.*, The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific reports*, 2020. 10(1): p. 1-13.
- 44) Payen, S., Claudine, B. M., Núñez, M., *et al.*, Salinisation impacts in life cycle assessment: a review of challenges and options towards their consistent integration. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016. 21(4): p. 577-594.
- 45) Shrivastava, P. and R. Kumar, Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, 2015. 22(2): p. 123-131.

فصل پنجم

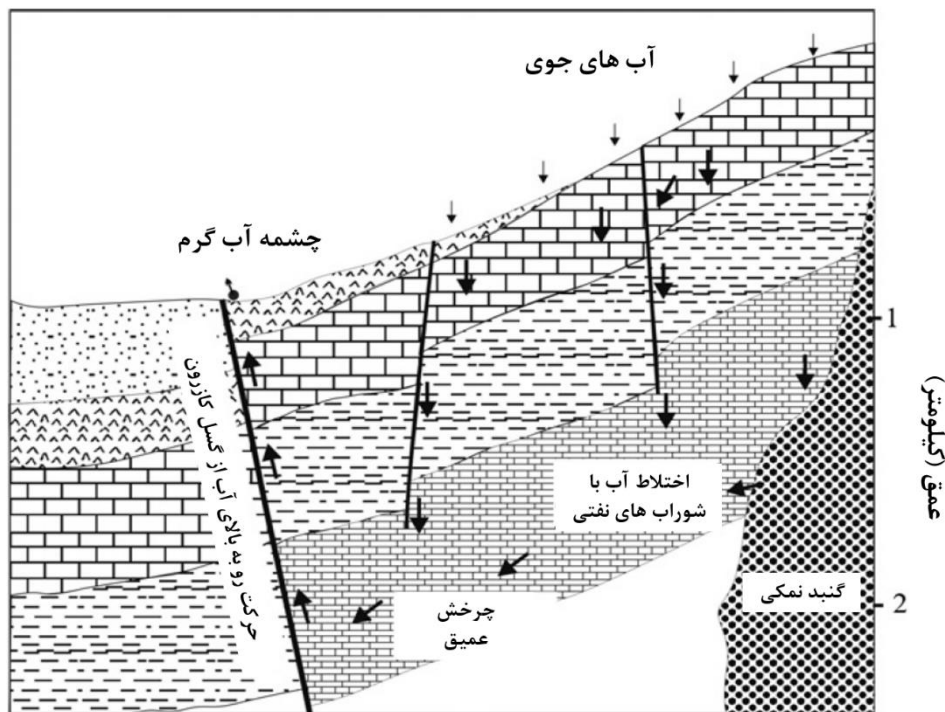
چشمه‌های آب گرم استان بوشهر

۵-۱- چشمه‌های آب گرم

چشمه آب گرم، چشمه‌ای است که دمای آب آن بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد باشد و حاوی نمک‌ها و مواد معدنی مختلفی است [۱]. در چشمه‌های آب گرم، آب‌های جوی به اعماق زیاد هدایت می‌شوند و در پی اثر گرادیان دمایی، دمای آب افزایش می‌یابد. سپس آب گرم شده از راه گسل‌های عمیق که به عنوان مجراهای نفوذپذیر عمل می‌کنند به سطح منتقل می‌شود. همزمان با حرکت آب و مجاورت با سازندهای مختلف ممکن است ترکیب شیمیایی آب تغییر کند و در نهایت از شکاف‌های سطح زمین بیرون می‌آید (شکل ۵-۱). خروج آب‌های گرم از دل زمین، منجر به شکل‌گیری و شهرت بسیاری از آبادی‌ها در نقاط مختلف جهان شده است. بسته به ترکیب شیمیایی سازندهای منطقه، آب خارج شده از چشمه‌های آب گرم، دارای رنگ، بو و مزه هستند. به طور مثال، حضور گوگرد باعث می‌شود رنگ آب شیری یا آبی شود در حالی که حضور آهن، رنگ آب را قرمز می‌کند. حضور H_2S باعث می‌شود آب خروجی از چشمه بوی تخم‌مرغ فاسد داشته باشد و حضور نمک‌ها، آب را شور یا تلخ می‌کند [۱]. علاوه بر این، اغلب چشمه‌های آب گرم حاوی تهنسست‌هایی از آرسنیک، آنتیموان، جیوه، تالیم، فلئور و بور هستند [۲]. ارتباط مثبت و معنادار آرسنیک و کلر در چشمه‌های آب گرم به وفور گزارش شده است؛ این رابطه ناشی از رفتار زمین‌شیمیایی مشابه این دو عنصر در جدایش فازی و ورود به فاز مایع در زیر زمین است [۳]. با این حال، استفاده از چشمه‌های آب گرم و خواص درمانی آن در بسیاری از جوامع، تاریخچه‌ای بسیار طولانی دارد [۴].

از آنجا که حضور باکتری‌های سازگار با محیط چشمه‌ها، خواص درمانی، ضدقارچی و ضد میکروبی خاصی ایجاد می‌کند، بررسی خواص درمانی آب‌های گرم و معدنی از دیرباز مورد

توجه پژوهشگران بوده است [۱]. نتایج بررسی‌های مختلف نشان داد که آب چشمه‌های آب‌گرم می‌تواند برای درمان برخی بیماری‌های قارچی پوست مفید باشند [۴]. با این حال حضور غلظت‌های بالایی از عناصر بالقوه سمی در چشمه‌های آب‌گرم باعث بروز بیماری‌های مختلفی در انسان می‌شود. به طور مثال مقادیر بالای آرسنیک منجر به بروز زخم‌های باز پوستی، قانقاریا و سرطان پوست می‌شود. علاوه بر این، سردرد، سرگیجه، لرزش، بی‌قراری، نارسایی قلبی، التهاب لثه، نارسایی کبدی و سوزش در دستگاه تنفسی از عوارض غلظت بالای جیوه است. در حالی که آلزایمر و پارکینسون می‌توانند با وجود غلظت‌های بالای منگنز ارتباط مثبتی داشته باشند [۲].



شکل ۵-۱- شکل شماتیک چرخش زیرسطحی آب در منطقه‌ای که چشمه آب‌گرم وجود دارد [۵].

۵-۲- چشمه‌های آب‌گرم استان بوشهر

بر اساس بررسی‌های انجام شده، ۴۶۹ چشمه آب‌گرم در ایران [۴] و ۹ چشمه آب‌گرم

در استان بوشهر شناخته شده‌اند. چشمه‌های آب گرم استان عبارتند از: اهرم، دالکی، خانیک، گرو، میراحمد، قوچاک، طلحه، گنویه و حاج احمدی.

۵-۲-۱- چشمه‌های دالکی

چشمه آب گرم دالکی در ۱۳ کیلومتری شهر برازجان و در شرق شهر دالکی در استان بوشهر قرار دارد. دمای آب چشمه بین ۳۰ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۶]. در این منطقه، سه چشمه نزدیک به هم وجود دارد که ویژگی‌های مربوط به آب‌های آن‌ها متفاوت است [۷]. چشمه‌ها عبارتند از: اصلی، زیرپل و دامنه که دبی حدودی آن‌ها به ترتیب برابر است با ۱۰۰، ۷۵ و ۲۰ لیتر بر ثانیه. این چشمه‌ها در فاصله میان سازند آسماری - جهرم و رسوبات آبرفتی قرار دارند [۶]. اولین چشمه دارای آبی شفاف و زیاد است و برای آبیاری نخل‌ها استفاده می‌شود. نخل‌هایی که با این چشمه آبیاری می‌شوند کیفیت رطب بهتری دارند ولی از نظر اندازه ریز هستند. دومین چشمه، بالاتر از چشمه اول قرار دارد و در زمستان بخار ساطع شده از آن را می‌تواند دید. در سطح آب این چشمه، لکه‌های نفتی و در برخی از قسمت‌های آن موجودات کرمی شکلی مشاهده می‌شود. آب سومین چشمه، چرب و رنگ آن متمایل به سفید است. در این چشمه حباب‌هایی در سطح مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد مربوط به گاز است [۱]. با این حال، نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که منشأ آب هر سه چشمه یکسان است و از نظر شیمیایی همگن محسوب می‌شوند [۶]. خواص فیزیکی‌شیمیایی و ترکیب شیمیایی آب خروجی از چشمه‌های آب گرم دالکی در جدول ۵-۱ ارائه شده است. آب چشمه‌های آب گرم دالکی پس از عبور از سنگ‌هایی که از مارن و گچ تشکیل شده‌اند خارج می‌شود و غنی از کلر، سدیم، گوگرد و سولفات است. به همین دلیل آب این چشمه در ردیف آب‌های سولفات کلسیم، کلرورسدیم و گوگردی دارای منیزیم قرار می‌گیرد. وجود قطره‌های نفت شناور بر سطح آب خروجی از چشمه‌ها و همچنین غلظت بالای منیزیم در آب نشان دهنده آلوده شدن آب با شوراب‌های نفتی منطقه است. آب خارج شده از چشمه اصلی، نهر بزرگی را به وجود می‌آورد و پس از عبور از زمین‌های مجاور با جهت غربی به رودخانه دالکی

می‌ریزد و در نتیجه باعث افت کیفیت آب این رودخانه نیز می‌گردد [۶]. بر اساس نتایج تحقیقات محلی، از این چشمه‌ها در درمان بیماری‌های روماتیسمی و مفصلی، بیماری‌های قارچی و التیام زخم‌ها بسیار استفاده شده است [۱].

جدول ۵-۱- خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب چشمه‌های آب‌گرم دالکی [۶]

Na (epm)	Mg (epm)	Ca (epm)	pH	EC (mS/cm)	Q (L/s)	دما (°C)	نام چشمه
۹۷	۲۴	۳۰	۷	۱۳/۶۹	۱۱۲	۳۵	چشمه اصلی
۱۰۲	۱۷	۲۸	۷	۱۲/۱۵	۷۴	-	چشمه زیرپل
۲۱۱	۲۵	۴۵	۸	۱۹/۹۰	۱۸	۳۵	چشمه دامنه
CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Cl (epm)	SO ₄ (epm)	HCO ₃ (epm)	K (epm)	
۵/۴	۲۸۸	۱۲	۱۲۶	۲۵	۵	۲	چشمه اصلی
۳	-	-	۱۱۸	۲۷	۳	۱	چشمه زیرپل
۱۹/۳	-	۱۳	۲۰۹	۳۳	۲	۵	چشمه دامنه

۵-۲-۲- چشمه اهرم (اوبا)

چشمه اهرم یکی از مهم‌ترین چشمه‌های گوگردی آب‌گرم استان بوشهر و نزدیک به تاقدیس اهرم می‌باشد (شکل‌های ۲-۵ و ۳-۵). مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی منطقه عبارتند از: سری هرمز، سازند پابده گورپی، سازند آسماری - جهرم، سازند گچساران، سازند میشان، سازند آغاجری و رسوبات آبرفتی [۵]. ویژگی‌های واحدهای زمین‌شناسی در محل چشمه اهرم در جدول ۲-۵ قابل مشاهده است. دمای آب چشمه اهرم ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است و تیپ آب آن سولفاتی، کلسیم‌دار، همراه با منیزیم زیاد و کلرور سدیم می‌باشد. دلیل کیفیت نسبتاً پایین آب این چشمه، عبور آب از میان سنگ‌های رسوبی مارنی و گچی منطقه و

انحلال زیرزمینی سنگ‌های تبخیری در سازند گچساران و سری هرمز است [۵]. کانی‌های کلریدی که مهم‌ترین آن‌ها هالیت (NaCl) و سیلویت (KCl) هستند، همراه با سولفات کلسیم مانند ژپس و انیدریت، رایج‌ترین مواد تشکیل دهنده گنبد‌های نمکی منطقه هستند. انحلال این مواد تبخیری باعث تغییر ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه می‌شود. خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب خروجی از چشمه آب گرم اهرم در جدول ۵-۳ ارائه شده است. H_2S موجود در آب ناشی از فعالیت‌های هیدروترمال و شوراب‌های نفتی نزدیک به چشمه می‌باشد. ورود آب جوی به سری هرمز از راه درز و شکاف‌های موجود در منطقه به خصوص گسل کازرون - قطر و حضور ذخایر نفتی در منطقه دلیل اصلی خروج آب شور و حاوی H_2S از چشمه است. به بیان دیگر، وجود سنگ‌های کربناته به شدت شکسته شده و شیب هیدرولیکی زیاد اجازه می‌دهد که آب‌های جوی، چرخشی بزرگ‌مقیاس و تکاملی را پیش از خروج از چشمه تجربه می‌کنند. به طور کلی، شوری با عمق افزایش پیدا می‌کند و آب‌های زیرزمینی بیکربناته در عمق‌های بیشتر به آب‌های کلریدی تبدیل می‌شوند [۸]. با توجه به این که نسبت Na/Cl در آب گرم چشمه اهرم حدود ۰/۵ است، غلظت بالای Cl احتمالاً ناشی از ارتباط آب با سنگ نمک (در سری هرمز) و شوراب‌های نفتی (در سازند آغاچاری) می‌باشد. در نهایت آب از راه چشمه به سطح زمین هدایت شده و نهایتاً برای آبیاری نخلستان مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر عناصر اصلی (سدیم، کلر و گوگرد)، حضور عناصر همراه مانند مس، سرب، وانادیم و روی نیز در آب‌های چشمه اهرم گزارش شده است [۹].

۵-۲-۳- چشمه گرو

چشمه گرو، یکی از چندین چشمه گوگردی آب گرم واقع در استان بوشهر و نزدیک به تاقدیس خورموج می‌باشد (شکل‌های ۵-۲ و ۵-۳). مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه عبارتند از: سری هرمز، گروه بنگستان، سازندهای پابده - گورپی، آسماری - چهارم، گچساران، میشان، آغاچاری و رسوبات آبرفتی [۵]. ویژگی‌های واحدهای زمین‌شناسی در محل چشمه گرو در جدول ۵-۲ قابل مشاهده است. استفاده از آب چشمه آب گرم گوگردی گرو به منظور

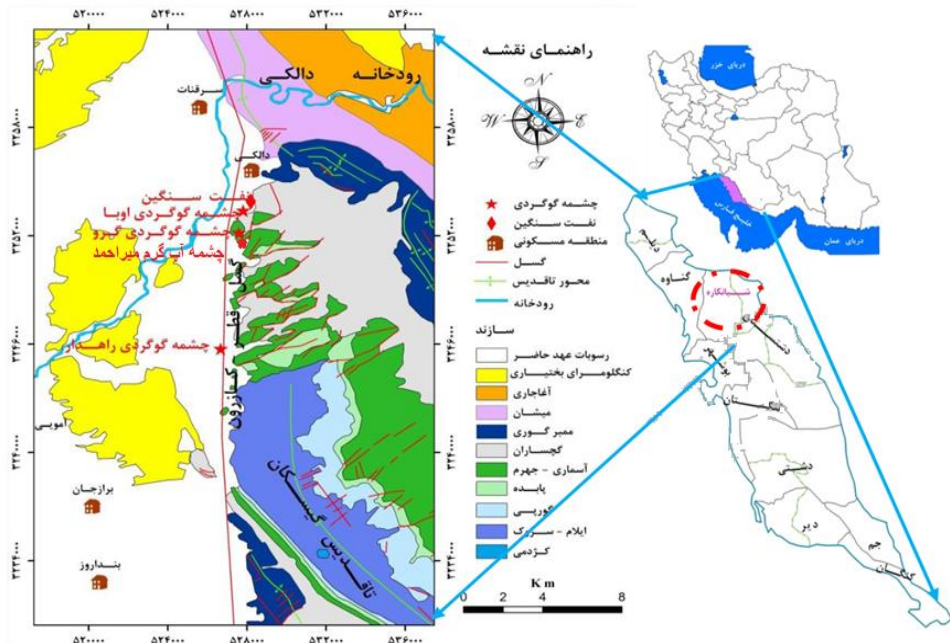
کشاورزی و درمان برخی بیماری‌ها توسط اهالی منطقه سابقه طولانی دارد. منشأ این چشمه و دلیل شوری و H_2S بالای آب آن به احتمال زیاد اختلاط شورابه نفتی سنگ مخزن آسماری میدان نفتی دالکی با آب سولفات سازند گچساران که محل برون‌زد چشمه است، می‌باشد. این شورابه توسط سیستم گسله قطر - کازرون که به شدت منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، در سطح زمین ظاهر می‌شود. خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب خروجی از چشمه آب‌گرم گرو در جدول ۵-۲ ارائه شده است. علاوه بر این، بررسی تیپ و رخساره شیمیایی چشمه گرو با استفاده از نمودار پایپر و رده‌بندی استابلر نشان داد که آب این چشمه از نوع کلروره سدیک می‌باشد. به طور کلی، شوری با عمق افزایش پیدا می‌کند و آب‌های زیرزمینی بیکربناته در عمق‌های بیشتر به آب‌های کلریدی تبدیل می‌شوند [۸]. در این منطقه، انحلال زیرزمینی سنگ‌های تبخیری در سازند گچساران و سری هرمز، تیپ آب‌گرم در منطقه کوهستانی زاگرس را به سدیم کلرید تغییر می‌دهند. علاوه بر این، غلظت Mg و Ca نیز در این چشمه بالاست که نشان دهنده ارتباط آب با کانی‌های تبخیری حاوی کلسیم و منیزیم یا سنگ‌های کربناته در سازندهای گچساران و سری هرمز می‌باشد. با توجه به غلظت بالای عناصر در چشمه گرو (جدول ۵-۳) به نظر می‌رسد که اختلاط آب با شورابه‌های نفتی یا عبور آب از سازندهای تبخیری سری هرمز در اعماق بیشتر است [۵]. بر اساس بررسی‌های بالینولوژی انجام شده آب این چشمه گوگردی می‌تواند در درمان بیماری‌های گوارشی، پوستی و مو، راشیتیس، اعصاب و غیره مؤثر باشد. علاوه بر عناصر اصلی (سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم و گوگرد)، حضور عناصر همراه مانند مس، سرب، وانادیم و روی نیز در آب‌های چشمه گرو گزارش شده است [۹].

۵-۲-۴- آب‌گرم میراحمد

به آن «آب بویی» هم می‌گویند. این چشمه در شهرستان تنگستان و در مسیر جاده اهرم به خورموج، در روستای آب بویی یا میراحمد قرار دارد. این چشمه نزدیک به چشمه گرو و تاقدیس خورموج واقع است (شکل‌های ۵-۲ و ۵-۳). مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه

عبارتند از: سری هرمز، گروه بنگستان، سازندهای پابده - گورپی، آسماری - چهارم، گچساران، میشان، آغاچاری و رسوبات آبرفتی [۵]. ویژگی‌های واحدهای زمین‌شناسی در محل چشمه میراحمد در جدول ۵-۲ قابل مشاهده است. آب آن از دامنه کوه و از شکاف سنگ‌های مارنی و گچی از زمین خارج می‌شود. خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب شیمیایی آب خروجی از چشمه آب گرم میراحمد در جدول ۵-۳ ارائه شده است. غلظت نسبتاً بالای H_2S آزادشده از این چشمه ناشی از فعالیت‌های هیدروترمال و شوراب‌های نفتی نزدیک به چشمه است. عامل تشکیل این چشمه فعالیت‌های تکتونیکی است و وجود سنگ‌های کربناته به شدت شکسته شده و شیب هیدرولیکی زیاد اجازه می‌دهد که آب‌های جوی، چرخشی بزرگ‌مقیاس و تکاملی را پیش از خروج از این چشمه تجربه می‌کنند. آبدهی چشمه بسیار بالاست (۶۱ لیتر بر ثانیه) و سفره آب این چشمه بسیار وسیع است و تمام زمین‌های اطراف آن بر روی این سفره قرار می‌گیرند. این چشمه دارای حوضچه‌ای عمیق و بزرگ است. از آب گرم میراحمد می‌توان در رفع بیماری‌های پوستی (پسی، جوش، دمل)، تنفسی، اعصاب، بیماری‌های مفصلی (آرتروز، دیسک کمر، سیاتیک، نقرس)، تورم موضعی، کوفتگی و خشکی و سفتی عضلات و ماهیچه‌ها، بیماری‌های عفونتی و درد کلیه‌ها استفاده درمانی به عمل آورد. علاوه بر عناصر اصلی (سدیم، کلر، گوگرد)، حضور عناصر همراه مانند آرسنیک، فلئور و رادون نیز در آب‌های چشمه میراحمد گزارش شده است. از خواص آب این چشمه، درمان بیماری‌هایی از جمله: بیماری‌های پوستی (پسی، جوش، دمل)، تنفسی، اعصاب، بیماری‌های مفصلی (آرتروز، دیسک کمر، سیاتیک، نقرس)، تورم موضعی، کوفتگی و خشکی و سفتی عضلات و ماهیچه‌ها، بیماری‌های عفونتی، درد کلیه و حتی بیماری‌های خطرناکی مانند جذام را می‌توان نام برد.

در غرب چشمه میراحمد، چشمه دیگری وجود دارد که از دامنه کوه و از شکاف سنگ‌های آهک آسماری منطقه خارج می‌شود. به نظر می‌رسد که عامل تشکیل این چشمه، فعالیت‌های گسلی منطقه است. غلظت بالای گاز دی‌اکسید کربن در آب خروجی از این چشمه، بر منشأ عمیق آب چشمه دلالت دارد و آب چشمه در ردیف آب‌های سولفات کلسیم همراه با منیزیم و کلرورسدیم ولرم است.

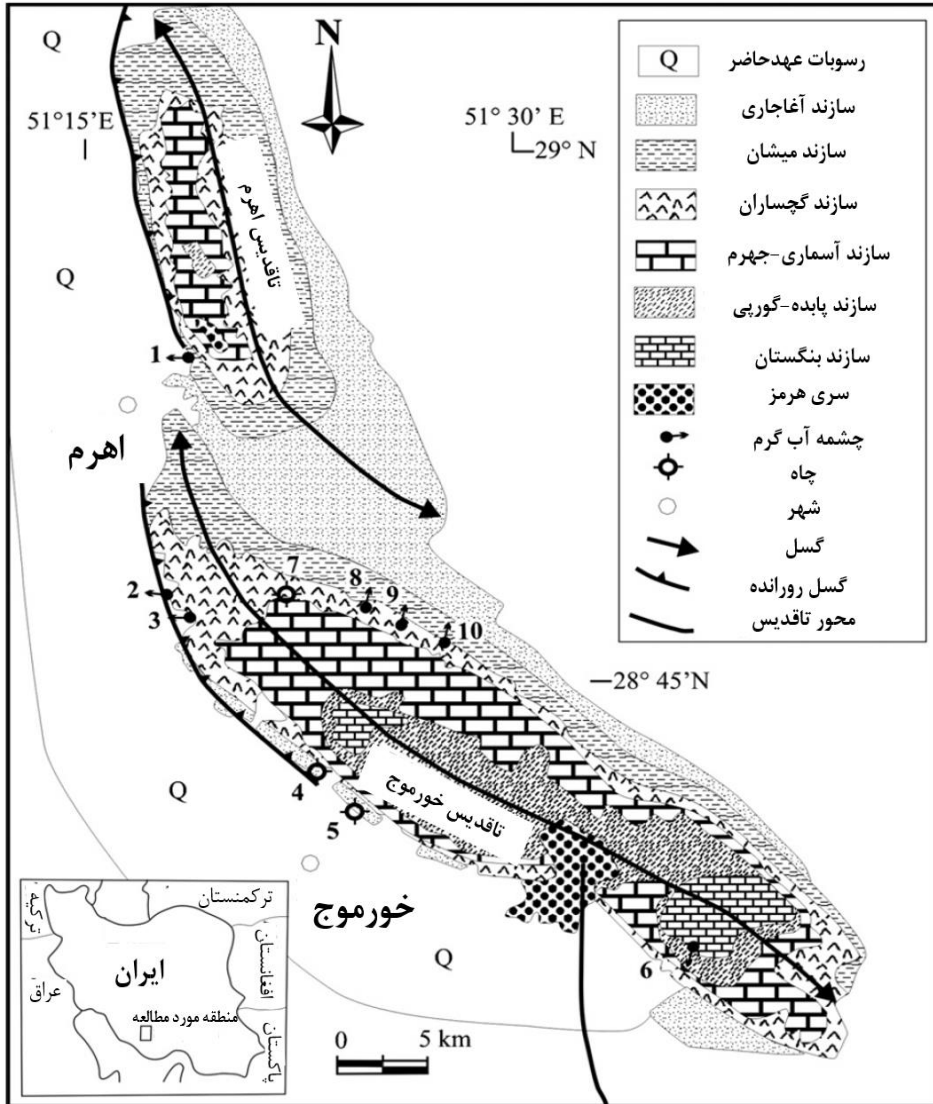


شکل ۵-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه دالکی و محل قرارگیری چشمه‌های آب گرم اهرم (اوبا)، گرو، میراحمد و راهدار [۹]

جدول ۵-۲- خواص فیزیکی‌شیمیایی و ترکیب شیمیایی آب چشمه‌های آب گرم اهرم، گرو و میراحمد [۵]

Na (epm)	Mg (epm)	Ca (epm ¹)	pH	EC (mS/cm)	Q (L/s)	دما (°C)	نام چشمه
۶۷/۳	۲۷/۴	۳۰/۸	۶/۸	۱۱/۴	۱۷	۴۰/۳	آب گرم اهرم
۳۱۹	۱۴۵	۱۴۴	۶/۲	۴۷/۳	۱۲/۶	۴۰/۴	آب گرم گرو
۷۴/۷	۱۵/۶	۲۹/۷	۷/۳	۱۱/۶	۶۱	۳۳/۷	آب گرم میراحمد
CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Cl (epm)	SO ₄ (epm)	HCO ₃ (epm)	K (epm)	
۳۵	۱۳۹/۳	۲۲/۷	۸۶/۱	۴۲/۸	۴/۹	۱/۵	آب گرم اهرم
۱۷/۷	۵۴۶/۴	۲۹/۳	۷۸۵	۳۹	۷/۱	۲۱/۷	آب گرم گرو
۹/۳۶	۱۶۲/۶	۱۲/۴	۱۱۲	۱۱/۳	۲/۹	۲/۷	آب گرم میراحمد

¹ Equivalents per million



شکل ۵-۳- نقشه زمین‌شناسی تاقدیس‌های اهرم و خورموج

نقطه ۱: چشمه آب گرم اهرم؛ ۲: چشمه آب گرم گرو؛ نقطه ۳: چشمه آب گرم میراحمد؛

نقطه ۴: چشمه تنگ سدا؛ نقطه ۵: چشمه بنایان؛ نقطه ۶: چشمه یخ؛ نقطه ۷: چشمه گشی [۵]

جدول ۵-۳- ستون چینه‌شناختی در محل تاق‌دیس‌های اهرم و خورموج
(چشمه‌های آب‌گرم اهرم، گرو و میراحمد) در کوه‌های زاگرس [۵]

واحد زمین‌شناسی	سن	سنگ‌شناسی	ضخامت حدودی (متر)
رسوبات آبرفتی	عهد حاضر	ژیپس و مارن	متغیر
سازند آجاجاری	میوسن - پلیوسن بالایی	ماسه سنگ و مارن قرمز همراه با ژپس	۱۵۰۰
سازند میشان	میوسن	سنگ‌آهک همراه با مارن خاکستری و رس	۸۳۰
سازند گچساران	میوسن بالایی	ژیپس، انیدریت، سنگ‌آهک مارنی و مارن قرمز	۷۵۰
سازند آسماری - جهرم	الیگو - میوسن	سنگ‌آهک دولومیتی	۶۰۰
سازند پابده - گورپی	کرتاسه - پالئوسن بالایی	سنگ‌آهک رسی، مارن و شیل	۳۰۰
گروه بنگستان	کرتاسه - ائوسن بالایی	سنگ‌آهک و سنگ‌آهک مارنی	۱۱۰۰
سری هرمز	پرکامبرین بالایی	سنگ‌آهک، دولومیت سیاه، مارن ماسه‌ای قرمز، شیل سیلتی، ژپس، انیدریت، باقی مانده‌های هیدروکربن	۱۰۰۰-۴۰۰۰

۵-۲-۵- آب‌گرم طلحه

در شهرستان دشتستان، بخش بوشکان و بین طلحه و رود فاریاب قرار دارد. آب‌گرم طلحه که بومیان به آن «جون گرم» و «آو گرمو» می‌گویند در دامنه کوه است. آب آن در ردیف آب‌های گوگردی است. ورود گوگرد در سیستم متابولیسم بدن باعث بروز فعل‌وانفعالات مثبت در دستگاه‌های گوارشی و سوخت‌وساز شده و در درمان بیماری‌های مختلف مجاری تنفسی، روماتیسم و بیماری‌های پوستی می‌تواند مؤثر واقع شود [۱۰].

۵-۲-۶- چشمه قوچارک

این چشمه در ۵ کیلومتری جنوب غربی اهرم و کنار امامزاده زین الشهداء واقع است. آب چشمه از شکاف سنگ‌های آهک مارنی از زمین خارج می‌شود. آب این چشمه در ردیف آب‌های سولفات کلسیم همراه منیزیم زیاد و کلرور سدیم ولرم است و برای درمان برخی از بیماری‌های زنانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و خاصیت تسکین دهنده‌گی، ضد خارش، ملین و ضد صفرا دارد.

۵-۲-۷- آب گرم گنویه

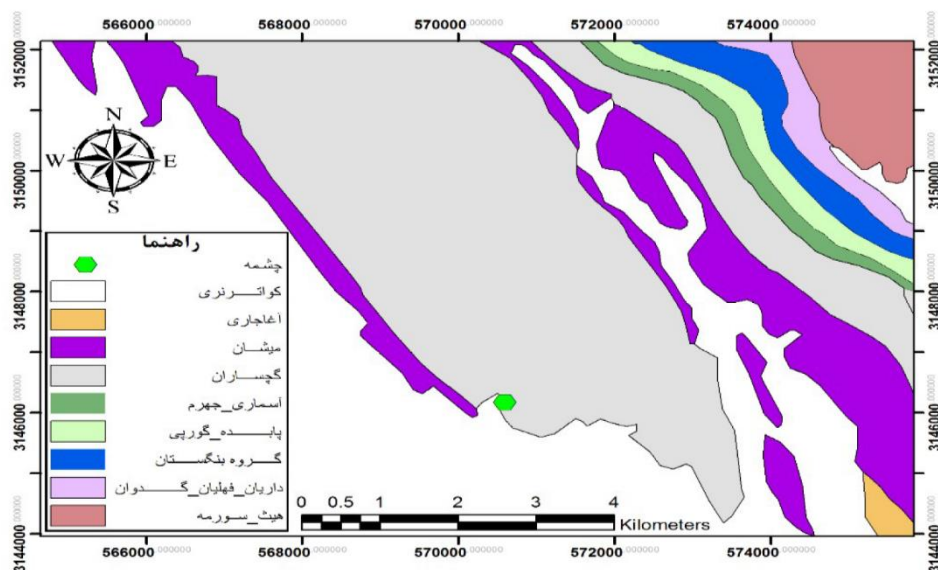
این چشمه در شهرستان دیر و حوالی روستای گنویه (از توابع آبدان) و شرق اتوبان خورموج - عسلویه قرار دارد. دمای آب این چشمه ۳۷ درجه سانتی‌گراد و pH آن برابر با ۶/۳۹ گزارش شده است. این چشمه در زون جنوبی چین‌خوردگی زاگرس قرار دارد و قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه، آهک‌های دوران پالئوزویک هستند. علاوه بر این، رسوبات دوران کواترنری شامل رسوبات رسی و گچی در اطراف چشمه قابل مشاهده است. بنابراین، آب چشمه از شکاف سنگ‌های آهک مارنی خارج می‌شود و تیپ آن در ردیف آب‌های سولفات کلسیم همراه با منیزیم و کلرورسدیم است. علاوه بر عناصر اصلی (سدیم، کلر، منیزیم، گوگرد، کلسیم و پتاسیم)، غلظت‌های بالایی از عناصر فلئور، بور، آرسنیک، کرم، آهن، جیوه، نیکل، سرب، کادمیم و روی نیز در آب چشمه گنویه گزارش شده است. آب این چشمه در ردیف آب‌های گرم و شور/تلخ قرار دارد که برای شرب و کشاورزی مناسب نیست اما در گذشته برای برطرف کردن بیماری‌های دستگاه تنفس و گوارش، بیماری‌های پوستی، روماتیسم مزمن و عفونت‌های دستگاه تناسلی زنان مورد استفاده قرار می‌گرفته است. با این حال، از آنجا که غلظت‌های اندازه‌گیری شده فلزات سنگین و سایر یون‌های موجود در آب چشمه بالاتر از استانداردهای ملی و بین‌المللی است، استفاده ناصحیح از این آب و در معرض بودن با آن می‌تواند خطر سلامتی در پی داشته باشد [۱۱].

۵-۲-۸- آب گرم میانلو

این چشمه در شمال شهرستان کنگان و در نزدیکی میانلو قرار دارد. آب این چشمه از شکاف سنگ‌های آهک مارنی از زمین خارج می‌شود و عامل تشکیل آن فعالیت‌های تکتونیکی است. آب چشمه در ردیف آب‌های سولفات کلسیم همراه با منیزیم و کلرور سدیم ولرم است. از آب گرم میانلو می‌توان در رفع روماتیسم مزمن، ناراحتی‌های دستگاه گوارش، تظاهرات پوستی و عفونت‌های دستگاه تناسلی زنان استفاده کرد [۱۰].

۵-۲-۹- آب گرم حاج احمدی

به این چشمه، آب گرم «بی‌بی نور» و «او گری» نیز می‌گویند. محل قرارگیری چشمه آب گرم حاج احمدی در مسیر سنا- شنبه و در شمال شرقی روستای حاج احمدی قرار دارد. روستای حاج احمدی از توابع شهرستان دشتی است. شکل ۵-۴ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی چشمه آب گرم حاج احمدی را نشان می‌دهد. بررسی نقشه زمین‌شناسی و مطالعات صحرایی نشان داده که این چشمه آب گرم در یال غربی تاق‌دیس شیرکوه و در سازند گچساران قرار دارد. آب این چشمه از شکاف‌های حاضر در سنگ‌های مارنی و گچی به سطح می‌رسد و غنی از گوگرد است. علاوه بر این، ته‌نشست بلورهای نمک و سایر عناصر از جمله ترکیبات آهن نیز در منطقه قابل مشاهده است. دبی آب چشمه پس از زلزله سال ۱۳۹۲ افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. آب خروجی از این چشمه غنی از سدیم و کلر و تیپ غالب آن کلروره-سولفات است. دلیل احتمالی شوری بالای آب می‌تواند حضور دو گنبد نمکی جاشک و لاور در فاصله ۱۶ و ۲۸ کیلومتری چشمه و همچنین عبور آب از سازند گچساران باشد [۱۲]. برخلاف چشمه آب گرم دالکی، آب این چشمه فاقد لکه‌های نفتی است و به نظر می‌رسد که آب طی مسیر خود به سمت سطح با شوراب‌های نفتی در تماس نیست.



شکل ۵-۴- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی چشمه آب گرم حاج احمدی [۱۲]

۵-۳- چشمه‌های آب گرم و اثر بر سلامت انسان

۵-۳-۱- اثرات زیست محیطی

بررسی چشمه‌های آب گرم میراحمد و اهرم در استان بوشهر در رشته جبال زاگرس، نشان می‌دهد که منشأ آب این چشمه‌ها از نزولات جوی بوده که تحت تأثیر گرادیان زمین گرمایی (حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد در هر کیلومتر)، گرم می‌شوند و منشأ ماگمایی در گرم شدن آن‌ها اثری ندارد. آب از این چشمه‌ها از طریق مجاری‌ای که در راستای گسل‌ها و مناطق شکست پدید آمده‌اند، ظهور می‌یابد. املاح بالای آب نیز به دلیل تماس با تبخیرات زیرسطحی و یا مخلوط شدن با شوراب‌های منطقه نفتی است. آب آن‌ها حاوی ترکیبات محلول و سولفید هیدروژن است [۵].

بر همین اساس، آب گرم گوگردی دالکی در استان بوشهر نیز حاصل اختلاط شورابه نفتی سنگ مخزن آسماری میدان نفتی دالکی با آب سولفات سازند گچساران است که منشأ گرمای این چشمه‌ها نیز عملکرد زمین گرمایی گسل قطر - کازرون در مکان چشمه‌های آب گرم

می‌باشد. در این چشمه‌های گوگردی، آنیون کلر و کاتیون سدیم غالب می‌باشند و از این رو در تیپ آب‌های کلرید سدیک قرار می‌گیرند. بر پایه مطالعات هیدروژئوشیمی در چشمه‌های آب گرم گوگردی دالکی، عناصر سرب و وانادیوم بالاتر از حد مجاز بوده و غلظت عناصر عمده، کل جامدات یونی و غلظت تجمعی فلزات سنگین، آن‌ها را غیرقابل شرب کرده است و عناصر سدیم، کلر، کلسیم و منیزیم نیز خارج از محدوده استاندارد است [۷، ۱۳].

خوشبختانه، آب چشمه‌های آب گرم منطقه نیز مورد استفاده آشامیدنی قرار نمی‌گیرد ولی آب آن‌ها نه تنها وارد رودخانه دالکی می‌شود بلکه مورد استفاده کشاورزی قرار می‌گیرند این در حالی است که بررسی نمونه‌های آب چشمه‌های گوگردی منطقه، آن‌ها را بر اساس نمودار ویلکوکس در رده‌ای قرار می‌دهد که برای کشاورزی مناسب نیستند. به دلیل بالا بودن غلظت عناصر عمده بیش از میزان مجاز آب آبیاری و اشباع کانی‌های کربناته، به ویژه کلسیت، با آبیاری با آب شور این چشمه‌ها، میزان رسانایی الکتریکی و نمک‌ها افزایش یافته و موجب افت کیفیت خاک کشاورزی منطقه خواهد شد [۷].

بررسی مقدماتی اثرات زیست محیطی چشمه آب گرم معدنی گنویه بخش آبدان استان بوشهر نیز مشخص نمود که مقادیر آرسنیک، کروم، آهن، جیوه، سدیم، منیزیم، نیکل، کادمیم، فلوراید و سولفات، نسبت به استانداردهای اعلام شده، بیش از حد مجاز بوده و از این رو، مناسب آبیاری زمین‌های کشاورزی نمی‌باشد [۱۱]. از سوی دیگر اختلاط آب‌های گوگردی این چشمه‌های آب گرم با منابع آبی پایین دست و تخریب آن‌ها نیز مورد اثبات واقع شده است و اثرات این اختلاط آب‌های گوگردی با چشمه‌های زیرزمینی و منابع آب سطحی و اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر محصولات کشاورزی و سلامت انسان، موضوعی است که به پژوهش‌های گسترده نیاز دارد.

از اثرات دیگر زیست محیطی چشمه‌های آب گرم سولفید گوگردی در منطقه جنوب ایران که می‌بایست مورد نظر قرار داد اثر گاز هیدروژن این چشمه‌ها بر آب‌وهوای اطراف این چشمه‌ها می‌باشد. در بعضی از این چشمه‌های آب گرم منطقه، غلظت گاز سولفید هیدروژن آن‌ها بیش از دیگر چشمه‌ها می‌باشد؛ برای مثال، چشمه اوبای دالکی، بیش از دو چشمه گرد

و راهدار دارای غلظت گاز هیدروژن سولفور است [۱۳]. هر چند آب‌های چشمه‌های گرم گوگردی اثرات مفیدی بر سلامت دارا هستند که پس از این به آن‌ها خواهیم پرداخت؛ اما باید در مورد اثرات مخرب گاز سولفید هیدروژن این چشمه‌ها در هنگام کاربرد توریسم درمانی آن‌ها، نکات ایمنی را رعایت نمود.

راه اولیه برخورد با سولفید هیدروژن از طریق استنشاق است و جذب از طریق پوست ناچیز می‌باشد. این گاز هم تحریک کننده است و هم موجب خفگی شیمیایی می‌شود و اثر آن به واسطه استفاده از اکسیژن و بر روی دستگاه اعصاب مرکزی است. در غلظت کم موجب تحریک چشم‌ها، بینی، حلق و دستگاه تنفسی می‌شود (مانند سوزش، اشک‌ریزی، سرفه، تنگی نفس). افراد آسمی ممکن است به دشواری تنفسی دچار شوند. اثرات این گاز می‌تواند با تأخیر چند ساعته همراه شود و حتی چنانچه در مقادیر پایینی باشد می‌تواند بعد از چندین روز خود را نشان دهد. برخورد مرتب و طولانی با آن موجب التهاب چشم‌ها، سردرد، خستگی، تحریک‌پذیری، بی‌خوابی، اختلالات گوارشی و از دست دادن وزن می‌شود. در مقادیر متوسط نیز موجب تحریک شدید چشم و دستگاه تنفسی (شامل سرفه، دشواری در تنفس، انباشت مایع در شش‌ها)، سردرد، سرگیجه، تهوع و استفراغ و تحریک‌پذیری می‌شود. در غلظت‌های بالا موجب شوک، تشنج، عدم توانایی در تنفس، بیهوشی بسیار سریع، کُما و مرگ می‌شود. اثرات این گاز در غلظت‌های بالا خود را در چند تنفس اول و یا حتی با یک تنفس، نشان می‌دهد [۱۴].

در هر صورت، مسمومیت با سولفید هیدروژن در چشمه‌های آب گرم، موضوع بسیار با اهمیتی می‌باشد زیرا با منع فسفوریلاسیون اکسیداتیو در فرآیندهای اکسیداتیو سلولی، تولید مسمومیت می‌نماید و این موضوع در مورد مکان‌هایی که حتی از آب چشمه‌های گرم گوگردی برای اهداف توریستی استفاده می‌شود، می‌تواند خطرآفرین باشد و در سطح مطبوعات بین‌المللی پزشکی به موارد مرگ حاصل از مسمومیت با سولفید هیدروژن در مواقعی که از آب آن‌ها به عنوان توریسم درمانی استفاده شده است، بر می‌خوریم [۱۵]. بررسی دقیق در مورد سولفید هیدروژن چشمه‌های آب گرم جنوب انجام نشده است اما اخیراً گزارش شده است

که در بعضی از چشمه‌های آب‌گرم اردبیل در فضاهاى سرپوشیده که برای اهداف توریستی استفاده می‌شود، غلظت سولفید هیدروژن در آن‌ها به شکل چشمگیری بالا بوده و می‌تواند اثر بر سلامت کوتاه و درازمدت بر انسان، ایجاد نماید [۱۶].

گاز سولفید هیدروژن در بدن به سرعت به سولفید یا تیوسولفات^۱، دتوکسیفه می‌شود و تیوسولفات ادراری به عنوان شاخص مسمومیت با سولفید هیدروژن در موارد غیرکشنده مطرح شده است و آنالیز سولفید در موارد کشنده، با اندازه‌گیری تیوسولفات در خون انجام می‌شود [۱۵]. گفته شده است که غلظت‌های بالاتر از ۲۵ ppm محیطی سولفید هیدروژن با آسیب‌های چشمی همبستگی دارد و برخورد مزمن با این گاز با اثرات شدید بر سلامت، توأم بوده است. هرچند که مسائل تنفسی با برخورد مزمن در حد ۲۰-۱۰ ppm روی می‌دهد ولی سطوح سولفید هیدروژن بالاتر از ۱۰۰-۵۰ ppm خطرآفرین هستند. برخورد طولانی حتی در سطوح پایین سولفید هیدروژن در مکان‌های کار، با بالا رفتن میانگین مت هموگلوبین و سولف هموگلوبین، همراه بوده است.

کاربرد موضعی این گاز نیز خالی از عوارض نمی‌باشد. کاربرد آب معدنی سولفور، به ویژه استحمام در چشمه‌های آب‌گرم می‌تواند درمانیت تحریکی تا سوختگی شیمیایی را ایجاد کند [۱۷، ۱۸]. اما باید در نظر داشت که سولفید هیدروژن چنانچه مقادیر مناسبی داشته باشد می‌تواند اثرات سودمندی بر سلامت انسان ایجاد کند. کاربرد بالینی سولفید هیدروژن در فشارخون ریوی، فشارخون شریانی، آترواسکلروز، آسیب ایسکمی - برقراری جریان، نارسایی قلبی، زخم معده، بیماری‌های حاد و مزمن التهابی، بیماری پارکینسون، آلزایمر، اختلال نعوظ و بیماری‌های پوستی نشان داده شده است [۱۸]. این اثرات سودمند ممکن است به دلیل خصوصیات التهابی، تسکین‌دهندگی، ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی آب‌های گرم سولفور باشد [۱۹].

با وجود گزارشات مسمومیت با گاز سولفید هیدروژن و اثرات حاد آن اما مطالعاتی نیز وجود دارد که ساکنین اطراف چشمه‌های آب‌گرم تا شعاع پنج کیلومتری ممکن است از اثرات

¹ Thiosulfate

سودمند آن بهره‌مند شوند. یکی از اثرات سودمند این گاز در ساکنین چشمه‌های آب گرم که در اردن مورد بررسی قرار گرفته است، وضعیت ضد اکسیدانی و مارکرهای استرس اکسیداتیو بوده است که در این مطالعه نشان داده شد که با در معرض قرار گرفتن با این چشمه‌های گوگردی، توان آنتی اکسیدانی تقویت گردیده و سطوح استرس اکسیداتیو نیز در بدن کاهش می‌یابد. به زبان دیگر، توان ضد اکسیدانی تام سرم ساکنین اطراف چشمه‌های آب گرم در مقایسه با گروه شاهد، بالاتر بود. اثرات مشاهده شده ضد اکسیدانی با اثر احتمالی گاز سولفید هیدروژن در ریزه‌خواری رادیکال‌های آزاد درونی و یا بازتنظیمی در سطح بالای بیان ژن‌های ضد اکسیدانی، قابل توجیه می‌باشد.

از نکات جالب این مطالعه آن بود که علائم قابل توجه مانند سردرد، تهوع و مشکلات تنفسی در بین ساکنین این چشمه‌ها مشاهده شد که علت آن این گونه تفسیر شد که مکانیسم‌های سازگarmندی ملکولی ممکن است در بدن این ساکنین مانع از بروز اثرات مسمومیت با گاز سولفید هیدروژن شده و یا این که غلظت فیزیولوژیک گاز سولفید هیدروژن درونی در بدن این ساکنین به آستانه غلظت توکسیک نمی‌رسد [۲۰].

مسئله زیست محیطی دیگر چشمه‌های آب گرم، وجود فعالیت تابشی طبیعی این آب‌ها است. از این رو، دوزاژ تابشی حاصله از رادیواکتیو طبیعی آن‌ها و وجود رادون، به عنوان یک منبع تابش طبیعی مهم، در جاهای گوناگون جهان مورد بررسی قرار گرفته شده است [۲۱-۲۳]. در یک فراگرد کلی، اثرات مهمی از برخورد آب چشمه‌های آب گرم گوگردی با سفره‌های آب زیرزمینی، سطحی و گاز سولفید هیدروژن در آب‌وهوای اطراف این چشمه‌ها مشاهده می‌شود. از آنجا که عناصر توکسیک این چشمه‌ها، به ویژه فلزات سنگین و نایاب، ممکن است بر محصولات کشاورزی اثر گذاشته و به شکلی غیرمستقیم بر انسان نیز اثر گذارند، بررسی ژئوشیمی این آب‌ها و اثرات اکوسیستمی آن‌ها، بسیار مهم هستند [۲۴-۲۶].

۵-۳-۲- کاربرد پزشکی چشمه‌های آب گرم

در سرزمین ایران که چشمه‌های آب گرم به فراوانی یافت می‌شوند، این چشمه‌ها، جایگاه

بالایی در آداب و آیین تطهیرسازی و پاکی داشته‌اند. بر اساس متون باستان، جمشید (چهارمین پادشاه پیشدادیان) کسی بود که رسم شستشو بدن با آب سرد و آب گرم را پایه گذاشت. در تمدن اسلامی، پزشکان ضمن گسترش دانش آب‌شناسی پیشینیان خود همچون بقراط و جالینوس حکیم، به اهمیت آب گرم در پزشکی اشاره‌های فراوان نموده‌اند مانند رازی که در کتاب «الحوای» به خواص آب گرم «ماء الحار» می‌پردازد و از ماء‌الکبری (آب گوگردی) یعنی آبی که از معدن و زمین کبریتی بر می‌آید، سخن می‌راند. از نظر او، آب گوگردی، عصب را نرم می‌کند و بثورات به وجود آمده را از بین می‌برد و از نظر او برای بیماری شخوص و ضعف معده و نیز زخم‌ها و جرب سودمند است [۲۷]. این سینا نیز به سودمندی آب‌های گوگردی می‌پردازد و این آب‌ها را در فرونشاندن ورم مفاصل و نرم کردن سخت شده‌ها و برکنند زگیل‌های آویزه، کاری می‌داند و شستشوی تن با آب گوگردی را در علاج قوبا و گری و جوش‌های سعفه، مفید می‌داند [۲۸]. هر چند از زمان‌های باستان، چشمه‌های آب گرم در درمان بیماری‌های گوناگون توصیه شده است، اما این در قرن بیستم بود که یک بازبیداری جهانی در مورد آب‌های معدنی گرم ایجاد شد. امروزه متخصصین روماتولوژی، توانبخشی و پوست، استحمام در آب‌های گرم را در بیماری‌های خاصی توصیه می‌کنند [۲۹].

پژوهش‌های جدید که به روش کارآزمایی‌های بالینی کنترل شده تصادفی و غیرتصادفی انجام شده‌اند، نشانگر مؤثر بودن چشمه آب گرم در بیماری‌های پوستی، بیماری‌های التهابی و غیرالتهابی ماهیچه‌ای اسکلتی مزمن، متابولیک و بیمارهای روانی هستند. در بیمارهای پوستی «پسوریازیس» و «درماتیت آتوپیک»، کاربرد آب گرم با موفقیت توأم بوده است [۳۰]. آب گرم گوگردی، توجه خاصی را به خود جلب نموده است. گوگرد به درون پوست نفوذ کرده، اکسیده شده و پاسخ‌های گوناگونی را در پوست ایجاد می‌کند (مانند اتساع عروق کوچک، تأثیر آرام‌بخشی بر روی گیرنده‌های درد و سرکوب پاسخ ایمنی). گوگرد همچنین با رادیکال‌های اکسیژن در لایه‌های عمیق‌تر اپیدرمیس واکنش نشان داده و تولید سولفور و دی‌سولفور هیدروژن می‌کند که ممکن است به اسید پنتاتیونیک تبدیل شده و به عنوان منبع ضدباکتریایی و ضدقارچی آب‌های گوگردی نقش ایفا کند.

عموماً اثر درمانی آب‌های سولفوری وابسته به اثر کراتولیتیک آن‌ها است که موجب پوسته شدن می‌شود [۳۱]. ترکیبات سولفوری موجود در این آب‌ها، باند‌های دی‌سولفیدی موسین را می‌شکند و تنفس و گردش خون را فعال ساخته و به کاهش التهاب کمک می‌کند [۳۲]. در روماتولوژی، اثر درمانی آب‌های گرم در مورد بیماری‌های روماتیسم مفصلی، اسپوندیلیت آنکلوزان یا فیبرومیالژی و استئوآرتریت، مورد اثبات قرار گرفته است. همچنین استفاده از آب‌های گرم در کسانی که سیستم ضداکسیداتیو پلاکتی آن‌ها آسیب دیده باشد، سودمند است. اثر آب گرم همچنین در کاهش فشارهای روانی و رفع افسردگی مؤثر بوده و اثرات پیشگیرانه و بهبودآفرین بر سلامت سالمندان داشته است [۳۱، ۳۳]. اثر چشمگیر چشمه‌های آب گرم بر بیماری‌های پوستی، به ویژه پسوریازیس و درماتیت آتوپیک، شناخته شده است اما به نظر می‌رسد که این آب‌ها پتانسیل کاهش التهاب پوست را در گستره‌ای از بیماری‌ها داشته باشند [۳۴]. از لحاظ فیزیولوژی، اثر آب گرم را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود:

(۱) اثر مکانیکی: غوطه‌وری در آب موجب تحرک مفاصل و تقویت عضلات گردیده و این اثر هیدوراستاتیک همچنین موجب جابه‌جایی مایعات از اندام‌ها به تنه شده و موجب همودیلاسیون و افزایش ادرارآوری می‌شود. نشان داده شده است که غوطه‌وری برای یک ساعت، موجب فزونی استخراج آب تا حدود پنجاه درصد می‌گردد.

(۲) اثرات گرمایی: آب گرم موجب گشاد شدن عروق سطحی شده و نشان داده شده است که موجب کاهش اسپاسم عروقی و استازیس در سطح ناخن و ملتحمه می‌گردد. پاسخ تکثیر لنفوسیت‌های خون محیطی انسان نسبت به محرک‌های شیمیایی، در زمانی که در حضور آب ۴۰ درجه رشد داده می‌شوند، افزایش می‌یابد.

(۳) اثرات شیمیایی: مواد محلول در آب‌های گرم، به ویژه در روی پوست اثر نموده و بدون شک، تحت شرایطی، جذب املاح نیز امکان‌پذیر می‌شود. ترکیب و خصوصیات فیزیکی آب‌های گرم با هم متفاوت هستند که پیش از این در این مورد اشاره شد.

هنوز آشکار نیست که کدام یک از عناصر آب‌های گرم و در چه غلظتی از آن‌ها، خواص طبی حاصل می‌گردد. از لحاظ پزشکی، آب گرم را می‌توان در مورد تمام افراد به کار برد ولی در موارد

خاصی منع کاربرد دارد؛ مانند شرایط روانی شدید، صرع، بی‌نظمی‌های قلبی، عدم تعادل، واریس شدید، زخم‌های باز و سابقه حساسیت به املاح موجود در آب‌های گرم [۳۵، ۳۱].

با توجه به اثرات شگرف آب‌های گرم به ویژه آب‌های گوگردی، استفاده از آن‌ها برای اهداف درمانی جایگاهی ویژه را در بخش ژئوتوریسم پزشکی به خود اختصاص داده است و کانون توجه توریسم چشمه‌های آب‌گرم، به فعالیت‌های پزشکی و تندرستی، میل کرده است [۳۶]. اما با وجود تغییر کانون نگاه به آب چشمه‌های آب‌گرم، پژوهش‌های میدانی و کارآزمایی‌های بالینی گسترده تری نیاز است تا در این خصوص انجام گیرد تا بتوان بر پایه شواهد به ترسیم مدل مفهومی آن در ارتباط با صنایع سلامت، تندرستی و تفریحی در قالب ژئوتوریسم، اقدام نمود [۳۷-۳۹]. در جنوب ایران، در منطقه خلیج فارس، برای راه‌اندازی صنعت ژئوتوریسم آب‌های گرم نیاز است که نه تنها به شکل علمی به تدوین این مدل مفهومی اقدام نمود بلکه پژوهش‌ها و پایش‌های زیست محیطی نیز برای اندازه‌گیری نمک‌ها، فلزات سنگین و نایاب و سطح غلظت محیطی گاز سولفید هیدروژن انجام داد؛ حتی توجه به مقدار غلظت رادون نیز حائز اهمیت می‌باشد زیرا گزارش‌های کنونی از غرب هرمزگان که بر روی هیدروشیمی چشمه‌های آب‌گرم این منطقه انجام شده است حاکی از وجود غلظت بالای رادون در این آب‌ها می‌باشد [۴۰].

در هر صورت، افزون بر برآورد خطرات زیست محیطی و اثر بر زمین‌های کشاورزی پایین دست این چشمه‌های آب‌گرم، لازم است به شکل منطقی با ارائه یک چهارچوب مفهومی به گنجاندن عوامل تعیین‌کننده میزان رضایت توریست در آن مدل اقدام نمود تا بتوان ضمن رونق اقتصادی منطقه به سوی یک پایداری اکولوژیک برای برقراری و حفظ سلامت ساکنین و توریست‌ها گام برداشت [۴۱].

۴-۵- منابع

- ۱) کاظمی، غ.، ابراهیمی، م.ت.آ.، جلیلی، ح.، دمشقیان، م.، شریف پور، ل. جداسازی، شناسایی و بررسی خاصیت آنتاگونیستی باکتری‌های چشمه آب گرم و اسیدی استان بوشهر. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی، ۱۳۹۳. دوره ۴، شماره ۱۴، صفحات ۶۵-۷۲.
- 2) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, Essentials of medical geology. 2016: Springer.
- 3) Webster, J.G. and Nordstrom, D.K., Geothermal arsenic, in Arsenic in ground water. 2003, Springer. p. 101-125.
- 4) Mirhosseini, S.M.J.P.J.o.E.S., Environmental Water Chemistry and Dissolved Radon Concentration in a Thermal Spring. 2016. 25.
- 5) Karimi, H. and Moore, F., The source and heating mechanism for the Ahram, Mirahmad and Garu thermal springs, Zagros Mountains, Iran. Geothermics, 2008. 37(1): p. 84-100.
- 6) Kompani-Zare, M. and Moore, F., Chemical thermometry and origin of the Dalaki mineral springs, Bushehr Province, Iran. Journal of Hydrology (New Zealand), 2001: p. 189-204.
- 7) Boosalik, Z., Kalantari, N., Charchi, A., *et al.*, Study of Impacts of Salinity of Dalaki Sulfur Springs on Soil and Agricultural Products in Dalaki Area, Boshahr. Journal of Geochemist, 2012. 1(2): p. 107-116.
- 8) Todd, D.K. and Mays, L., Groundwater Hydrology. John Willey & Sons. Inc., New York, 1980. 535.
- ۹) بوسلیک، ز.، کلانتری، ن.، کشاورزی، م.، همکاران، هیدروژئوشیمی و اثرات زیست محیطی چشمه‌های آب گرم گوگردی دالکی. فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۳۹۱. شماره ۱۹، دوره ۶، صفحات ۱-۱۶.
- ۱۰) گیانی، ک.، خواص درمانی آب‌های گرم معدنی ایران. ۱۳۹۳، تبریز. ایران: انتشارات آذربایجان.
- ۱۱) اردکانی، ج.ق. و پهلوزاده، ب.، بررسی مقدماتی اثرات زیست‌محیطی چشمه آب گرم معدنی گنویه بخش آبدان استان بوشهر، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار. ۱۳۹۵: دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران.

۱۲) آزادی جو، ا.، هم‌رایان آزاد، و. الف.، موسوی نسب، ز. تحلیلی بر هیدروژن‌شیمی چشمه آب‌گرم حاج احمدی منطقه چاهگاه استان بوشهر، دومین همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار. ۱۳۹۶: استهبان - دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.

- 13) Boosalik Z, K.N., Keshavarzi M, Ahmadnejad Z, Hydrogeochemistry and environmental effects of Dalaki sulfur springs. Scientific Journal Management System, 2012: 19(6): p. 1-16.
- 14) (OSHA), O.S.H.A., Fact sheet of Hydrogen sulfide (H₂S). US Department of Labor, 2005.
- 15) Daldal, H., Beder, B., Serin, S., *et al.*, Hydrogen sulfide toxicity in a thermal spring: a fatal outcome. Clinical Toxicology, 2010. 48(7): p. 755-756.
- 16) Fazlzadeh, M., Rostami, R., Norouziyan Baghani, A., *et al.*, Hydrogen sulfide concentrations in indoor air of thermal springs. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018. 24(6): p. 1441-1452.
- 17) Lee, C.-C. and Wu, Y.-H., Sulfur spring dermatitis. Cutis, 2014. 94(5): p. 223-225.
- 18) Carbajo, J.M. and Maraver, F., Sulphurous mineral waters: new applications for health. Evidence-based complementary and alternative medicine, 2017. 2017.
- 19) Viegas, J., Esteves, A.F., Cardoso, E.M., *et al.*, Biological effects of thermal water-associated hydrogen sulfide on human airways and associated immune cells: implications for respiratory diseases. Frontiers in public health, 2019. 7: p. 128.
- 20) Altaany, Z., Alkaraki, A., Abu-siniyeh, A., *et al.*, Evaluation of antioxidant status and oxidative stress markers in thermal sulfurous springs residents. Heliyon, 2019. 5(11): p. e02885.
- 21) Al-Okour, A., Radiation Doses Due to Natural Radioactivity in North-Shuneh Hot Springs. Jordan European Journal of Scientific Research ISSN: p. 582-586.
- 22) Bituh, T., Marovic, G., Petrinc, B., *et al.*, Natural radioactivity of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in thermal and mineral waters in Croatia. Radiation protection dosimetry, 2009. 133(2): p. 119-123.
- 23) Wiwanitkit, V., Radon in natural hot spring pools in Thailand: Overview. Toxicological & Environmental Chemistry, 2009. 91(1): p. 1-4.
- 24) Durowoju, O.S., Trace element concentrations in geothermal springs and their impact on soil and vegetation in Siloam and Tshipise. 2015.
- 25) Bazrgari, H., Naghizadeh, A., and Zarghani, H., Investigation of Physical and Chemical Quality of Hot Springs in South Khorasan, Iran. Archives of Hygiene Sciences, 2019. 8(4): p. 266-273.

- 26) Bouaicha, F., Dib, H., Bouteraa, O., et al., Geochemical assessment, mixing behavior and environmental impact of thermal waters in the Guelma geothermal system, Algeria. *Acta Geochimica*, 2019. 38(5): p. 683-702.
- (۲۷) رازی، م.ب.ز.، کتاب الحاوی (جلد بیست و یکم) ترجمه و تنظیم و تحقیق دکتر سلیمان افشاری پور. ۱۳۸۴: فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران. صفحات ۳۱۷-۳۲۵.
- (۲۸) شیخ‌الرئیس ابوعلی سینا. قانون در طب (کتاب دوم) ترجمه عبدالرحمن شرفکندی. ۱۳۷۰: انتشارات سروش، صفحه ۲۳۱.
- 29) Routh, H.B., Bhowmik, K.R., Parish, L.C., et al., Balneology, mineral water, and spas in historical perspective. *Clinics in dermatology*, 1996. 14(6): p. 551-554.
- 30) Matz, H., Orion, E., and Wolf, R., Balneotherapy in dermatology. *Dermatologic therapy*, 2003. 16(2): p. 132-140.
- 31) Nasermoaddeli, A. and Kagamimori, S., Balneotherapy in medicine: a review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 2005. 10(4): p. 171-179.
- 32) Davinelli, S., Bassetto, F., Vitale, M., et al., Thermal Waters and the Hormetic Effects of Hydrogen Sulfide on Inflammatory Arthritis and Wound Healing, in *The Science of Hormesis in Health and Longevity*. 2019, Elsevier. p. 121-126.
- 33) Maeda, T., Mimori, K., Suzuki, S., et al., Preventive and promotive effects of habitual hot spa-bathing on the elderly in Japan. *Scientific reports*, 2018. 8(1): p. 1-9.
- 34) Huang, A., Seité, S., and Adar, T., The use of balneotherapy in dermatology. *Clinics in dermatology*, 2018. 36(3): p. 363-368.
- 35) (WHO), World Water Day 2001: Water for Positive Health. 2001; Available from: https://www.who.int/water_sanitation_health/en/positivehealth.html.
- 36) Boekstein, M., Tourism, health and the changing role of thermal springs-should South Africa reposition its thermal spring tourism product? 2014.
- 37) Stanhope, J., Weinstein, P., and Cook, A., Do natural spring waters in Australia and New Zealand affect health? A systematic review. *Journal of water and health*, 2018. 16(1): p. 1-13.
- 38) Erfurt, P.J., An assessment of the role of natural hot and mineral springs in health, wellness and recreational tourism. 2011, James Cook University.
- 39) Simon, N., Unjah, T., Yusry, M., et al., Phsyco-chemical characterisation and potential health benefit of Hulu Langat hot spring in Selangor, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 2019. 48(11): p. 2451-2462.
- 40) Mirhosseini, S.M., Moattar, F., Negarestani, A., et al., Role of hot springs' hydrochemistry in Balneotherapy, Case Study: Fotoyeh and sanguyeh springs, western Hormozgan. *Hormozgan Medical Journal*, 2015. 19(3): p. 194-203.

-
- 41) Mi, C., Chen, Y., Cheng, C.-S., *et al.*, Exploring the Determinants of Hot Spring Tourism Customer Satisfaction: Causal Relationships Analysis Using ISM. *Sustainability*, 2019. 11(9): p. 2613.

فصل ششم

آلاینده‌های آلی

ناشی از آلودگی نفتی در استان بوشهر

۶-۱- آلودگی‌های نفتی

آلودگی نفتی پیامدی اجتناب‌ناپذیر از فرآیند اکتشاف، استخراج و استحصال نفت است. ترکیب‌های آلی، عمدتاً از اتم‌های کربن و هیدروژن تشکیل می‌شوند و عناصر دیگر مانند اکسیژن، گوگرد، فسفر و هالوژن‌ها نیز در ترکیب آن‌ها یافت می‌شود. هیدروکربن‌ها، رایج‌ترین گروه ترکیبات آلی هستند و تنها از کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند [۱، ۲]. هیدروکربن‌ها به دو دسته آلیفاتیک و آروماتیک تقسیم می‌شوند [۳]. آلیفاتیک‌ها ترکیباتی با زنجیره باز، وزن مولکولی کم و حداقل سمیت هستند. آروماتیک‌ها دارای ساختمان حلقوی هستند. از ویژگی‌های مهم آروماتیک‌ها انحلال‌پذیری کم و پایداری زیاد در مقابل تجزیه در محیط‌زیست است.

کوچک‌ترین و ساده‌ترین هیدروکربن نفتی متان است [۲] و بزرگ‌ترین هیدروکربن نفتی به احتمال زیاد حاوی بیش از ۳۴ اتم کربن است. هیدروکربن‌های نفتی از راه سوانح، نفت‌ریزی‌های اتفاقی یا طبیعی، فعالیت‌های صنعتی، پسماندها و پساب‌های شهری وارد محیط زیست می‌شوند [۴، ۵]. هیدروکربن‌های نفتی حاوی طیف وسیعی از مواد شیمیایی از جمله بنزین، پارافین، نفت سفید، نفت سنگین و روغن‌های روان کننده هستند. مقدار کل هیدروکربن‌های نفتی وارد شده به اقیانوس‌ها از منابع طبیعی و انسان‌زاد حدود $۲/۳۷ \times ۱۰^۶$ تن در سال است [۴]. بخشی از باقیمانده نفت رها شده در محیط دریا عاقبت خود را به سواحل می‌رساند و با بخش جامد محیط (ذرات ماسه ساحلی) برهم‌کنش ایجاد کرده و روی بسترهای ماسه‌ای، لکه‌های نفتی تقریباً جامد ایجاد می‌کنند [۶]. ترکیب نفت هوازده و رسوب ساحلی (که بین ۷۰ تا ۹۵ درصد ماسه دارد)، توپ‌تار^۱ نامیده می‌شود [۷]. توپ‌تارها، از

^۱ Tar ball

مخلوطی از هیدروکربن‌ها شامل آلکان‌های خطی، ایزوپروپونوئیدها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، هوپان‌ها و استرن‌ها تشکیل شده است. هیدروکربن‌های نفتی به دلیل انحلال‌پذیری، فرآریت و قابلیت زیست‌فروکاهی پایین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی در محیط‌زیست هستند که برای بسیاری از جانداران، سمی شناخته شده‌اند [۴]. بنابراین، علاوه بر آلودگی رسوبات ساحلی، توپ‌تارها برای اندامگان‌های دریایی به خصوص آن‌ها که در سطوح پایین‌تر غذایی قرار دارند (مانند جلبک‌ها و فیتوپلانکتون‌ها)، خطرناک هستند و می‌تواند چرخه غذایی و زنجیره غذایی را تحت تأثیر قرار دهد [۸].

۶-۱-۱- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH)

هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) اصطلاحی است که برای تشریح گروه بزرگی از چند هزار ترکیب شیمیایی مشتق شده از نفت خام به کار می‌رود [۹]. منبع TPHها می‌تواند نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای باشد و هنگام وقوع تصادفات و نشت اتفاقی نفت، در حین حمل‌ونقل، در اطراف پالایشگاه‌ها، جایگاه‌های سوخت‌گیری و مسیر عبور لوله‌های انتقال سوخت، نشت از مخازن ذخیره‌سازی، آگروز اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها و یا از راه‌های دیگر در محیط‌زیست منتشر می‌شود [۱۰]. این ترکیبات در محیط‌زیست تحت تأثیر فرآیندهای مختلف هوازدگی از قبیل تبخیر، اکسایش، کاهش و تجزیه زیستی قرار می‌گیرد [۴، ۹]. در این فرآیند، غلظت هیدروکربن‌های سبک‌تر کاهش می‌یابد، در حالی که غلظت نسبی هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی بالاتر در TPH باقی مانده و افزایش می‌یابد. برخی از TPHها مایعاتی روشن رنگ هستند که به آسانی تبخیر می‌شوند و برخی نیز تیره و نیمه جامد هستند که تبخیر نمی‌شوند. برای مثال، چنانچه TPH به طور مستقیم در آب رها شود، بخشی از آن از راه تبخیر از محیط آب خارج می‌شود، در حالی که بخش‌هایی از آن در آب پراکنده یا حل می‌شوند. سایر بخش‌های سنگین‌تر در رسوب و در پایین آب تجمع می‌یابند [۹]. برخی ریزاندامگان‌های موجود در آب می‌توانند ساختار برخی از ترکیبات TPH را بشکنند.

زمانی که بخار ترکیبات TPH را تنفس می‌کنیم و یا ناخواسته آن‌ها را می‌بلعیم، به

سرعت وارد جریان خون می‌شوند. برخی از این ترکیبات با جریان خون به طور گسترده در بدن پخش شده و به سرعت به ترکیباتی با خطر کمتر شکسته می‌شوند. در حالی که برخی دیگر در بدن، به ترکیبات سمی‌تر تبدیل می‌شوند. گروهی از این ترکیبات به وسیله خون به کندی در بخش‌های دیگر بدن توزیع می‌شوند و به آسانی شکسته نمی‌شوند. جذب ترکیبات TPH زمانی که در تماس پوستی با آن‌ها قرار می‌گیریم، نسبت به زمانی که آن‌ها را استنشاق کرده و یا می‌بلعیم، در مقادیر کمتر و با سرعت پایین‌تر صورت می‌گیرد. بسیاری از ترکیبات TPH از راه ادرار یا بازدم هوا از بدن خارج می‌شوند.

قرار گرفتن در معرض TPH، بر سلامت انسان و موجودات تأثیر منفی دارد. سمیت TPH را دوز، ترکیب شیمیایی TPH و مدت‌زمان در معرض قرار گرفتن، تعیین می‌کند. برخی از ترکیبات TPH مانند بنزن، تولوئن و زایلن بر سیستم اعصاب تأثیر می‌گذارند و چنانچه در معرض قرارگیری زیاد باشد منجر به مرگ می‌شود. تنفس تولوئن با غلظت بیش از ۱۰۰ ppm برای چند ساعت باعث خستگی، سردرد، تهوع و خواب‌آلودگی می‌شود. زمانی که در معرض قرارگیری تمام می‌شود، نشانه‌های آن آشکار می‌گردد و چنانچه مدت‌زمان در معرض قرارگیری زیاد باشد آسیب دائمی به سیستم اعصاب مرکزی وارد می‌شود [۱۱].



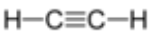
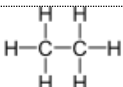


ان‌هگزان به روش‌های مختلف بر سیستم اعصاب اثر می‌گذارد و باعث اختلال در اعصاب محیطی می‌شود که با ایجاد بی‌حسی در پاها مشخص می‌گردد. این اختلال در کارگرانی که در معرض ۲۵۰۰-۵۰۰ ppm ان‌هگزان در هوا قرار می‌گیرند، تشخیص داده شده است.

بلع برخی فرآورده‌های نفتی مانند گازوئیل و نفت سفید به سوزش گلو و معده، تخریب سیستم اعصاب مرکزی و سختی تنفس منجر می‌شود. ترکیبات TPH، همچنین خون، سیستم ایمنی، کلیه، طحال و رشد جنین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از ترکیبات TPH باعث التهاب پوست و چشم نیز می‌شوند. سازمان بین‌المللی تحقیقات بر روی سرطان (IARC) بنزن را برای انسان سرطان‌زا تشخیص داده است. بر اساس مطالعات انجام شده بر انسان و حیوانات برخی ترکیبات TPH مانند بنزوآپایرن و گازوئیل نیز سرطان‌زا شناخته شده‌اند و بر سیستم اعصاب، ریه، کبد و کلیه حیوانات نیز اثر نامطلوب دارند [۱۱].

۶-۱-۲- هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs)

هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs) دارای ساختار خطی، شاخه‌دار یا حلقه‌های غیرآروماتیک هستند. ترکیبات آلیفاتیک می‌توانند اشباع یا غیراشباع باشند. در آلکان‌ها، اتم‌های کربن دارای پیوندهای ساده بوده، آلکن‌ها دارای پیوند دوگانه بین دو کربن هستند و آلکین‌ها نیز پیوندی سه‌گانه بین دو کربن دارند [۱]. جدول ۶-۱ برخی از ترکیبات آلیفاتیک مهم را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۱- برخی از ترکیبات آلیفاتیک

نام	فرمول شیمیایی	فرمول ساختاری	دسته‌بندی شیمیایی
متان	CH ₄		آلکان
اتیلن	C ₂ H ₄		آلکین
استیلن	C ₂ H ₂		آلکن
اتان	C ₂ H ₆		آلکان
اوندکان	C ₁₁ H ₂₄		آلکان
سیکلوهگزن	C ₆ H ₁₀		سیکلوهگزن

حالت طبیعی ترکیبات سبک مانند متان، اتان، پروپان و بوتان گازی است و ترکیباتی که تعداد اتم‌های کربن در ترکیب آن‌ها بین ۵ تا ۱۵ است، مایع و انواع سنگین‌تر نیز جامد هستند. نقطه‌جوش آن‌ها همراه با وزن مولکولی افزایش می‌یابد. انحلال‌پذیری AHها در آب از متان تا بوتان افزایش و از پنتان تا اکتان کاهش می‌یابد [۱۲].

منابع هیدروکربن‌های آلیفاتیک عمدتاً طبیعی است و موم‌های گیاهی خشکی،

پلانکتون‌های گیاهی دریایی، باکتری‌ها و مواد حاصل از نفت مهم‌ترین منابع آن محسوب می‌شوند [۳، ۱۳]. علاوه بر این، فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، زغال‌سنگ و چوب نیز می‌توانند منابع AHها باشند [۱۴]. آلکان‌های با عدد کربن فرد و وزن مولکولی بالا که بیشینه آن‌ها مربوط به C₂₉ است، نشانگر موم گیاهی هستند، در حالی که آلکان‌های با وزن مولکولی پایین با بیشینه C₁₇، منشأ سیانوباکتری و جلبک دارند. علاوه بر این، آلکان‌های با عدد کربن فرد، زنجیره متوسط و بیشینه C₂₅ در گیاهان شناور و یا غرقابی فراوان هستند [۱۳، ۱۵]. آلکان‌های نفت‌زاد در شرایط دما بالا تولید می‌شوند و از کربن‌های فرد تهی هستند [۱۶]. علاوه بر این، آلکان‌های بلند زنجیره با تعداد کربن زوج می‌توانند نشان دهنده نفت سنگین یا فروکاهیده باشند. به طور کلی، آلکان‌های خشکی‌زاد بیش از آلکان‌های آب‌زاد در رسوبات یافت می‌شوند، دلیل این رخداد، فروکاهی زیستی بسیار سریع‌تر آلکان‌های زیستی دریایی است [۱۷].

صرف‌نظر از منبع، AHها پس از ورود به محیط تغییرات گسترده فیزیکی، شیمیایی و میکروبی از جمله تبخیر، اکسایش، کاهش و تجزیه میکروبی را تجربه می‌کنند [۱۴]. برای مثال، پس از ورود به محیط دریا به دلیل خاصیت آب‌گریزی شدید در رسوبات انباشته می‌شوند. پس از آن باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و سایر ریزاندامگان‌های کف‌زی آن‌ها را تجزیه می‌کنند. با این حال، بخش بزرگی از هیدروکربن‌ها به صورت تجزیه نشده در رسوبات دریا باقی می‌مانند که می‌توانند به عنوان منبع ثانویه آلودگی عمل کنند [۱۸].

سمیت حاد ناشی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک عوارضی از جمله سردرد، تاری دید، سرگیجه، تهوع، استفراغ، گیجی، هذیان و در موارد شدید کما و مرگ در پی دارد. در حالی که عوارض تنفس طولانی‌مدت این ترکیبات (سمیت مزمن) شامل تهوع، استفراغ، اسهال، بی‌خوابی، بی‌قراری، اضطراب، افت فشارخون، ضعف عضلات، تشنج، از دست دادن حافظه کوتاه‌مدت و تمایل به خودکشی است [۱۲]. برخی تحقیقات نشان می‌دهد که سمیت هیدروکربن‌های غیراشباع و راست زنجیری بیش از هیدروکربن‌های اشباع و شاخه‌دار است [۱۲].

۶-۱-۳- هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) گروهی از ترکیبات آلی پایدار هستند که به دلیل پایداری، سمیت، ویژگی‌های سرطان‌زایی و جهش‌زایی اهمیت دارند [۱۹]. از دیدگاه شیمیایی این ترکیبات از دو یا تعداد بیشتری حلقه بنزن تشکیل می‌شوند که به صورت خطی، خوشه‌ای و زاویه‌ای آرایش یافته‌اند (شکل ۶-۱) [۲۰].

ویژگی‌های عمومی PAHها عبارت است از: نقطه ذوب و جوش بالا، فشار بخار پایین و انحلال‌پذیری پایین در آب. دو ویژگی آخر با افزایش وزن مولکولی کاهش می‌یابد، در مقابل، پایداری آن‌ها در مقابل اکسایش و کاهش افزایش می‌یابد. در ازای اضافه شدن هر حلقه، انحلال‌پذیری ترکیبات PAH در آب کاهش می‌یابد [۲۱].

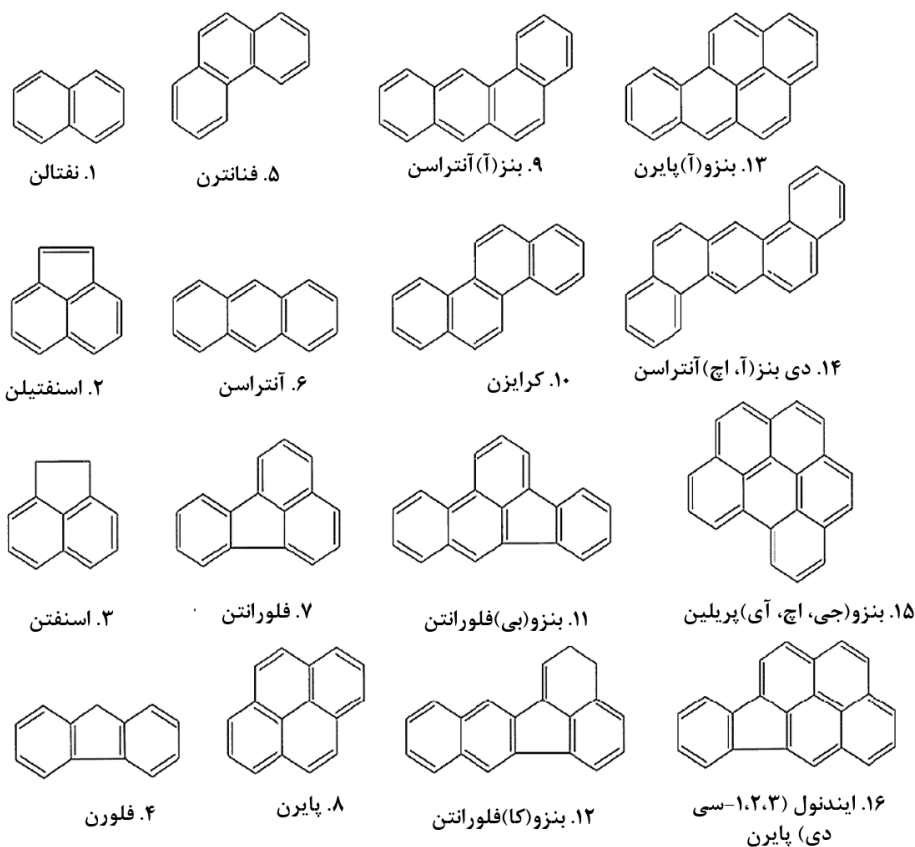
اگرچه بیش از صد ترکیب مختلف از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای شناخته شده است؛ ولی تنها برخی از این ترکیبات به دلیل اثرات جهش‌زایی و سرطان‌زایی دارای اهمیت زیست‌محیطی هستند. سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالت متحده، ۱۶ ترکیب دارای الویت را معرفی کرده است (شکل ۶-۱). از میان این ۱۶ ترکیب، بنزو (ghi) پرلین کمترین انحلال‌پذیری و نفتالن بیشترین انحلال‌پذیری را دارند. از نظر فشار بخار نیز، نفتالن فرارترین ترکیب است، در حالی که فراریت در دی‌بنزو (h و a) آنتراسن، به حداقل می‌رسد.

PAHها بر اساس وزن مولکولی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند [۲۲]:

الف) هیدروکربن‌های آروماتیک حلقه‌ای با وزن مولکولی پایین (LMW-PAHs) که دو یا سه حلقه دارند و وزن مولکولی آن‌ها کمتر از ۲۰۲ گرم بر مول است.

ب) هیدروکربن‌های آروماتیک حلقه‌ای با وزن مولکولی بالا (HMW-PAHs) که بیش از چهار حلقه بنزن دارند و وزن مولکولی آن‌ها بیش از ۲۰۲ گرم بر مول است.

به طور کلی، ایزومرهای با وزن مولکولی بالاتر بیشتر با فعالیت‌های انسان‌زاد همراه هستند، سمیت بیش‌تری دارند و مدت‌ها در محیط‌زیست باقی می‌مانند [۱۵].



شکل ۶-۱- ساختار ۱۶ ترکیب الویت‌دار PAH [۳]

با توجه به منشأ PAHها به سه گروه احتراق‌زاد^۱، نفت‌زاد^۲ و زیست‌زاد^۳ تقسیم می‌شوند [۱۹، ۲۳]. PAHهای احتراق‌زاد در نتیجه سوخت ناقص مواد آلی در مدت‌زمان کوتاه و در دمای بالا به وجود می‌آیند، در حالی که PAHهای نفت‌زاد به طور طبیعی از فرآیند دیاژنز در دمای نسبتاً کم و طی میلیون‌ها سال به وجود می‌آیند که منجر به تشکیل نفت و دیگر سوخت‌های فسیلی حاوی PAH می‌شود. PAHهای زیست‌زاد توسط باکتری‌ها یا گیاهان

^۱ Pyrogenic

^۲ Petrogenic

^۳ Biogenic

خاصی حین فروکاهی مواد گیاهی سنتز می‌شوند [۲۳، ۲۴]. PAHها در نتیجه فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسان ایجاد می‌شود. آتش‌سوزی جنگل‌ها، فوران آتش‌فشان‌ها و تراوش‌های طبیعی نفت مهم‌ترین منابع PAHهای با منشأ طبیعی هستند در حالی مهم‌ترین منابع PAHهای با منشأ انسان‌زاد عبارتند از: زباله‌سوزها، دودکش کارخانه‌ها، خودروها، سیگارها و کباب‌پزها [۲۵].

ترکیبات مختلف PAH در همه محیط‌ها حضور دارند و در رسوب، خاک و آب به صورت حل شده یا جذب سطحی شده یافت می‌شوند. حرکت ترکیبات PAH در محیط‌زیست به ویژگی‌هایی مانند انحلال‌پذیری و فشار بخار هر ترکیب بستگی دارد. PAHها معمولاً در محیط آب به ذرات معلق و رسوبات [۲۲]، در محیط خاک به ذرات خاک و در هوا به ذرات گردوغبار متصل می‌شوند.

PAHها در جو به دو صورت بخار یا چسبیده به سطح ذرات جامد کوچک یافت می‌شوند و می‌توانند از راه انتقال جوی دوربرد انتشار یابند. با این حال، مقدار آن‌ها در مناطق شهری، با توجه به تمرکز منابع تولید PAH، بیش از مناطق روستایی است [۱۹، ۲۶]. به طور کلی در فصل تابستان و در مناطق حاره غلظت PAHها در فاز بخار بیشتر است در حالی که در فصل سرد و مناطق قطبی غلظت PAHهایی که به فاز جامد متصل شده‌اند بیشتر است. علاوه بر دما، رطوبت محیط و نوع ذرات معلق دوده، غبار و اکسیدهای فلزی نیز در جذب سطحی PAHها مؤثر است [۲۷]. PAHهای رها شده در جو از راه نهشت تر یا خشک وارد خاک، آب و پوشش گیاهی می‌شوند. زمانی که PAHها بر روی سطح زمین قرار می‌گیرند، متحرک می‌شوند. از آنجا که بخش عمده PAHها در خاک به ذرات خاک متصل می‌شوند، مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تحرک PAHها در محیط خاک، تخلخل و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها است. زیرا اگر ذرات جذب‌کننده PAHها قابلیت تحرک نداشته باشند، تحرک PAHها نیز محدود می‌شود [۲۸]. نوع PAH و خواص فیزیکوشیمیایی خاک، مقدار جذب این آلاینده توسط خاک را تعیین می‌کند [۱۹].

نهشت PAHها در رسوبات، شبیه به نهشت آن‌ها بر سطح خاک است. در رسوبات،

PAHها به ذرات رسوب متصل می‌شوند. ساختار غیرقطبی و آب‌گریز PAHهای سنگین ($\log K_{ow} > 4$) مانع از حل شدن آنها در آب می‌شود [۲۹] بنابراین، در شرایط طبیعی می‌توان PAHهای به دام افتاده در رسوب را غیرمتحرک دانست [۱۹، ۲۲]. با این حال، بسیاری از PAHهای سبک می‌توانند از راه انحلال بخشی وارد آب منفذی رسوبات شده و متحرک شوند [۱۹].

PAHها در سطح آب ممکن است تبخیر، اکسید و زیست/ نور فروکاهیده شوند [۳۰]. PAHهای سنگین بیشتر در رسوبات تجمع می‌یابند و می‌توانند برای مدت‌زمانی طولانی در رسوبات باقی بمانند [۳۱]. با این حال، بخش حل شده این ترکیبات می‌توانند از طریق انتشار نفعال^۱ و تنفس وارد بدن موجودات آبی شده و در آن انباشته شوند. برای اندامگان‌های کوچک در سطوح پایین زنجیره غذایی، هیدروکربن‌های حل شده بسیار زیست‌دسترس‌پذیرتر و در نتیجه سمی‌تر از هیدروکربن‌های متصل به ذرات معلق است. PAHهای متصل به ذرات معلق از راه بلع وارد بدن آبزبان می‌شوند [۳۰].

PAHها در محیط زیست پایدار هستند و بنابراین می‌توانند در بدن جانداران انباشته شوند. آبزبان و پرندگان به شدت در معرض سمیت متوسط تا شدید PAHها قرار دارند. ناپهنجاری‌ها در این اندامگان‌ها عبارتند از: رشد بدخیم غده‌ها، کاهش باروری و رشد و نقص سیستم ایمنی. پستانداران از راه تنفس، بلع و تماس پوستی در معرض جذب PAHها قرار می‌گیرند [۲۲]. زیست انباشت PAHها در بدن اندامگان‌های دریایی و خشکی‌زی مشخص شده است [۳۱]. با این حال، به نظر می‌رسد که سوخت‌وساز PAHها در بدن این جانوران مانع از زیست بزرگ‌شدگی این ترکیبات می‌شود [۳۲، ۳۳].

برخی PAHها سرطان‌زاهای بسیار ضعیفی هستند، در حالی که برخی از دیگر به محض ورود به بدن موجودات زنده، به ترکیبات و مولکول‌های به شدت فعال و سرطان‌زا تبدیل می‌شوند [۲۲]. از آنجا که PAHها به شدت آب‌گریز هستند، به آسانی توسط دستگاه گوارش پستانداران جذب می‌شوند و به سرعت در بافت‌های مختلف توزیع شده و در چربی بدن ذخیره می‌شوند.

^۱ Passive diffusion

برخی از ترکیبات PAH مانند بنز (a) آنتراسن، کرایزن، دی‌بنز (a و h) آنتراسن و بنزو (a) پیرن بسیار سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا هستند. آسنفتن نیز جامدی سفیدرنگ است که می‌تواند برای غشای پوست و بافت مخاطی مضر باشد و پتانسیل سرطان‌زایی آن بسیار قوی و نگران‌کننده است [۳۴].

۶-۲- آلودگی‌های نفتی در استان بوشهر

از آنجا که خلیج فارس یکی از مهم‌ترین مخازن نفت و گاز جهان (حدود ۶۰ درصد از ذخایر کل) و از پرترددترین آبراهه‌های جهان برای نفتکش‌ها و کشتی‌های تجاری است [۷، ۳۵، ۳۶]، طی سالیان دراز دستخوش وقایع ناگواری از جمله جنگ و آلودگی‌های شدید نفتی شده است [۳۷-۳۹]. بیش از ۳۵۷ چاه فراساحل^۱ در خلیج فارس وجود دارد که بیشتر آن‌ها در بخش مرکزی و غربی خلیج واقع شده‌اند [۴۰]. نشت طبیعی نفت به دریا، نفت‌ریزی‌های تصادفی و فعالیت‌های استخراج و انتقال نفت در منطقه بسیار رایج است. بنابراین، به دلیل تراکم بالای تأسیسات نفتی، تردد بسیار زیاد نفتکش‌ها و ماهیت نیمه بسته خلیج، احتمال آلودگی محیطی با نفت در این منطقه بسیار زیاد است [۷، ۴۱]. به همین دلیل آلودگی رسوبات ساحلی، آب دریا و توپ‌تارها در خلیج فارس می‌تواند اثرات زیست‌محیطی طولانی‌مدتی برای زیست‌بوم این خلیج ایجاد کنند [۴۲، ۴۳].

استان بوشهر با داشتن بیش از ۷۰۷ کیلومتر مرز ساحلی با خلیج فارس [۷]، ۶۵/۲ درصد از ذخایر گاز و ۸ درصد از ذخایر نفتی کشور، یکی از مهم‌ترین مناطق دریایی کشور است و به شدت تحت تأثیر آلودگی‌های نفتی قرار گرفته است [۳۹]. به گونه‌ای که در برخی از سواحل بکر استان، آثار آلودگی‌های نفتی به صورت لکه‌های بزرگ نفتی مشاهده می‌شود [۳۸]. در سال ۲۰۱۴، آلودگی بسیاری از سواحل استان بوشهر به توپ‌تار گزارش شده است. تجزیه نورشیمیایی و یا زیستی توپ‌تارهای حاضر در سواحل استان می‌تواند آلودگی را به آب‌ها و رسوبات ساحلی (که مردم در آن‌ها شنا و ماسه بازی می‌کنند) منتقل کند [۷].

^۱ Offshore

۶-۲-۱- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در استان بوشهر

اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در ۱۴ ایستگاه از سواحل استان بوشهر توسط تاجیک و همکاران در سال ۱۳۹۲ نشان داد که توزیع آلودگی‌های نفتی در سواحل استان متفاوت است؛ به طوری که در ایستگاه‌های نایبند و عباسک مقدار آلودگی زیر حد تشخیص دستگاه بود اما در ایستگاه‌های گناوه، احشام احمدی و هلیله غلظت TPH به ترتیب ۳۵۳، ۱۴۲ و ۱۲۸ میکروگرم بر کیلوگرم بود. گستره تغییرات TPH رسوبات ساحلی جزیره خارک از ۸۰ تا ۶۱۸ میکروگرم بر گرم (میانگین ۲۴۷/۳۷ میکروگرم بر گرم) و در آب دریا از زیر حد آشکارسازی دستگاه تا ۳۳۱ میکروگرم گزارش شده است [۴۱]. از آنجا که رسوباتی با غلظت TPH کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم، نآلوده و رسوبات با غلظت TPH بیش از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به شدت آلوده محسوب می‌شوند [۳]، آلودگی رسوبات ساحلی استان بوشهر از لحاظ TPH در رده متوسط تا بسیار زیاد قرار دارند. بر اساس نتایج به دست آمده، جنس رسوبات (درصد رس و نوع آن)، غلظت اولیه آلاینده، دما و فرسایش امواج نقش مؤثری در پایداری آلودگی‌های نفتی در هر منطقه ایفا می‌کند.

در خاک منطقه عسلویه غلظت TPHها در اعماق متفاوت (از سطح تا ۱/۲ متر)، از زیر حد آشکارسازی دستگاه تا ۱۰،۲۶۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. همان طور که قابل پیش‌بینی است، بیشینه غلظت TPHها مربوط به نمونه‌های سطحی و در نقاط نزدیک به صنایع و محل‌های ذخیره پسماندهای جامد و مایع ثبت شده است [۴۴]. این مکان‌ها بیشترین پتانسیل را برای آلوده کردن آب زیرزمینی دارند.

۶-۲-۲- هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs) در استان بوشهر

به دلیل خاصیت آب‌گریزی هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs)، آن‌ها به شدت تمایل دارند که به ذرات جامد (از جمله رسوب) جذب شوند [۴۳]. بنابراین غلظت آن‌ها در فاز جامد (رسوب) بسیار بالاتر از ستون آب است [۴۱، ۴۲]. غلظت AHها در سواحل بهرگان، گناوه، خارک، بوشهر، باشی، کنگان، عسلویه، منطقه حفاظت شده مند و پارک ملی نایبند در جدول ۲-۶ ارائه شده

است. در مطالعه انجام شده توسط دشت‌بزرگ و همکاران (۲۰۱۹) اختلاف معناداری میان غلظت هیدروکربن‌های آلیفاتیک در ایستگاه‌های مختلف مشاهده شده است که می‌تواند ناشی از نزدیکی محل نمونه‌برداری به منبع آلاینده، ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی رسوب، فرآیندهای تجزیه‌ای میکروبی و محتوای مواد آلی رسوبات باشد [۴۵]. علاوه بر این، غلظت AHها در رسوبات دریایی (فاصله نقاط نمونه‌برداری از ساحل بیش از یک کیلومتر) جزیره خارک، در زمستان بالاتر از تابستان ($p < 0.05$) گزارش شده است [۴۶]. بالاتر بودن غلظت AHهای سنگین و همچنین نزدیک به یک بودن میانگین شاخص ترجیحی کربن^۱ (CPI) در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده نشان دهنده منشأ نفت در رسوبات ساحلی استان بوشهر است. محاسبه سایر شاخص‌ها و اندیس‌ها^۲ نیز غلبه منشأ نفت در مناطق مختلف استان را تأیید می‌کند [۷، ۴۱، ۴۶، ۴۷]. تردد و توقف کشتی‌های تجاری و نفتکش، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، تخلیه آب توازن نفتکش، عبور لوله‌های انتقال نفت‌وگاز در بستر دریا و نفت‌ریزی‌های تصادفی نیز دیگر منابع آلودگی در منطقه هستند [۷، ۴۶].

جعفرآبادی و همکاران (۲۰۱۹)، غلظت مجموع ۳۰ ترکیب آلیفاتیک را در پروفیل عمقی بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که از سطح تا عمق ۱۰ سانتی‌متری، غلظت کاهش می‌یابد، در حالی که از عمق ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متری افزایش و پس از آن تا عمق ۴۰ سانتی‌متر کاهش غلظت آلاینده‌ها ثبت شده است. علاوه بر این، بررسی CPI برای تشخیص منشأ هیدروکربن‌های آلیفاتیک نشان داد که از سطح تا عمق ۲۰ سانتی‌متری منشأ AHها نفت‌زاد است در حالی که از ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر منشأ آن‌ها زیست‌زاد می‌باشد [۴۳].

بررسی غلظت هیدروکربن‌های آلیفاتیک در مرجان‌های اطراف جزیره خارک توسط جعفرآبادی و همکاران (۲۰۱۸)، انجام شد. در این مطالعه از بافت نرم، اسکلت و زوکسانتل ۶ گونه مختلف مرجان نمونه‌برداری انجام شد (جدول ۶-۲). بر اساس نتایج به دست آمده، شماره کربن غالب در بافت نرم ($n-C_{16}$) در اسکلت ($n-C_{12}$) و زوکسانتل ($n-C_{14}$) بود. محاسبه

^۱ Carbon preference index

^۲ برای مطالعه روش محاسبه شاخص‌ها و اندیس‌های منشأ یابی لطفاً به مقالات ذکر شده رجوع شود.

شاخص‌ها و اندیس‌های مختلف برای بررسی منشأ AHها، نشان دهنده آلودگی مزمن مرجان‌ها با مواد نفتی بود [۴۲]. از میان گونه‌های بررسی‌شده، بیشترین تجمع AHها در *Porites genus* و *Acropora* اندازه‌گیری شده است. به طور کلی، گونه‌های شاخه‌ای مرجان مانند *Acropora* بیشتر در معرض آسیب ناشی از آلودگی‌های نفتی هستند. دلیل این آسیب‌پذیری می‌تواند عدم وجود موکوس‌های محافظت‌کننده در این گونه‌ها باشد [۴۸]. بنابراین، تجمع آلاینده‌های آلی در اندامگان‌های دریایی نه تنها تابعی از محل زندگی آن‌ها بلکه وابسته به ویژگی‌های گونه و محتوای چربی آن‌ها نیز می‌باشد.

جدول ۶-۲- غلظت هیدروکربن‌های آلیفاتیک (AHs) در آب دریا، رسوبات ساحلی و آبزیان استان بوشهر

مرجع	ΣAHs		واحد	نوع نمونه	منطقه مورد مطالعه
	میانگین	گستره			
[۵۰, ۴۹]	۱۹/۵۸	۰/۷۳ - ۶۶/۲۱	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	
[۴۱]	۲۵/۳۱	۱۹/۷۵ - ۴۹/۲۵	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	
[۴۶]	۲۷۵/۶۷	۸۱/۳۵ - ۵۷۳/۷۹	میکروگرم بر گرم	رسوب دریایی* (تابستان)	
	۴۱۰/۳۷	۱۷۱ - ۷۵۴	میکروگرم بر گرم	رسوب دریایی (زمستان)	
[۴۳]	۴۱۲۰	-	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	
[۵۱]	۹۳۷	۹۰۳ - ۹۷۷	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	خارک
	۲۳/۹۲	۷/۱۰ - ۴۳/۰	میکروگرم بر لیتر	آب دریا	
	۱۱۳	۵۰/۰ - ۱۴۶/۰	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	
	۵۹۶	۵۴۴ - ۶۲۴	بافت نرم		
	۳۹۶	۳۱۷ - ۴۲۱	میکروگرم		
[۴۲]	۶۵۸	۶۰۰ - ۷۲۰	بر گرم	اسکلت <i>Porites lutea</i>	
	۴۹۰	۳۴۵ - ۵۵۴	میکروگرم	بافت نرم	<i>Acropora robusta</i>
	۲۵۵	۲۴۶ - ۳۳۵	بر گرم	اسکلت	

مرجع	ΣAHs		واحد	نوع نمونه	منطقه مورد مطالعه
	میانگین	گستره			
	۶۱۵	۵۶۷ - ۶۴۸		زوکسانتل	
	۴۰۲	۳۴۱ - ۴۱۶		بافت نرم	
	۲۰۹	۱۹۹ - ۳۲۶	میکروگرم بر گرم	اسکلت	<i>Acropora valida</i>
	۴۵۸	۴۱۲ - ۵۱۴		زوکسانتل	
	۳۳۲	۲۸۷ - ۳۹۹		بافت نرم	
	۱۵۲	۱۳۴ - ۲۰۵	میکروگرم بر گرم	اسکلت	<i>Favia favius</i>
	۳۸۶	۳۸۲ - ۴۳۹		زوکسانتل	
	۲۴۶	۱۸۷ - ۳۰۵		بافت نرم	
	۱۱۱	۹۶ - ۱۵۷	میکروگرم بر گرم	اسکلت	<i>Favia speciosa</i>
	۲۹۸	۲۴۶ - ۳۳۲		زوکسانتل	
	۱۷۶	۱۱۲ - ۱۹۸		بافت نرم	
	۸۵	۷۵ - ۱۴۱	میکروگرم بر گرم	اسکلت	<i>Platygyra daedalea</i>
	۲۳۱	۱۸۰ - ۲۵۹		زوکسانتل	
[۷]	۴۱،۵۳۳	۱۰،۱۴۶ - ۸۶،۴۸۲	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	بهرگان
	۸۲۴۷	۹۲۸ - ۱۳،۱۵۲	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	بوشهر
[۵۲]	۱۵/۳۶	۳/۱۰ - ۳۵/۶	رسوب ساحلی	رسوب ساحلی	گناوه
	۱۰۸،۶۲۹	۳۳،۹۴۶ - ۲۲۰،۶۲۶	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	گناوه
[۷]	۴،۶۴۹	۳۳۱ - ۵،۶۲۲	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	باشی
	۵،۸۶۷	۲،۳۸۳ - ۱۲،۳۷۰	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	کنگان
	۲،۴۲۶	۴۰۴ - ۶،۱۴۱	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	عسلویه
[۴۷]	-	۶۹۳ - ۳،۷۵۲	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	عسلویه
[۷]	۱،۰۴۳	۴۵۹ - ۱،۴۴۴	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	مُند
	۴،۹۶۰	۳،۳۴۶ - ۶،۹۵۲	میکروگرم بر گرم	رسوب ساحلی	نایبند

* فاصله نقاط نمونه‌برداری از ساحل بیش از ۱ کیلومتر

۶-۲-۳- هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) در استان بوشهر

۶-۲-۳-۱- منطقهٔ عسلویه و نایبند

با توجه به استقرار صنایع مختلف مرتبط با نفت در منطقهٔ عسلویه، بدون شک این منطقه از مهم‌ترین مناطق استان بوشهر از لحاظ پتانسیل آلودگی نفتی است. وجود منابع مختلف نفت و گاز در منطقه، فعالیت‌های صنعتی مرتبط با استخراج و استحصال نفت و گاز (پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها)، تردد نفتکش‌ها و تخلیهٔ پساب‌های شهری و صنعتی به دریا مهم‌ترین منابع آلودگی منطقهٔ عسلویه محسوب می‌شوند.

بررسی غلظت PAHها در عسلویه و نایبند در پنج مطالعه بررسی شده است [۷، ۳۹، ۴۷، ۵۳]. گسترهٔ تغییرات و میانگین مجموع PAHها در جدول ۶-۳ ارائه شده است. با توجه به دسته‌بندی انجام شده توسط بومر و همکاران، آلودگی همهٔ نقاط بررسی شده از کم (۰ تا ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) تا متوسط (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانوگرم بر گرم) است [۵۴]. علاوه بر این، نفتالن فراوان‌ترین ترکیب شناسایی شده در رسوبات سطحی منطقهٔ عسلویه بود که نشان دهندهٔ آلودگی اخیر یا دائمی نفت در منطقه است. به طور کلی، PAHهای ۲ و ۳ حلقه‌ای حدود ۶۱ درصد از کل PAHها را در رسوبات ساحلی و سطحی منطقهٔ عسلویه تشکیل می‌دهند و غلظت ترکیبات سرطان‌زا نیز در محدوده خطرناک قرار ندارند [۵۳]. در پارک ملی نایبند نیز فراوانی PAHهای سبک بیش از ترکیبات سنگین گزارش شده است. فراوانی بیشتر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای سبک و محاسبهٔ اندیس‌های تشخیص منشأ ترکیبات PAH در پژوهش‌های مختلف نشان داد که آلودگی منطقه بیشتر تحت تأثیر منشأ نفت‌زاد است. با این حال نمی‌توان سایر منابع آلودگی (تردد کشتی‌ها، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های شهری و نهشته‌های جوی) را نادیده گرفت. اگرچه PAHهای سبک‌تر سمیت کمتری نسبت به PAHهای ۵ و ۶ حلقه‌ای دارند اما با توجه به رفتار فیزیکوشیمیایی که دارند می‌توانند زیست دسترس‌پذیری بالاتری داشته باشند [۵۵]. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، آلودگی PAHها در رسوبات خلیج نایبند بیشترین خطر را برای زیست‌بوم منطقه دارند. بالا بودن غلظت ترکیبات PAH در خلیج نایبند (به رغم فاصله از منابع شناخته شدهٔ آلودگی‌های نفتی

در منطقه) احتمالاً به دلیل شکل جغرافیایی خلیج نایبند است که یک خلیج نیمه بسته می‌باشد و جریان‌های جزر و مدی در آن ضعیف‌تر و جابه‌جایی رسوبات نیز کمتر است. بررسی ترکیبات PAH در زئوپلانکتون‌های منطقهٔ عسلویه در استان بوشهر نشان داد که تنها ۶ ترکیب از ۱۶ ترکیب اصلی در این زیستوران دریایی وجود دارد. نتایج نشان داد که فراوان‌ترین ترکیب اندازه‌گیری شده پیرن بود و میانگین غلظت ۱۶/۴۹ نانوگرم بر گرم در تابستان و ۲۰/۰۰ نانوگرم بر گرم در زمستان گزارش شده است [۵۶]. به طور کلی، PAHهای ۳ و ۴ حلقه‌ای در هر دو فصل بیشترین فراوانی را در منطقه داشتند. با این حال، غلظت PAHها در فصل زمستان به طور معناداری بالاتر بود که می‌تواند ناشی از تجزیهٔ نورشیمیایی و گرمایی ترکیبات PAH در فصل تابستان باشد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که آلودگی PAHها در زئوپلانکتون‌ها بیشتر تحت تأثیر منابع نفت‌زاد است.

جدول ۶-۳- غلظت مجموع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوب ساحلی و آبزیان مناطق عسلویه و نایبند

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	مجموع PAHها گستره	میانگین	مرجع
عسلویه و نایبند	رسوبات سطحی	نانوگرم بر گرم	۸۱۲ - ۱/۹۸	۱۷۴/۳۱	[۵۳]
	رسوبات سطحی	نانوگرم بر گرم	۳۷۰/۱۸۸ - ۲۰۰/۰۵	۲۹۲/۷۲	[۵۷]
	رسوبات ساحلی	نانوگرم بر گرم	۲۳۷/۵ - ۳۴/۲	۱۰۶/۲۳	[۷]
	رسوبات ساحلی	نانوگرم بر گرم	۸۱/۲ - ۱/۸		[۵۸]
	توتیا	نانوگرم بر گرم	۱۶/۷ - ۳۵/۰		
عسلویه	رسوبات ساحلی	نانوگرم بر گرم	۸۵ - ۴۶	-	[۴۷]
	رسوبات ساحلی مناطق صنعتی	نانوگرم بر گرم	۱۷.۴۴۸ - ۱۲.۵۷۲	۱۴.۹۵۳	[۵۹]
	رسوبات ساحلی مناطق شهری	نانوگرم بر گرم	۱.۳۰۰ - ۱.۰۵۴	۱.۱۸۲	
نایبند	رسوبات ساحلی	نانوگرم بر گرم	۲.۴۰۹/۹ - ۳۷/۴	۹۴۱/۴۳	[۷]

مرجع	مجموع PAHها		واحد	نوع نمونه	منطقه مورد مطالعه
	میانگین	گستره			
[۶۰]	۱۸	-	نانوگرم بر گرم	رسوبات ساحلی	
[۳۹]	-	۴/۱۶	نانوگرم بر لیتر	آب دریا (تابستان)	
	-	۵/۹۱	نانوگرم بر لیتر	آب دریا (زمستان)	
[۳۹]	-	۴۱/۷۲	میکروگرم بر گرم	رسوبات ساحلی	
	-	۱۴۶/۹۲	میکروگرم بر گرم	صدفهای خوراکی	

۶-۲-۳-۲- منطقه خارک

دومین منطقه مهم استان بوشهر به لحاظ فعالیت‌های مرتبط با نفت و در نتیجه آلودگی‌های نفتی، جزیره خارک (اصلی‌ترین پایانه نفتی ایران) است. جزیره خارک دارای سه میدان نفتی درود، ابوذر و فروزان است که بالغ بر ۳۵۰ هزار بشکه در روز نفت تولید می‌کند. علاوه بر این، نفت تولیدی از مناطق نفت‌خیز جنوب ایران نیز به وسیله خطوط لوله از اهواز، امیدیه و گوره به گناوه منتقل شده و سپس توسط خطوط لوله حاضر در بستر دریا وارد جزیره خارک می‌شود. این لوله‌های منتقل کننده نفت خام تا مخازن ذخیره‌سازی ادامه دارد و پس از ورود به ایستگاه کاهش فشار به تفکیک نوع نفت (سبک و سنگین) وارد مخازن می‌شوند. در پایان، نفت خام توسط لوله‌های انتقال دهنده به اسکله‌های بارگیری نفت و نفتکش‌ها می‌رسد.

بررسی غلظت PAHها در جزیره خارک در سه مطالعه بررسی شده است [۴۱، ۴۲، ۴۶]. بر اساس نتایج به دست آمده بالاترین غلظت مجموع PAHها در محل‌های تخلیه پساب‌های نفتی به دریا و نزدیک به پمپ بنزین گزارش شده است. بنابراین، مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر غلظت PAHها میزان نزدیکی به منبع آلودگی شناخته شده است [۴۶]. علاوه بر این، با توجه به دسته‌بندی انجام شده توسط بومر و همکاران برای رسوبات، آلودگی همه نقاط بررسی شده از کم (۰ تا ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) تا متوسط (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانوگرم بر گرم) است [۵۴]. گروه‌بندی آلودگی مجموع PAHها (نانوگرم بر لیتر) در فاز حل شده عبارت است از: $\sum PAHs < 50$ ، آلودگی بسیار کم؛ $50 < \sum PAHs < 250$ ، آلودگی کم؛ $250 < \sum PAHs < 1000$ ، آلودگی کم؛ $1000 < \sum PAHs$

< ۲۵۰، آلودگی متوسط؛ و $\Sigma\text{PAHs} > ۱۰۰۰$ ، آلودگی شدید [۶۱]. بنابراین، آلودگی آب دریای جزیره خارک از سطح کم تا به شدت آلوده متغیر است [۴۱].

PAHهای ۲ و ۳ حلقه‌ای حدود ۶۴ تا ۷۶ درصد از کل PAHها را در رسوبات دریایی اطراف جزیره خارک را تشکیل می‌دهند [۴۶]. فراوانی بیشتر PAHهای سبک و محاسبه اندیس‌های تشخیص منشأ ترکیبات PAH در پژوهش‌های مختلف نشان داد که آلودگی منطقه بیشتر تحت تأثیر منشأ نفت‌زاد است [۴۱، ۴۲، ۴۶]. به طور کلی، توزیع و تقسیم‌پذیری PAHها در محیط‌های ساحلی توسط عوامل محیطی گوناگون از جمله دما، قلیابیت و شوری آب و همچنین ویژگی‌های رسوب (اندازه ذرات، ترکیب شیمیایی و محتوای مواد آلی) کنترل می‌شود [۶۲، ۶۳]. با توجه به ضریب تقسیم‌پذیری (K_p) و انحلال‌پذیری هر PAH و قلیابیت و شوری بالای آب دریا در خلیج فارس، غلظت پایین PAHها در رسوبات (به رغم وجود منبع شناخته شده)، می‌تواند به خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی رسوب (ظرفیت تبادل کاتیونی، دانه‌بندی، هدایت الکتریکی و pH)، تلاطم بالای امواج ساحلی و دمای نسبتاً بالای آب دریا در منطقه مورد مطالعه مرتبط باشند.

بررسی غلظت PAHها در مرجان‌های اطراف جزیره خارک توسط جعفرآبادی و همکاران (۲۰۱۸)، انجام شد. در این مطالعه از بافت نرم، اسکلت و زوکسانتل ۶ گونه مختلف مرجان نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۶-۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نفتالین و فنانترن فراوان‌ترین ترکیبات اندازه‌گیری شده در مرجان‌های اطراف جزیره بود. فراوانی هیدروکربن‌های سبک و محاسبه شاخص‌ها/ اندیس‌های مختلف برای بررسی منشأ PAHها، نشان دهنده غالب بودن منشأ نفت‌زاد است [۴۲]. از میان گونه‌های بررسی شده، بیشترین تجمع PAHها در *Porites genus* و *Acropora* اندازه‌گیری شده است. به طور کلی، گونه‌های شاخه‌ای مرجان مانند *Acropora* بیشتر در معرض آسیب ناشی از آلودگی‌های نفتی هستند. دلیل این آسیب‌پذیری می‌تواند عدم وجود موکوس‌های محافظت‌کننده در این گونه‌ها باشد [۴۸]. بنابراین، تجمع آلاینده‌های آلی در اندامگان‌های دریایی نه تنها تابعی از محل زندگی آن‌ها بلکه وابسته به ویژگی‌های گونه، سن، وزن و محتوای چربی آن‌ها نیز می‌باشد.

محاسبه ریسک بوم‌شناختی نشان داد که آب دریا در جزیره خارک می‌تواند برای

اندامگان‌های دریایی ریسک بالقوه ایجاد کند [۴۱]. بررسی ارتباط بیان غلظت آلاینده‌ها در آب، رسوب و مرجان‌ها در اطراف جزیره خارک نشان داد که انباشت PAHها در مرجان‌ها بیش از آب و رسوب پیرامون آنهاست. علاوه بر این، نتایج محاسبه ضرایب تغلیظ نشان داد که ترکیبات انباشته شده در مرجان‌ها بیشتر آب دریا گرفته شده تا رسوبات بستر دریا [۴۲]. با توجه به امکان شنا کردن و بازی با شن‌های ساحل در منطقه خارک، نسبت‌های خطر، شاخص خطر و ریسک سرطان‌زایی ترکیبات PAH در آب و رسوب بررسی شد و نتایج نشان داد که احتمال بروز اثرات نامطلوب سلامتی به دلیل بازی و یا در معرض بودن با ماسه‌های ساحلی در کودکان و بزرگسالان ناچیز است. از سوی دیگر، برای شنا کردن در آب‌های ساحلی جزیره ریسک بالایی وجود دارد و بروز اثرات نامطلوب پوستی ناشی از در معرضی با ترکیبات مختلف PAH حین شنا در همه ایستگاه‌ها امکان‌پذیر است [۶۴].

جدول ۶-۴- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوبات ساحلی و آبزیان جزیره خارک

مرجع	ΣPAHs		واحد	نوع نمونه
	میانگین	گستره		
[۵۰, ۴۹]	۱۲۷/۴۹	۹/۷ - ۱۰,۲۲۹/۷	نانوگرم بر گرم	رسوب ساحلی
[۴۱]	۷۱/۸۷	۲/۹۵ - ۲۵۳/۳۰	نانوگرم بر گرم	رسوب ساحلی
	۲۸۰۵/۱۰	۷۹/۴۸ - ۱۶,۶۵۷/۹۰	نانوگرم بر لیتر	آب دریا
[۵۱]	۴۴۴	۴۲۹ - ۴۵۷	نانوگرم بر گرم	رسوب ساحلی
[۴۶]	۲۴۷/۶۹	۶۰/۲۵ - ۴۹۱	نانوگرم بر گرم	رسوب دریایی ^۱ (تابستان)
	۳۳۴/۹۲	۴۹/۹۴ - ۶۹۳	نانوگرم بر گرم	رسوب دریایی (زمستان)
	۳۸/۲۷	۵۱ - ۱۴۵	نانوگرم بر لیتر	آب دریا
[۴۲]	۸/۵۹	۷/۲۴ - ۴۲/۳۹	نانوگرم بر گرم	رسوب سطحی
	۴۳۶	۳۶۲ - ۴۷۱		بافت نرم
	۳۰۸	۲۲۵ - ۳۵۰	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Porites lutea</i>
	۴۷۵	۴۰۲ - ۴۸۶		زوکسانتل

مرجع	ΣPAHs		واحد	نوع نمونه
	میانگین	گستره		
	۳۷۷	۳۴۱ - ۳۸۰		بافت نرم
	۲۵۷	۲۲۴ - ۲۶۰	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Acropora robusta</i>
	۴۱۸	۳۷۸ - ۴۴۸		زوکسانتل
	۳۰۱	۲۸۱ - ۳۲۲		بافت نرم
	۲۱۹	۱۸۳ - ۲۵۹	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Acropora valida</i>
	۳۷۶	۳۱۲ - ۳۹۳		زوکسانتل
	۲۲۱	۱۷۵ - ۲۹۹		بافت نرم
	۱۷۸	۱۳۵ - ۱۹۷	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Favia fавus</i>
	۳۵۹	۳۰۷ - ۳۸۶		زوکسانتل
	۱۴۲	۱۱۷ - ۲۸۰		بافت نرم
	۱۱۲	۱۰۲ - ۱۲۵	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Favia speciosa</i>
	۳۳۶	۲۰۶ - ۳۵۷		زوکسانتل
	۹۷	۱۲۳ - ۱۵۱		بافت نرم
	۷۹	۱۳۰ - ۱۳۹	نانوگرم بر گرم	اسکلت <i>Platygyra daedalea</i>
	۱۴۴	۱۵۱ - ۱۷۷		زوکسانتل

* فاصله نقاط نمونه‌برداری از ساحل بیش از ۱ کیلومتر

۶-۲-۳-۳- مناطق بوشهر، گناوه، دیلم، دیر و باشی

نتایج بررسی غلظت ترکیبات PAH در آب دریا (در دو فصل تابستان و زمستان)، آب‌ها، رسوبات ساحلی و صدف‌های مناطق بوشهر، گناوه و بندر دیر در استان بوشهر در جدول ۶-۵ نشان داده شده است. با توجه به دسته‌بندی انجام شده توسط بومر و همکاران، آلودگی همه نقاط بررسی شده از کم (۰ تا ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) تا شدید (۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ نانوگرم بر گرم) است [۵۴]. به طور کلی غلظت ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان گزارش شده است. دلایل احتمالی این مشاهده را می‌توان استفاده بیشتر از منابع گرمایش و عدم تجزیه نورشیمیایی ترکیبات PAH در فصل زمستان دانست [۶۵]. نتایج نشان داد که غلظت ترکیبات

سنگین در رسوبات بنادر بررسی شده بیش از ترکیبات سبک است. با این حال، بررسی نسبت‌های ایزومری نشان داد که منشأ ترکیبات در همه ایستگاه‌ها بیشتر تحت تأثیر منابع نفت‌زاد است. با این حال، تأثیر منابع احتراق‌زاد (سوزاندن سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زباله و سوزاندن زیست‌توده) در مناطق مورد مطالعه غیرقابل انکار است [۷]. از آنجا که غلظت‌های اندازه‌گیری شده در آب دریای استان بوشهر بسیار پایین‌تر از LC_{50} مربوط به مجموع PAHها (۱۰ میکروگرم بر گرم) است، به نظر می‌رسد که بروز سمیت حاد برای اندامگان‌های دریایی خلیج فارس در این استان، دور از انتظار باشد.

بررسی ترکیبات PAH در زئوپلانکتون‌های منطقه دیر در استان بوشهر نشان داد که تنها ۶ ترکیب از ۱۶ ترکیب اصلی در این زیستوران دریایی وجود دارد. نتایج نشان داد که فراوان‌ترین ترکیب اندازه‌گیری شده پیرن بود و میانگین غلظت آن ۲۵/۸۶ نانوگرم بر گرم در تابستان و ۲۹/۴۱ نانوگرم بر گرم در زمستان گزارش شده است [۵۶]. به طور کلی، PAHهای ۳ و ۴ حلقه‌ای در هر دو فصل بیشترین فراوانی را در منطقه داشتند. با این حال، غلظت PAHها در فصل زمستان به طور معناداری بالاتر بود که می‌تواند ناشی از تجزیه نورشیمیایی و گرمایی ترکیبات PAH در فصل تابستان باشد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که آلودگی PAHها در زئوپلانکتون‌ها تحت تأثیر هر دو منبع نفت‌زاد و احتراق‌زاد است.

جدول ۶-۵- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در آب دریا، رسوب ساحلی و صدف خوراکی بوشهر، دیر، دیلم، باشی و گناوه

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	مجموع PAHها	
			میانگین غلظت	گستره
بوشهر	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۳۰۵/۱	۱۹۶/۹ - ۴۱۳/۲
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	-	۱/۶۳
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۶۵۴/۷	۲۸۶ - ۱۲۴۸
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۵۸۲/۸۸	۳۷۱ - ۶۱۱
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۱۴۰/۵	۱۲۳ - ۱۵۸

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	مجموع PAHها		مرجع
			گستره	میانگین غلظت	
دیر	آب دریا (تابستان)	نانوگرم بر لیتر	۳/۲۳	-	[۳۹]
	آب دریا (زمستان)	نانوگرم بر لیتر	۴/۱۵	-	
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۲۲۷/۵۷	-	
	صدف‌های خوراکی (<i>S. cucullata</i>)	میکروگرم بر گرم	۲۶۸/۰۶	-	[۳۹]
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۴۶	-	[۶۰]
	آب دریا (تابستان)	نانوگرم بر لیتر	۱/۵۶	-	[۳۹]
	آب دریا (زمستان)	نانوگرم بر لیتر	۲/۷۴	-	
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۱۲۵/۹۷	-	
	صدف‌های خوراکی (<i>S. cucullata</i>)	میکروگرم بر گرم	۱۶۴/۱۳	-	[۳۹]
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۷/۸۱ - ۱۳/۷۱	۱۰/۳	[۷]
	آب دریا	نانوگرم بر لیتر	۶۵ - ۱۰۶۲	۱۰۵۹	[۶۷]
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۴۰ - ۷۵۸/۹	۱۸۶/۱	
گناوه	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۴،۱۳۷/۷ - ۲۰۰/۷	۲،۰۶۰/۶۳	[۷]
	رسوب ساحلی	نانوگرم بر گرم	۷۹	[۶۰]	
	آب دریا (تابستان)	نانوگرم بر لیتر	۱/۸۱	-	[۳۹]
	آب دریا (زمستان)	نانوگرم بر لیتر	۲/۸۳	-	
	رسوب ساحلی	میکروگرم بر گرم	۱۴۱/۴۴	-	
	صدف‌های خوراکی (<i>S. cucullata</i>)	میکروگرم بر گرم	۱۸۲/۲۴	-	[۳۹]

۶-۲-۳-۴- منطقه حفاظت شده مند

گستره تغییر غلظت ۱۶ ترکیب PAH در رسوبات ساحلی منطقه حفاظت شده مند، از ۶۷/۷ تا ۵،۱۳۶/۹ نانوگرم بر گرم (با میانگین ۱،۷۶۹/۸ نانوگرم بر گرم) گزارش شده است [۷]. با توجه به دسته‌بندی انجام شده توسط بومر و همکاران، آلودگی نقاط بررسی شده از کم (۰ تا ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) تا بسیار شدید (< ۵۰۰۰ نانوگرم بر گرم) است [۵۴]. نتایج نشان داد که غلظت

ترکیبات سنگین به خصوص PAHهای ۵ حلقه‌ای در رسوبات منطقه مند بسیار بیشتر از ترکیبات سبک است. بررسی نسبت‌های ایزومری نشان داد که منشأ ترکیبات در این منطقه بیشتر تحت تأثیر منابع احتراق‌زاد است. با توجه به دور بودن نسبی تأسیسات نفتی از این منطقه، نتایج قابل توجهی است.

۶-۲-۳-۵- منطقه کنگان

گستره تغییر غلظت ۱۶ ترکیب PAH در رسوبات ساحلی منطقه کنگان، از ۶۹۰/۷ تا ۴،۵۳۸/۴ نانوگرم بر گرم (با میانگین ۳،۰۷۶/۲۷ نانوگرم بر گرم) گزارش شده است [۷]. در پژوهشی دیگر غلظت مجموع PAHها در رسوبات ساحلی کنگان، ۲۱/۷۵ نانوگرم بر گرم گزارش شده است [۶۶]. با توجه به دسته‌بندی انجام شده توسط بومر و همکاران، آلودگی همه نقاط بررسی شده از کم (۰ تا ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) تا شدید (۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ نانوگرم بر گرم) است [۵۴]. نتایج نشان داد که غلظت ترکیبات سنگین در رسوبات بندر کنگان اندکی بیش از ترکیبات سبک است. با این حال، بررسی نسبت‌های ایزومری نشان داد که منشأ ترکیبات در این منطقه بیشتر تحت تأثیر منابع نفت‌زاد است.

بررسی ترکیبات PAH در ژئوپلانکتون‌های منطقه کنگان در استان بوشهر نشان داد که تنها ۶ ترکیب از ۱۶ ترکیب اصلی در این زیستوران دریایی وجود دارد. نتایج نشان داد که فراوان‌ترین ترکیب اندازه‌گیری شده پیرن بود و میانگین غلظت ۱۵/۱۳ نانوگرم بر گرم در تابستان و ۲۲/۲۵ نانوگرم بر گرم در زمستان گزارش شده است [۵۶]. به طور کلی، PAHهای ۳ و ۴ حلقه‌ای در هر دو فصل بیشترین فراوانی را در منطقه داشتند. با این حال، غلظت PAHها در فصل زمستان به طور معناداری بالاتر بود که می‌تواند ناشی از تجزیه نورشیمیایی و گرمایی ترکیبات PAH در فصل تابستان باشد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که آلودگی PAHها در ژئوپلانکتون‌ها بیشتر تحت تأثیر منابع نفت‌زاد است.

۶-۲-۳-۶- مناطق کالو، بردخون، پیازی، بوپاتیل و هاله

غلظت ۱۶ ترکیب PAH در رسوبات و صدف‌های تیغه‌ای (*S. reseomaculatus*) خورهای کالو (محل تردد نفتکش‌ها و کشتی‌های تجاری، حدفاصل بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک)، بردخون (محل تردد لنج‌ها و شناورهای نفتی و غیرنفتی، وجود اسکله صیادی، حدفاصل بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک)، پیازی (محل تردد شناورهای نفتی و غیرنفتی، فعالیت قایق‌ها و لنج‌های صیادی، حدفاصل بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک)، بوپاتیل (محل تردد شناورهای بزرگ نفتی و غیرنفتی و ورود آن‌ها از خارک به اسکله بندر بوشهر، قرارگیری تقریبی روبه‌روی جزیره خارک) و هاله (محل تردد شناورهای نفتی و غیرنفتی، فعالیت قایق‌ها و لنج‌های صیادی، حدفاصل بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک) توسط آرزوم و همکاران در سال ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش در جدول ۶-۶ ارائه شده است. بررسی نتایج نشان داد که غلظت ترکیبات ۵ و ۶ حلقه‌ای PAH در رسوبات بالاتر از دوکفه‌ای‌هاست. این ترکیبات به دلیل وزن مولکولی زیاد، حلالیت کم و ساختار مولکولی خود به ته‌نشست در رسوبات تمایل دارند. در حالی که PAH‌های ۲ تا ۴ حلقه‌ای در دوکفه‌ای‌های هر ایستگاه بیش از رسوبات آن است که نشان دهنده زیست‌انباشت این ترکیبات در بافت صدف‌های دوکفه‌ای است. زیست‌انباشت آلاینده‌هایی مانند PAH‌ها در بدن آبزیان به طور معمول به عدم توانایی آن‌ها در تجزیه و دفع آلاینده‌ها نسبت داده می‌شود [۶۸]. انباشت بیشتر PAH‌های ۳ و ۴ حلقه‌ای در صدف‌ها می‌تواند ناشی از جذب مستقیم یا غیرفعال آب‌ششی باشد که باعث می‌شود ترکیبات سبک‌تر که در به صورت حل شده در آب هستند وارد بدن آن‌ها شود [۶۹].

جدول ۶-۶- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در رسوب ساحلی

و صدف تیغه‌ای استان بوشهر؛ نانوگرم بر گرم وزن خشک [۳۷]

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	مجموع ترکیبات ۲ و ۳ حلقه‌ای	مجموع ترکیبات ۴ حلقه‌ای	مجموع ترکیبات ۵ و ۶ حلقه‌ای	مجموع
خور هاله	رسوبات ساحلی	۱۳/۶۱	۱۳/۲۹	۱/۱۸	۲۸/۰۸
	صدف‌های تیغه‌ای	۴۴/۴۶	۶۴/۶۲	ND*	۱۰۹/۰۸

مجموعه	مجموعه ترکیبات ۵ و ۶ حلقه‌ای	مجموعه ترکیبات ۴ حلقه‌ای	مجموعه ترکیبات ۲ و ۳ حلقه‌ای	نوع نمونه	منطقه مورد مطالعه
۱۶۸/۵۲	۹۹/۶۳	۵۲/۳۹	۱۶/۵	رسوبات ساحلی	خور بوپاتیل
۶۱۷/۷۲	۴۱	۳۴۵/۸۴	۲۳۰/۸۸	صدف‌های تیغه‌ای	
۵۶/۲۲	۱۳/۷۸	۱/۲۴	۲/۴۱	رسوبات ساحلی	خور پیازی
۶۷/۷۲	۰/۲۹	۱۴/۸۴	۵۲/۵۹	صدف‌های تیغه‌ای	
۴۰/۲۴	ND	۳۰/۵۸	۹/۶۶	رسوبات ساحلی	ساحل
۳۲۱/۷۳	۲۱	۱۰۱/۸۶	۱۹۸/۸۷	صدف‌های تیغه‌ای	بردخون
۶۰/۶۵	۶/۴۱	۳۸/۱۱	۱۶/۱۳	رسوبات ساحلی	ساحل کالو
۴۸۴/۱۸	۳۰/۷۸	۲۰/۲۱	۲۵۱/۳	صدف‌های تیغه‌ای	

* کمتر از حد آشکارسازی دستگاه

۶-۲-۴- توپ‌تارها در استان بوشهر

اگرچه توپ‌تارها از رایج‌ترین آلاینده‌های قابل مشاهده در سواحل استان بوشهر هستند، تاکنون مطالعات زیادی روی این موضوع صورت نگرفته است. در تنها پژوهش انجام شده در این منطقه، زیست‌نشانگرهای^۱ نفتی شامل (آلکان‌های خطی، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، هوپان و استران) در تارهای نفتی استان بوشهر در سواحل بهرگان، گناوه، بوشهر، باشی، کنگان، عسلویه، منطقه حفاظت شده مند و پارک ملی نایبند بررسی شدند [۷]. نتایج این مطالعه در جدول ۶-۷ ارائه شده است. بیشینه غلظت AHها در توپ‌تارهای پارک ملی نایبند گزارش شده است. همان طور که پیش از این اشاره شد، ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فرورفتگی منطقه باعث هدایت نفت و پساب‌های نفتی راه یافته به خلیج فارس به این منطقه و به دام افتادن آنها می‌شود. از سوی دیگر، توپ‌تارهای منطقه حفاظت شده مند کمترین مقدار آلودگی را نشان دادند.

^۱ Biomarkers

جدول ۶-۷- غلظت زیست‌نشانگرهای نفتی در توپ‌تارهای استان بوشهر [۷]

مجموع استران‌ها (نانوگرم بر گرم)		مجموع هویان‌ها (نانوگرم بر گرم)		Σ PAHs (نانوگرم بر گرم)		Σ AHs (میکروگرم بر گرم)		واحد
میانگین	گستره	میانگین	گستره	میانگین	گستره	میانگین	گستره	منطقه مورد مطالعه
۵۲۰/۶۷	۵۱۰ - ۵۳۰	۲۳۵	۴۶/۸۷ - ۳۳۹	۲۵۳/۸۳	۶/۸ - ۳۷۸/۳	۴۰۷۸۸	۱۰۵۱۴ - ۸۰۸۴۰	بهرگان
۱۰۳۹۷	۱۰۳۱۰ - ۱۰۴۵۶	۱۸۹۹	۲۴۰ - ۴۳۰۲	۱۳۳/۸۷	۲۰/۹ - ۳۵۶/۳	۴۰۰۱۸	۸۴۹ - ۶۶۲۰	بوشهر
۷۲۹	۷۲۰ - ۷۴۳	۲۵۴	۱۲۳ - ۳۲۸	۱۰۶۱۹/۴۳	۱۰۱۵۵/۱ - ۱۰۹۰۲/۷	۱۰۰۴۰	۶۶۴ - ۱۰۳۵۲	گناوه
۱۰۱۸۶	۱۰۱۳۰ - ۱۰۲۵۶	۸۰۶	۴۸۶ - ۱۰۱۵۳	۳۰/۸۶	۲۹/۲۵ - ۳۳/۷۳	۳۰۴۳۹	۱۷۲۰ - ۶۰۵۴۴	باشی
۱۰۰۶۵	۱۰۰۱۰ - ۱۰۱۳۵	۵۸۰	۴۶۵ - ۷۶۱	۲۰۴۰۸/۶	۶۹۴/۲ - ۴۰۴۶۳/۹	۱۰۰۲۳۲	۲۰۷۹۵ - ۱۵۰۴۳۶	کنگان
۱۰۵۰۴	۱۰۴۷۴ - ۱۰۵۶۰	۱۷۲۹	۲۱۰ - ۳۰۲۴۵	۱۳۰۵۱۲/۲۳	۱۰۰۹۶۳/۴ - ۱۷۰۷۸۶/۵	۳۰۰۰۷۷	۱۰۸۸۶ - ۷۸۰۱۳۱	عسلویه
۱۰۰۲۲	۹۵۲ - ۱۰۱۲۰	۷۳۱	۴۵۶ - ۹۲۵	۳۱۶/۷۳	۴۵/۱ - ۴۹۸	۳۰۲۱۲	۱۰۶۸۵ - ۴۰۱۴۹	مُند
۹۹۶	۹۲۴ - ۱۰۱۲۰	۶۷۶	۳۰۲ - ۱۰۲۴۹	۳۰۴۸۳/۸	۱۰۴۵۴/۱ - ۶۰۴۴۱/۸	۷۲۰۶۸۵	۲۳۰۳۲۸ - ۱۴۵۰۲۸۵	نابیند

۳-۶- اثر آلاینده‌های نفت و گاز بر سلامت

همان طور که پیش از این اشاره شد، صنایع نفت و گاز، انواع گوناگونی از آلاینده‌ها مانند ترکیبات آلی فرار، سولفید هیدروژن، اکسیدهای سولفور، اکسید نیتروژن، اوزون، ذرات معلق ($PM_{2.5}$ - PM_{10})، اوزون، اکسید نیتروژن، فلزات سنگین و آلاینده‌های مخاطره‌آمیز هوا مانند بنزن، هگزان، تولوئن، گزیلن، پروپیلن، نفتالین، نیکل، کروم، کادمیم و سلنیم را تولید می‌کنند [۶، ۱۱].



شکل ۳-۶- آلاینده‌ها در صنعت نفت و گاز

ما هم اکنون می‌دانیم که این مواد به راحتی در بوم‌سازگان‌های (اکوسیستم‌ها) آبی، خاکی و هوا ورود پیدا می‌کنند و به شکل پیچیده‌ای وارد زنجیره‌های غذایی می‌شوند و می‌توانند بر زیست‌مندان و انسان اثرات مخربی را ایجاد کنند. استان بوشهر با بیشترین مرز جغرافیایی با خلیج فارس، پرتراکم‌ترین نقطه در جغرافیا است که صنایع گاز و نفت را در خود پناه داده است؛ بنابراین نقش آلاینده‌گی این صنایع در این جغرافیای کوچک در عرصه‌ی اثر بر زیست محیط و سلامت، بسیار ویژه است. برآوردهای جهانی و منطقه‌ای پیرامون ارزیابی اثر بر سلامت و محیط زیست و نیز برآوردهای میزان خطر آلاینده‌های نفتی در این استان ممکن است دقیق نبوده و به پژوهش‌های بسیار گسترده نیاز دارد که امیدواریم با راه‌اندازی مرکز پژوهش‌های اثر بر سلامت (HIA) دانشگاه علوم پزشکی بوشهر در منطقه‌ی صنعتی عسلویه، بتوانیم به برآوردهای واقعی در زمینه‌ی اثر بر سلامت این آلاینده‌ها، دست یابیم.

در سطح مطالعات جهانی پیرامون اثر گسترده‌ی نفت بر خاک، بسیار اشاره شده است و هیدروکربن‌های نفتی به عنوان یک آلاینده‌ی مهم خاک مطرح شده‌اند. هیدروکربن‌های نفتی که از ترکیبات پیچیده‌ای از صدها ترکیب شامل ترکیبات ارگانیک سبک، فرار، کوتاه زنجیر تا ترکیبات سنگین، طولانی زنجیر و شاخه‌دار را شامل می‌شوند در ورود به خاک، سرنوشت‌های گوناگونی را بر خود و محیط زیست فرود می‌آورند. با آزادسازی هیدروکربن‌های نفتی به خاک، بر اساس خصوصیات شیمیایی آن‌ها، این ترکیبات پیچیده به اجزای گوناگونی جدا می‌گردند [۷۰]. نخست آن که نفت به دلیل چگالی کم، ویسکوزیته‌ی بالاتر و توانایی امولسیون‌پایین‌تر، به راحتی جذب سطح خاک می‌شود و بر نفوذپذیری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد.

نفت غنی از کربن است مقدار کمی نیز ترکیبات نیتروژنی دارد و بنابراین می‌تواند ترکیب و ساختار مواد آلی خاک را تغییر داده و بر C/N، شوری، اسیدیته، Eh و هدایت خاک، اثر گذارد. فلزات سنگین (نیکل و وانادیم) در مخلوط نفتی و غلظت‌های بالای نمک موجود در آب خروجی میدان نفتی می‌توانند به محیط زیست خاک آسیب وارد کنند. دوم آن که میکروارگانیسم‌های محیط از لحاظ ساختار جمعیتی و سیستم آنزیمی خاک با ورود نفت دچار تغییر می‌شوند. سوم آن که با رهایش نفت به خاک، رشد طبیعی محصولات مختل شده و نرخ

زایش و باروری آن‌ها کاهش یافته و از مقاومت به آفات و بیماری‌های آن‌ها نیز کاسته می‌گردد. افزون بر این، ترکیبات نفتی در خاک می‌توانند با نیتروژن غیرآلی و فسفر واکنش نشان داده و توان نیتریفیکاسیون و برداشت اسیدفسفریک را محدود سازند. بدین سان، نیتروژن و فسفر مؤثر در خاک کاهش یافته و جذب محصولات نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۳- مرگ در نتیجه سرطان ریه در زنان،
با تنفس هوای آلوده مجتمع‌های پتروشیمی توأم بوده است.

مسمومیت از سوی دیگر، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در ترکیبات شیمیایی نفتی دارای اثرات سرطان‌زایی، جهش‌زایی، تراژونیک و اثرات سمی دیگر هستند و می‌توانند

از طریق تنفس، تماس پوستی و زنجیره غذایی، وارد بدن انسان‌ها و جانوران شده و در فعالیت طبیعی کبد و کلیه آن‌ها و دستگاه‌های دیگر بدن اختلال ایجاد کنند. آلاینده‌های نفتی خاک نه تنها در اکوسیستم خاکی بلکه در اتمسفر و اکوسیستم‌های آبی نیز می‌توانند اثر خود را به شکل شبکه‌ای پیچیده از برهم‌کنش‌ها اعمال کنند. به شکل ویژه، هیدروکربن‌های نفتی با وزن سبک و نقطه جوش پایین می‌توانند از طریق تبخیر به راحتی به اتمسفر وارد شوند و سپس توسط ریزش‌های جوی و نفوذ به آب‌های سطحی و پدیده اسمز به سیستم آب زیرزمینی وارد گردیده و در نهایت از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان‌ها نیز دسترسی یابند [۷۱].

در این چرخش اکوسیستمی هیدروکربن‌های نفتی می‌بینیم که چگونه نفتی که از قلب زمین کاویده و استخراج می‌شود وقتی که به خاک باز می‌گردد می‌تواند چه اثرات مخربی را از خود برجای بگذارد. هنگامی که به اثر این هیدروکربن‌های نفتی در محیط طبیعی استان بوشهر می‌نگریم، پی می‌بریم که در فراتر از اثر بر خاک و هوا، این ترکیبات نفتی می‌توانند به دلیل مجاورت صنایع نفت و گاز با ساحل دریا، وارد رسوبات ساحلی شده و اثر خود را در فراتر از خاک، در اکوسیستم‌های دریایی نیز نمایان کنند. اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوبات ساحلی منطقه نایبند عسلویه (به عنوان یکی از مناطق آلوده از صنایع گاز و پتروشیمی) نشانگر غلظت بسیار بالاتر این فلزات در مقایسه با منطقه لاور ساحلی به عنوان منطقه کنترل بود [۷۲]. همچنین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در نمونه رسوب ساحلی منطقه صنعتی عسلویه نشان دهنده غلظت بالاتر آن در مقایسه با مناطق شهری عسلویه بوده است [۵۹].

در مطالعه‌ای دیگر که توسط پژوهشگران دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام شد، با اندازه‌گیری AVS^۱ و SEM^۲، کیفیت و خطر بالقوه اکولوژیکی نمونه‌های رسوبی مناطق ساحلی عسلویه ارزیابی شد. AVS به عنوان یک ماده شیمیایی اصلی تشکیل دهنده رسوبات دریایی به شمار می‌آید که نقش مهمی در کنترل خطرات زیست محیطی در رسوبات دریایی دارد. SEM شامل فلزات متصل شده به سولفید رها شده در فرآیند استخراج AVS شامل مس،

^۱ Acid volatile sulfide

^۲ Simultaneously Extracted Metals

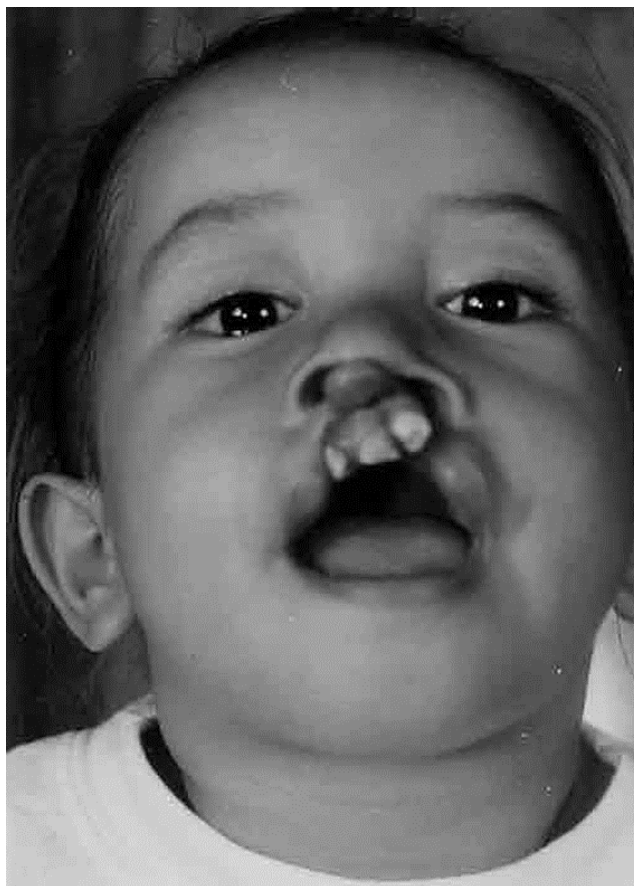
کادمیم، سرب، نیکل و روی می‌باشد. وجود تفاوت معنی‌دار سطح AVS و SEM در نمونه رسوبی از ناحیه صنعتی شهری عسلویه نشان داد که غلظت AVS و SEM به طور قابل ملاحظه‌ای در منطقه صنعتی، از منطقه شهری بیشتر بود [۷۳].

این مطالعات محدود در منطقه عسلویه که پرتراکم‌ترین صنایع نفت و گاز را در خود پناه داده است نشانگر پیچیده بودن اثر آلاینده‌های نفتی بر مناطق ساحلی استان بوشهر است. بی‌شک، این آلاینده از طریق پیوندهای پیچیده برهم‌کنشی اکولوژیک، می‌توانند بر سلامت زیست‌مندان و انسان اثر گذارند. برای مثال؛ در مطالعه‌ای که در منطقه نایبند عسلویه در مقایسه با لاور ساحلی (منطقه کنترل) بر روی پوسته صدف دوکفه‌ای *Trachycasidium laconusom* انجام شد، نشانگر وجود غلظت بالای فلزات سنگین کادمیم و سرب در پوسته صدف این دوکفه‌ای در مقایسه با صدف‌های موجود در منطقه لاور ساحلی بود [۷۴]. این مطالعه پایه نشان می‌دهد که چگونه نفوذ ترکیبات نفتی و هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند با ورود خود به رسوبات ساحلی، در پیکره زیست‌مندان دریایی انباشت یابند.

هر چند که متأسفانه مطالعات انسانی برای بررسی اثر صنایع گاز و پتروشیمی بر سلامت ساکنین منطقه استراتژیک عسلویه، به عنوان پایتخت انرژی ایران، بسیار محدود است اما مطالعات اولیه نشان دهنده سطح افزایش یافته فلزات سنگین آرسنیک، وانادیوم، منگنز و نیکل در نمونه ادرار دانش‌آموزان ابتدایی شهر عسلویه در مقایسه با شهر سعدآباد (به عنوان شاهد) است [۷۵]. همچنین شیوع بیماری‌های آسم، آلرژی بینی و آگزما در منطقه عسلویه نسبت به سایر شهرهای ایران، شیوع بالاتری را نشان دادند [۷۶].

در مطالعه‌ای که توسط پژوهشگران دانشگاه علوم پزشکی بوشهر در منطقه عسلویه انجام گردیده است، نتایج بیانگر آن بود که نمونه‌های شیر مادران ساکن این منطقه به طور معنی‌داری دارای غلظت بالاتری از فلزات و فلزات سنگین (شامل کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، منگنز، مولیبدن، وانادیم و شبه فلز آرسنیک) نسبت به منطقه کاکلی (به عنوان منطقه شاهد) بود (داده‌های چاپ نشده). در مطالعه‌ای که اخیراً توسط پژوهشگران پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس وابسته به دانشگاه علوم پزشکی بوشهر در منطقه پارس جنوبی در عسلویه انجام شده

است، میزان ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چندحلقوی (که اولویت USEPA هستند) در سرم مادران (۹۸ نمونه) و خون بند ناف (۹۷ نمونه) از این منطقه صنعتی با سرم مادران و خون بند ناف منطقه شاهد (به ترتیب در ۹۷ و ۱۰۰ مادر)، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد این ترکیبات (که هفت مورد از آنها در دسته آلاینده‌های سرطان‌زا قرار می‌گیرند)، می‌توانند در مناطق صنعتی حاوی آلاینده‌های نفت و گاز مانند عسلویه حتی در طی مراحل جنینی، وارد بدن انسان شده و اثرات بر سلامت خود را در طول زندگی ایجاد کنند (داده‌های در دست چاپ).



شکل ۶-۴- نقایص مادرزادی به صورت لب شکری، در مکان‌هایی که پالایشگاه‌های نفت و فلیرینگ گاز دارند، شایع‌تر دیده می‌شوند.

همین مطالعات محدود بیانگر آن است که چگونه آلاینده‌های نفتی می‌توانند بر سلامت ساکنین مناطق مجاور صنایع نفت و گاز، به ویژه پتروشیمی اثر گذارند. از این رو، پایش‌های دائم سلامت مردم و محیط زیست توسط سازمان‌های مربوطه جهت حفظ و ارتقای کیفیت زندگی و کاهش بار بیماری‌ها و همچنین تهیه راهکارهای مدرن برای پیشگیری از اثرات مخرب این صنایع بر سلامت، بسیار ضروری می‌باشند [۷۷]. همچنین بررسی اثرات بر کیفیت هوا حاصل از ترکیبات آلی، گازهای گلخانه‌ای، مواد معلق PM_{10} - $PM_{2.5}$ از پالایشگاه‌های نفت و صنایع پتروشیمی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۷۸].

زیرا آلاینده‌های هوا در مجاورت این صنایع، به ویژه گازهای SO_2 ، NO_2 و ذرات معلق $PM_{2.5}$ با بروز افزایش یافته بیماری‌های تنفسی ساکنینی که در مجاورت این پالایشگاه زندگی می‌کنند، توأم بوده است [۷۹]. از سوی دیگر، مطالعات نشان داده‌اند که افزایش امید به زندگی و رشد درآمد برای ساکنین صنایع پتروشیمی در مقایسه با مناطق دیگر آهسته‌تر بوده است [۸۰]. از این رو، مشاهده می‌شود که اثر بر سلامت آلاینده‌های نفتی بسیار فراتر از اثرات مشاهده شده بر فیزیولوژی بدن و اثرات پاتولوژیک بر اندامان است.

در هر صورت، ما مانند بسیاری دیگر از مناطق دنیا، دچار کمبود اطلاعات همه‌گیر شناختی (اپیدمیولوژیک) در زمینه اثر آلاینده‌های نفتی بر ساکنین پالایشگاه‌ها و صنایع نفت و گاز هستیم. در اینجا به چند مورد اساسی اثر بر سلامت این آلاینده‌ها که بر اساس مرور مقالات چاپ شده در سطح جهانی به دست آمده است، اشاره می‌کنیم و تأکید فراوان ما در اینجا با توجه به نوع پالایشگاه‌ها و صنایع موجود در استان بوشهر و رشد آینده این صنایع در برنامه توسعه و آمایش سرزمینی آن، بر صنایع پتروشیمی است.

۶-۳-۱- سرطان

هر چند که یافته‌های مطالعات گوناگون یکسان و یک صدا نیستند اما بررسی‌های موجود تاکنون نشان داده‌اند افرادی که در نزدیکی پالایشگاه‌ها ساکن هستند نسبت به جمعیت عمومی، خطر بالاتری برای سرطان دارند [۷۹]. حفاری و استخراج نفت و گاز طبیعی می‌توانند

مواد سرطان‌زا متنوعی مانند بنزن، دیگر ترکیبات آلی فرار و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را به محیط زیست گسیل دارند. بر همین اساس، همبستگی میان فعالیت‌های نفتی و گازی و سرطان در سطح جمعیت مجاور این فعالیت‌ها، کانون توجه مطالعات گوناگون بوده است. در یک مطالعه جمعیتی برای مطالعه بروز سرطان خون (لوسمی) در چین، نشان داده شد که نسبت بروز استاندارد شده این سرطان در مناطق نفتی به صورت معنی‌داری از دیگر مناطق صنعتی، شهری و روستایی بالاتر است [۸۱].

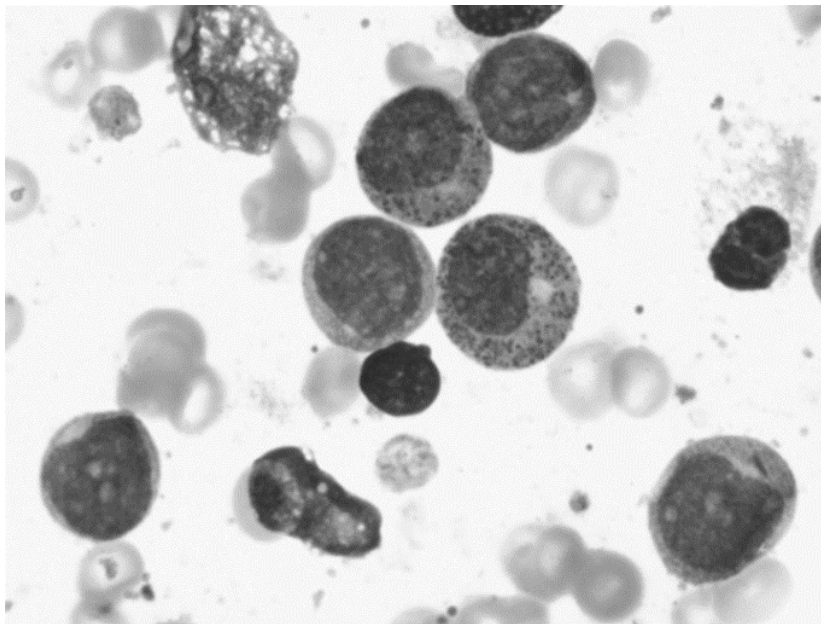


شکل ۶-۵- چندین مطالعه جمعیتی (مبتنی بر مورد - شاهد) نشان داده است که افزایش خطر سرطان کلیه با تماس با فرآورده‌های نفتی همبستگی دارد.

در مطالعات اپیدمیولوژیک، برای یافتن یک اثر گرادسانی که زندگی در نزدیکی یک سایت پتروشیمی می‌تواند خطر این بیماری‌ها را در مقایسه با زندگی در فواصل دورتر ایجاد کند،

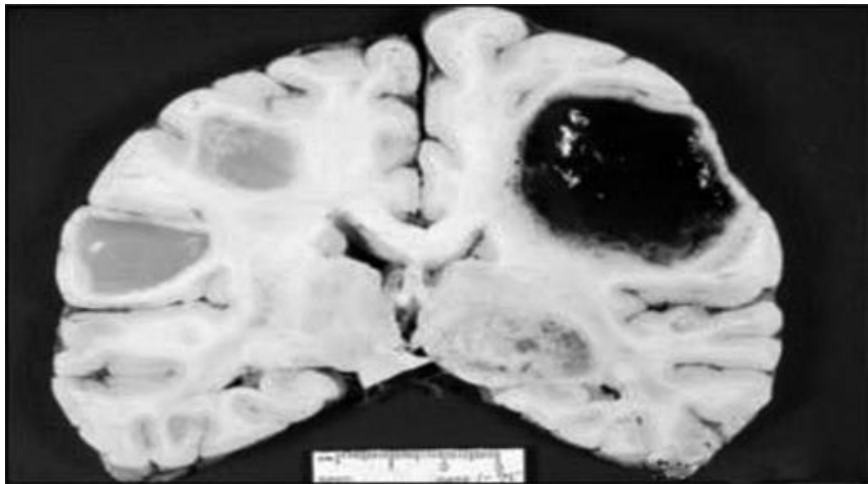
رخداد عمومی سرطان یا مرگ‌ومیر وابسته آن (در جوامع پیرامونی مجتمع‌های پتروشیمی)، مورد پژوهش قرار می‌گیرد. برآورد عمومی از این مطالعات آن است که شواهد محدودی در مورد همبستگی میان رخداد سرطان با زندگی در مجاورت صنایع و یا مجتمع‌های پتروشیمی وجود دارد. اشکال عمده این مطالعات آن است که نمی‌توانند از لحاظ طراحی مطالعه، تماس فرد را با برون‌ده‌های پتروشیمی، به صورت مناسبی توصیف کنند.

در یک فرادگرد کلی، پتانسیل افزایش یافته‌ای برای رخداد لوسمی‌ها (سرطان‌های خون)، با زندگی در مجاورت تأسیسات پتروشیمی وجود دارد و از این رو، لوسمی یک پیامد سلامت در رابطه با زندگی در مجتمع‌های پتروشیمی محسوب می‌شود. سرطان ریه نیز به عنوان پیامد سلامت صنایع پتروشیمی پیشنهاد شده است ولی به دلیل مشکلات موجود در جمعیت مرجع تعریف شده در مطالعات، به شواهد قطعی که به افزایش سرطان ریه با زندگی در مجاورت صنایع پتروشیمی اشاره کرده باشند، بر نمی‌خوریم.



شکل ۶-۶- در ژورنال آمریکایی اپیدمیولوژی که در سال ۲۰۰۶ انتشار یافت، به زیست در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی و افزایش خطر سرطان خون (لوسمی)، در دهه ۲۰ زندگی، اشاره شده است.

هر چند که در مطالعات به همبستگی میان شغل والدین در صنایع پتروشیمی و رخداد سرطان مغز در کودکان اشاره شده است؛ اما باید گفت که نتایج این مطالعات به دلیل تعداد کم شرکت کنندگان در مطالعه (که تماس تعریف شده با صنایع پتروشیمی را داشته باشند) و نیز فقر آشکار در شواهد (برای ارتباط دوز - پاسخ)، پرسش برانگیز هستند. اما در سه مطالعه موجود به همبستگی نسبت میان سرطان‌های پستان، مثانه و پانکراس اشاره شده است [۸۲].

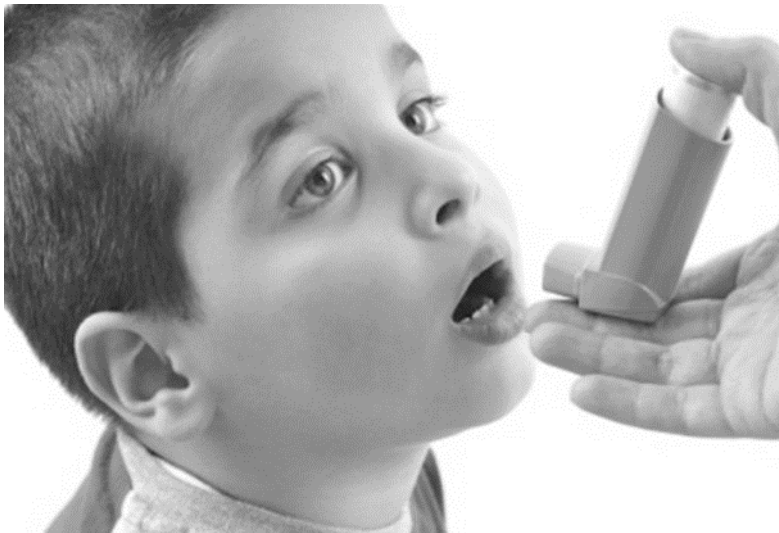


شکل ۶-۷- در مطالعه تومورهای مغزی کودکان که به صورت یک پیمایش بین‌المللی بر روی ۱،۲۱۸ کودک با تومور مغزی انجام شد، آشکار گردید که تماس پدر با هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک، در بیش از بیست نطفه کودک، می‌تواند با افزایش شانس رخداد سرطان مغز در کودک وی همراه شود.

۶-۳-۲- آسم و بیماری‌های تنفسی

یک همبستگی مثبت میان آسم و زندگی در نزدیکی مجتمع‌های پتروشیمی و پالایشگاه‌ها وجود دارد. این پیوند میان آسم و صنایع پتروشیمی، به وزش باد غالب (در طول زمانی که سناریوی عملیاتی در حال انجام است) بستگی دارد. گاز CO_2 از گازهای آزاد شده در عملیات پتروشیمی است که نشانه اتهام را بر خود دارد و در مطالعات بزرگ، یک همبستگی چشمگیری میان شکایات تنفسی و غلظت‌های شیمیایی آن یافت شده است. در یک مطالعه

نیز به پیوند میان پذیرش اورژانس آسم و شکایات تنفسی و آزادسازی CO₂ در عملیات پتروشیمی، در یک جمعیت ملی، اشاره شده است. در یک فراگرد کلی، نتایج مطالعات بر این است که آسم و دیگر بیماری‌های تنفسی و شکایات تنفسی (خس خس، سرفه و غیره) از پیامدهای سلامت هستند که پیوستگی با زیست در مجاورت تأسیسات پتروشیمی را از خود نشان می‌دهند [۸۲]؛ هر چند که وجود این علائم در ساکنین نزدیک صنایع نفت و گاز را به تورش‌های (bias) مربوطه، نسبت می‌دهند [۸۱].



شکل ۶-۱- کودکانی که در مجاورت مناطق پتروشیمی زندگی می‌کنند بیشتر به نشانگان تنفسی و آسم (در مقایسه با گروه شاهد) دچار می‌شوند.

۶-۳-۳- پیامدهای باروری

هر چند نتایج مطالعات گوناگون در سطح مطبوعات بین‌المللی پزشکی به ارتباط میان زیست در مجاورت صنایع پتروشیمی و تولد نوزادان با وزن کم، نوزاد نارس و یا سقط اشاره نموده‌اند، اما از لحاظ روش‌شناسی و عدم کنترل متغیرهای مداخله‌گر، نمی‌توان در این خصوص اظهار نظر قطعی، ارائه داد (۱۶). در یک بررسی مروری مقالات و تجزیه و تحلیل آن،

نتایج نشان داد که این مطالعات به شواهد در حد متوسطی برای افزایش خطر برای زایمان زودرس اشاره دارند و شواهد ضعیفی نیز برای نقایص تولد وجود دارند اما شواهد برای مرده‌زایی و رخداد وزن تولد کم، ناچیز و یا کم هستند [۸۳].



شکل ۶-۹- در مطالعاتی به همبستگی میان تولد نوزادان با وزن کم و زیست در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی اشاره شده است.

۶-۳-۴- مسمومیت عصبی (نوروتوکسیسیتی)

در یک پژوهش که در کالیفرنیا انجام شد، پیوند میان تماس با مواد آزاد شده از یک تأسیسات پتروشیمی و ایجاد نقایص در عملکرد نورولوژیک در بزرگسالان نشان داده شد. در مطالعه‌ای دیگر در تایلند نیز به شواهدی دال بر وجود اختلال در حافظه کوتاه‌مدت و سکونت در مجاورت یک مجتمع پتروشیمی، دست یافتند [۸۲].

۶-۳-۵- اثرات روانی - اجتماعی

بدون هیچ شکی، استرس و نشانه‌های فیزیولوژیک آن در سطح جوامع پیرامونی مجتمع‌های پتروشیمی، ظهور می‌یابند و نخستین تکانه برای ایجاد چنین استرس‌هایی برخاسته از نگرانی‌های اعضای جوامع پیرامونی این مجتمع‌ها از پیامدهای بر سلامت در نتیجه عملکرد آن‌ها است. از این رو، گفتمان شفاف با مردم و ارائه حقایق روشن و مبتنی بر شاهد و ایجاد فضای گفتگو میان مردم - صنعت، می‌تواند در کاهش این استرس‌ها در سطح جوامع پیرامونی مؤثر واقع شود [۸۲].

افزون بر این مطالعات و مشاهدات که حاکی از اثر صنایع نفت و گاز بر سلامت ساکنین مجاور این صنایع می‌باشند، مطالعات دیگری نیز در زمینه اثر بر دستگاه قلب و عروق و پارامترهای هماتولوژیک، رخداد بیماری‌های خودایمن، دستگاه گوارش و کلیه‌ها، اثرات ژنوتوکسیسیتی و تراژونیک، اختلال در سیستم اندوکراین و ایمنی، انجام شده‌اند که در این میان نقش هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای برجسته می‌باشد زیرا این مواد و آنالوگ‌های آلکلیله می‌توانند به صورت عمده بر مسیرهای استروئیدی اثر کرده و یک عدم تعادل را در هورمون‌های استروئیدی جنسی ایجاد کنند [۸۴].

در یک فراگرد کلی، مطالعات اپیدمیولوژیک موجود، شواهد ضعیف تا متوسطی را در پیوند با صنایع نفت و گاز با خطر سلامت برای جمعیت عموم را فراهم می‌آورند و به زایمان‌های زودرس، سرطان‌های هماتولوژیک و تشدید علائم آسم در ساکنین مجاور این صنایع، اشاره می‌کنند [۸۳].

۶-۴- منابع

- 1) Eby, G.N., Principles of environmental geochemistry. 2004: Brooks/Cole Publishing Company.
- 2) Morrison, R.T. and Boyd, R.N., Organic chemistry. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
- 3) Kucuksezgin, F., Pazi, I., and Gonul, L.T., Marine organic pollutants of the Eastern Aegean: Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Candarli Gulf surficial sediments. Marine pollution bulletin, 2012. 64(11): p. 2569-2575.
- 4) Ines, Z., Amina, B., Mahmoud, R., *et al.*, Aliphatic and Aromatic Biomarkers for Petroleum Hydrocarbon Monitoring in Khniss Tunisian-Coast, (Mediterranean Sea). Procedia Environmental Sciences, 2013. 18: p. 211-220.
- 5) Zhou, R., Qin, X., Peng, S., *et al.*, Total petroleum hydrocarbons and heavy metals in the surface sediments of Bohai Bay, China: long-term variations in pollution status and adverse biological risk. Mar Pollut Bull, 2014. 83(1): p. 290-7.
- 6) Dobaradaran, S. and Mohamadzadeh, F., Servey of the oil and gas pollutant impacts on the human and environment. ISMJ, 2014. 17(1): p. 85-98.
- 7) Dashtbozorg, M., Bakhtiari, A.R., Shushizadeh, M.R., *et al.*, Quantitative evaluation of n-alkanes, PAHs, and petroleum biomarker accumulation in beach-stranded tar balls and coastal surface sediments in the Bushehr Province, Persian Gulf (Iran). Marine pollution bulletin, 2019. 146: p. 801-815.
- 8) Nkem, B.M., Halimoon, N., Yusoff, F.M., *et al.*, Isolation, identification and diesel-oil biodegradation capacities of indigenous hydrocarbon-degrading strains of Cellulosimicrobium cellulans and Acinetobacter baumannii from tarball at Terengganu beach, Malaysia. Marine pollution bulletin, 2016. 107(1): p. 261-268.
- 9) Kim, M., Hong, S.H., Won, J., *et al.*, Petroleum hydrocarbon contaminations in the intertidal seawater after the Hebei Spirit oil spill--effect of tidal cycle on the TPH concentrations and the chromatographic characterization of seawater extracts. Water Res, 2013. 47(2): p. 758-68.
- 10) Mohebbi-Nozar, S.L., Zakaria, M.P., Ismail, W.R., *et al.*, Total petroleum hydrocarbons in sediments from the coastline and mangroves of the northern Persian Gulf. Marine pollution bulletin, 2015.

۱۱) نبی پور، ا.، راهنمای ارزیابی اثر بر سلامت در صنعت نفت و گاز. ۱۳۹۱: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر.

- 12) Von Oettingen, W.F., The toxicity and potential dangers of aliphatic and aromatic hydrocarbons. The Yale journal of biology and medicine, 1942. 15(2): p. 167.
- 13) Vaezzadeh, V., Zakaria, M.P., Shau-Hwai, A.T., *et al.*, Forensic investigation of aliphatic hydrocarbons in the sediments from selected mangrove ecosystems in the west coast of Peninsular Malaysia. Mar Pollut Bull, 2015. 100(1): p. 311-20.
- 14) Barbosa, J.C., Santos, L.G., Sant'Anna, M.V., *et al.*, Seasonal distribution of aliphatic hydrocarbons in the Vaza Barris Estuarine System, Sergipe, Brazil. Mar Pollut Bull, 2016. 104(1-2): p. 343-6.
- 15) Lourenço, R.A., Araujo Júnior, M.A.G., Meireles Júnior, R.O., *et al.*, Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements as indicators of contamination status near oil and gas platforms in the Sergipe–Alagoas Basin (Southwest Atlantic Ocean). Continental Shelf Research, 2013. 71: p. 37-44.
- 16) Amijaya, H., Schwarzbauer, J., and Littke, R., Organic geochemistry of the Lower Suban coal seam, South Sumatra Basin, Indonesia: palaeoecological and thermal metamorphism implications. Organic Geochemistry, 2006. 37(3): p. 261-279.
- 17) Singh, S., Kumari, B., and Mishra, S., Microbial degradation of alkanes, in Microbial degradation of xenobiotics. 2012, Springer. p. 439-469.
- 18) Commendatore, M.G., Nievas, M.L., Amin, O., *et al.*, Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in coastal sediments from the Ushuaia Bay (Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina). Mar Environ Res, 2012. 74: p. 20-31.
- 19) Abdel-Shafy, H.I. and Mansour, M.S.M., A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egyptian Journal of Petroleum, 2016. 25(1): p. 107-123.
- 20) Li, G.L., Lang, Y.H., Gao, M.S., *et al.*, Carcinogenic and mutagenic potencies for different PAHs sources in coastal sediments of Shandong Peninsula. Mar Pollut Bull, 2014. 84(1-2): p. 418-23.
- 21) Masih, J., Masih, A., Kulshrestha, A., *et al.*, Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor atmosphere in the North central part of India. Journal of hazardous materials, 2010. 177(1): p. 190-198.
- 22) Yancheshmeh, R.A., Bakhtiari, A.R., Mortazavi, S., *et al.*, Sediment PAH: contrasting levels in the Caspian Sea and Anzali Wetland. Mar Pollut Bull, 2014. 84(1-2): p. 391-400.
- 23) Nakata, H., Uehara, K., Goto, Y., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons in oysters and sediments from the Yatsushiro Sea, Japan: comparison of potential risks among PAHs, dioxins and dioxin-like compounds in benthic organisms. Ecotoxicol Environ Saf, 2014. 99: p. 61-8.

- 24) Seo, J.-S., Keum, Y.-S., Harada, R.M., *et al.*, Isolation and characterization of bacteria capable of degrading polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organophosphorus pesticides from PAH-contaminated soil in Hilo, Hawaii. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2007. 55(14): p. 5383-5389.
- 25) Zhang, W., Feng, H., Chang, J., *et al.*, Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes. *Environmental Pollution*, 2009. 157(5): p. 1533-1543.
- 26) Ravindra, K., Sokhi, R., and Van Grieken, R., Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment*, 2008. 42(13): p. 2895-2921.
- 27) Lai, I.-C., Lee, C.-L., Zeng, K.-Y., *et al.*, Seasonal variation of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons along the Kaohsiung coast. *Journal of environmental management*, 2011. 92(8): p. 2029-2037.
- 28) Cachada, A., Pato, P., Rocha-Santos, T., *et al.*, Levels, sources and potential human health risks of organic pollutants in urban soils. *Science of the Total Environment*, 2012. 430: p. 184-192.
- 29) Batista, D., Tellini, K., Nudi, A.H., *et al.*, Marine sponges as bioindicators of oil and combustion derived PAH in coastal waters. *Mar Environ Res*, 2013. 92: p. 234-43.
- 30) Guigue, C., Tedetti, M., Ferretto, N., *et al.*, Spatial and seasonal variabilities of dissolved hydrocarbons in surface waters from the Northwestern Mediterranean Sea: results from one year intensive sampling. *Sci Total Environ*, 2014. 466-467: p. 650-62.
- 31) Li, J., Dong, H., Zhang, D., *et al.*, Sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Bohai Sea and northern part of the Yellow Sea, China. *Mar Pollut Bull*, 2015. 96(1-2): p. 485-90.
- 32) Inomata, Y., Kajino, M., Sato, K., *et al.*, Emission and atmospheric transport of particulate PAHs in Northeast Asia. *Environmental science & technology*, 2012. 46(9): p. 4941-4949.
- 33) Tudoran, M. and Putz, M., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: from In Cerebro to In Silico Eco-Toxicity Fate.
- 34) Kapsimalis, V., Panagiotopoulos, I.P., Talagani, P., *et al.*, Organic contamination of surface sediments in the metropolitan coastal zone of Athens, Greece: sources, degree, and ecological risk. *Mar Pollut Bull*, 2014. 80(1-2): p. 312-24.
- 35) UNEP, Global environmental outlook 2000. 2000, United Nations Environmental Program London.
- 36) ROPME, State of Marine Environment Report- 2013. ROPME/ GC-16 /1-ii regional organization for the protection of the marine environment. 2013: Kuwait.

- (۳۷) آرزوم، ف.، صفاهییه، ع.، محمدی، م.، همکاران.، همبستگی بین مقادیر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در رسوبات و صدف تیغه‌ای *Solen roseomaculatus* در خوربات استان بوشهر. مجله پژوهش‌های محیط زیست، ۱۳۹۴. ۱۱(۶): صفحات ۸۵-۹۶.
- (۳۸) تاجیک، م.، چیان، م.خ. و چرخابی، ا.ح.، بررسی زمین زیست محیطی توزیع آلودگی‌های نفتی در رسوبات ساحلی (مطالعه موردی استان بوشهر). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۹۲. ۱۵(۳): صفحات ۵۳-۶۵.
- 39) Mirza, R., Mohammadi, M., Sohrab, A.D., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater, sediment, and rock oyster *Saccostrea cucullata* from the northern part of the Persian Gulf (Bushehr Province). 2012. 223(1): p. 189-198.
- 40) Amir-Heidari, P. and Raie, M., Probabilistic risk assessment of oil spill from offshore oil wells in Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 2018. 136: p. 291-299.
- 41) Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., *et al.*, Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons risk assessment in coastal water and sediments of Khark Island, SW Iran. *Marine Pollution Bulletin* 2016. 108(1-2): p. 33-45.
- 42) Jafarabadi, A.R., Bakhtiari, A.R., Aliabadian, M., *et al.*, First report of bioaccumulation and bioconcentration of aliphatic hydrocarbons (AHs) and persistent organic pollutants (PAHs, PCBs and PCNs) and their effects on alcyonacea and scleractinian corals and their endosymbiotic algae from the Persian Gulf, Iran: Inter and intra-species differences. *Science of The Total Environment*, 2018. 627: p. 141-157.
- 43) Jafarabadi, A.R., Dashtbozorg, M., Bakhtiari, A.R., *et al.*, Geochemical imprints of occurrence, vertical distribution and sources of aliphatic hydrocarbons, aliphatic ketones, hopanes and steranes in sediment cores from ten Iranian Coral Islands, Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 2019. 144: p. 287-298.
- 44) Akbari, A., Ardestani, M., and Shayegan, J., Distribution and mobility of petroleum hydrocarbons in soil: case study of the South Pars gas complex, Southern Iran. 2012.
- 45) He, D., Zhang, K., Cui, X., *et al.*, Spatiotemporal variability of hydrocarbons in surface sediments from an intensively human-impacted Xiaoqing River-Laizhou Bay system in the eastern China: Occurrence, compositional profile and source apportionment. *Science of The Total Environment*, 2018. 645: p. 1172-1182.
- 46) Jafarabadi, A.R., Bakhtiari, A.R., Hedouin, L., *et al.*, Spatio-temporal variability, distribution and sources of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in reef surface sediments of Kharg and Lark coral reefs, Persian Gulf, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018. 163: p. 307-322.

- 47) Rostami, S., Abessi, O., and Amini-Rad, H., Assessment of the toxicity, origin, biodegradation and weathering extent of petroleum hydrocarbons in surface sediments of Pars Special Economic Energy Zone, Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 2019. 138: p. 302-311.
- 48) Guzmán, H.M., Burns, K.A., and Jackson, J.B., Injury, regeneration and growth of Caribbean reef corals after a major oil spill in Panama. *Marine Ecology Progress Series*, 1994: p. 231-241.
- 49) Mirvakili, H. and Hadjizadeh, Z.N., Evaluation of PAHs in hydrocarbons pollution, biodegradation and weathering extent in surface sediments of the Kharg Island in the Persian Gulf. 2014.
- 50) Mirvakili, H.S., Zaker, N.H., and Imani, F., Evaluation of oil pollution and origin in surface coastal sediments of Kharg Island in the Persian Gulf. *Journal of Coastal Research*, 2013(65): p. 93-98.
- 51) Jafarabadi, A.R., Bakhtiari, A.R., Aliabadian, M., *et al.*, Spatial distribution and composition of aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and hopanes in superficial sediments of the coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Pollution*, 2017. 224: p. 195-223.
- 52) Aghadadashi, V., Mehdinia, A., and Molaei, S., Origin, toxicological and narcotic potential of sedimentary PAHs and remarkable even/odd n-alkane predominance in Bushehr Peninsula, the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 2017. 114(1): p. 494-504.
- 53) Aghadadashi, V., Mehdinia, A., Bakhtiari, A.R., *et al.*, Source, spatial distribution, and toxicity potential of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in sediments from Iran's environmentally hot zones, the Persian Gulf. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019. 173: p. 514-525.
- 54) Baumard, P., Budzinski, H., and Garrigues, P., Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 1998. 17(5): p. 765-776.
- 55) Di Toro, D.M. and McGrath, J.A., Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. II. Mixtures and sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 2000. 19(8): p. 1971-1982.
- 56) Khaksar, F., Manavi, P.N., Ardalan, A.A., *et al.*, Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in zooplanktons of Bushehr coastal waters (north of the Persian Gulf). *Marine pollution bulletin*, 2019. 140: p. 35-39.
- 57) Hoseyn Khezri, P., Hatami Manesh, M., Haghshenas, A., *et al.*, Source Identification and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments) Case Study: Pars Special Economic Energy Zone. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 2018. 28(160): p. 56-75.

- 58) Keshavarzifard, M., Moore, F., Keshavarzi, B., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment and sea urchin (*Echinometra mathaei*) from the intertidal ecosystem of the northern Persian Gulf: Distribution, sources, and bioavailability. *Marine Pollution Bulletin*, 2017. 123(1-2): p. 373-380.
- 59) Raeisi, A., Arfaeina, H., Seifi, M., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal sediments from urban and industrial areas of Asaluyeh Harbor, Iran: distribution, potential source and ecological risk assessment. *Water Sci Technol*, 2016. 74(4): p. 957-73.
- 60) Mirza, R., Mohammadi, M., Faghiri, I., *et al.*, Source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment samples from the northern part of the Persian Gulf, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 2014. 186(11): p. 7387-7398.
- 61) Li, P., Cao, J., Diao, X., *et al.*, Spatial distribution, sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater from Yangpu Bay, China. *Marine pollution bulletin*, 2015. 93(1): p. 53-60.
- 62) Neff, J.M., *Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water*. 2002: Elsevier.
- 63) Sarria-Villa, R., Ocampo-Duque, W., Páez, M., *et al.*, Presence of PAHs in water and sediments of the Colombian Cauca River during heavy rain episodes, and implications for risk assessment. *Science of the Total Environment*, 2016. 540: p. 455-465.
- ۶۴) اخباری زاده، ر.ا.، ارزیابی ریسک بوم شناختی عناصر بالقوه سمناک و ترکیبات آلی در ساحل و حوضچه‌های تخلیهٔ پساب مخازن جزیرهٔ خارک و بررسی روش‌های احتمالی حذف آلودگی. ۱۳۹۶، پایان نامه دکتری، دانشگاه شیراز. ایران.
- 65) Jiang, N., Li, Q., Su, F., *et al.*, Chemical characteristics and source apportionment of PM_{2.5} between heavily polluted days and other days in Zhengzhou, China. *J Environ Sci (China)*, 2018. 66: p. 188-198.
- 66) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Geochemistry and environmental effects of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and microplastics in coastal sediments of the Persian Gulf. 2019. 78(15): p. 492.
- 67) Aagh, H., Rahmanpour, S., Abedi, E., *et al.*, Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater and sediments of West-Northern coasts of the Persian Gulf. 2016.
- 68) Cortazar, E., Bartolomé, L., Arrasate, S., *et al.*, Distribution and bioaccumulation of PAHs in the UNESCO protected natural reserve of Urdaibai, Bay of Biscay. *Chemosphere*, 2008. 72(10): p. 1467-1474.
- 69) Yim, U., Hong, S., Shim, W., *et al.*, Distribution and Characteristics of PAHs in Bivalves from Gwangyang Bay, Korea. *Korean Journal of Environmental Chemistry*, 2004. 22: p. 78-85.

- 70) Adipah, S., Introduction of petroleum hydrocarbons contaminants and its human effects. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 2019. 3(1): p. 1-9.
- 71) Wang, S., Xu, Y., Lin, Z., et al. The harm of petroleum-polluted soil and its remediation research. in *AIP Conference proceedings*. 2017. AIP Publishing LLC.
- 72) Dehghani, M., Nabipour, I., Dobaradaran, S., *et al.*, Cd and Pb concentrations in the surface sediments of the Asaluyeh Bay, Iran. 2014.
- 73) Arfaeina, H., Nabipour, I., Ostovar, A., *et al.*, Assessment of sediment quality based on acid-volatile sulfide and simultaneously extracted metals in heavily industrialized area of Asaluyeh, Persian Gulf: concentrations, spatial distributions, and sediment bioavailability/toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016. 23(10): p. 9871-9890.
- 74) Dehghani, M., Nabipour, I., Dobaradaran, S., *et al.*, Trace metals level in sediments and bivalve *Trachycardium lacunosum* shell in the Persian Gulf. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019. 16(1): p. 413-422.
- 75) Kafaee, R., Tahmasbi, R., Ravanipour, M., *et al.*, Urinary arsenic, cadmium, manganese, nickel, and vanadium levels of schoolchildren in the vicinity of the industrialised area of Asaluyeh, Iran. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2017. 24(30): p. 23498-23507.
- 76) Gooya, M., Shirvani, A., Tahmasebi, R., *et al.*, Prevalence of Asthma and Allergic Diseases and Its Risk Factors in School Children Aged (6-7 and 13-14 Years) in Assalouyeh City, Bushehr Province Based on III ISAAC Protocol Phase I, in 2014. *ISMJ*, 2017. 20(1): p. 57-69.
- 77) Keshmiri, S., Pordel, S., Raeesi, A., *et al.*, Environmental Pollution Caused by Gas and Petrochemical Industries and Its Effects on the Health of Residents of Assaluyeh Region, Irani-an Energy Capital: A Review Study. *ISMJ*, 2018. 21(2): p. 162-185.
- 78) Ragothaman, A. and Anderson, W.A., Air quality impacts of petroleum refining and petrochemical industries. *Environments*, 2017. 4(3): p. 66.
- 79) Auchincloss, A. and De Roos, A.J., RE: Statement on the Health Effects of Refineries and Implications for the S Philadelphia Refinery. 2019.
- 80) Chen, Y.-M., Lin, W.-Y., and Chan, C.-C., The impact of petrochemical industrialisation on life expectancy and per capita income in Taiwan: an 11-year longitudinal study. *BMC public health*, 2014. 14(1): p. 247.
- 81) Intrinsic Environmental Sciences, I., McDaniel Lambert, I., and Health, B.C.M.o., Phase 2, Human Health Risk Assessment of Oil and Gas Activity in Northeastern British Columbia: Task 3, Literature Overview. 2013: Intrinsic Environmental Sciences, Incorporated.
- 82) Systematic Literature Review of Health Outcomes Associated with Living in Proximity of Petrochemical Industries. 2010: Lambton Community Health Study Board County of Lambton.

- 83) Bertollini, R., Borges, T., Duarte Davidson, R., *et al.*, OPINION ON the public health impacts and risks resulting from onshore oil and gas exploration and exploitation in the EU. 2018.
- 84) Kuppusamy, S., Maddela, N.R., Megharaj, M., *et al.*, Total Petroleum Hydrocarbons: Environmental Fate, Toxicity, and Remediation. 2019: Springer.

فصل هفتم

آلاینددهای پرتوزا در استان بوشهر

۷-۱- آلاینده‌های پرتوزا

ایزوتوپ‌های ناپایدار (رادیواکتیو) طبیعی و مصنوعی زیادی شناخته شده‌اند که به دلیل ناپایداری، دارای نیمه عمر هستند. عناصر پرتوزا در مدت زمان معینی برای رسیدن به فاز پایدار با انرژی کمتر، به طور مرتب از خود انرژی ساطع می‌کنند. نیمه عمر عناصر پرتوزا ممکن است از کسری از ثانیه تا میلیون‌ها سال باشد. تشعشع رادیواکتیو به صورت آلفا، بتا و گاما می‌باشد که هر یک تاثیر متفاوتی بر سلامتی انسان دارد.

بیشترین و مهم‌ترین ایزوتوپ‌های پرتوزا مربوط به اورانیوم، ید، رادیم، توریم، پلونیوم، پلوتونیوم و توریم می‌باشند. از زمان پیدایش زمین (۴۶۰۰ میلیون سال پیش)، بیش از ۶۰ هسته پرتوزا^۱ در طبیعت تشکیل شده است. ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی در همه بخش‌های محیط زیست حضور دارند. بخش‌هایی از کره زمین دارای تشعشع طبیعی مواد پرتوزا هستند. منطقه رامسر در شمال ایران یکی از این مناطق شناخته شده است.

علاوه بر منشأ طبیعی، برای مواد پرتوزا، منشأ انسان‌زاد نیز وجود دارد. نیروگاه‌های هسته‌ای و پسماندهای آن‌ها از مهم‌ترین منابع انسان‌زاد مواد پرتوزا هستند. رایج‌ترین ایزوتوپ‌های پرتوزا که به طور معمول از نیروگاه‌های هسته‌ای نشت می‌کنند عبارتند از: آهن (۵۵)، کبالت (۵۸)، سزیم (۱۳۴، ۱۳۷)، کروم (۵۱)، منگنز (۵۴)، زیرکونیوم (۹۵)، نیوبیوم (۹۵)، ید (۱۳۱)، (۱۳۳، ۱۳۵)، کریپتون (۸۵، ۸۷، ۸۸)، زنون (۱۳۱، ۱۳۳، ۱۳۳m، ۱۳۵، ۱۳۵) و هیدروژن (۳) [۱]. علاوه بر نشت، دفع مواد زائد هسته‌ای نیز تا حدودی یک مشکل زیست محیطی نوظهور محسوب می‌شود که ممکن است برای انسان‌ها خطرات جبران‌ناپذیری فراهم کند. این نوع

^۱ Radionuclide

پسماندها بر اساس میزان تشعشع به سه دسته با غلظت‌های بالا - متوسط - پایین دسته‌بندی می‌شوند. بهترین روش برای دفع پسماندهای با تشعشع بالا و متوسط، دفن طولانی‌مدت در اعماق زمین است. اما در مورد پسماندهای با تشعشع ضعیف روش‌های دفع ساده‌تری انجام می‌شود. به همین دلیل احتمال نشت آن‌ها به محیط زیست بیشتر است [۲].

اثر تشعشع مواد پرتوزا بر روی بافت‌ها، بسته به جنس و نوع بافت و همچنین نوع پرتوها متفاوت است. به طور مثال، بافت‌های عصبی، قلب، مغز، استخوان‌ها و عضلات حساسیت کمتری در مقابل مواد پرتوزا دارند، در حالی که بافت‌های لنفاوی، اندام‌های جنسی، دستگاه گوارش، طحال، خون و چشم، حساسیت بیشتری در مقابل مواد پرتوزا دارند. برخی از عناصر رادیواکتیو مانند رادیم، توریم و استرانسیم به دلیل رفتار زمین‌شیمیایی شبیه به کلسیم، بلافاصله پس از جذب توسط بدن به ساختار استخوان وارد شده و جایگزین کلسیم می‌شوند.

۷-۱-۱- اورانیم

اورانیم مهم‌ترین عنصر پرتوزای با نیمه عمر طولانی است. این عنصر برای بیشتر مردم نماد مرگ و نیستی است، زیرا تصور می‌کنند که تنها کاربرد این عنصر در تولید سلاح‌های کشتار جمعی (جنگ افزارهای هسته‌ای و سلاح‌های ضد زره) است. در حالی که این کاربرد در مقابل کاربردهای مفید اورانیم در تولید برق و داروسازی بسیار بی‌اهمیت است. عنصر اورانیم به شدت سنگ‌دوست (لیتوفیل) است و به رغم مقدار کم آن در پوسته، در اکثر واحدهای سنگی، خاک‌ها و حتی اعماق دریاها اندازه‌گیری شده است. سنگ‌های گرانیتوئیدی و نفلین‌سینیت‌ها مهم‌ترین منابع طبیعی اورانیم هستند. در شرایط محیطی ترکیبات ناپایدار چهار ظرفیتی اورانیم به ترکیبات شش ظرفیتی پایدارتر تبدیل می‌شوند. پیچبلند (U_3O_8) انحلال‌ناپذیر در تماس با هوا به یون‌های اورانیل تبدیل می‌شوند که متحرک‌ترین ترکیب اورانیم می‌باشد. بیشتر اورانیم محلول در آب، در دریاها وجود دارد. اورانیم دارای سه ایزوتوپ طبیعی اورانیم ۲۳۴، اورانیم ۲۳۵ و اورانیم ۲۳۸ است که اورانیم ۲۳۸ فراوان‌ترین ترکیب آن می‌باشد و نیمه عمر آن $10^9 \times 4/46$ سال است.

بیش از ۶۰ کانی اورانیم‌دار در طبیعت شناسایی شده که مهم‌ترین آن‌ها اورانیت (UO_2) و نوع آمورف آن پیچبلند (U_3O_8) است. علاوه بر این، وانادات‌های اورانیم‌دار، فسفات‌ها، تاکولیت‌ها (هیدروکربن‌های اورانیم‌دار) و استین استروپین از دیگر کانی‌های مهم اورانیم‌دار هستند. مهم‌ترین کانسارهای اورانیم عبارتند از: کانسارهای پلاسری، تراوشی، گرمایی، پگماتیستی، اسکارنی، ماگمایی، ماسه سنگی و فسفاتی.

اورانیم در دسته عناصر غیرضروری برای بدن انسان قرار دارد و در معرض قرار گرفتن با آن می‌تواند برای فرد خطرناک باشد. بیشترین اثر سوء این عنصر به دلیل تشعشع آن است که ممکن منجر به انواع سرطان شود. زمانی که اورانیم تنفس می‌شود، ۷۵ درصد از آن از راه بازدم خارج می‌شود و تنها ۲۵ درصد از آن در شش‌ها باقی می‌ماند که حدود یک درصد از آن به کلیه‌ها منتقل می‌شود [۳]. گاز رادون یکی از محصولات واپاشی اورانیم است. استنشاق این گاز عوارض مرگ‌آوری دارد. گاز رادون خود پس از رها شدن به ایزوتوپ‌های دیگری تبدیل می‌شود که توسط ذرات معلق در هوا جذب می‌شوند و در اثر تنفس (بسته به اندازه ذره جذب کننده) به لایه‌های مختلف دستگاه تنفسی نفوذ می‌کنند. انواع سرطان ریه و بیماری‌های حاد تنفسی در مناطق با تشعشع اورانیم مربوط به این ذرات است. علاوه بر این، عناصر پرتوزای توریم و پلوتونیم نیز حاصل واپاشی اورانیم هستند.

یکی از راه‌های ورود اورانیم به بدن افرادی که در مناطق با پتانسیل پرتوزایی بالا زندگی نمی‌کنند، مصرف گیاهانی است که با کودهای فسفاته تقویت شده‌اند. کودهای فسفاته حاوی مقادیر بالای اورانیم هستند که در پی آبیاری به درون خاک نفوذ می‌کنند. علاوه بر این، سوزاندن زغال‌سنگ و توتون نیز از منابع مهم در معرضی با عناصر پرتوزا به خصوص اورانیم هستند. مواد آلی از جمله زغال‌سنگ و گیاه توتون قابلیت بالایی در جذب اورانیم دارند به همین دلیل سوزاندن آن‌ها باعث آزاد شدن اورانیم می‌شود.

تهوع، احساس خستگی، افسردگی، سوختگی شدید پوست و تب‌ولرز از علائم اولیه مسمومیت با اورانیم هستند و در صورت ادامه در معرض بودن و یا دریافت دوزهای بالای اورانیم، بروز انواع جهش‌های ژنتیکی و سرطان قابل پیش‌بینی است.

۷-۱-۲- رادیم

رادیم فلزی طبیعی است که در همه بخش‌های زمین با غلظت بسیار کم یافت می‌شود. گستره تغییرات آن در سنگ‌های مختلف از ۰/۱ تا ۱/۱ نانوگرم بر کیلوگرم متفاوت است. این عنصر بیشتر به صورت کاتیون دو ظرفیتی پرتوزا، شامل چند ایزوتوپ و خواص شیمیایی مشابه با باریوم، استرانسیم و کلسیم حضور دارد. این عنصر سنگ‌دوست (لیتوفیل) است و به صورت ناخالصی در چند کانی گروه زئولیت وجود دارد. کانی اصلی رادیم، رادیوباریت است.

فراوان‌ترین عضو تشکیل شده طی واپاشی اورانیم به عناصر سبک‌تر، رادیم است. غلظت رادیم در کانسنگ‌های طبیعی اورانیم، یک میلی‌گرم به ازای سه کیلوگرم اورانیم است. مهم‌ترین ایزوتوپ آن رادیم ۲۲۶ می‌باشد که ساطع کننده پرتوی آلفا با نیمه عمر ۱۶۰۰ سال است. هسته پرتوزای رادیم ۲۲۶ یکی از اجزای سازنده محیط طبیعی است. با این حال، می‌تواند منشأ انسان‌زاد نیز داشته باشد. مهم‌ترین منشأهای انسان‌زاد آن عبارتند از: کودهای شیمیایی فسفاتی و پتاسیمی، سوزاندن زغال‌سنگ و کارخانه‌های سیمان [۴].

غلظت رادیم در آب دریا و بدن انسان بسیار جزئی است. با این حال، به راحتی جذب بدن می‌شود و همانطور که پیش از این اشاره شد، به دلیل شباهت ساختاری و رفتاری با کلسیم می‌تواند جایگزین آن در استخوان شود و در نهایت سرطان مغز استخوان را ایجاد کند. علاوه بر این، قرارگیری در معرض غلظت‌های بالای رادیم در مدت طولانی می‌تواند منجر به کم‌خونی، آب مروارید و سرطان شود [۲، ۴].

۷-۱-۳- ید

ایزوتوپ‌های پرتوزای ید (^{129}I و ^{131}I) که حاصل شکافت اورانیم در راکتورهای اتمی و انفجارهای هسته‌ای هستند به سرعت وارد محیط شده و به راحتی وارد زنجیره غذایی می‌گردند. این ایزوتوپ‌ها به دلیل فرار بودن، هنگام آتش سوزی یا انفجار راکتورهای هسته‌ای، در جو آزاد می‌شوند. در پی سانحه هسته‌ای چرنوبیل اکرین در سال ۱۹۸۶ میلادی، ایزوتوپ ید ۱۳۱ با نیمه عمر ۸ روز، مهم‌ترین منبع کوتاه‌مدت آلودگی پرتوزا بود. از آنجا که این ایزوتوپ به راحتی

توسط بدن و به ویژه غده تیروئید جذب می‌شود، بسیار خطرناک است و ممکن است فردی که در معرض قرار گرفته، به سرطان تیروئید مبتلا گردد. شایان ذکر است، درمان به موقع با مکمل‌های ید غیرپرتوزا (KI) می‌تواند به تعدیل عملکرد ید پرتوزا، کمک کند [۴].

۷-۱-۴- استرانسیم

ایزوتوپ‌های پرتوزای استرانسیم نیز همانند ید پرتوزا، حاصل شکافت اورانیم در راکتورهای اتمی و انفجارهای هسته‌ای هستند. استرانسیم پرتوزا به دلیل فرار بودن، هنگام آتش‌سوزی یا انفجار راکتورهای هسته‌ای، در جو آزاد می‌شوند و به راحتی توسط بدن انسان جذب می‌شود.

در حالی که از استرانسیم ۸۹ برای درمان سرطان و کاهش دردهای استخوانی استفاده می‌شود، استرانسیم ۹۰ بیشترین خطر زیست‌شناختی را برای انسان دارد. در پی آزمایشات هسته‌ای در صحرای نیومکزیکو، ایزوتوپ استرانسیم ۹۰ در محیط پخش شد و به تدریج از طریق خاک وارد چرخه غذایی شد. شیر گاوهایی که از علوفه آلوده تغذیه می‌کردند، غنی از استرانسیم ۹۰ بود. بنابراین، ایزوتوپ پرتوزای استرانسیم که ساختاری شبیه به کلسیم دارد وارد بدن ساکنین منطقه شد و به استخوان آن‌ها نفوذ کرد. پرتوزایی استرانسیم در استخوان منجر به بروز انواع سرطان خون و مغز استخوان در مردم منطقه و به خصوص کودکان شد [۲، ۴].

۷-۱-۵- توریم

توریم عنصری سنگین و پرتوزا با نیمه عمر طولانی است. این عنصر به وفور در تولید کوره‌های دما بالا و مشعل‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عنصر نیز مانند اورانیم نقش مهمی در پرتوزایی طبیعی پوسته زمین دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل تولید گرمای درون زمین، واپاشی عنصر توریم است. بر خلاف سایر عناصر پرتوزا، غلظت توریم در پوسته بالاست و با غلظت عنصری مانند قلع و برم قابل مقایسه است. با این حال، انحلال‌پذیری ترکیبات توریم در آب بسیار پایین است.

مهم‌ترین ایزوتوپ توریم، توریم ۲۳۲ است که دارای نیمه عمر $10^{10} \times 1/4$ سال می‌باشد. واپاشی این عنصر مادر، منجر به تشکیل عناصری پرتوزا با نیمه عمر کوتاه‌تر (از جمله گاز رادون) می‌شود و در انتهای زنجیره، سرب ۲۰۷ که یک ایزوتوپ پایدار است تشکیل می‌شود. توریم همراه با عناصر نادر خاکی (REEs) در کانی موناژیت و همراه با اورانیم در کانی اورانوتوریت وجود دارد.

همانند اورانیم، توریم نیز در دسته عناصر غیرضروری برای بدن انسان قرار دارد. عوارض در معرض بودن با توریم مشابه سایر عناصر پرتوزاست. علاوه بر این، با توجه به شباهت رفتاری و شیمیایی توریم با کلسیم، این عنصر می‌تواند جایگزین کلسیم در استخوان شود. علاوه بر انفجارها و آزمایشات هسته‌ای، مصرف توتون یکی از مهم‌ترین راه‌های در معرض قرار گرفتن با توریم است. افرادی که توتون مصرف می‌کنند به طور دائمی در معرض پرتوهای آلفا قرار دارند. نفوذ پرتوی آلفا به شش‌ها می‌تواند زمینه‌ساز نابودی بافت ریه و بروز سرطان ریه شود [۲].

۷-۱-۶- پلوتونیم

عنصر پرتوزای پلوتونیم سنگین‌ترین ایزوتوپ طبیعی شناخته شده است که نیمه عمری بالغ بر ۸۰ میلیون سال دارد. تولید این عنصر پرتوزا در راکتورهای هسته‌ای و در پی بمباران نوترونی اورانیم، بسیار بیشتر از رخداد طبیعی آن است. در طبیعت، پلوتونیم به صورت ترکیبات اکسیدی و هیدروکسیدی به آب‌های طبیعی مهاجرت نموده و باعث آلودگی محیط زیست و در نهایت انسان می‌شود.

علاوه بر تولید جنگ افزارهای هسته‌ای، عنصر پلوتونیم در ساخت تجهیزات پزشکی (مانند دستگاه تنظیم جریان قلب) و تولید باتری‌هایی با عمر طولانی کاربرد دارد. آلودگی خاک و محیط زیست به عنصر پلوتونیم منجر به آلودگی انسان می‌شود. در پی در معرض بودن با پلوتونیم، این عنصر به راحتی جذب بدن می‌شود و ماندگاری بسیار طولانی آن در بدن باعث آسیب‌های شدید و طولانی مدت می‌شود. سرطان ریه، سرطان‌های کبد و استخوان و سرطان خون در پی استنشاق یا خوردن آب و غذای آلوده به پلوتونیم رخ می‌دهد.

۷-۱-۷- سزیم

ایزوتوپ‌های پرتوزای سزیم ۱۳۴ و ۱۳۷، محصول شکافت هسته‌ای در نیروگاه‌های هسته‌ای می‌باشند و در ریزش پرتوزای سلاح‌های هسته‌ای نیز یافت می‌شوند. علاوه بر فعالیت‌های هسته‌ای، سزیم ۱۳۷ می‌تواند حاصل سوزاندن زغال‌سنگ و خاکستر کردن زباله‌های شهری نیز باشد.

میانگین غلظت سزیم ۱۳۷ در بافت‌های افرادی که در معرض این هسته پرتوزا قرار ندارند از ۰/۱ تا ۲/۴۴ پیکوگرم بر کیلوگرم وزن تر است. در پی در معرض بودن، این ایزوتوپ به سرعت جذب بدن می‌شود و سلول‌های سرطانی تولید می‌کند [۴].

۷-۲- آلاینده‌های پرتوزا در استان بوشهر

۷-۲-۱- نیروگاه هسته‌ای بوشهر

نیروگاه هسته‌ای بوشهر در ۲۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی در حاشیه خلیج فارس و ۱۸ کیلومتری جنوب بندر بوشهر قرار دارد. نیروگاه از شمال، شرق و شمال غرب به خشکی و از سمت جنوب، غرب و جنوب غربی به خلیج فارس محدود می‌شود (شکل ۷-۱). زمین‌های اطراف نیروگاه تا چندین کیلومتر غیرقابل کشت است [۵، ۶]. اما نزدیکی نیروگاه به خلیج فارس و حضور گونه‌های مختلف آبی در آن، منطقه را به لحاظ زیست محیطی بسیار حساس و مهم کرده است [۱].

راکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر یک راکتور آب سبک تحت فشار با طراحی روسی و توان ۱۰۰۰ مگاوات است. در این راکتور منبع تولید گرما، سوخت هسته‌ای از نوع دی اکسید اورانیم غنی شده (۱/۶، ۲/۴، ۳/۶۲، ۴/۰۲ درصد) می‌باشد. تعداد ۳۱۱ میله سوخت با آرایش شش ضلعی، یک مجتمع سوخت را می‌سازند و تعداد ۱۶۳ مجتمع سوخت در کنار هم قلب راکتور را تشکیل می‌دهند [۷]. سازوکار تولید گرما در این راکتور، واکنش هسته‌ای شکافت اورانیم و تبدیل آن به برخی از شکافت‌های سبک‌تر است که همراه با آزاد شدن انرژی و تولید نوترون برای ادامه این زنجیره می‌باشد.

آب که به عنوان خنک کننده و کند کننده نوترون استفاده می‌شود، توسط پمپ‌هایی از راه ۴ نازل خط لوله سرد وارد راکتور می‌شود و پس از برداشت گرما از قلب راکتور از راه ۴ نازل خط لوله گرم به سمت مولدهای بخار هدایت شده و در آنجا با تبادل گرما با آب چرخه خنک‌سازی دوم، بخار تولید می‌شود. در ادامه، بخار تولید شده در مولدهای بخار به ساختمان توربین هدایت می‌شود.

برای چگالش بخار خروجی از توربین، از آب دریا به عنوان خنک کننده استفاده می‌شود. آب پس از برداشت گرما، به وسیله چند کانال در زیر بستر دریا، در عمق ۷ متری به دریا باز می‌گردد.



شکل ۷-۱- موقعیت مکانی نیروگاه هسته‌ای بوشهر [۸].

ساختمان اصلی راکتور به گونه‌ای طراحی و ساخته شده است که در برابر برخورد هواپیما، هواپیماهای جنگی و زلزله‌ای با شدت ۸ ریشتر، مقاوم باشد. با این حال، در صورت بروز حادثه احتمالی، قدرت راکتور تا سطح لازم کاهش داده شده تا ایمنی راکتور به سطح مورد نظر برسد. علاوه بر این، این سیستم‌ها مجهز به دیزل ژنراتورهای خاص خود بوده که در صورت قطع شدن کامل برق در نیروگاه، می‌توانند به کار خود ادامه دهند [۵].

از نگرانی‌های مهم در مورد نیروگاه‌های هسته‌ای، نشت مواد پرتوزا از آن‌ها به محیط اطراف است [۹، ۱۰]. مقدار ماده پرتوزایی که در شرایط عادی کار راکتور یا در صورت بروز حادثه به محیط پیرامون نشت می‌کند، منبع پرتو ساز نامیده می‌شود. برخی از مواد پرتوزا که در نتیجه تاثیر فرآیندهای شکافت تولید می‌شوند عبارتند از:

الف) هسته‌های فرااورانیمی^۱: عناصری مانند نپتونیم، پلوتونیم و امرسیوم که در پی جذب نوترون در اورانیم و فرآورده‌های آن در راکتور تولید می‌شوند.

ب) فرآورده‌های ناشی از فرسایش تجهیزات: فلزاتی که در ساخت تاسیسات مختلف نیروگاه به کار رفته‌اند ممکن است در نتیجه فرسایش، وارد خنک کننده راکتور و سیستم اولیه خنک‌سازی شوند. این مواد بر روی سطوح خارجی میله‌های کنترل رسوب کرده و در نتیجه برخورد نوترون مجدداً فعال می‌شوند. ایزوتوپ‌های کروم، منگنز، آهن و کبالت به این طریق تولید می‌شوند.

ج) آب و ناخالصی‌های فعال شده: آب و مواد موجود در آن، در هنگام عبور از خنک کننده، از درون قلب راکتور عبور کرده و فعال می‌شوند. میزان تولید ذرات پرتوزا در این حالت به غلظت اولیه آن‌ها در آب بستگی دارد.

د) نشت از میله‌های سوخت که تا انتها مصرف نشده‌اند [۱].

برای جلوگیری از آسیب‌های زیست محیطی باید تا حد امکان از نشت مواد پرتوزا به محیط‌های آبی و جوی جلوگیری کرد. بر اساس داده‌های ارائه شده توسط سازمان ملی انرژی اتمی ایران، آلاینده‌های پرتوزا که در حالت کارکرد عادی نیروگاه بوشهر به محیط نشت

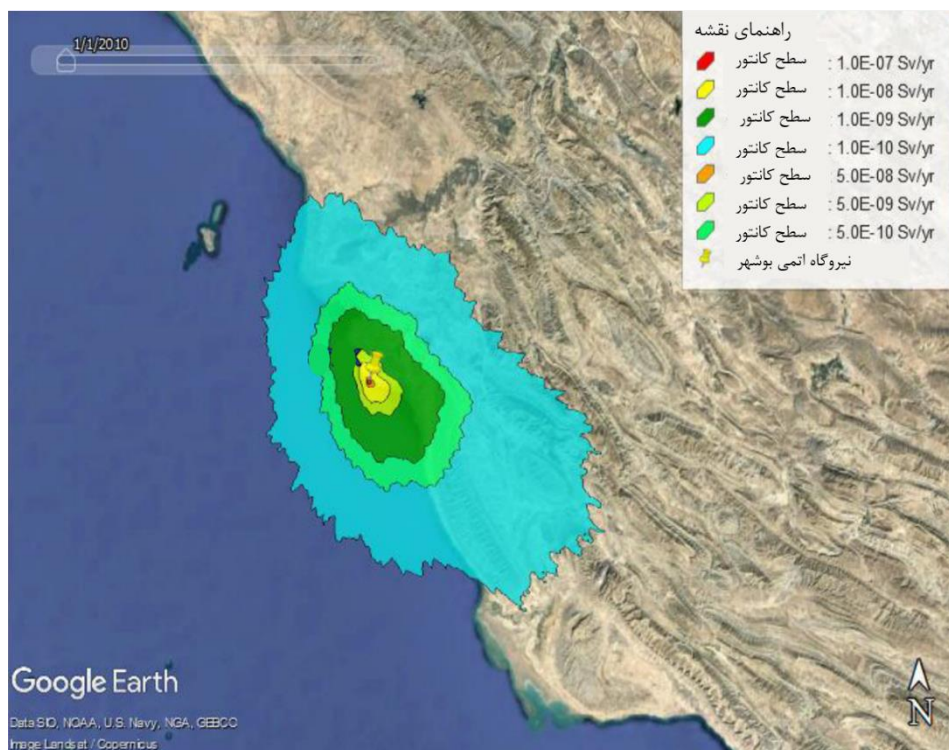
^۱ Transuranic nuclides

می‌کنند عبارتند از: کریپتون (Kr)، زنون (Xe)، ید (I)، سزیم (Cs)، باریم (Ba)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، روبیدیم (Rb)، استرانسیم (Sr)، باریم (Br)، نیوبیم (Nb)، تلوم (Te)، زیرکونیم (Zr)، سرب (Pb)، کبالت (Co)، مولیبدن (Mo)، کروم (Cr)، لانتانیم (La)، منگنز (Mn)، روتنیم (Ru)، آهن (Fe) و پرازئودیمیم (Pr) [۸]. نام و غلظت ایزوتوپ‌های آلاینده‌های پرتوزای ناشی از فعالیت نیروگاه هسته‌ای بوشهر در جدول ۷-۱ ارائه شده است.

نشت مواد پرتوزا به خارج از راکتور، باعث بروز آلودگی و نابهنجاری‌هایی در محیط زیست و افراد جامعه می‌شود. ارزیابی این منبع و تعیین پارامترهای گوناگون آن از قبیل میزان و نوع مواد پرتوزا به فاکتورهای بسیار زیادی از جمله نوع و اندازه راکتور، سیستم‌های ایمنی به کار رفته در آن و سوخت و مدت زمان استفاده از آن وابسته است. مقدار استاندارد نشت طبیعی مواد پرتوزا از نیروگاه‌های هسته‌ای ایران توسط سازمان تنظیم مقررات هسته‌ای ایران (INRA) برابر با 1×10^{-4} Sv/yr تعیین شده است. بر اساس محاسبات انجام شده توسط فیضی نژاد و همکاران (۲۰۱۹)، بیشینه مقدار نشت از نیروگاه بوشهر در حالت کارکرد عادی برابر با $2/1 \times 10^{-7}$ Sv/yr و در جهت جنوب شرقی (جهت باد غالب منطقه) است که بسیار کمتر از استاندارد ذکر شده است [۸]. نقشه پراکنش نشت سالانه آلاینده‌های پرتوزا در اطراف نیروگاه هسته‌ای بوشهر در شکل ۲-۷ نمایش داده شده است. علاوه بر این، میزان تشعشع مواد آلاینده پرتوزا پیرامون نیروگاه اتمی بوشهر در مطالعات مختلفی (در شرایط کار عادی و رخداد حادثه) محاسبه و ارزیابی شده است [۱، ۹-۱۵]. در همه این مطالعات از مدل‌های دو و سه بعدی برای محاسبات و ارزیابی خطر ناشی از تشعشعات استفاده شده است. به طور کلی، پراکنش مواد پرتوزا و نهشت آن‌ها بر سطح زمین به عوامل مختلفی از جمله میزان نشت، وضعیت آب‌وهوا و پایداری جو بستگی دارد [۹، ۱۲]. نتایج مطالعات مربوط به پراکنش محیطی مواد پرتوزا نشان داد که در صورت بروز حادثه در نیروگاه اتمی بوشهر، مواد پرتوزا بیشتر به سمت جنوب (خلیج فارس) و شرق (تنگستان) حرکت خواهند کرد [۱، ۱۳]. علاوه بر این، با افزایش سرعت باد، سرعت پراکنش مواد پرتوزا در آب افزایش و غلظت آن‌ها در آب‌های ساحلی بوشهر کاهش می‌یابد [۱].

جدول ۷-۱- آلاینده‌های پرتوزا ناشی از فعالیت معمول نیروگاه هسته‌ای بوشهر [۱۶]

هسته‌های پرتوزا	مقدار نشت (Bq/hr)
^{85}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{85}Kr , ^{138}Xe	$2/0.2 \times 10^9$
^{133}I , ^{135}I , ^{131}I , ^{132}I , ^{134}I	$4/29 \times 10^6$
^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{138}Cs , ^{139}Ba , ^{42}K , ^{24}Na , ^{88}Rb , ^{91}Sr , ^{92}Sr	$2/38 \times 10^5$
^{84}Br , ^{97}Nb , ^{89}Rb , ^{131}Te , ^{132}Te , ^{133}Te , ^{97}Zr	$2/5 \times 10^4$
^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{60}Co , ^{99}Mo , ^{89}Sr , ^{95}Zr	$1/68 \times 10^3$
^{144}Ce , ^{58}Co , ^{51}Cr , ^{140}La , ^{54}Mn , ^{103}Ru , ^{59}Fe , ^{95}Nb , ^{144}Pr , ^{90}Sr	< 410



شکل ۷-۲- نقشه پراکنش نشت سالانه آلاینده‌های پرتوزا در اطراف نیروگاه هسته‌ای بوشهر [۱۸]

به طور کلی، قرار گرفتن مستقیم در ابر حاوی مواد پرتوزا، استنشاق هوای حاوی مواد پرتوزا و خوردن غذا یا نوشیدن مواد آلوده به مواد پرتوزا از مهم‌ترین مسیرهای در معرض قرار گرفتن با آلاینده‌های پرتوزاست [۵]. دوز مؤثر معادل^۱ در معرض بودن روزانه از راه‌های مختلف (در معرض بودن مستقیم، استنشاق و بازتابش از زمین) برای ساکنین بالغ در منطقه بوشهر محاسبه شد و نتایج نشان داد که نسبت خطر ایجاد شده نسبت به استاندارد INRA (1×10^{-4} Sv/yr) کمتر از ۰/۲ درصد است. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد که آلودگی ناشی از عناصر پرتوزا در پی کارکرد معمولی نیروگاه هسته‌ای بوشهر، ناچیز است [۸، ۱۰، ۱۱، ۱۴]. اما، در صورت بروز حادثه احتمالی، تخلیه سریع مناطق مسکونی و استفاده از پناهگاه‌های ایمن، پاکسازی اشخاص، تامین مواد غذایی غیرآلوده، تجویز مکمل پتاسیم یدید (KI) و پاکسازی مناطق آلوده مهم‌ترین اقدامات در جهت حفظ سلامت مردم منطقه هستند [۱۲]. در مطالعه انجام شده توسط آهنگری و نوری - کلخوران (۲۰۱۹) دوز مؤثر معادل کل (TEDE) و دوز دریافتی توسط تیروئید در صورت بروز حادثه در نیروگاه اتمی بوشهر (در شرایط جوی و آب وهوابی متفاوت) تخمین زده شد. نتایج نشان داد که در صورت بروز حادثه، ساکنین شرق نیروگاه اتمی، بیشترین میزان تشعشع را دریافت خواهند کرد. علاوه بر این، با افزایش ناپایداری جوی و وقوع باد و باران، میزان تشعشع در فواصل دورتر افزایش می‌یابد؛ به طوری که در شرایطی که باد با سرعت ۳/۶ متر بر ثانیه می‌وزد و میزان بارش ۲۰ سانتی‌متر در سال است، احتمال پراکنش تشعشعات خطرناک (بیش از ۱۰ میلی‌سیورت) تا شعاع ۱۰ کیلومتری وجود دارد. علاوه بر این، برای جلوگیری از بروز سرطان تیروئید در مردم، تا شعاع ۳۲ کیلومتری از نیروگاه می‌بایست داروی مکمل KI داده شود [۱۲].

۷-۲-۲- اورانیم فقیر شده

اورانیم فقیر شده^۲ (DU) محصول فرعی نیروگاه‌های هسته‌ای است. به طور معمول در

¹ Effective dose equivalent

² Depleted Uranium

همهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای اورانیم طبیعی به اورانیم غنی شده تبدیل می‌شود و پسماند این غنی‌سازی که بخش عمدهٔ ایزوتوپ ۲۳۵ خود را از دست داده، DU می‌نامند. اورانیم فقیر شده، ۴۰ درصد کمتر از اورانیم طبیعی تشعشع دارد و ۹۹/۸ درصد از آن را اورانیم ۲۳۸ تشکیل می‌دهد. از آنجا که DU تشعشع کم، چگالی بالا و قدرت نفوذ بسیار بالایی دارد، در ساخت سلاح‌های جنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به رغم کاهش پرتوزایی، DU یک فلز سنگین بسیار سمی است و رفتار آن در بدن انسان (عوارض ناشی از در معرض بودن با آن) مانند اورانیم طبیعی است [۳، ۱۷].

نخستین استفاده از DU در سلاح‌های جنگی، در اولین جنگ خلیج فارس در سال ۱۹۹۱ ثبت شده است. در این جنگ، ۳۲۰ تن اورانیم فقیر شده در مساحتی حدود ۲۰ هزار کیلومتر مربع و مربوط به کویت و جنوب عراق تخلیه شد. طی جنگ دوم خلیج فارس (۲۰۰۳)، حدود ۴۳۰ تن DU در خاک عراق تخلیه شد و در پی انفجار مخازن مهمات حاوی اورانیم در دوحهٔ قطر، ۴۶۵ کیلوگرم از هواویزهای اکسید اورانیم در این شهر آزاد شد [۳، ۱۸]. هواویزهای حاوی DU می‌توانند به وسیلهٔ باد به کشورهای منطقه از جمله ایران منتقل شوند. با این حال، در تنها مطالعهٔ انجام شده در جنوب غربی ایران، نشانه‌ای از DU در خاک و هوا یافت نشده است [۱۷]. نویسندگان این مقاله پیشنهاد کرده‌اند که برای اندازه‌گیری DU در مطالعات بعدی، از آنالیز فعال‌سازی نوترونی^۱، که نسبت به اسپکترومتری گاما حساس‌تر است، استفاده شود.

در پی تنفس هواویزهای آلوده به DU، ۹۵ درصد از ذرات درشت بلافاصله پس از استنشاق در بخش‌های بالایی دستگاه تنفسی به دام می‌افتند و از راه سرفه، عطسه و خلط از بدن خارج می‌شوند. در حالی که ذرات بسیار ریز می‌توانند خود را به بافت ریه و از آنجا به سیستم لنفاوی برسانند. از آنجا که انحلال‌پذیری DU در محلول‌های معدوی و رودوی انسان کم است و همچنین ورود DU از پوست سالم غیرمحتمل است، به نظر می‌رسد که جذب گوارشی و پوستی مسیره‌های اصلی رسیدن DU به بدن انسان نیستند [۱۹].

^۱ Neutron Activation Analyses

۷-۲-۳- پرتوزایی طبیعی

یکی از راه‌های مهم در معرض بودن با مواد پرتوزا، مواجهه با پرتوزایی طبیعی محیط است و برای آگاهی از مقدار آن، باید سطح تشعشع اشعه گامای زمینه تعیین شود [۲۰]. تشعشع طبیعی، به شدت به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناختی منطقه مرتبط است. علاوه بر این، جنس مواد به کار رفته در ساختمان نیز می‌تواند در تشعشع طبیعی مؤثر باشد. پرتوزایی طبیعی گاما در استان بوشهر در سه مطالعه بررسی شده است [۲۰-۲۲]. در مطالعه تمجدیدی و بحرینی طوسی، مقدار تابش اشعه گامای زمینه در استان بوشهر از ۴۷/۲ تا ۶۱/۸ نانوسیورت در ساعت (nSv/h) و میانگین دوز مؤثر از ۰/۲۹ تا ۰/۳۸ میلی سیورت در سال (mSv/y) گزارش شده است [۲۱]. در مطالعه پاشازاده و همکاران، مقدار تابش اشعه گاما در پنج بخش مختلف از شهر بوشهر در محیط‌های داخلی و خارجی اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، گستره میانگین تابش گاما در محیط داخلی از ۵۱ تا ۶۹ نانوسیورت در ساعت (nSv/h) و در محیط خارجی از ۴۶ تا ۵۷ نانوسیورت در ساعت (nSv/h) متغیر است و تفاوت معناداری میان ایستگاه‌های بررسی شده وجود ندارد. علاوه بر این، نسبت اشعه گاما در داخل خانه به محیط بیرون حدود ۱/۱۶ گزارش شده است. در این پژوهش، میانگین دوز مؤثر از ۰/۳۱ تا ۰/۴۱ میلی سیورت در سال (mSv/y) گزارش شده است [۲۰]. بنابراین، تشعشع طبیعی گاما در استان بوشهر کم است و که دلیل آن می‌تواند ارتفاع کم و عرض جغرافیایی پایین استان بوشهر باشد [۲۰].

گستره تغییرات هسته‌های پرتوزا (^{137}Cs و ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{238}U) در خاک و رسوبات ساحلی استان بوشهر (از دیلم تا نایبند) توسط عبدی و همکاران (۲۰۰۶) بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین غلظت اورانیم ۲۳۸ در برخی از ایستگاه‌ها بیش از مقدار استاندارد جهانی ۳۵ بکرل بر کیلوگرم است. کمترین مقدار اورانیم و توریم در عسلویه (به ترتیب ۱۲ و ۱۰ بکرل بر کیلوگرم) و بیشتر مقدار آن در گناوه (به ترتیب ۵۲۰ و ۳۳ بکرل بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شده است. غلظت توریم ۲۳۲ در همه نمونه‌ها و غلظت پتاسیم ۴۰ در بیشتر نمونه‌ها کمتر از استانداردهای جهانی (به ترتیب ۳۵ و ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم) بود. بیشترین مقدار پتاسیم در

ایستگاه رستمی (۵۲۰ بکرل بر کیلوگرم) ثبت شده است. علاوه بر این، حضور سزیم ۱۳۷ در ۳ مورد از نمونه‌های رسوب، نشان دهنده آلودگی احتمالی آن‌ها توسط سلاح‌های هسته‌ای است [۲۲].

۷-۲-۴- آب‌های سازندی همراه با نفت

علاوه بر مقدار زیاد ترکیبات آلی، سدیم، کلر و همچنین غلظت‌های متفاوتی از عناصر اصلی و فلزات سنگین (نیکل، وانادیم آرسنیک و...)، آب سازندی همراه با نفت و گاز (PW)^۱ حاوی مواد پرتوزای طبیعی (به خصوص رادیم ۲۲۶ و ۲۲۸) نیز می‌باشد [۲۳]. به طور کلی خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیب این پساب‌ها به موقعیت جغرافیایی میدان نفتی، ویژگی‌های زمین‌شناختی لایه‌های در بردارنده نفت، هیدروکربن تولیدی (نفت یا گاز) و عمر مخزن بستگی دارد [۲۴]. رهاسازی و تخلیه آن‌ها در محیط به وارد آمدن آسیب‌های زیست محیطی منجر می‌شود [۲۵، ۲۶].

گستره تغییرات مواد پرتوزای طبیعی در PW مربوط به ۱۵ چاه در خلیج فارس و استان بوشهر توسط معطر و همکاران در سال ۲۰۰۹ بررسی شده است. در این مطالعه ایزوتوپ‌های ^{208}Ti ، ^{238}U ، ^{40}K ، ^{214}Bi ، ^{214}Pb ، ^{235}U ، ^{228}Ac ، ^{226}Ra اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت ایزوتوپ‌های بیسموت ۲۱۴ و سرب ۲۱۴ در همه نمونه‌ها بیش از ۱۱۱ بکرل بر لیتر (Bq/L) و بالاتر از سایر مواد پرتوزا و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) بود. این دو، ایزوتوپ‌های دختر ناشی از واپاشی رادیم ۲۲۶ می‌باشند. تغییرات ایزوتوپ پتاسیم ۴۰ از ۴/۴ تا ۴۰/۵۰ بکرل بر لیتر گزارش شده است [۲۳]. از آنجا که بیش از ۸۰ درصد از این آب‌ها بدون طی کردن فرآیند تصفیه در خشکی یا خلیج فارس رها می‌شوند، زیست بوم منطقه به شدت در خطر قرار می‌گیرد.

^۱ Produced water

۷-۳- انرژی هسته‌ای و سلامت

ارزیابی خطرات انرژی هسته‌ای بر سلامت بسیار پیچیده و یک موضوع چندلایه است که نیاز به کار میان رشته‌ای فراوانی دارد. اثرات بر سلامت تیپ‌های گوناگون رادیونوکلیدها بر بدن انسان هنوز به خوبی شناخته شده نیستند و مکانیسم‌های بیوشیمیایی آن‌ها نیز به درستی و کافی مورد کاوش قرار نگرفته‌اند. بر همین پایه، اثرات ناخواسته بر سلامت دوزاژ تابش پایین ممکن است اثراتی جدی فراتر از بررسی اثرات بر پایه مدلهای دوزاژ-اثر، از خود داشته باشند. یک راکتور هسته‌ای مقادیر عظیمی مواد رادیواکتیو را به محیط زیست گسیل می‌دارد و این هنگامی است که به شکل طبیعی عمل می‌کند و شواهد تجربی حاکی از وجود اثرات ناخواسته‌ای بر سلامت در نتیجه رهاسازی رایج مواد رادیواکتیو از طریق راکتورهای هسته‌ای می‌باشند [۲۷]. در سطح حیات وحش نشان داده شده است که برخورد با تابش‌های هسته‌ای می‌تواند به زایش مسائل گوناگونی در کل اکوسیستم منجر شود. بر اساس دوزاژ دریافتی، این جانوران می‌توانند از زمان جنینی آسیب دریافت کرده و به مرگ دچار شوند. سلول‌های تولیدمثلی گیاهان نیز می‌توانند از تابش هسته‌ای آسیب دریافت نمایند. در سطح محیط زیست، آب و مایعات دیگر نیز با تابش‌های هسته‌ای آلوده شده و ناپایدار می‌شوند. حتی پس از چندسال از رخداد هسته‌ای در فوکوشیمای ژاپن، هنوز آب آلوده به رادیواکتیو از این راکتور هنوز نشت می‌کند [۲۸].

اگر رخداد‌های هسته‌ای را نیز در نظر نگیریم، راکتورهای هسته‌ای تجاری موجود، مواد رادیواکتیو را به شکل رایج، چه به صورت مایع یا گاز، وارد زیست محیط می‌کنند که چنانچه ورود این مواد برنامه‌ریزی نشده باشد و به صورت غیرپایشی بوده می‌تواند با خطرات زیست محیطی فراوانی همراه شود. چنین است که بر پایه تجزیه و تحلیل تئوری پررو^۱، راکتورهای انرژی هسته‌ای به گونه‌ای باید نگریسته شوند که انگار خطرات درون‌زاد آن‌ها بوده و در طبیعت خود این راکتورها این خطرات نهفته هستند و این خطرات چیزی هستند که نمی‌توان از آن‌ها همیشه اجتناب نمود [۲۹].

¹ Perrow's theory

از سوخت مصرفی راکتورها همهٔ رادیونوکلئیدها به هوا آزاد شده و مقدار قابل توجهی از رادیونوکلئیدها همراه با جزء چشمگیری از اورانیوم، پلوتونیوم و دیگر آکتینیدهای سوخت مصرفی به دریا رها می‌شوند. این در حالی است که فرآیندهای جداسازی، هرگز کامل نیستند (در نتیجهٔ قانون دوم ترمودینامیک). بر اساس چنین پدیده‌ها و واقعیت‌هایی، مدل‌سازی استاندارد واقعی خطرات، امکان‌ناپذیر است؛ زیرا این مدل‌ها برخورد مستقیم به تابش از منابع تابش بیرونی را مدنظر قرار می‌دهند و موارد زیر را لحاظ نمی‌دارند:

(۱) اثرات بیولوژیک رادیونوکلئیدها در سلول‌های زنده، پس از استنشاق و یا هضم مواد

رادیواکتیو از طریق هوا، آب و غذا

(۲) اثرات تاخیری و غیرهذمند

شواهد تجربی ثابت می‌کنند که مدل‌های دوزاژ - اثر کافی نبوده و نمی‌توانند اثرات بر سلامت مشاهده شده از آزادسازی ملکولی از راکتورهای هسته‌ای که این راکتورها در شرایط طبیعی کار می‌کنند را هویدا سازند. در یک مطالعهٔ بزرگ به نام KiKK که توسط دولت آلمان سرپرستی شد، آشکار گردید رخداد لوسمی خون در میان کودکانی که در نزدیک راکتورهای هسته‌ای زندگی می‌کردند، ۱۲۰ درصد و سرطان‌های جسم تو پر تا ۶۰ درصد، افزایش نشان داده‌اند و این نتایج در مطالعات دیگر نیز مورد تایید قرار گرفت [۲۷].

با همهٔ این خطرات ناخواسته بر سلامت انسان و محیط زیست، از سوی دیگر، انرژی هسته‌ای می‌تواند راهی برای محیط زیست سالم نیز باشد زیرا از سوی طرفداران این انرژی، بسته شدن نیروگاه هسته‌ای یک گام برگشت به عقب برای اقلیم، سلامت و اقتصاد است. بر اساس یک برآورد، تصمیم به بسته شدن یک نیروگاه هسته‌ای در سوئد موجب ۲۴۰۰ مرگ قابل اجتناب وابسته به تولید انرژی و افزایش گسیل‌های گاز کربنیک ۹۵ میلیون تنی تا زمان انجام مطالعه خواهد شد [۳۰].

اما در تقابل با این دیدگاه خوش‌بینانه، این واقعیت است که گرچه رخدادهای هسته‌ای شایع نیستند ولی تاکنون پنج مورد شدید از آن‌ها روی داده است که نه تنها موجب اثرات بر سلامت در نتیجهٔ برخورد با تابش‌های هسته‌ای شده‌اند بلکه موارد جدی مؤثر بر سلامت را نیز

آفریده‌اند که آسیب‌های روانی و اجتماعی را باید به آن‌ها اضافه نمود [۳۱، ۳۲]. از سوی دیگر، این نکته را نباید فراموش کنیم که خطر ریزش مواد رادیواکتیو پس از یک رخداد عمده در یک راکتور هسته‌ای باید در مقیاس جهانی نگریسته شود. با استفاده از مدل جهانی اتمسفری، بیش از ۹۰ درصد از سزیوم ۱۳۷ تاییده شده می‌تواند تا شعاع فراتر از ۵۰ کیلومتری انتقال یابد و حدود ۵۰ درصد از آن نیز به شعاع فراتر از ۱۰۰۰ کیلومتری، در پیش از این که ته نشست یابد، منتقل می‌شود. چنین گسترشی حاکی از اثرات بر سلامت تابش‌های هسته‌ای در فراتر از مرزهای رسمی ملی می‌باشد. خطرات برخورد با تابش‌های هسته‌ای انسانی در اطراف راکتورهایی که جمعیت متراکمی دارند مانند جنوب آسیا و اروپای غربی می‌تواند بسیار فاجعه‌آمیز بوده و حدود ۳۰ میلیون نفر از افراد را به مواد رادیواکتیو آلوده سازد [۳۳].

امروزه، دانشمندان پس از رخداد هسته‌ای فوکوشیما در سال ۲۰۱۱ بر این نظر توافق دارند که پیامدهای حوادث هسته‌ای چشمگیر بوده و می‌تواند در هر زمانی در صنعت هسته‌ای روی دهد. بر اساس برآوردهای علمی، حداقل ۵۰ درصد شانس رخداد یک حادثه دیگر مانند فوکوشیما در هر ۶۰ تا ۱۵۰ سال وجود دارد [۳۴]؛ بدین سان می‌بایست از اثرات بر سلامت رخدادهای هسته‌ای، هم‌راستا با اثرات مزمن و تأخیری راکتورهای هسته‌ای که در شرایط طبیعی کار می‌کنند، آگاه بود.

خطرات بر سلامت تابش‌های رادیولوژیک در هر هنگامه از چرخه سوخت هسته‌ای از موادی که تابش از خود ساطع می‌کنند، وجود دارد. موادی که تابش‌های اشعه گاما، ذرات آلفا، ذرات بتا و نوترون دارند، مهم هستند. تابش گاما، ذرات آلفا و بتا، اشکال انرژی تابشی یونیزه هستند که برای شکستن پیوندهای شیمیایی موجود در زیست‌مندان کافی می‌باشند و از این رو برای سلامت انسان بسیار مضرند. نوترون‌ها در حالی که مستقیماً یونیزه نیستند، بسیار نفوذ کننده بوده و می‌توانند انرژی قابل ملاحظه‌ای را بر بافت انسانی فرود آورند. هنگامی که مواد رادیواکتیو، استنشاق می‌شوند و یا مصرف می‌گردند، می‌توانند خطر بسیار چشمگیری را از خود نشان دهند زیرا آن‌ها به سادگی موجب آسیب بافتی در بدن می‌شوند. بستگی به دوزاژ تام، سرعت دریافت دوزاژ، این که کل بدن یا بخشی مورد تابش قرار گیرد، برخورد از طریق

بیرونی یا درونی انجام گیرد، سن فرد در زمان برخورد و ماهیت تابش مورد نظر، اثرات بر سلامت می‌تواند طیف گسترده‌ای را از خود نشان دهد که اشکال گوناگون و متنوع بیماری تابش^۱، بیماری‌های تیروئید، سرطان‌های گوناگون، مسائل طولانی سلامت، اثرات ژنتیکی که می‌توانند در نسل‌های بعدی خود را نشان دهند و مرگ را شامل می‌شود. در مجموعه‌نهایی از اثرات بر سلامت تابش‌های هسته‌ای، مسائل روحی که با سلامت روان در پیوند هستند نیز جای می‌گیرند [۳۵].

بر اساس نتایج حاصله از رخدادهای پیشین در نیروگاه هسته‌ای، گازهای خنثی مانند زنون و کریپتون همراه با ید ۱۳۱، دو ایزوتوپ سزیوم و احتمالاً استرانسیوم، تلوریوم و روییدیوم، آزاد می‌شوند. زنون و کریپتون توسط بدن ابقا نمی‌شوند و اثرات ناچیز دارند اما ید ۱۳۱ و سزیوم، آسیب رسان هستند. ید به صورت فعال توسط غده تیروئید برداشت و در ساخت هورمون‌ها به کار برده می‌شود. این ید رادیواکتیو می‌تواند ذرات بتا را ساطع کند که با برداشت این نوع ید، آسیب DNA و در نتیجه سرطان تیروئید رخ می‌دهد.

پس از حادثه انفجار در راکتور هسته‌ای چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، بیش از ۶۰۰۰ نفر دچار سرطان تیروئید شدند. پس از حادثه چرنوبیل، مقادیر عظیم سزیوم ۱۳۷ نیز تا ۴۰ درصد سطح اروپا انتشار یافت. سطوح زیست محیطی در حیات وحش فزونی یافت و هنوز بعضی از محدودیت‌ها در مصرف بعضی از فرآورده‌های دامی در انگلستان نیز وجود دارند. با این وجود، به شکل جامع به برخورد با سزیوم ۱۳۷ محیطی حاصل از حادثه چرنوبیل و اثرات مستقیم آن بر سلامت در سطح جمعیت انسانی، پرداخته نشده است [۳۶]. اما امروزه کاملاً می‌دانیم که تابش‌های هسته‌ای می‌توانند آسیب در سطح DNA ایجاد کنند؛ به ویژه در سلول‌های در حال تقسیم مانند سلول‌های پوشاننده روده، پوست و مغز استخوان که بسیار مستعد هستند. دوزاژ بالای کافی نیز موجب آسیب در سلول‌های مغزی می‌شود و بدون شک چنین آسیب‌هایی، کشنده می‌باشند.

آسیب کمتر شدید را می‌توان درمان کرد ولی آسیب بر دستگاه گوارش می‌تواند اختلال

^۱ Radiation sickness

در تنظیم و تعادل مایعات بدن را به وجود آورده و موجب عفونت خون شود. در نتیجه آسیب به مغز استخوان نیز هیچ گونه سلول خونی تولید نمی‌شود و عملکرد فیزیولوژیک سلول‌های خونی برای انعقاد و کنترل عفونت مختل می‌گردد. چنانچه این مسائل را بتوان مدیریت نمود، افراد بیمار را می‌توان تا زمانی که دستگاه گوارش و مغز استخوان آغاز به بازآفرینش خود کنند، زنده نگه داشت [۳۶].

در فراتر از این عوارض حاد حاصل از برخورد با تابش‌های هسته‌ای، موضوع مهم دیگر، سلامت افرادی است که در نزدیکی نیروگاه‌های هسته‌ای سکونت دارند. این موضوع بسیار مهم در پژوهش‌های گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است و در متآنالیز سال ۲۰۰۷ که بر روی ۱۳۶ مکان هسته‌ای در فرانسه، آمریکا، اسپانیا، ژاپن، آلمان و کانادا انجام گردیده، فزونی در رخداد لوسمی (نوعی سرطان خون)، در مجاورت با این نیروگاه‌ها مورد تأیید قرار گرفت. پژوهشگران دریافتند که در کودکان تا ۹ سال، نرخ مرگ‌ومیر لوسمی از ۵ تا ۲۴ درصد بالاتر بود و نرخ رخداد لوسمی نیز از ۱۴ تا ۲۱ درصد بالاتر مشاهده شد.

همچنین آشکار گردید که نه تنها خطر سرطان خون در نزدیکی نیروگاه‌های هسته‌ای بالاتر است بلکه همین افزایش کوچک در خطر نیز تا ۷۰ کیلومتری این نیروگاه‌ها وجود دارد. در هر صورت، هر چند که شواهد محکمی برای پیوند مجاورت با نیروگاه‌های هسته‌ای و سرطان خون در کودکان موجود است ولی شاهد چشمگیری برای سرطان‌های با جسم توپر، چه در کودکان و یا بزرگسالان، وجود ندارد. آشکارا، این عدم شواهد، خود گویای آن است که پژوهش‌های بیشتری می‌بایست انجام شود [۳۷]. برخورد با تابش‌های هسته‌ای می‌تواند اثرات کوتاه‌مدت و درازمدت در هر سیستم از ارگان بدن داشته باشد. ما در اینجا به دو پیامد اجتماعی پس از برخورد با تابش‌های هسته‌ای اشاره می‌کنیم که شامل بیماری پرتویی حاد و سرطان‌ها به ویژه سرطان تیروئید است.

۷-۳-۱- بیماری پرتویی حاد

هنگامی که اکثر و یا همه بخش‌های بدن در معرض یک دوزاژ واحد بیش از یک گری (Gy)

تابش قرار گیرد، بیماری پرتویی حاد ممکن است رخ دهد. عمده بیماری زایی و مرگ‌ومیر حاصل از این پرتوگیری به دلیل پیامدهای پوستی، خونی و گوارشی می‌باشد. در رخداد چرنوبیل، همه ۳۴ بیمار با بیماری پرتویی حاد دچار افت فعالیت مغز استخوان شدند و ۱۹ نفر درماتیت گسترده پیدا کردند و ۱۵ نفر نیز دچار عوارض شدید گوارشی شدند. عوارض خونی و گوارشی شایع هستند زیرا اپی تلیوم مغز استخوان و روده، به ویژه نسبت به پرتوهای هسته‌ای، حساسیت دارند که دلیل آن بالابودن نرخ پرشتاب تکثیر آن‌ها است.

جدول ۷-۲- فازهای آسیب پرتویی

دوزاژ Gy	فاز پیش نشانگی	فاز تظاهرات بالینی	پیش‌آگهی بدون مراقبت‌های حمایتی
۰/۵ - ۱	خفیف	کاهش ملایم در شمارش گلبول‌های خونی	بقا
۱ - ۲	خفیف - متوسط	مقداری آسیب مغز استخوان	بقا < ۹۰ درصد
۲ - ۳/۵	متوسط	آسیب مغز استخوان متوسط - شدید	احتمال بقا
۳/۵ - ۵/۵	شدید	آسیب مغز استخوان شدید؛ آسیب ملایم دستگاه گوارش	مرگ در ۳/۵-۶ هفته (۵۰ درصد از قربانیان)
۵/۵ - ۷/۵	شدید	سایتوپنی گسترده و آسیب متوسط دستگاه گوارش	مرگ احتمالی در طی ۲-۳ هفته
۷/۵ - ۱۰	شدید	آسیب دستگاه گوارش و مغز استخوان شدید	مرگ احتمالی در طی ۲ هفته
۱۰	شدید	آسیب شدید دستگاه گوارش، آسیب پرتویی ریه، تغییر وضعیت روانی، در دوزاژ بالاتر (< ۲۰ Gy)، کلاپس قلبی - عروقی، تب، شوک	مرگ در طی ۲ هفته

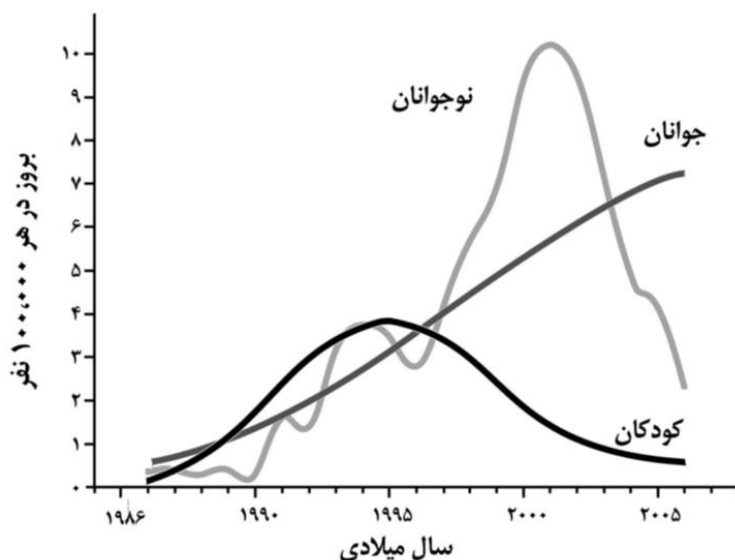
اثرات توکسیک پوستی شایع هستند زیرا پرتوی گاما با انرژی پایین بیرونی و پرتوهای بتا عمدتاً در پوست جذب می‌شوند. چنانچه دوزاژ کل بدن بی‌نهایت بالا باشد (بالاتر از ۲۰

گری)، می‌تواند درگیری شدید و حاد عصبی - عروقی رخ دهد. بیماری پرتویی حاد را می‌توان در سه فاز طبقه‌بندی نمود: هنگامهٔ پیش‌نشانه، هنگامهٔ خفگی و هنگامهٔ بیماری. جدول ۷-۲، علائم و نشانگان بیماری پرتویی حاد را در سه فاز پس از برخورد با پرتوهای هسته‌ای را نشان می‌دهد. تظاهرات پوستی بیماری پرتویی حاد شامل اریتم خفیف و خارش با دوزاژ پوستی در حد محدود (۳ تا ۱۵ گری) و تاول‌زایی همراه با زخم با دوزاژ پوستی بالا (بالتر از ۱۵ گرمی) می‌باشد [۳۸].

۷-۳-۲- سرطان‌ها

در منطقهٔ اطراف چرنوبیل، بیش از ۵ میلیون نفر در معرض پرتوگیری که عمدتاً آلودگی با ید ۱۳۱ و ایزوتوپ‌های سزیوم بود، قرار گرفتند. گرچه برخورد با ریزش‌های راکتور اتمی ممکن است موجب بیماری حاد نشود ولی این احتمال وجود دارد که خطر سرطان را در درازمدت در این افراد افزایش دهد. پیکان هدف بر روی خطر سرطان خون (لوسمی) و سرطان‌های جسم توپر است [۳۸]. پس از حادثهٔ نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، افزایش چشمگیری در سرطان‌های تیروئیدی در کودکان بلاروس، بخش کوچکی از فدراسیون روسیه و بخش شمالی اوکراین، مشاهده گردید.

به صورت طبیعی، سرطان تیروئید در کودکان نادر است و تقریباً شکی نیست که افزایش سرطان تیروئید در کودکان این مناطق، به دلیل قرارگیری در معرض رادیوایزوتوپ‌های ید که در بارش اتمی موجود بوده‌اند، روی داده است. حدود ۱۸۰۰ مورد سرطان تیروئید تا سال ۱۹۹۸ در افرادی که در زمان حادثه کودک و یا نوجوان بودند، گزارش شده است. میزان رخداد سرطان تیروئید در کودکان ۱-۰ ساله، تقریباً دو برابر کودکانی بود که در موقع پرتوگیری ۲-۳ سال سن داشتند. داده‌ها برای بررسی میزان رخداد سرطان تیروئید در بزرگسالان، کمتر آشکار است. اما افزایش ۳ تا ۴ برابری در میزان سرطان تیروئید بزرگسالان، در بلاروس، گزارش شده است ولی افزایشی سه برابری که در بخش‌هایی از فدراسیون روسیه دیده شده است را به برنامه‌های غربالگری، اطلاق کرده‌اند.



شکل ۷-۳- میزان بروز سرطان تیروئید در کودکان، نوجوانان و جوانان بلاروسی، پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل

به طور کلی، با داده‌های کنونی، نمی‌توان افزایش در سرطان تیروئید در هنگامی که فرد در زمان پرتوگیری در سنین بزرگسالی بوده است را کنار گذاشت ولی باید گفت که این خطر به نسبت ناچیز است. با این وجود، مطالعات بیشتری نیاز است تا انجام شود. زیرا احتمال رخداد تومورهایی با دوران نهفتگی طولانی وجود دارد که می‌بایست گذشت زمان آن‌ها را نشان دهد. بر اساس مطالعات پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل، کاملاً آشکار است که خطر سرطان تیروئید در واحد دوزاژ برای کودکان زیر ۱۰ سال، بالاتر از بزرگسالان بوده و بر پایه این یافته‌ها، فاکتور سه برای کودکان زیر ۱۰ سال، در مقایسه با کودکانی که در زمان پرتوگیری بالای ۱۰ سال هستند، پیشنهاد شده است. مقدار بالاتر خطر نسبی برای کودکان با سن کمتر در مقایسه با بزرگسالان، احتمالاً به دلیل وابستگی این کودکان به شیر آلوده و مصرف بیشتر شیر توسط آن‌ها در زمان حادثه بوده است.

چنین بوده است که ۴ سال پس از حادثه نیروگاه چرنوبیل، در کودکان و نوجوانان، ما با

یک افزایش رخداد سرطان تیروئید روبه‌رو می‌شویم که میزان مشاهده شده سرطان تیروئید در میان کودکانی که بین صفر تا ۴ سال در زمان حادثه سن داشته‌اند، ۳۰ تا ۶۰ برابر میزان مورد انتظار، افزایش از خود نشان می‌دهد. در سال‌های پس از حادثه چرنوبیل، رخداد سرطان تیروئید در مناطقی که بیشتر آسیب دیده بودند، تا میزان ۱۰۰ برابر زمان پیش از حادثه، فزونی یافت.

در هر صورت، پس از حادثه چرنوبیل، به هزاران کودک تا چند گری (Gy) پرتو تابیده شده بود. اکثر موارد سرطان تیروئید در کودکانی روی داد که تا ۳۰۰ میلی‌گری (mGy)، پرتو دریافت کرده بودند. اما باید توجه نشان داد که در مناطقی که میانگین دوز دریافتی به کودکان زیر ۱۰۰ میلی‌گری بوده نیز افزایش رخداد سرطان تیروئید مشاهده شده است. افزایش بروز سرطان‌های تیروئید تا شعاع ۵۰۰ کیلومتری حادثه نیز مشاهده گردید. گستره آلودگی با ید رادیواکتیو و نیز تعداد زیاد کودکانی که در معرض این ایزوتوپ‌ها قرار گرفتند، این افزایش را قابل درک می‌نماید. در یک دید جامع، حادثه چرنوبیل به ما آموخت که این امکان وجود دارد که مقادیر بالایی از ید رادیواکتیو، در گستره‌ای وسیع انتشار یافته و اثرات زیان‌آور خود را نمایان سازد.

در هر صورت، سرطان تیروئید در کودکانی که در معرض پرتوگیری هسته‌ای بوده‌اند وجود دارد و یکی از پژوهشگران در سال ۲۰۰۷ در مورد فاجعه چرنوبیل چنین نوشت: "بیست سال پس از رخداد، فزونی در سرطان تیروئید هنوز رخ می‌دهد... ما می‌توانیم افزایش در سرطان‌های تیروئید که با پرتوگیری همبستگی دارند را برای چندین دهه آینده نیز انتظار داشته باشیم" [۳۹]. یکی از راه‌های پیشگیری از سرطان تیروئید پس از رخداد هسته‌ای که با آزادسازی ید ۱۳۱ توأم است، مصرف قرص یدیدپتاسیم است. یدیدپتاسیم می‌تواند برداشت ید ۱۳۱ را در تیروئیدی که در معرض پرتوهای هسته‌ای قرار گرفته است، منع نماید. اما برای این که این اقدام مؤثر باشد، تجویز پیشگیرانه یدیدپتاسیم باید در طی چند ساعت پس از برخورد با ید ۱۳۱ باشد زیرا تجویز این دارو پس از یک روز اثرات بسیار محدودی خواهد داشت مگر این که پرتوگیری هسته‌ای ادامه داشته باشد. گرچه مصرف یدیدپتاسیم می‌تواند همراه با

اثرات توکسیک باشد، اما تجربهٔ لهستانی‌ها که پس از حادثهٔ چرنوبیل که از یدیدپتاسیم به صورت انبوه در سطح جمعیت استفاده کردند و به بیش از ۱۰ میلیون کودک و نوجوان یک دوز واحد از آن را تجویز کردند، نشان داد که این عوارض بسیار ناچیز است [۳۸].



شکل ۷-۴- کودکانی که در زمان رخداد چرنوبیل زیر ۸ سال سن داشتند، ۸۰ درصد از موارد سرطان تیروئید را پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل به خود اختصاص می‌دهند. سرطان تیروئید در این افراد، به شکل تهاجمی همراه با متاستاز منطقه‌ای، تظاهر می‌کند.

تجربهٔ لهستان که بزرگترین برنامهٔ جمعیتی تجویز یدیدپتاسیم تا کنون می‌باشد، نشان داد که این برنامه بسیار سودمند بوده و با ایمنی بالا توأم می‌باشد. از آنجا که هیچ افزایش بروز سرطان تیروئیدی پس از رخداد هسته‌ای چرنوبیل در لهستان گزارش نشده و عوارض جانبی نسبت به یدیدپتاسیم بسیار نادر بوده است، این تجربه، موفقیت برنامهٔ پیشگیری با یدیدپتاسیم (ید پایدار) را در رخداد‌های هسته‌ای به نمایش می‌گذارد [۴۰].

۷-۴- منابع

- 1) Hassanvand, M. and Mirnejad, Z., Hydrodynamic model of radionuclide dispersion during normal operation and accident of Bushehr nuclear power plant. *Progress in Nuclear Energy*, 2019. 116: p. 115-123.
- 2) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, *Essentials of medical geology*. 2016: Springer.
- 3) Bešić, L., Muhović, I., Mrkulić, F., *et al.*, Meta-analysis of depleted uranium levels in the Middle East region. *Journal of environmental radioactivity*, 2018. 192: p. 67-74.
- 4) Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., *Trace elements from soil to human*. 2007: Springer Science & Business Media.
- ۵) قاسمی، م.س.، بررسی و ارزیابی دوز دریافتی مردم در نتیجه وقوع حوادث احتمالی در نیروگاه هسته‌ای (بوشهر). ۱۳۸۷، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران. ایران.
- ۶) ملکوتی، ح.، محمدیها، ا. و نژاد، م.ف.، شبیه‌سازی عددی سالانه پخش جوی رادیونوکلوئیدی و طراحی شبکه پایش بهینه در واحد یکم نیروگاه بوشهر. *محیط شناسی*، ۱۳۹۴. ۴۲(۳): ۴۸۷-۴۷۵.
- 7) Barzegari, M., Aghaie, M., and Zolfaghari, A., Assessment of fuel-rod meltdown in a severe accident at Bushehr nuclear power plant (BNPP). *Nuclear Science and Techniques*, 2019. 30(4): p. 55.
- 8) Feyzinejad, M., Malakooti, H., Sadrinassab, M., *et al.*, Radiological dose Assessment by Means of a Coupled WRF-HYSPLIT Model under Normal Operation of Bushehr Nuclear Power Plant. *Pollution*, 2019. 5(2): p. 429-448.
- 9) Pirouzmand, A., Kowsar, Z., and Dehghani, P., Atmospheric dispersion assessment of radioactive materials during severe accident conditions for Bushehr nuclear power plant using HYSPLIT code. *Progress in Nuclear Energy*, 2018. 108: p. 169-178.
- 10) Zali, A., Zafarghandi, M.S., Fegghi, S., *et al.*, Public member dose assessment of Bushehr Nuclear Power Plant under normal operation by modeling the fallout from stack using the HYSPLIT atmospheric dispersion model. *Journal of environmental radioactivity*, 2017. 171: p. 1-8.

- 11) Pirouzmand, A., Dehghani, P., Hadad, K., *et al.*, Dose assessment of radionuclides dispersion from Bushehr nuclear power plant stack under normal operation and accident conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015. 40(44): p. 15198-15205.
- 12) Ahangari, R. and Noori-Kalkhoran, O., A study of the protective actions for a hypothetical accident of the Bushehr nuclear power plant at different meteorological conditions. *Radiation and environmental biophysics*, 2019. 58(2): p. 277-285.
- 13) Aghaie, M., Minuchehr, A., and Alahyarizadeh, G., Evaluation of atmospheric dispersion of radioactive materials in a severe accident of the BNPP based on Gaussian model. *Progress in Nuclear Energy*, 2019. 113: p. 114-127.
- 14) Sohrabi, M., Parsouzi, Z., Amrollahi, R., *et al.*, Public exposure from environmental release of radioactive material under normal operation of unit-1 Bushehr nuclear power plant. *Annals of Nuclear Energy*, 2013. 55: p351-358.
- 15) Sohrabi, M., Ghasemi, M., Amrollahi, R., *et al.*, Assessment of environmental public exposure from a hypothetical nuclear accident for Unit-1 Bushehr nuclear power plant. *Radiation and environmental biophysics*, 2013. 52(2): p. 235-244.
- 16) (AEOI), A.E.O.o.I., Final Safety Analysis Report of BNPP-1. 2015: Moscow, Russia.
- 17) Yousefi, H. and Najafi, A., Assessment of depleted uranium in South-Western Iran. *Journal of environmental radioactivity*, 2013. 124: p. 160-162.
- 18) Danesi, P. and Telleria, D. Radiological conditions at four selected sites in South Iraq with residues of depleted uranium. in *Proceedings of IRPA12: 12. Congress of the International Radiation Protection Association: Strengthening Radiation Protection Worldwide-Highlights, Global Perspective and Future Trends*. 2010.
- 19) Harley, N.H., Foulkes, E.C., Hilborne, L.H., *et al.*, A Review of the Scientific Literature As It Pertains to Gulf War Illnesses. Volume 7 Depleted Uranium. 1999, RAND NATIONAL DEFENSE RESEARCH INST SANTA MONICA CA.
- 20) Pashazadeh, A.M., Aghajani, M., Nabipour, I., *et al.*, Annual effective dose from environmental gamma radiation in Bushehr city. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2014. 12(1): p. 4.
- 21) Tamjidi, A. and Bahreyni Toossi, M. An assessment of annual effective dose and sensitive organ dose from environmental gamma radiation in cities of Boushehr province. in *The 6th Iranian Congress of Medical Physics*, Mashhad, Iran. 2004.
- 22) Abdi, M., MOSTAJAB, A.S., HASANZADEH, A., *et al.*, Distribution of natural radionuclides on coasts of Bushehr, Persian Gulf, Iran. 2006.
- 23) Moatar, F., Shadizadeh, S., Karbassi, A., *et al.*, Determination of naturally occurring radioactive materials (NORM) in formation water during oil exploration. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 2010. 283(1): p. 3-7.

- 24) Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L.C., *et al.*, Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *J Hazard Mater*, 2009. 170(2-3): p. 530-51.
- 25) da Silva, S.S., Chiavone-Filho, O., de Barros Neto, E.L., *et al.*, Oil removal from produced water by conjugation of flotation and photo-Fenton processes. *Journal of environmental management*, 2015. 147: p. 257-263.
- 26) Franco, C.A., Nassar, N.N., and Cortes, F.B., Removal of oil from oil-in-saltwater emulsions by adsorption onto nano-alumina functionalized with petroleum vacuum residue. *J Colloid Interface Sci*, 2014. 433: p. 58-67.
- 27) Storm van Leeuwen, J., Health risks of nuclear power. *Ceedata energy analysis, Briefing*. 2010.
- 28) Islam, M.Z. and Hassan, M.S. Environmental & health effects of nuclear radiation and various aspects of nuclear power plant in Bangladesh. in *2nd International Conference on Green Energy and Technology*. 2014. IEEE.
- 29) Kyne, D. and Harris, J.T., A Longitudinal Study of Human Exposure to Potential Nuclear Power Plant Risk. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2015. 6(4): p. 399-414.
- 30) Qvist, S.A. and Brook, B.W., Environmental and health impacts of a policy to phase out nuclear power in Sweden. *Energy Policy*, 2015. 84: p. 1-10.
- 31) Hasegawa, A., Tanigawa, K., Ohtsuru, A., *et al.*, Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *The Lancet*, 2015. 386(9992):p. 479-488.
- 32) Ho, J.-C., Lee, C.-T.P., Kao, S.-F., *et al.*, Perceived environmental and health risks of nuclear energy in Taiwan after Fukushima nuclear disaster. *Environment international*, 2014. 73: p. 295-303.
- 33) Lelieveld, J., Kunkel, D., and Lawrence, M.G., Global risk of radioactive fallout after major nuclear reactor accidents. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012. 12(9): p. 4245.
- 34) Wheatley, S., Sovacool, B.K., and Sornette, D., Reassessing the safety of nuclear power. *Energy Research & Social Science*, 2016. 15: p. 96-100.
- 35) McGovern, M.H. and Tiwari, J., Nuclear energy impacts on health PEACE STUDIES, PUBLIC POLICY AND GLOBAL SECURITY –Volume IX, 2010: p. 333.
- 36) Mackenzie, D., Briefing: How nuclear accidents damage human health. 2011: New Scientist.
- 37) Karamoskos, P., Nuclear Power and Public Health. Briefing Paper, 2010. 22.
- 38) Christodouleas, J.P., Forrest, R.D., Ainsley, C.G., *et al.*, Short-term and long-term health risks of nuclear-power-plant accidents. *New England journal of medicine*, 2011. 364(24): p. 2334-2341.

- 39) Cuttler, J.M. and Pollycove, M., Nuclear energy and health: and the benefits of low-dose radiation hormesis. *Dose-Response*, 2009. 7(1): p. dose-response. 08-024. Cuttler.

۴۰) نبی‌پور، ا. و اسدی، م.، کاربرد ید پایدار در رخدادهای هسته‌ای. ۱۳۹۰، بوشهر، ایران انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر.

فصل هشتم

گردوغبار در استان بوشهر

۸-۱- آلاینده‌های جوی

بسیاری از آلاینده‌های در جو رها شده، به صورت گازها، هواویزها و ذرات معلق جابه‌جا می‌شوند و در نهایت بر سطح زمین نهشته می‌شوند. آلاینده‌های معلق و نهشته شده توسط گیاهان جذب یا توسط انسان‌ها و حیوانات تنفس می‌شوند. آتش‌فشان‌ها، چشمه‌های آب‌گرم، آتش‌سوزی طبیعی جنگل‌ها و فرسایش بادی سطح خاک از مهم‌ترین منابع زمین‌زاد آلاینده‌های جوی هستند. در حالی که از میان فعالیت‌های مختلف انسان‌زاد، ترافیک کلان‌شهرها و فعالیت‌های معدن‌کاری، صنعتی و کارخانه‌ای بیشترین سهم را در آلودگی جو دارند.

غبار هوابرد از راه‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند بر سلامت انسان مؤثر باشند. تنفس غبار معلق و باز تعلیق شده، بلع غبار نهشته شده بر سطوح و تماس پوستی با غبار از مهم‌ترین راه‌های در معرض بودن مستقیم با غبار هستند. نهشت غبار بر سطح دریا و ورد به اندامگان‌های دریایی، نهشت بر آب‌های سطحی و انتقال به آب‌های زیرزمینی، آلودگی خاک و در نهایت گیاه از مهم‌ترین راه‌های در معرض بودن غیرمستقیم هستند.

ذرات در اندازه سیلت، به خصوص در گستره ۱۰ تا ۵۰ میکرومتر به راحتی توسط باد در مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی جابه‌جا می‌شوند؛ در حالی که ذرات کمتر از دو میکرومتر خاک‌ها و رسوبات به دلیل نیروی چسبندگی بین‌دانه‌ای، به راحتی توسط باد جابه‌جا نمی‌شوند. این ذرات به طور معمول، به ذرات بزرگ‌تر می‌چسبند و به صورت مخلوطی از ذرات سیلت و رس اندازه جابه‌جا می‌شوند. به همین دلیل، سرعت باد مورد نیاز برای انتقال مواد مختلف، متفاوت است.

سیلیس بیش از ۲۵ درصد از کل کانی‌های کره زمین را تشکیل می‌دهد. این عنصر به راحتی با اکسیژن ترکیب شده و سیلیکات‌ها را می‌سازند که یکی از رایج‌ترین آن‌ها کوارتز است. بیش از ۵۰ درصد از غبارهای با منشأ زمین‌زاد که از خاک‌ها و رسوبات در مناطق خشک ایجاد می‌شوند، از SiO_2 تشکیل شده است. علاوه بر این، حضور کانی‌های رسی (کائولینیت، ایلیت، کلریت، ورمیکولیت و اسمکتیت)، کلسیت، ژیپس و ترکیبات آهن نیز در غبار فراوانند. افزون بر بخش کانیایی غبار، قطعات زیستی (فیتولیت‌ها، اسفنج‌ها و دیاتومه‌ها) و آلاینده‌های آلی نیز در غبار حضور دارند که اندازه آن‌ها کمتر از ۵ میکرومتر است و قابل استنشاق می‌باشند [۱].

میزان آلودگی جوی بر اساس موقعیت جغرافیایی متغیر است و به شدت به وضعیت جوی و منابع آلاینده مرتبط است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک منابع غبار جوی بیشتر طبیعی و فصلی هستند. ذرات ریزی که از بیابان‌ها و صحرا وارد جو می‌شوند قابلیت انتقال تا فواصل دور را دارند. در حالی که بسیاری از آلاینده‌هایی که از آگروز خودروها خارج می‌شوند اندازه بزرگی دارند و دوربرد نیستند و بیشتر به عنوان منبعی برای غبار خیابانی در هر منطقه در نظر گرفته می‌شوند [۱].

طوفان‌های غبار مشکلات زیست‌محیطی فراوانی از جمله کاهش دید، کاهش باروری خاک و آسیب به بذرها و گیاهان، کاهش اشعه آفتاب و بهره‌وری وسایل خورشیدی، آسیب به سیستم‌های مکانیکی و آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی/ قلبی - عروقی را در پی دارد. بر اساس مطالعات انجام شده، رابطه مثبت و معناداری میان مقدار غبار و سرعت باد وجود دارد در حالی که رابطه میان مقدار غبار و اندازه ذرات منفی است. کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا به شدت در معرض طوفان‌های غبار هستند [۲]. طوفان غبار در غرب ایران بیشتر از بیابان‌های سوریه، عراق و عربستان سعودی نشأت می‌گیرد [۳].

۸-۲- اثرات سلامتی گردوغبار

تنفس ذرات غبار، بسته به اندازه، ترکیب و عملکرد ریه می‌تواند عوارض به خصوصی ایجاد کند. ذرات درشت (کمتر از ۱۰۰ میکرومتر) معمولاً در فاصله نزدیکی نسبت به مبدأ، فراوان

هستند و به راحتی نهشته می‌شوند. در معرض بودن با این ذرات به طور معمول منجر به سوزش چشم، خارش گلو و سرفه می‌شود. در نهایت نیز، ذرات رسیده به حلق توسط سرفه و خلط خارج می‌شود. با این حال، ذراتی که اندازه بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر دارند و حاوی کانی‌های سمی هستند، می‌توانند بسیار خطرناک باشند. از سوی دیگر، ذراتی که اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر دارند، برای مدت طولانی‌تری در هوا معلق می‌مانند. ذرات در کسر اندازه ۵ تا ۱۰ میکرومتر قابل تنفس هستند و در بخش‌های فوقانی دستگاه تنفسی به دام می‌افتند و معمولاً با سرفه خارج می‌شوند. ذراتی که اندازه کمتر از ۵ میکرومتر دارند به لایه‌های پایین‌تر ریه نفوذ می‌کنند و بسته به ترکیب شیمیایی بیماری سیلیکوزیس، آزیستوسیس و سایر بیماری‌های ریه را ایجاد می‌کنند. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ذرات کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر، مهم‌ترین ذرات برای سلامتی انسان است. از آنجا که غبارهای محیطی می‌توانند حاوی گازها، باکتری‌های بیماری‌زا و حتی ترکیبات سرطان‌زا باشند، در معرض بودن با آن‌ها می‌تواند بیماری‌های متفاوت و حتی مرگ‌ومیر در پی داشته باشد [۱]. هر سال تعداد زیادی از انسان‌ها در اثر بیماری‌های قلبی - عروقی، تنفسی و سرطان ریه ناشی از آلودگی هوا که می‌تواند از هر دو منبع زمین‌زاد و انسان‌زاد منشأ گرفته باشد، جان خود را از دست می‌دهند.

پنوموکونیوزیس^۱، گروهی از بیماری‌های ریوی مانند سیلیکوزیس و آزیستوسیس است که نشان دهنده تنفس طولانی‌مدت غبار کانیایی است. بهترین مثال از مبتلایان به این بیماری، کارگران معادن هستند که به نوموکونیوسیس شغلی مبتلا می‌شوند. بسیاری از عوارض این بیماری‌ها، در غیاب رادیوگرافی چندان اختصاصی نیستند. در حالی که با استفاده از روش رادیوگرافی بعد از این که گرهک‌های سیلیکونی به اندازه ۲ تا ۵ میلی‌متر رسید، به راحتی می‌توان بیماری را تشخیص داد. در معرضی بیشتر با آلاینده باعث می‌شود گرهک‌ها بزرگ‌تر شده و سطح بیشتری از ریه را پوشش دهند که به آن فیبروزیس ریوی پیش‌رونده می‌گویند. بسیاری از ذرات تنفس شده، با استفاده از ماکروفاژها از بین می‌روند اما برخی از آن‌ها بسیار پایدارند و برای مدت طولانی در حفره‌های ریه و گرهک‌های لنف باقی می‌مانند. با این

^۱ Pneumoconioses

حال، برخی از این ذرات پایدار، مشکلی ایجاد نمی‌کنند اما سایر آن‌ها سلول‌های فیبروبلاستی را تحریک می‌کنند تا کلاژن را رسوب دهند. سیلیس، ماده بسیار فیبروژنیکی در بافت ریه است و واکنش آن با سایر مواد که به ریه نفوذ می‌کند متفاوت است. بسیاری از افرادی که به سیلیکوزیس مبتلا هستند، مستعد ابتلا به سل نیز می‌شوند؛ چرا که علاوه بر تخریب بافت ریه، سیلیکوزیس سیستم ایمنی فرد بیمار را به شدت ضعیف می‌کند و در نتیجه عملکرد ماکروفاژها بر سل باسیل را به شدت کاهش دهند.

آزبست که در بسیاری از محیط‌های زمین‌شناختی حضور دارد، کانی دیگری است که تنفس آن آسیب‌های مهمی در ریه ایجاد می‌کند. کریزوتیل، کروسیدولیت، ترمولیت و اورینیت از کانی‌های حاوی آزبست هستند. آزبست کانیایی به واسطه هوازدگی و فرسایش آزاد می‌شوند. از بیماری‌های ناشی از استنشاق آزبست می‌توان آزبیتوسیس، مزوتلیوما (سرطان پرده جنب) و سرطان ریه اشاره کرد [۱].

۸-۳- گردوغبار در استان بوشهر

طی چند سال اخیر، گردوغبار جوی به یک نگرانی زیست‌محیطی در استان بوشهر تبدیل شده است. گردوغبار جوی استان بوشهر هم به پدیده طوفان‌های غبار و هم به آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی مرتبط است. صرف‌نظر از منشأ، غبار به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت مردم استان بوشهر تأثیر دارد.

نتایج داده‌کاوی^۱ بر اساس داده‌های ۵۳ ساله (۲۰۰۳-۱۹۵۱) آب‌وهوای بندر بوشهر نشان داد که میزان رطوبت هوا و طوفان غبار رابطه معکوس دارند به طوری که با افزایش رطوبت هوا، تعداد روزهای غباری کاهش می‌یابد [۴]. علاوه بر این، برآورد تعداد موارد بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی ناشی از در معرضی با ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر در شهروندان بندر بوشهر در سال ۱۳۹۲ انجام شده است [۵]. در این مطالعه، از مدل سازمان جهانی بهداشت (Air Q_{2.2.3}) استفاده شد. نتایج نشان داد که گستره تغییرات سالیانه ذرات کمتر از

¹ Data Mining

۱۰ میکرومتر معلق در شهر بوشهر از ۴۹/۷۲ تا ۴۵۴/۶۲ میکروگرم بر مترمکعب بود و تعداد بیماران قلبی - عروقی منتسب به این ذرات برابر با ۱۳۰ نفر برآورد شد. در حالی که برآورد شاخص‌های خطر نسبی نشان داد که میانگین تعداد افراد در معرض خطر، ۳۴۶ نفر بود. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد مراجع سرپایی به علت بیماری تنفسی با افزایش غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر افزایش یافته است.

بررسی غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در غبار شهرستان‌های بوشهر و عسلویه نشان داد که میانگین PM_{10} در هر دو منطقه بیشتر است. در بوشهر، گستره تغییرات $PM_{2.5}$ از ۲۲/۰۹ تا ۲۹۲/۴۵ میکروگرم بر مترمکعب (با میانگین ۶۵/۷۷ میکروگرم بر مترمکعب) متغیر بود [۶] و میانگین غلظت PM_{10} ۱۴۳/۷ میکروگرم بر مترمکعب بود [۷]. در حالی که گستره تغییرات غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در غبار عسلویه به ترتیب از ۴۷/۱۶ تا ۳۴۸ میکروگرم بر مترمکعب (با میانگین ۱۴۳ میکروگرم بر مترمکعب) و از ۱۹/۷ تا ۷۶ میکروگرم بر مترمکعب (با میانگین ۴۶/۴ میکروگرم بر مترمکعب) متغیر بود [۸]. بر اساس استاندارد WHO و USEPA مقدار مجاز PM_{10} به ترتیب ۶۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و $PM_{2.5}$ به ترتیب ۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است که در هر دو شهر بیش از استانداردهای جهانی است. غلظت ذرات در زمان‌های مختلف تابعی از سرعت و جهت باد، بارش و منشأ غبار (فعالیت‌های شهری و صنعتی) است. میانگین غلظت ذرات غبار در روزهای گردوغباری می‌تواند تا ۲/۵ برابر روزهای عادی باشد [۶]. علاوه بر این، رابطه مثبت و معناداری میان غلظت PM_{10} و بروز بیماری‌های تنفسی وجود دارد [۷].

عناصر نادر خاکی (REE ها) معمولاً در تعیین منشأ غبار مورد استفاده قرار می‌گیرند. رفتار آن‌ها در محیط‌های طبیعی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند هوازدگی، سنگ منشأ، فاکتورهای خاک (محتوای مواد آلی، قلیائیت و شرایط اکسایشی - کاهش‌ی) و آب‌وهوا قرار دارد [۹]. در مطالعه عباسی و همکاران (۲۰۲۰) از روش اندازه‌گیری REE‌ها برای تعیین منشأ غبار عسلویه استفاده شده است. نتایج نشان داد که همه نمونه‌های غبار خیابان و برخی نمونه‌های غبار معلق کل و PM_{10} در شهرستان عسلویه منشأ محلی دارند و ترکیب آن‌ها به

خاک‌های منطقه و سنگ‌آهک نزدیک است. در حالی که نتایج بررسی $PM_{2.5}$ نشان داد که ترکیب آن‌ها با خاک‌های منطقه یکسان نیست. نمونه‌هایی که ترکیب متفاوتی را نشان دادند می‌توانند در پی فعالیت‌های مختلف (صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها) ایجاد شده باشند و یا اساساً دوربرد (منشأ عربستان و عراق) باشند [۸].

بررسی ترکیب کانی‌شناختی ذرات غبار در شهرستان عسلویه نیز نشان داد که سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، ایلیت و هالیت از مهم‌ترین منابع غبار در منطقه هستند [۸، ۱۰]. بر اساس نتایج آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) مهم‌ترین کانی‌های غبار خیابانی در شهرستان عسلویه عبارتند از: کلسیت، دولومیت، کوارتز، موسکویت، کائولینیت، آلبیت، ژپس، ریبکیت، کلریت، ناترولیت و آنکریت. علاوه بر این، ذرات ناشی از فعالیت‌های پتروشیمی نیز در غبار منطقه به وفور یافت می‌شوند [۱۰]. در حالی که کلسیت، دولومیت، کوارتز، مگنیزیت، فلدسپار، ژپس و هالیت مهم‌ترین کانی‌های غبار خیابانی بندر بوشهر هستند. با این حال، حضور ذرات غیرکانیایی که از آگروز اتومبیل‌ها و سایر فعالیت‌های شهری نشأت می‌گیرند غیرقابل چشم‌پوشی است [۱۱].

علاوه بر بخش کنیایی غبار، به طور معمول آلاینده‌های جوی مختلفی از قبیل فلزات سنگین، مواد آلی و گازهای جوی به ذرات غبار متصل می‌شوند و اثرات بیماری‌زایی آن‌ها را تشدید می‌کند. در ادامه به بررسی برخی از این آلاینده‌ها در نمونه‌های غبار استان بوشهر پرداخته می‌شود.

۸-۳-۱- فلزات سنگین

ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار جوی استان بوشهر در مطالعات مختلفی انجام شده است و نتایج همه آن‌ها به جز مقاله نادری زاده و همکاران (۲۰۱۶) در جدول ۸-۱ قابل مشاهده است. در این مطالعه، غلظت‌های اندازه‌گیری شده در منطقه شهری بوشهر، منطقه صنعتی عسلویه و منطقه بین‌شهری میان این دو شهر، به تفکیک ارائه نشده و میانگین همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدولی ارائه شده است؛ به همین دلیل مقایسه آن با سایر مطالعات و همچنین بررسی‌های عمیق‌تر در خصوص میزان آلودگی هر یک از این نقاط بسیار دشوار است.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف به نظر می‌رسد که عناصر منگنز، نیکل، وانادیم، آهن و کروم در غبار نقاط مختلف استان بیشتر تحت تأثیر منابع زمین‌زاد هستند؛ در حالی که عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، جیوه، مس، سرب و روی بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و صنعتی می‌باشند. با این حال، حضور عناصری مانند نیکل و وانادیم در $PM_{2.5}$ می‌تواند مؤید منشأ انسان‌زاد آن‌ها در این ذرات باشد [۶، ۸]. نتایج مقایسه غلظت فلزات سنگین در روزهای گردوغباری و روزهای عادی نشان داد که در روزهای گردوغباری غلظت‌ها به طور معناداری تا چندین برابر افزایش می‌یابند. بررسی‌های فصلی نیز نشان داد که به طور معمول، در فصول سرد غلظت فلزات سنگین در غبار بیش از فصول گرم است.

نتایج استخراج ترتیبی عناصر از غبار خیابانی شهرستان عسلویه نشان داد که عناصر روی ($66/50$ درصد)، کادمیم ($64/42$ درصد)، مس ($60/43$ درصد)، کبالت ($55/60$ درصد)، منگنز ($53/05$ درصد) و سرب ($41/42$ درصد) بیشترین میزان زیست دسترس‌پذیری را دارند [۱۰]. در حالی که، نتایج استخراج ترتیبی غبار بندر بوشهر نشان داد که زیست دسترس‌پذیرترین عناصر به ترتیب عبارتند از: روی ($76/14$ درصد)، سرب ($52/75$ درصد)، آرسنیک (39 درصد) و مس ($30/08$ درصد) [۱۱].

در پی واکنش ذرات غبار حاوی فلزات سنگین با سلول‌های مخاطی^۱ و ماکروفاژها، گونه‌های اکسیژن فعال^۲ (ROS) تشکیل می‌شود [۱۳]. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی، سطح، اندازه و ویژگی‌های زیست‌شناختی ذرات می‌تواند بر ROS تأثیر گذارد. عناصری مانند مس، آهن و وانادیم در غلظت‌های پایین نیز می‌توانند پتانسیل اکسایشی قابل توجهی ایجاد کنند [۱۴]. بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی غبار عسلویه، بیشتر نمونه‌ها پتانسیل اکسایش متوسطی را نشان دادند و برخلاف انتظار عناصری مانند آهن، منگنز، مس و نیکل قابلیت‌های قابل ملاحظه‌ای برای تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن نشان ندادند. عناصری که بیشترین پتانسیل اکسایشی برای تولید ROS را نشان دادند، آنتیموان و سرب بودند. علاوه بر

¹ Epithelial

² Reactive Oxygen Species

این، میزان پتانسیل اکسایشی مربوط به غبار خیابان بیش از غبار معلق بود که می‌تواند به اندازه ذرات و ترکیب آن‌ها مربوط باشد. پتانسیل اکسایشی در نمونه‌های غبار شهری عسلویه بیش از غبار صنعتی آن گزارش شده است [۸].

جدول ۱-۱- غلظت فلزات سنگین در گردوغبار استان بوشهر

عنصر	منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
عسلویه	عسلویه	غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۴/۷۹ - ۱/۴	۲/۹۸
		غبار معلق - PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۶/۴ - ۱/۳۹	۲/۷۱ [۸]
		غبار معلق - $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۲/۳۴ - ۱/۳۹	۱/۷۱
آرسنیک	عسلویه	غبار خیابانی	mg/kg	۵۳/۹۰ - ۲/۴۰	۴/۹۲ [۱۰]
		غبار خیابانی	mg/kg	۲۴/۶ - ۴/۳	۶/۴۳ [۱۱]
بوشهر	بوشهر	غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۰/۰۳۷ - ۰/۰۳۹	۰/۰۳۸
		غبار خیابانی - در روزهای غباری	mg/kg	۱۰/۲ - ۶	۷/۴۸ [۱۵]
کروم	عسلویه	غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۱۸/۲ - ۱۱/۱	۱۴/۱
		غبار معلق - PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۴۵ - ۵/۵۷	۱۸/۶ [۸]
		غبار معلق - $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۸/۹۵ - ۵/۵۷	۶/۷۱
		غبار خیابانی	mg/kg	۱۱۳/۹۰ - ۱۵/۳۰	۳۷/۲۷ [۱۰]
بوشهر	بوشهر	غبار معلق - $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۰۵ - ۰/۰۱	۰/۰۲ [۶]
		غبار خیابانی	mg/kg	۶۷/۹ - ۲۷/۱	۴۵/۷۶ [۱۱]
مس	عسلویه	غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۲۲/۱ - ۵/۶۱	۱۴/۵
		غبار معلق - PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۳۸/۴ - ۸/۴۷	۱۸/۱ [۸]
		غبار معلق - $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۵/۱۵ - ۱/۷۴	۳/۱۴
		غبار خیابانی	mg/kg	۹۷۳/۸۸ - ۲۴/۱۷	۱۲۱/۳۲ [۱۰]

عنصر	منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
بوشهر	عسلویه	غبار معلق - کل	mg/kg	۲۳/۶۶ - ۴۷۸/۷۴	[۱۱] ۱۱۸
		غبار معلق - PM ₁₀	μg/m ³	۲۵۵۹ - ۳۲۶۴	۲۹۹۰
		غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۹۷۰ - ۷۵۵۴	[۸] ۳۷۶۷
آهن	بوشهر	غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۲۷۹ - ۶۰۶	۳۸۸
		غبار خیابانی	mg/kg	۷,۰۰۰ - ۷۰,۰۰۰	[۱۰] ۱۴۲۲۸
		غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۰/۴۱ - ۷/۵۹	[۶] ۱/۳۴
منگنز	بوشهر	غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۸,۸۰۰ - ۲۹,۰۰۰	[۱۱] ۱۶۷۱۶
		غبار خیابانی - در روزهای غباری	mg/kg	۹۰۰ - ۱,۷۰۰	۱۲۰۰
		غبار معلق - کل	μg/m ³	۵۴/۳ - ۷۱/۴	[۱۵] ۱۷۹۰۰
نیکل	بوشهر	غبار معلق - کل	μg/m ³	- ۲۱,۸۰۰	۱۷۹۰۰
		غبار معلق - PM ₁₀	μg/m ³	۱۳,۹۰۰	۱۷۹۰۰
		غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۲۲/۳ - ۱۵۳	[۸] ۷۵/۳
بوشهر	عسلویه	غبار خیابانی	mg/kg	۵/۵۷ - ۲۲/۵	۱۳/۱
		غبار خیابانی	mg/kg	۱۴۷ - ۵۵۶	[۱۰] ۲۵۲/۷۴
		غبار خیابانی	mg/kg	۲۶۱ - ۴۲۲	[۱۱] ۳۴۶/۳۳
بوشهر	عسلویه	غبار معلق - کل	μg/m ³	۵/۶۱ - ۲۱/۳	۱۵/۳
		غبار معلق - PM ₁₀	μg/m ³	۵/۵۷ - ۴۶/۹	[۸] ۲۲/۱
		غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۹/۷۷ - ۱۱/۲	۱۰/۴
بوشهر	عسلویه	غبار خیابانی	mg/kg	۱۲/۸۰ - ۱۹۹/۵۰	[۱۰] ۳۵/۱۱
		غبار معلق - PM _{2.5}	μg/m ³	۰/۰۲ - ۰/۰۸	[۶] ۰/۰۳
		غبار خیابانی	mg/kg	۲۴/۴ - ۴۳/۹	[۱۱] ۳۵/۰۵
بوشهر	عسلویه	غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۸/۱۰ - ۱۴/۵۰	[۱۵] ۱۰/۰۹
		غبار خیابانی - در	mg/kg	۵۴/۴۶ - ۱۴۱/۳۲	۸۰/۲۶

عنصر	منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
روزهای غباری					
عسلویه		غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۵۶ - ۱۰/۲	۶/۵۳
		غبار معلق - PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۷/۱۸ - ۲۰/۳	۱۱/۲ [۸]
		غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۳/۸ - ۶/۰۲	۴/۶۸
سرب		غبار خیابانی	mg/kg	۹/۳۵ - ۲۱۹/۰۵	۵۰/۳۸ [۱۰]
		غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۰۴ - ND	۰/۰۲ [۶]
		غبار خیابانی	mg/kg	۲۱/۲۱ - ۲۰۰/۱۳	۹۴/۸۶ [۱۱]
بوشهر		غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۱۳/۲ - ۳۹/۶	۲۴/۴۴ [۱۵]
		غبار خیابانی - در روزهای غباری	mg/kg	۱۴/۳۸ - ۷۳/۹	۳۹/۷۹
وانادیم		غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۳۵/۲ - ۷۷/۱	۵۲/۷ [۸]
		غبار معلق - PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۵۶ - ۵۵/۳	۳۲/۸
		غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۲۹/۵ - ۳۳/۵	۳۱/۳ [۶]
بوشهر		غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۲۴/۲۰ - ۲۶/۲۰	۲۵/۱۴ [۱۵]
		غبار خیابانی - در روزهای غباری	mg/kg	۲۴۶/۴۰ - ۴۰۱/۵	۲۹۳/۳۹
روی		غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۵۶ - ۲۰۸	۸۲/۴ [۸]
		غبار معلق - PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۴۷/۳ - ۳۲۴	۱۱۹
		غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۳۰/۱ - ۶۰/۶	۴۲ [۱۰]
بوشهر		غبار خیابانی	mg/kg	۸۱/۵۰ - ۵۵۱۱/۹۰	۵۱۸/۵۰ [۱۱]
		غبار خیابانی	mg/kg	۹۵/۱ - ۹۴۱/۵	۲۸۳/۰۳ [۱۱]
کادمیم	بوشهر	غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۰۲ - ND	۰/۰۱ [۶]

عنصر	منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	واحد	گستره	میانگین مرجع
		غبار خیابانی	mg/kg	۰/۶۲ - ۰/۲۲	۰/۳۵ [۱۱]
		غبار خیابانی - در روزهای عادی	mg/kg	۲/۹۵ - ۱/۰۵	۱/۹۸
		غبار خیابانی - در روزهای غباری	mg/kg	۱۶/۱۹ - ۱۱/۳۴	۱۳/۶۶ [۱۵]
	عسلویه	غبار خیابانی	mg/kg	۱/۴۸ - ۰/۱۴	۰/۳۱ [۱۰]
	عسلویه	غبار خیابانی	mg/kg	۰/۴۲ - ۰/۰۳	۰/۰۳ [۱۰]
جیوه	بوشهر	غبار خیابانی	mg/kg	۱/۷۲ - ۰/۰۳	۰/۳۳ [۱۱]
		غبار معلق - کل	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۱/۹۸ - ۰/۲۸	۱/۱
		غبار معلق - PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۲/۴۶ - ۰/۷۲	۱/۳۲ [۸]
	عسلویه	غبار معلق - PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۴۳ - ۰/۲۸	۰/۳۳
		غبار خیابانی	mg/kg	۷/۴۱ - ۰/۶۱	۲/۱۵ [۱۰]
	بوشهر	غبار خیابانی	mg/kg	۱۲/۷۹ - ۰/۶۴	۳/۲۸ [۱۱]

۸-۳-۲- هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)

حضور آلاینده‌های آلی و به خصوص PAHها در غبار استان بوشهر در سه مطالعه بررسی و نتایج آنها در جدول ۸-۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، غبار خیابانی شهرستان عسلویه نسبت به هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) آلوده است (غلظتی بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم [۱۶]) دارد. علاوه بر این، ترکیبات PAH به شدت در ذرات غبار تجمع می‌یابند و می‌توانند سلامت ساکنین منطقه را به خطر بیندازند. در غبار خیابانی شهر بوشهر، PAHهای ۴ حلقه‌ای بیشترین فراوانی دارند که از مشخصه‌های آلودگی ناشی از ترافیک شهری است [۱۷]. در حالی که در غبار خیابانی عسلویه، PAHهای ۵ حلقه‌ای بیشترین فراوانی را دارند که نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های صنعتی مرتبط با نفت در منطقه است [۱۸]

بر اساس محاسبات انجام‌شده، مجموع غلظت PAH‌های سنگین و سرطان‌زا در غبار خیابانی شهرهای بوشهر و عسلویه بیش از ترکیبات سبک و غیرسرطان‌زاست. در حالی که در غبار معلق - PM_{2.5} و PM₁₀ فراوانی PAH‌های سبک (۲ و ۳ حلقه‌ای) بیش از سایر ترکیبات است. تفاوت توزیع می‌تواند ناشی از منبع آلودگی و یا ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ترکیبات باشد. به طور مثال، PAH‌های سبک، فراریت بیشتری دارند. از سوی دیگر، منبع غبارهای خیابانی شهری بیشتر سوزاندن سوخت‌های فسیلی و ترافیک‌های محلی است؛ در حالی که در خصوص غبار معلق، منابع مختلفی از جمله منابع نفت‌زاد دوربرد نیز می‌توانند مؤثر باشند. محاسبات انجام شده برای تخمین اثر در معرض بودن با PAH‌ها برای ساکنین نشان داد که در معرض قرار گرفتن پوستی و تنفسی با غبار خیابان می‌تواند بسیار خطرناک و سرطان‌زا باشد. با این حال، در معرضی با غبارهای معلق قابل تنفس مانند PM₁₀ و PM_{2.5} آلوده به PAH‌ها می‌تواند بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی و حتی مرگ در پی داشته باشد.

جدول ۸-۲- غلظت هیدروکربن‌های آلی کل
و مجموع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در غبار استان بوشهر

مرجع	میانگین	گستره	واحد	نوع نمونه	منطقه مورد مطالعه	نوع آلاینده
[۱۷]	۱۱۱۶/۰۲	۷۶/۳ - ۹۴۹۱	μg/kg	غبار خیابانی		
داده‌های چاپ‌نشده	۱۸/۸۶	۰/۶۶ - ۱۴۲/۳۱	ng/m ³	غبار معلق-PM _{2.5}	بوشهر	ΣPAH
	۴۹۱/۳۵	۱۶/۹۳ - ۶۰۱۶/۳	μg/kg	غبار خیابانی	عسلویه	
[۱۸]	۳/۷۵	۲/۸۴ - ۴/۷۳	ng/m ³	غبار معلق-PM ₁₀		
	۱۳۷۱/۴۲	۲۴۰ - ۴۴۰۰	mg/kg	غبار خیابانی	عسلویه	TPH

۸-۳-۳- گازهای جوی

ریسک ناشی از در معرضی با گازهای جوی CO، SO₂، NO₂ و O₃ در بندر بوشهر در

سال ۲۰۱۲ اندازه‌گیری شد [۷]. میانگین ۸ ساعته غلظت گازهای SO_2 ، NO_2 و O_3 در جو بوشهر به ترتیب ۵۶/۰۸، ۴۷/۲۳ و ۵۱/۰۹ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که ارتباط معناداری میان غلظت CO و بستری شدن در بیمارستان به دلیل بیماری قلبی وجود ندارد؛ در حالی که ارتباط مثبت و معناداری میان غلظت SO_2 ، NO_2 و O_3 در جو و بیماری‌های تنفسی در افراد مسن وجود دارد.

۸-۴- گردوغبار خاورمیانه‌ای و اثر بر سلامت

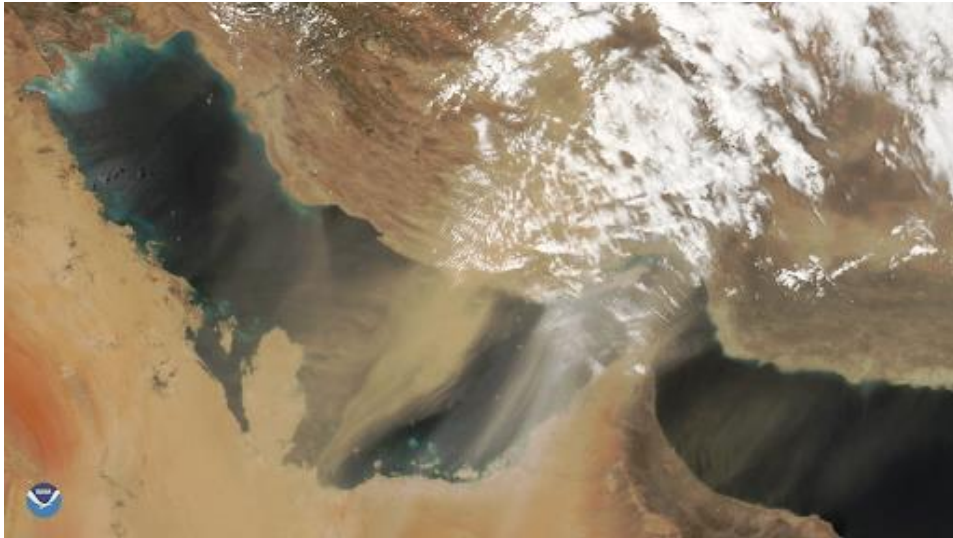
سازمان بهداشت جهانی (WHO)، آلودگی هوا را به عنوان یک اولویت برتر سلامت در سطح جهان محسوب داشته است. سازمان بهداشت جهانی پیش‌بینی می‌کند که ۱/۴ درصد از تمام مرگ‌ها در سراسر جهان حاصل از برخورد با ذرات معلق (PM) در هوا است. یکی از اجزای ذرات معلق یعنی وجود گردوغبار معدنی در اتمسفر، اخیراً به دلیل اثرات خطرآفرین آن مورد توجه قرار گرفته است. مهم‌ترین منبع گردوغبار معدنی اتمسفر، صحراها می‌باشند. تقریباً نیمی از گردوغبار، از صحرای بزرگ آفریقا به وجود می‌آید [۱۹].

تصور می‌رود که غرب چین و بخش‌هایی از مغولستان نیز دومین منبع گردوغبار بیابانی باشد که به عنوان گردوغبار آسیایی معروف است. سومین منبع گردوغبار بیابانی، شبه جزیره عربستان است که در انتقال ذرات معلق در سراسر جهان نقش چشمگیری را ایفا می‌کند [۲۰]. از این رو، منطقه خاورمیانه یک نقطه بحرانی برای گسیل گردوغبار بیابانی، به ویژه در زمان تابستان است که این رویداد اغلب توسط بادهای شمال و سیکلون‌ها (چرخندها) فعال می‌گردد، به ویژه هنگامی که این طوفان‌ها بر روی سوریه و عراق قرار دارند [۲۱]. بین یک تا سه گیگاتن گردوغبار از کانون‌های گردوغبار بیابانی هر سال در سراسر دنیا گسیل می‌شود که اثرات آن در مناطق نیمه خشک و اقلیم‌های خشک بسیار هویدا هستند [۱۹]. شهر اهواز تا درجه قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر گردوغبار حمل شده با باد شمال قرار می‌گیرد و این باد مقادیر عظیمی از گردوغبار را از مناطق جنوبی عراق به سوی این شهر گسیل می‌دارد. در سال‌های اخیر، به ویژه از سال ۲۰۰۴، این شهر رخدادهای گردوغبار بیابانی که از منابع مذکور دریافت می‌دارد

را تجربه کرده است. این رخدادها را به عنوان رخداد‌های گردوغبار خاورمیانه‌ای^۱ (MED) می‌شناسند [۲۰].

انتقال گردوغبار از عراق و در شمال غرب ایران، در پیوند با باد شمال، مورد بررسی قرار گرفته است [۲۲]. منشأ ذرات معلق در هوا در شهر اهواز را حاصل گردوغبار بیابانی شمال غربی و نیز شرق سوریه شناسایی کرده‌اند. اهواز به شکل چشمگیری تحت تأثیر گردوغبار معدنی حمل شده با بادهای شمال غربی است که در بهار غلبه داشته و مقادیر عظیمی از ذرات معلق را از مناطق جنوبی عراق به سوی این شهر گسیل می‌دارد. از این دیدگاه، کشور عراق در خاورمیانه، نقش مهمی را به عنوان کانون منشأ گردوغبار در غرب ایران بازی می‌کند. این کشور با حدود ۴۰ درصد مناطق بیابانی در غرب و جنوب آن همراه با فعالیت‌های بیابان‌زایی به دلیل خشکسالی‌های ممتد و پیاپی، شرایط سیاسی و اجتماعی حاکم بر آن و استفاده‌های نابه‌جا از زمین، به عنوان یکی از مناطق بالقوه ایجاد کننده گردوغبار مطرح است [۲۳، ۲۴]. میانگین و انحراف معیار غلظت ذرات در روزهای گردوغباری در اهواز نسبت به استاندارد و غلظت ذرات در ایران $16/5 \pm 11$ برابر می‌باشد [۲۴]. به دلیل مجاورت این شهر و مناطق غرب و جنوب غرب کشور با بیابان‌های بزرگ کشورهای خاورمیانه، روزهای غبارآلود در این مناطق قابل توجه بوده و به دلیل تغییر شرایط اقلیمی، روزهای گردوغباری در این مناطق رو به فزونی گذاشته است. آمارهای سازمان هواشناسی کشور گویای آن هستند که میانگین روزهای غبارآلود در طی ۵۰ سال گذشته در شهرهای اهواز، آبادان، بوشهر و کرمانشاه به طور میانگین به ترتیب ۶۸، ۷۶ و ۲۷ روز در طول سال بوده است [۲۴].

¹ The Middle Eastern Dust events



شکل ۸-۱- تصویر ماهواره‌ای عبور گردوغبار منطقه‌ای خلیج فارس

البته تغییرات اقلیمی و بیابان‌زایی در خود نواحی جنوب‌غربی ایران نیز در ایجاد کانون‌های گردوغباری بی‌تأثیر نیست و در این میان خشک شدن تالاب‌ها به ویژه تالاب هویزه (هورالعظیم)، نقش مهمی را دارد [۲۵]. شن بیابانی در منطقه خلیج فارس عمدتاً از کوارتز (SiO_2) تشکیل یافته است ولی گردوغبار ریزتر شامل عموماً رس با و بدون هسته سیلیکاتی است که می‌تواند به دلیل اندازه کوچک این ذرات به شش‌های بدن برسند. ذرات گردوغبار به شکل برجسته شامل رس (تقریباً ۵۰ درصد) و کریستال‌های کوارتز (تقریباً ۲۵ درصد) است. اندازه پراکنش ذرات در هوا می‌تواند از کمتر از یک میکرومتر تا ۱۵۰ میکرومتر، بر اساس سرعت باد باشد [۲۶].

مطالعات گروه‌های زمین‌شناسی آمریکایی در منطقه خلیج فارس که برای بررسی اثرات بر سلامت گردوغبار منطقه خاورمیانه به این منطقه آمده بودند حاکی از آن است که عمده میکروذرات طوفان‌های گردوغبار در منطقه خلیج فارس از یک هسته متخلخل سیلیکاتی (سیلیکات متالیک کریستالی و دی اکسید سیلیکا بی‌رنگ) شامل می‌شود که با یک گونه از رس (غیرآلی) عمدتاً کربنات کلسیمی، سولفات منیزیومی و ترکیبات متالیک و سیلیکات‌ها ساخته

شده است [۲۶]. هنگامی که بادهای قوی هوا را با ذرات گردوغباری کوچک (کمتر از ۶۰ میکرون) می‌پوشانند و منطقه‌ای گسترده را تیروتار می‌نمایند، طوفان‌های گردوغبار روی می‌دهند. گردوغبار این طوفان‌ها می‌توانند صدها یا هزاران مایل را درنوردند و به ارتفاع تا ۱۰ هزار فوت نیز دست یابند. بستگی به شرایط آب‌وهوایی و اندازه ذرات، گردوغبار ممکن است از چند ساعت تا ۱۰ روز در اتمسفر پابرجا بماند. ذرات خشن در اندازه ۲/۵ تا ۱۰ میکرون می‌توانند به بخش‌های ژرف شش‌ها برسند. ذرات با قطر کوچک‌تر یا مساوی ۲/۵ میکرون ممکن است حتی به گردش خون نیز وارد شوند [۲۷].

طوفان‌های گردوغبار از نظر انجمن توراکس آمریکا می‌تواند موجب علائم و بیماری زیر شده و یا آن‌ها را تشدید نمایند:

- سرفه و خس‌خس سینه
- عفونت‌های مجاری تحتانی تنفسی (باکتریایی، ویروسی و قارچی)
- بیماری‌های انسدادی ریه (آسم، برونشیت، COPD)^۱
- فیبروز ریه (سلیکوز وابسته به طوفان شن و گردوغبار)
- بیماری اینترستیشال ریه
- بیماری‌های قلبی - عروقی

ذرات شن استنشاقی که عموماً در مجاری فوقانی تنفسی به دام می‌افتند و نمی‌توانند به بخش‌های ژرف شش‌ها وارد شوند، موجب تحریک مجاری فوقانی تنفسی و غشای مخاطی آن‌ها می‌شوند [۲۷]. منطقه خاورمیانه، یکی از مهم‌ترین مناطق کانونی گردوغبار و طوفان شن در جهان است و تغییرات اقلیمی، گرم شدن زمین، بیابان‌زایی و تخریب‌های اکولوژیک همراه با فعالیت‌های انسانی، نه تنها موجب اثرات پایدار تنفسی در این منطقه گردیده بلکه موجب ایجاد تغییر در کیفیت زندگی، مسائل زیست محیطی، مهاجرت و تغییرات اجتماعی نیز شده است [۲۸]. برای مثال، گردوغبار خاورمیانه‌ای در استان‌های جنوبی کشور مانند استان بوشهر، بر محصولات کشاورزی آن‌ها، اثراتی منفی گذاشته است؛ به گونه‌ای که گردوغبار

¹ Chronic Obstructive Pulmonary Disease

طی این مدت باعث هجوم انواع آفت‌ها به نخلستان‌ها شده به طوری که حجم و کیفیت خرماي صادراتی را به شدت کاهش داده است [۲۹]. بی‌شک پرداختن به ابعاد زیست محیطی و اکولوژیک گردوغبار، در گنجایش این نوشتار نیست و خود پژوهش‌های جداگانه‌ای را می‌طلبد ولی آنچه که در گنجایش این نوشتار است پرداختن به اثرات بر سلامت ذرات معلق طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه‌ای، به ویژه بر دستگاه تنفس است. پیش از پرداختن به این موضوع باید دانست که از دیدگاه آئرودینامیک، فقط حدود یک درصد از ذرات ۱۰ میکرومتری تا منطقه حبابچه‌های هوایی ریه‌ها می‌رسند، بنابراین ۱۰ میکرومتر معمولاً حداکثر اندازه عملی برای نفوذ به این منطقه است. نشست حداکثری در منطقه حبابچه‌های هوایی برای ذرات حدوداً دو میکرومتری از نظر قطر آئرودینامیکی روی می‌دهد. اکثر ذرات بزرگتر از این در بخش‌های فوقانی تر ریه‌ها نشست می‌یابند [۳۰].

ذرات گردوغبار تا کجا می‌رسند؟



شکل ۸-۲- تأثیر ذرات گردوغبار بر اندام‌ها و بخش‌های بدن انسان

ذرات معلق ریز $PM_{2.5}$ موجب نگرانی عظیمی در سلامت می‌شوند زیرا به راحتی به حبابچه‌های هوایی در بخش ژرف شش‌ها نفوذ می‌کنند اما این ذرات PM_{10} هستند که بخش برجسته طوفان‌های گردوغبار را تشکیل می‌دهند و عمده موارد سلامت دستگاه تنفسی را به خود اختصاص داده و در اکثر مطالعات همه‌گیر شناختی (اپیدمیولوژیک) به عنوان یک شاخص

برخورد در نظر گرفته می‌شوند. دستورالعمل‌های کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی، پایه‌ای را برای اثرات بر سلامت انسان مربوط به آلوده کننده‌های عمده هوا شامل PM_{10} فراهم آورده‌اند.

در هنگام روزهای گردوغباری در صحرای بزرگ آفریقا، افزایش روزانه ۱۰ میکروگرم در مترمکعب PM_{10} موجب افزایش روزانه مرگ‌ومیر تا حد ۸/۴ درصد در بارسلونای اسپانیا شده است. در کالیفرنیا، افزایش یک درصدی در مرگ‌ومیر بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی با تغییر ۱۰ میکروگرم در مترمکعب روزانه PM_{10} توأم بوده است. طوفان‌های گردوغبار آسیایی با ۴/۱ درصد افزایش در نرخ مرگ‌ومیر قلبی - عروقی و عوامل تنفسی در سئول کره جنوبی همراه بوده و یک افزایش چشمگیر در بستری شدن بیمارستانی در نتیجه بیماری‌های تنفسی در چین را موجب شده است. گردوغبار وزش یافته از صحرای بزرگ آفریقا به مدیترانه شرقی نیز موجب افزایش پذیرش بیمارستانی به دلیل همه موارد از جمله بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی در نیکوزیای قبرس شده است. در ارزیابی اثر بر سلامت در طوفان‌های گردوغباری کویت نیز شواهدی به دست آمد که حاکی از رابطه پایدار میان رخداد‌های طوفان‌های گردوغباری در این منطقه با سطوح غلظتی PM_{10} و بیماری‌های تنفسی بود [۳۱].

در یک مطالعه، همبستگی میان غلظت‌های ذرات معلق و مرگ‌ومیر روزانه در شهرهای اهواز و تهران در زمان طوفان گردوغبار بیابانی و روزهای بدون گردوغبار بیابانی، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد افزایش ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب ذرات معلق PM_{10} با ۳/۲۸ درصد افزایش مرگ‌ومیر روزانه توأم بوده است و پژوهشگران نتیجه گرفتند که ذرات معلق در زمان گردوغبار خاورمیانه‌ای در اهواز یک خطر مهم برای سلامت محسوب می‌شود [۳۱].

افزایش پذیرش‌های بیمارستانی در شهر خرم آباد برای بیماری‌های قلبی - عروقی و بیماری‌های تنفسی نیز در هنگام طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه‌ای در نتیجه غلظت‌های PM_{10} بالاتر از ۱۰ میکروگرم در هر مترمکعب نیز گزارش شده‌اند [۳۲].

برآورد تعداد موارد بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی در نتیجه ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در میان شهروندان شهر بوشهر که به طور میانگین سالانه ۲۵۱/۳۵ میکروگرم در هر

مترمکعب حاوی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون است، نشان داد که در این شهر به ازای هر ۱۰ میکروگرم در هر متر مکعب افزایش غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون نسبت به مقادیر قبل از آن، میزان خطر مرگ قلبی - عروقی، ۱/۸ درصد و خطر مرگ‌های تنفسی ۲/۱ درصد افزایش یافته است [۵]. هر چند که در این مطالعات، عمدتاً بر پذیرش‌های بیمارستانی، بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی تأکید شده است اما باید این را به خاطر سپرد که اثرات ذرات معلق می‌تواند بسیار فراتر باشد و ارگان‌ها و سیستم‌های دیگر بدن را تحت تأثیر خود قرار دهد که این گستره می‌تواند از تغییرات در سیستم ایمنی تا انعقادی باشد [۳۳]. در یک مطالعه که بر روی سیستم انعقادی ساکنین شهرهای آبادان و خرمشهر که در معرض گردوغبار خاورمیانه‌ای می‌باشند انجام گرفته است که نشان می‌دهد میانگین زمان پروترومبین کاهش یافته و فیبرینوژن، پلاکت‌ها و سطوح فاکتور VIII انعقادی در نتیجه این گردوغبارها افزایش می‌یابند [۳۴].

در مطالعهٔ دوبرادران و همکاران در بوشهر، سطوح فلزات سنگین، اتصال یافته با ذرات معلق (PM_{2.5}) در بخش‌های شمالی خلیج فارس، مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه، ارزیابی خطر و شاخص خطر^۱ فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که میانگین غلظت ۲۴ ساعتهٔ PM_{2.5} در این منطقه ۲۲/۰۹ تا ۲۹/۴۵ میکروگرم در مترمکعب بوده و ۹۵/۶۵ درصد از این مقادیر بالاتر از دستورالعمل‌های پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی بود.

سطوح غلظتی فلزات سنگین در هوای بیرونی بوشهر بالا بودند و این موضوع می‌تواند خطرات قابل ملاحظه‌ای را برای ساکنین و اکولوژی منطقه ایجاد نماید. از دیدگاه خطرات بالقوهٔ بوم‌شناختی (اکولوژیک)، یافت گردید که فلزات سنگین در این شهر از سطوح جدی اکولوژیک، فراتر رفته و می‌تواند اثرات اکولوژیک منفی چشمگیری را حادث نماید. با در نظر گرفتن جایگاه جغرافیایی استان بوشهر و صنایع آلایندهٔ نفت و گاز در این استان و رخداد طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه‌ای، ارزیابی اثر بر سلامت فلزات سنگین اتصال یافته با ذرات معلق در گردوغبار خاورمیانه‌ای و پایش دوره‌ای آن‌ها، بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۶].

^۱ Hazard index

نکته دیگر آن که داده‌ها حاکی از آن است که گردوغبار معدنی از کربنات کلسیم ساخته شده که به صورت پوششی بر روی ماتریکسی از کریستال‌های سیلیکا متالیک حاوی تنوعی از عناصر نایاب، قرار گرفته است و حدود یک درصد از وزن ذرات معلق PM_{10} را تشکیل می‌دهد. این ذرات همچنین شامل حدود یک درصد از آلومینیوم زیست دسترس‌پذیر و یک درصد آهن فعال با یک درصد دیگر از وزن شامل ترکیبی از فلزات نایاب و سنگین تشکیل شده‌اند. این یافته اهمیت زیادی دارد زیرا اخیراً نقش آلومینیوم در اسکروز مالتیپل و دیگر بیماری‌های نورولوژیک مطرح گردیده است [۲۶]. آلودگی با ذرات معلق موجود در طوفان‌های گردوغباری مهم می‌باشد زیرا افزون بر سمیت و تجزیه‌ناپذیری آن‌ها، ممکن است وجود این ذرات حاکی از وجود فعالیت‌های صنعتی باشد؛ هر چند که وجود غلظت‌های بالای فلزات سنگین در ذرات معلق ممکن است نشانگر فرسایش ساختارهای زمین‌شناسی خصوصاً خاک بوده باشد.

تفرق اشعه ایکس، و فور کانی‌های سیلیکاته (کوارتز) و کربناته (کلسیت) را در ذرات گردوغبار خاورمیانه‌ای شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک نشان داد. مقادیر فلزات سنگین در این ذرات نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در ذرات گردوغبار نمونه‌برداری شده در سنندج در مقایسه با خرم‌آباد و اندیمشک، به طور نسبی بیشتر بود [۳۵]. وجود فلزات اتصال یافته به ذرات معلق نشان داده شده است که می‌توانند ضمن انباشت زیستی، در عملکردهای فیزیولوژیک نیز تداخل ایجاد نمایند. بعضی از مطالعات دریافته‌اند که فلزات اتصالی به این ذرات با آسیب میتوکندریایی و القاء استرس اکسیداتیو توأم بوده و در نهایت ممکن است به مرگ‌ومیر و بیماری‌های قلبی - عروقی منتهی شوند.

خطر دیگر برای رخدادهای طوفان‌های گردوغباری آن است که ذرات معلق این طوفان‌ها می‌توانند عوامل عفونی گوناگون را با خود حمل کرده و به فواصل طولانی انتقال دهند. مطالعات نشان داده‌اند که تعدادی از میکروارگانیسم‌های هوایی (شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها)، در زمان طوفان‌های گردوغباری، افزایش می‌یابند و می‌توانند اثرات خطرآفرینی را بر سلامت انسان ایجاد کنند [۲۸]. پاتوژن‌های انسانی مانند باسیلوس آنتراسیس، یرسینیاپستیس، مایکوباکتریوم توبرکلوزیس، لژیونلا پنوموفیلا و ویروس‌های آنفلوانزا می‌توانند توسط

گردوغبارهای بیابانی انتقال یافته و رخدادهای بیماری را در مکان‌های پایین دست خود ایجاد نمایند [۲۰]. در آنالیز محتوای میکروبی گردوغبار صحرای آفریقا در ایتالیا نشان داده شد که خاک محلی با میکروارگانیسم‌های گردوغبار بیابانی آلوده بوده و این فرضیه را تقویت می‌نماید که طوفان‌های گردوغباری می‌توانند جوامع میکروبی را از مکان‌های منشأ خود به محیط‌های جدید، انتقال دهند.

در دو مطالعه به پیوند رخداد بیماری‌های عفونی، به ویژه مننژیت، با جابه‌جایی‌های گردوغبار صحرای آفریقا اشاره کرده‌اند که این رخدادهای غلظت‌های ذرات معلق بالاتر در جو در زمان رخداد مننژیت، ارتباط داشته‌اند [۱۹]. در نمونه‌برداری از گردوغبار منطقه‌ای در کویت و عراق در خاورمیانه نشان داده شد که تنوع چشمگیری از باکتری‌ها وجود دارند؛ به گونه‌ای که تقریباً ۲۵ درصد از آن‌ها پاتوژن‌های شناخته شده هستند. از میکروب‌های مورد شناسایی قرار گرفته، چندین مورد آن‌ها ویژگی‌های آلفا و بتا همولیتیک داشته و مقاومت آنتی‌بیوتیکی چشمگیری را از خود نشان دادند. آنالیز ویروسی نیز نشان داد که در سطح بالایی از ذرات ویروسی، ویروس‌های RNA بوده که درصد بالایی را به خود اختصاص می‌دادند [۲۶]. یافته‌های این مطالعات نشانگر آن است که چقدر رخدادهای طوفان‌های گردوغباری می‌توانند در وقوع اپیدمی‌های بیماری‌های عفونی، نقش داشته باشند. وجود ذرات ویروسی در ذرات معلق در این گردوغبارها با رخداد اخیر پاندمی کووید ۱۹ ما را به اندیشه می‌اندازد که اثر بر سلامت این ذرات گردوغباری را در فراتر از اثرات بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی می‌باید مورد پژوهش قرار دهیم. هر چند که گردهمایی‌های ملّی و بین‌المللی در مورد اثرات بر سلامت و چالش‌های مربوطه برای یافت راه‌حل‌های عملی در کشور انجام گردیده است [۳۶]؛ اما شواهد رو به افزایش اثر بر سلامت فراگستر ذرات معلق در گردوغبار ما را بر آن می‌دارد که به پژوهش‌های گسترده‌تری مانند انتقال ذرات مواد رادیواکتیو، عوامل عفونی و آلاینده‌ها، به ویژه هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و میکروپلاستیک‌ها نیز بپردازیم.

- 1) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, Essentials of medical geology. 2016: Springer.
- 2) Furman, H.K.H., Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment*, 2003. 12(6): p.419-426.
- 3) Givehchi, R., Arhami, M., and Tajrishy, M., Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric environment*, 2013. 75: p. 287-295.
- 4) Sahafizadeh, E. and Esmail, A., Prediction of air pollution of Boushehr city using data mining, in Second International Conference on Environmental and Computer Science. 2009, IEEE.
- 5) Dobaradaran, S., Geravandi, S., Goudarzi, G., *et al.*, Determination of cardiovascular and respiratory diseases caused by PM10 exposure in Bushehr, 2013. *Journal of Mazandaran university of medical sciences*, 2016. 26(139): p. 42-52.
- 6) Ghasemi, F.F., Dobaradaran, S., Saeedi, R., *et al.*, Levels and ecological and health risk assessment of PM 2.5-bound heavy metals in the northern part of the Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020. 27(5): p. 5305-5313.
- 7) Arfaeinia, H., Moradi, H., Sharifi, K., *et al.*, Evaluation of public health impacts related to urban air pollution in Shiraz and Bushehr, Iran. 2015.
- 8) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Elemental and magnetic analyses, source identification, and oxidative potential of airborne, passive, and street dust particles in Asaluyeh County, Iran. *Science of The Total Environment*, 20. 707:20. p.136132.
- 9) Allajbeu, S., Yushin, N., Qarri, F., *et al.*, Atmospheric deposition of rare earth elements in Albania studied by the moss biomonitoring technique, neutron activation analysis and GIS technology. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016. 23(14): p. 14087-14101.
- 10) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Fractionation, source identification and risk assessment of potentially toxic elements in street dust of the most important center for petrochemical products, Asaluyeh County, Iran. *Environmental earth sciences*, 2018. 77(19): p. 673.
- 11) Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., *et al.*, Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. *Environmental earth sciences*, 2017. 76(23): p. 798.
- 12) Naderizadeh, Z., Khademi, H., and Ayoubi, S., Biomonitoring of atmospheric heavy metals pollution using dust deposited on date palm leaves in southwestern Iran. *Atmósfera*, 2016. 29(2): p. 141-155.

- 13) Hopke, P.K., Review of receptor modeling methods for source apportionment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2016. 66(3): p. 237-259.
 - 14) Kelly, F., Anderson, H., Armstrong, B., *et al.*, The impact of the congestion charging scheme on air quality in London. Part 1. Emissions modeling and analysis of air pollution measurements. Research Report (Health Effects Institute), 2011(155): p. 5.
 - 15) Tabatabaei, T., Karbassi, A., Moatar, F., *et al.*, Geospatial patterns and background levels of heavy metal in deposited particulate matter in Bushehr, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015. 8(4): p. 2081-2093.
 - 16) Adeniyi, A. and Afolabi, J., Determination of total petroleum hydrocarbons and heavy metals in soils within the vicinity of facilities handling refined petroleum products in Lagos metropolis. *Environment international*, 2002. 28(1-2): p. 79-82.
 - 17) Keshavarzi, B., Abbasi H, S., Moore, F., *et al.*, Polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust of Bushehr City, Iran: status, source, and human health risk assessment. 2017: p. 1-15.
 - 18) Abbasi, S., Keshavarzi, B.J.S.c., and society, Source identification of total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in PM10 and street dust of a hot spot for petrochemical production: Asaluyeh County, Iran. 2019:45. p. 214-230.
 - 19) Kotsyfakis, M., Zarogiannis, S.G., and Patelarou, E., The health impact of Saharan dust exposure. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 2019. 32(6): p. 749-760.
 - 20) Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghhighifard, N.J., *et al.*, The evaluation of PM10, PM2. 5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of arid environments*, 2012. 77: p. 72-83.
 - 21) Shahsavani, A., Tobías, A., Querol, X., *et al.*, Short-term effects of particulate matter during desert and non-desert dust days on mortality in Iran. *Environment international*, 2020. 134: p. 105299.
 - 22) Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., *et al.*, Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012. 117(D3).
 - 23) Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., *et al.*, Identification of the sources of dust storms in the City of Ahvaz by HYSPLIT. *Pollution*, 2017. 3(2): p. 341-348.
- ۲۴) شاهسونی، ع.، یاراحمدی، م.، نیا، ع.م.، همکاران.، تحلیل روند گرد و غبار ورودی به ایران با تاکید بر استان خوزستان. مجله تحقیقات نظام سلامت حکیم، ۱۳۹۱. ۱۵(۳): صفحات ۱۹۲-۲۰۲.
- 25) Cao, H., Liu, J., Wang, G., *et al.*, Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 2015. 7(5): p. 567-578.

- 26) Lyles, M.B. Medical geology: Dust exposure and potential health risks in the Middle East. in International Seminar On Nuclear War And Planetary Emergencies—42nd Session. 2010. World Scientific.
- 27) Gross, J.E., Carlos, W.G., Dela Cruz, C.S., *et al.*, Sand and dust storms: Acute exposure and threats to respiratory health. American journal of respiratory and critical care medicine, 2018. 198(7): p. P13-P14.
- 28) Fallahian, F., Respiratory effects of long-term exposure to dust outbreaks. Global Research Journal of Public Health and Epidemiology. 2019. 6(11):205-221.
- 29) Delkhah, H., Mohebbi, G., Hasanzadeh, N., *et al.*, The effect of dust on the chemical and microbiological qualities of the date palm fruits from Bushehr-Iran. ISMJ, 2015. 18(1): 80-91.
- 30) Bickis, U., Hazard prevention and control in the work environment: airborne dust. World Health, 1998. 13: p. 16.
- 31) Al-Hemoud, A., Al-Dousari, A., Al-Shatti, A., *et al.*, Health impact assessment associated with exposure to PM10 and dust storms in Kuwait. Atmosphere, 2018. 9(1): p. 6.
- 32) Khaniabadi, Y.O., Fanelli, R., De Marco, A., *et al.*, Hospital admissions in Iran for cardiovascular and respiratory diseases attributed to the Middle Eastern Dust storms. Environmental science and pollution research, 2017. 24(20): p. 16860-16868.
- 33) Esmaeil, N., Gharagozloo, M., Rezaei, A., *et al.*, Dust events, pulmonary diseases and immune system. American journal of clinical and experimental immunology, 2014. 3(1): p. 20.
- 34) Saeb, K., Sarizade, G., Khodadi, M., *et al.*, Evaluation of consequences of dust positioned in southwest of Iran on coagulant factors. Iranian journal of medical sciences, 2013. 38(2): p. 84.
- 35) Rajabi, M. and Souri, B., Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013. Iranian Journal of Health and Environment, 2015. 8(1): p. 11-22.
- 36) Concept Note, C. International Conference on Combating Sand and Dust Storms: Challenges and Practical Solutions. 2017. Tehran, the Islamic Republic of Iran (3-5 July 2017).

فصل نهم

عنصر ید در استان بوشهر

۹-۱- زمین‌شیمی زیست محیطی عنصر ید

ید عنصری است که مقدار آن در طبیعت بسیار کم است و تنها مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن در اقیانوس‌ها و دریاها وجود دارد. انسان ید مورد نیاز خود را از اقیانوس‌ها و برخی از گیاهان دریایی استخراج می‌کند. از آنجا که این عنصر در دریا، زیست‌توده و اتمسفر فراوان است، هیدروفیل، بیوفیل و اتموفیل در نظر گرفته می‌شود. با این حال، کانی‌های گوگردی نیز می‌توانند حاوی مقادیر اندکی ید باشد و از این لحاظ ید، عنصری کالکوفیل است [۱].

میانگین غلظت پوسته‌ای ید حدود ۰/۱۵ تا ۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است [۲]. با توجه به شعاع یونی بالای ید، ورود آن به ساختار کریستالی کانی‌ها ساده نیست و تنها کانی‌هایی که اندکی ید در آن‌ها حضور دارد کانی‌های سولفیدی (مانند سودالیت و یودیالیت) و برخی کانی‌های کربناته (با محتوای آلی بالا) است. بیشترین مقدار آن در شیل‌ها (میانگین ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سنگ‌آهک (میانگین یک میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین غلظت آن در سنگ‌های آذرین اسیدی (میانگین ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. در حالی که غلظت میانگین ید در آب دریا، ۶۰ میکروگرم بر لیتر، در کربنات‌های دریایی ژرف ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سایر رسوبات دریایی ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است.

ید معدنی به دو صورت، یون I^- و یون آیودات IO_3^- در اقیانوس حضور دارد. آیودات فرم پایدار ید در محیط اکسایشی و قلیایی آب دریاست در حالی که ید در شرایط آب دریا ناپایدار است. نسبت‌های ید به آیودات با عمق تغییر می‌کنند چرا که ید در آب‌های سطحی غلظتی بیشتر از آب‌های عمقی دارد. دلیل احتمالی غلظت بالای ید در آب‌های سطحی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های زیستی بیشتر در این لایه‌های آب باشد.

ید عنصری ضروری برای حیات و سلامتی بدن انسان و پستانداران است. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقدار بهینه ید برای کودکان کمتر از ۵ سال ۹۰ میکروگرم در روز، برای کودکان ۶ تا ۱۲ سال ۱۲۰ میکروگرم در روز و برای افراد بالغ ۱۵۰ میکروگرم در روز می‌باشد. این مقدار برای مادران باردار و شیرده به ۲۵۰ میکروگرم در روز نیز می‌رسد. سازوکار دقیق عملکرد ید در بدن انسان هنوز به طور کامل مشخص نیست و تنها عمل شناخته شده آن، شرکت در ساختمان هورمون تیروکسین^۱ می‌باشد. از لحاظ تاریخی، ید اولین عنصری است که به عنوان عنصر ضروری در بدن انسان شناخته شد و بیماری گواتر اولین مورد از بیماری‌های مرتبط با زمین‌شیمی زیست‌محیطی بود.

حدود ۵ میلی‌گرم ید در بدن انسان وجود دارد که بخش بیشتر آن در غده تیروئید و مقدار کمتری از آن در پوست و استخوان تجمع می‌یابد. وظیفه اصلی و شناخته شده ید در بدن، تنظیم برخی فعالیت‌های هورمونی مربوط به غده تیروئید و کنترل سیستم عصبی است. نیاز روزانه بدن انسان به ید در حدود ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بخش عمده آن می‌تواند از راه غذا به بدن وارد شود. در بسیاری از کشورها از افزودنی‌های حاوی ید در نمک خوراکی استفاده می‌شود. کمبود ید در بدن باعث آسیب به عملکرد غده تیروئید و تورم آن (بیماری گواتر)، ضعف در عملکرد ماهیچه‌های قلبی و مختل شدن سوخت‌وساز بدن می‌گردد که در مجموع به آن‌ها بیماری‌های کمبود ید^۲ اطلاق می‌گردد. در صورت مزمن شدن کمبود ید، بیماری کرتینیسم^۳ بروز می‌کند که به صورت ضعف شدید قوای جسمی و ذهنی، ناشنوایی و ناتوانی در گفتار ظاهر می‌شود. علاوه بر این نتایج پژوهش‌های اخیر نشان داد که کمبود ید در مادران در دوران بارداری منجر به کاهش IQ و عقب‌ماندگی بچه‌ها می‌شود [۳]. علاوه بر ید، کمبود سلنیوم، منیزیم، آهن، کبالت و ویتامین A و همچنین افزایش سیلیسیم نیز می‌تواند در افزایش گواتر در مناطق با ید کافی از عوامل ایجاد کننده بیماری گواتر باشند [۴، ۵].

¹ Thyroxin

² Iodine deficiency disorders

³ Cretinism

ارتباط میان منابع زمین‌شناختی و کمبود ید در بدن انسان و بیماری‌های ناشی از آن، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است و بسیاری از آن‌ها نقش سایر عناصر در بروز این بیماری‌ها را متذکر شده‌اند. اختلال این ترکیبات ممکن است در مرحله جذب ید یا تولید هورمون تیروئید رخ دهد. با توجه به غلظت پایین ید در پوسته زمین، بسیاری از زمین‌شیمی‌دان‌ها معتقدند که مقدار کمی از ید از راه خشکی و هوازدگی سنگ‌کره وارد چرخه زیستی می‌شود و بیشتر ید مورد نیاز انسان از اقیانوس به خشکی می‌رسد [۱].

۹-۲- انتقال ید از دریا به خشکی به وسیله جو

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان دهنده تغلیظ ید در جو است. این رفتار اتموفیل مهم‌ترین بخش چرخه زیست زمین‌شیمیایی ید است که این عنصر را از اقیانوس به جو انتقال می‌دهد و در نهایت توزیع آن در محیط خشکی را کنترل می‌کند. سازوکار این انتقال موضوع بسیاری از بحث‌های زیست‌زمین‌شیمیایی است. بدون شک، بخشی از ید توسط اسپری دریا^۱ به جو منتقل می‌شود. با این حال، نسبت مقدار ید به کلر در جو، صدها برابر آب دریاست. اگرچه همراهی ید با هواویزها نیز مشاهده شده است، اما بیشترین مقدار ید اتمسفری در فاز گازی است؛ بنابراین، سازوکار اصلی این انتقال، فراریت ید از سطح آب به جو (در پی اکسایش نورشیمیایی با اوزون و دی‌اکسید نیتروژن) می‌باشد که طی این فرآیند یون ید (I^-) به ید عنصری (I_2) تبدیل می‌شود. علاوه بر این، متیل ید و سایر گونه‌های ید آلی نیز در سطح آب دریا فراوانند. پس از انتقال به جو، ساختار متیل جیوه شکسته می‌شود و نیمه‌عمری حدود ۵ روز دارد. پس از انتقال به جو، ید از راه نهشت تر و نهشت خشک به خشکی منتقل می‌شود. در شرایط پایدار جوی، بیشترین میزان نهشت ید در سواحل و فواصل نزدیک به دریا رخ می‌دهد.

^۱ Sea spray

۹-۳- زمین‌شیمی ید در خاک و گیاه

میانگین غلظت ید در خاک‌های سطحی ۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شده است در حالی که گستره غلظت آن از ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، غلظت ید در سواحل و خاک‌های نزدیک به دریا بیشتر است. علاوه بر این، حضور کانی‌های رسی در خاک، جنس و اندازه ذرات خاک، حضور مواد آلی در خاک و محتوای عنصری آن نیز در غلظت ید خاک مؤثر هستند.

غلظت ید در گیاهان بسیار متغیر و تابعی از نوع گیاه و فاصله از دریا است. سبزی‌ها و قارچ‌ها معمولاً ید کمتری نسبت به گیاهان علوفه‌ای دارند. گستره ید در دانه غلات از ۶۰ تا ۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم متغیر است در حالی که در گیاهان علوفه‌ای نیم‌دار غلظت این عنصر از ۱۰۰ تا بیش از ۲۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند [۲]. جذب ید توسط گیاهان به دو روش جذب ریشه‌ای و جذب از راه برگ انجام می‌شود. از آنجا که غلظت و زیست‌دسترس‌پذیری ید در جو بیش از خاک است، مسیر دوم برای اغلب گیاهان مهم‌تر است [۳].

۹-۴- ید در استان بوشهر

پایش شیوع بیماری گواتر و میزان ید ادرار در سال ۱۳۷۵ در استان بوشهر انجام شد و طی آن از ۴۰۰ دانش‌آموز (به تعداد مساوی دختر و پسر) در مناطق شهری استان و ۱۰۰۰ دانش‌آموز (به تعداد مساوی دختر و پسر) در مناطق روستایی استان در گروه‌های سنی ۸ تا ۱۰ ساله نمونه‌برداری انجام شد. نتایج نشان داد که ۵۶ درصد از دختران و ۵۴ درصد از پسران به بیماری گواتر مبتلا هستند؛ بنابراین، استان بوشهر از نظر شیوع گواتر، آندمیک تلقی می‌شود. اگرچه این مطالعه دو سال پس از افزودن ید به نمک طعام ساکنین استان بوشهر انجام شده است، اما بسیاری از دانش‌آموزان طی سال‌های اولیه زندگی خود دچار کمبود ید بوده و غده تیروئید آن‌ها رشد کرده است. علاوه بر این، میانه دفع ادراری ید در دانش‌آموزان پسر و دختر به ترتیب ۱۶ و ۱۸ میکروگرم در دسی‌لیتر بود که از لحاظ آماری تفاوت معناداری نداشت؛ بنابراین، در هر دو جنس، دفع ادراری ید بیش از مقدار توصیه شده توسط WHO بود [۶]. در

پژوهشی مشابه و در سطح ملی، مقدار ید ادراری دانش آموزان ۸ تا ۱۰ ساله در سال ۲۰۱۶ در سراسر ایران انجام و در بخشی از آن، از ۲۴۳ دانش آموز بوشهری نمونه برداری انجام گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین و میانۀ غلظت ید در ادرار بچه‌های بوشهری به ترتیب ۲۰ و ۲۰ میکروگرم بر دسی لیتر بود [۷].

در مطالعه‌ای که توسط شمس الهی و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام شد، غلظت ید در نمونه‌های نمک خوراکی ۳۰ شهر ایران بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد غلظت ید در نمک‌های استان بوشهر ۳۲/۶۶ میلی گرم در گرم بود که بر اساس استاندارد ملی وزارت بهداشت ایران ۴۳ درصد از نمونه‌ها مناسب و ۵۷ درصد از آن‌ها در محدوده قابل قبول قرار داشتند و در مقایسه با استانداردهای جهانی مانند WHO همه، نمونه غلظت قابل قبولی داشتند [۸].

با توجه به اثبات این مسئله که بندر بوشهر عاری از کمبود ید است، در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲، بررسی حجم تیروئید و شیوع بیماری گواتر در ۱۲۴۸ تن از دانش آموزان ۷ الی ۱۰ ساله بوشهری (۵۵۸ پسر و ۵۹۰ دختر) انجام شد [۹، ۱۰]. نتایج این مطالعات نشان داد که تفاوت معناداری میان حجم تیروئید دختران و پسران وجود داشت. علاوه بر این، رابطه میان اندازه تیروئید و وزن (سن) مثبت و معنادار بود. بر اساس نتایج به دست آمده در مطالعه ۱۳۹۲، ۱۹/۹۴ درصد از کودکان به گواتر مبتلا بودند [۹] در حالی که در مطالعه سال ۱۳۸۶، این درصد برابر با ۷/۵۷ درصد بوده است [۱۰]. این افزایش بیماری می‌تواند ناشی از تأثیر عوامل گواترزیای محیطی مانند آلاینده‌های زیست‌محیطی باشد.

در سال ۲۰۰۹، شیوع بیماری تیروئید در ۱۵۰۳ فرد از جمعیت بزرگسال (۱۵ تا ۶۵ سال) بندر بوشهر بررسی شد [۱۱]. در این مطالعه، ۸۷۵ زن با میانگین سنی ۳۹/۲ سال و ۶۴۳ مرد با میانگین سنی ۳۷/۱ سال بررسی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، ۱۷/۵ درصد از زنان و ۸/۵ درصد از مردان بررسی شده دارای گرهک تیروئید بودند. در هر دو جنس بررسی شده، رخداد گرهک‌های تیروئید با افزایش سن، افزایش می‌یافت. بنابراین، سن می‌تواند یک فاکتور ریسک در افزایش گرهک‌های تیروئید باشد. اگرچه ۶۱/۸ درصد از گرهک‌ها کمتر از یک سانتی‌متر بودند که نیازی به درمان ندارند، اما ریسک بدخیمی گرهک‌های کوچک با

گرهک‌های بزرگ تفاوتی ندارد.

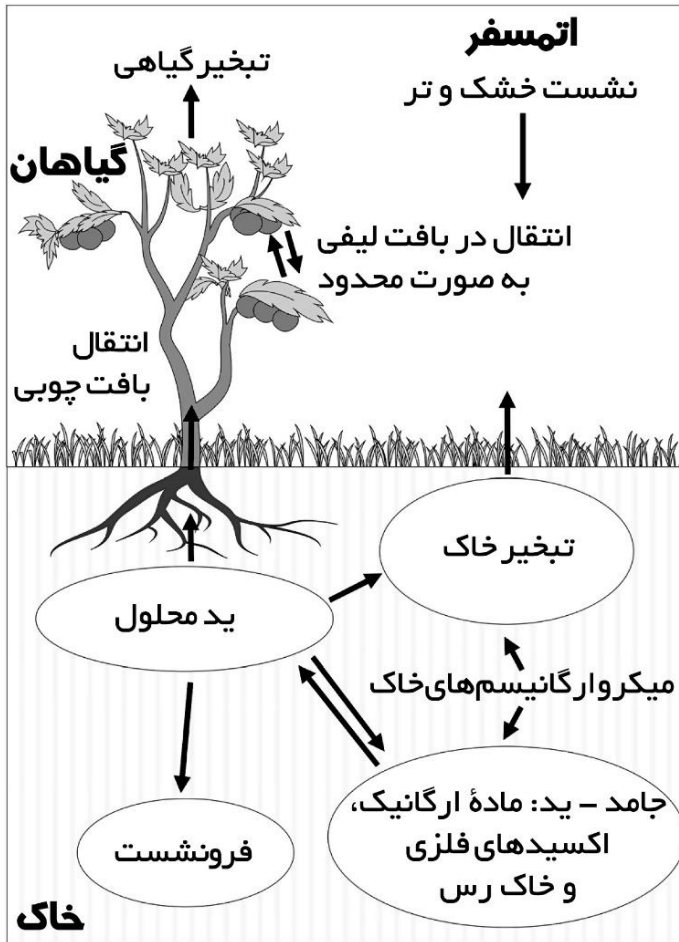
۹-۵- منظرهای پزشکی ید

عنصر ید (به صورت یدید) به شکلی گسترده ولی نامتوازن در محیط زیست زمین پراکنش دارد. در بسیاری از مناطق، فروشست یخچال‌ها، سیل‌ها و فرسایش موجب تهی شدن خاک سطحی از ید گردیده و هم اکنون عمده ید در اقیانوس‌ها یافت می‌شود. یون‌های یدید در آب دریا به ید عنصری اکسیده شده و به محیط اتمسفر زمین تبخیر می‌گردد و توسط باران دوباره به خاک بازگشت می‌نماید و بدین سان چرخه آن کامل می‌شود. اما این بازچرخش ید در بسیاری از مناطق آهسته و ناکامل است و در نتیجه خاک‌ها و آب آشامیدنی، فاقد ید می‌باشند. محصولات روئیده در این خاک‌ها نیز دچار کمبود ید شده و جمعیت‌های انسانی و جانورانی که از غذاهای رویش یافته از این خاک‌ها حاصل می‌شوند، دچار کمبود ید می‌گردند. خاک‌های دچار کمبود ید در کشورهای صنعتی به فراوانی دیده می‌شوند مانند مناطق کوهستانی آلپ در اروپا، غرب میانه در آمریکای شمالی، استرالیای جنوبی و مناطق سرزمینی غربی انگلستان [۱۲].

مانند دیگر عناصر قابل یافت در خاک، ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک، رفتار ید را کنترل می‌کنند. ید ممکن است در میان خاک، مایع و اجزای گازی یک خاک پراکنده باشد که میزان این پراکندگی بسیار بحرانی بوده و به نوبه خود در تعیین سرنوشت ید تعیین کننده می‌باشد. برای مثال، جذب مقادیر بالای ید در فاز جامد تعیین می‌نماید که این ید بی حرکت خواهد بود؛ برعکس در صورت وجود تمایل در فازهای مایع یا گازی (با جذب کم) نشانگر درجه بسیار بالای ید برای دوری جستن از پیکره خاک می‌باشد و این به معنای آن است که ید در این شرایط توسط ریشه گیاهان برداشت شده و به آب‌های سطحی فروشست یافته و یا به صورت گازی به اتمسفر منتشر می‌گردد. تحت چنین شرایطی، برخورد انسان با ید ممکن است افزایش یابد [۱۳].

ید به ماده ارگانیک خاک و همچنین به بعضی از اکسیدهای آلومینیوم و آهن اتصال می‌یابد و چنانچه به خاک اتصال نداشته باشد، مقداری عظیمی پس از زمانی کوتاه، تبخیر

می‌شود. اتصال و تبخیر ید در خاک به نظر می‌آید به فعالیت بیولوژیک خاک بستگی داشته باشد. این فعالیت ممکن است در درون میکروارگانیسم‌های زنده و یا توسط آنزیم‌های بیرونی ترشح شده از میکروارگانیسم‌ها، صورت گیرد [۱۴].



شکل ۹-۱- برهم‌کنش‌های ید در درون سامانه خاک - گیاه - اتمسفر

رابطه‌ای ساده میان محتوی ید خاک و فاصله نمونه‌گیری از ساحل دریا وجود ندارد اما بالاترین مقادیر ید در مناطق ساحلی (۵۰-۰ کیلومتری از دریا) ثبت شده است [۱۵]. همان

گونه که اشاره شد، چرخه ورود و خروج ید به خاک از مسیرهای متنوعی انجام می‌گیرد که مهم‌ترین مسیرهای آن شامل اقیانوس - اتمسفر - گیاه/ خاک و گیاه/ خاک - انسان است. اما فعالیت آنتروپوژنیک بر ید خاک نیز اهمیت دارد و این به معنای آن است که انسان چگونه از خاک استفاده می‌کند زیرا طرز استفاده از زمین بر روی مسیر ید از طریق زنجیره غذایی، اثر دارد [۱۵].

در گیاهانی که در زمین‌های با مقدار ید کم رشد می‌کنند، ممکن است میزان ید بسیار کم باشد و از حدود ۱۰ میکروگرم برای هر کیلوگرم وزن خشک گیاه تجاوز نکند، ولی گیاهانی که در مناطق با ید کافی رشد می‌کنند ممکن است تا یک میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن، ید داشته باشند. گیاهان با ید کم به طور معمول در مناطق کوهستانی و برخی دشت‌ها و مناطق کویری و زمین‌های سیل زده وجود دارند ولی ممکن است در بنادر و مناطق نزدیک دریا نیز دیده شوند. اختلال‌های ناشی از کمبود ید در ساکنین این مناطق ادامه می‌یابد؛ تا زمانی که ید اضافی به روشی وارد بدن آن‌ها شود. این امر با اضافه کردن ید به غذاها (مانند نمک یددار) در منازل و یا در صنایع غذایی انجام می‌شود و یا از راه دیگری که در برنامه‌های کنترل کمبود ید مورد بحث قرار می‌گیرد، به ساکنین مناطق داده می‌شود [۱۶].

اهمیت بیولوژیکی ید، شرکت آن در ساختمان هورمون‌های تیروئید (T_3 و T_4) است. هورمون‌های تیروئید در تنظیم متابولیسم بیشتر سلول‌های بدن و نیز رشدونموی فیزیکی و تکامل سیستم عصبی انسان و حیوانات نقش حیاتی دارند. در کمبود ید، غده تیروئید به منظور دریافت ید بیشتر از جریان خون و تولید مقادیر کافی هورمون، به طور جبرانی بزرگ شده و ایجاد گواتر می‌کند. کمبود ید، عملکرد تیروئید را دچار اختلال می‌کند و برحسب این که این کمبود در چه زمانی حاصل شود و نیز بر اساس شدت آن، عوارض و تغییرات به وجود آمده را تحت عنوان اختلال‌های ناشی از کمبود ید، تقسیم‌بندی می‌کنند (جدول ۹-۱) [۱۷].

جدول ۹-۱- طیف اختلالات ناشی از کمبود ید (IDD) [۱۷]

عوارض و اختلالها	مرحله کمبود
سقط، تولد جنین مرده، ناهنجاری‌های مادرزادی، اختلال‌های حرکتی، روانی و ذهنی، کم‌کاری تیروئید، کرتینیسم عصبی و میکزودمی، دیپلزی اسپاستیک، کر و لالی، عقب ماندگی روانی و ذهنی	دوران جنینی
افزایش مرگ‌ومیر نوزادی، کم‌کاری تیروئید نوزادی، تأخیر رشد فیزیکی و ذهنی	نوزادی، کودکی و نوجوانی
گوآتر توأم با عوارض آن، پرکاری تیروئید ناشی از ید	بالغین
گوآتر، کم‌کاری تیروئید، اختلال عملکرد ذهنی، افزایش استعداد به آسیب‌های ناشی از تشعشع هسته‌ای	تمام سنین

به علت بارندگی‌ها، جاری شدن سیل و یخبندان‌ها طی سال‌های متمادی در بیشتر نقاط دنیا، ید موجود در خاک شسته شده و در نهایت مواد گیاهی و حیوانی فاقد ید کافی می‌شوند و انسان‌هایی که از این منابع استفاده می‌کنند، ید کمتری دریافت می‌دارند. میزان مورد نیاز ید، کمینه ۱۰۰ میکروگرم در روز است که با استفاد از منابع گیاهی و حیوانی تأمین می‌گردد. بیشترین اختلال‌های کمبود ید مربوط به زمان بارداری است که جنین به دلیل این که از ید کافی محروم می‌شود، تولید هورمون‌های تیروئیدی کاهش از خود نشان می‌دهند و ماه‌های سوم تا پنجم زندگی جنینی، وجود هورمون‌های تیروکسین برای رشدونموی سلول‌های عصبی مغزی بسیار ضروری می‌باشند. بنابراین، کمبود این هورمون موجب غیرطبیعی شدن رشد سلول‌های مغزی گردیده و عوارض شدید عصبی - ذهنی ایجاد کرده و پس از تولد نیز با دادن هورمون‌های جایگزین تیروئیدی، بهبودی حاصل نمی‌آید؛ علت اصلی آن است که در دوران بارداری، کمبود ید که با کم‌کاری تیروئید مادر و جنین توأم است، امکان عبور هورمون تیروکسین مادر از جفت نمی‌تواند رشد سلول‌های مغزی جنین را مورد محافظت قرار دهد و جبران ضایعات مغزی میسر نگردیده و آسیب‌های پایدار در مغز جنین ایجاد می‌شود [۱۶].

در بیشتر کسانی که در مناطق کمبود ید زندگی می‌کنند، تنها عارضه‌ای که دیده می‌شود یک گوآتر درستکار است که ترشح هورمون‌های تیروئید و TSH و غلظت آن‌ها در سرم طبیعی

می‌مانند. اما در حالت شدید کمبود ید، علائم شدید عصبی - ذهنی کم‌کاری تیروئید مشاهده می‌گردد. بنابراین، با کمبود ید در منطقه، با توجه به عوامل ژنتیکی و گواترزا، طیفی از علائم شامل گواتر تا آسیب‌های عصبی - ذهنی دیده می‌شوند. در سال ۱۳۶۸، بررسی گواتر در استان‌های کشور نشان داد که در ایران، گواتر به صورت هیپرآندمیک شیوع دارد. در این بررسی آشکار شد که کمبود شدید ید با اختلال‌های شدید در رشد جسمی و ذهنی، عقب افتادن سن سایکوموتور از سن تقویمی، کاهش ضریب هوشی، کاهش شنوایی و کم‌کاری تیروئید در روستاهای شمال تهران همراه بوده است [۱۶].



شکل ۹-۲- هیپوتیروئیدی اولیه مادرزادی در سه ماهگی با تأخیر در رشدونمو [۲۴]

برای مبارزه با اختلال‌های ناشی از کمبود ید که با طیف وسیعی از تظاهرات بالینی به عنوان یکی از مشکلات عمده بهداشتی - تغذیه‌ای توأم بود، مبارزه با کمبود ید در رأس اقدامات کلان کشوری قرار گرفت، زیرا اثرات نامطلوب کمبود ید، به خصوص ضایعه مغزی آن را می‌توان با مصرف عمومی نمک یددار پیشگیری نمود. از این رو، پس از تشکیل کمیته کشوری مبارزه با اختلالات ناشی از کمبود ید در سال ۱۳۶۸ و انجام بررسی کشوری، تهیه و توزیع نمک یددار به عنوان استراتژی اصلی مبارزه با اختلالات ناشی از کمبود ید، انتخاب شده و به مرحله اجرا در آمد. به دنبال اجباری نمودن تولید نمک یددار در سال ۱۳۷۳، مصرف نمک یددار توسط خانوارها

افزایش یافت و در یک بررسی انجام شده در کشور نشان داد که ۹۳ درصد مردم مناطق روستایی و ۹۷ درصد مردم مناطق شهری از نمک یددار استفاده می‌کرده‌اند. در برنامه کنترل و پیشگیری از اختلالات ناشی از کمبود ید، پایش ادواری تعیین میزان دفع ید ادواری حائز اهمیت است. در بررسی سال ۱۳۷۵ نشان داده شد که ۷ سال پس از شروع یدرسانی و ۲ سال پس از آن که بیش از نیمی از جمعیت استان بوشهر از نمک یددار استفاده کرده بودند، ید ادواری در گروه سنی ۸ تا ۱۰ ساله استان، به حد مطلوب سازمان جهانی بهداشت، رسیده است [۶].

بررسی شیوع گواتر در دانش آموزان نیز یک شاخص بسیار مهم برای برآورد بیماری‌های کمبود ید در جمعیت است؛ شیوع گواتر ≤ 5 درصد در این کودکان، نشانگر موجود بودن این مسئله مهم بهداشتی در آن‌ها است. اندازه‌گیری حجم تیروئید به کمک اولتراسونوگرافی در پایش برنامه‌های یدرسانی همگانی در مناطق با کمبود خفیف ید یا عاری از کمبود ید، به جای معاینه فیزیکی تیروئید، برای برآورد میزان رخداد گواتر، پیشنهاد شده است. در یک مطالعه که به وسیله اولتراسونوگرافی برای حجم تیروئید در کودکان ۱۰-۷ ساله شهرستان بوشهر در سال ۱۳۸۶ در دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام گردید، مشخص شد که صدک ۹۷ حجم‌های تیروئید به وسیله اولتراسونوگرافی دانش آموزان شهرستان بوشهر برای تمام سنین کمتر از مقادیر جدید پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی می‌باشد و بر اساس برآورد میزان شیوع گواتر بر اساس اولتراسونوگرافی، شهرستان بوشهر، «منطقه عاری از کمبود ید» محسوب می‌گردد [۱۰].

همچنین در سطح ملی، گزارش گردیده است که دریافت ید کودکان دبستانی کافی است اما زنان باردار ایرانی دچار کمبود متوسط ید بوده و به دریافت ید نیاز دارند [۱۸]. سازمان بهداشت جهانی، دریافت ید را در سطح جمعیت ۱۵۰ میکروگرم در روز برای بزرگسالان و نوجوانان ۱۳ سال به بالا، ۲۰۰ میکروگرم در روز برای دوران حاملگی و شیردهی، ۱۲۰ میکروگرم در روز برای کودکان ۱۲-۶ ساله و ۹۰ میکروگرم در روز برای کودکان ۵۹-۰ ساله، پیشنهاد داده است [۱۹].

بر پایه مطالعات استاد محترم جناب آقای دکتر فریدون عزیزی که بنیانگذار برنامه غنی‌سازی نمک با ید در کشور بوده‌اند، جمعیت‌های ایرانی، مقدار کافی ید مصرف می‌کنند و

برنامه همگانی غنی‌سازی نمک با ید، دریافت غذایی ید را در سطح جمعیت بهبودی داده و تمام مناطق کشور، شاخص‌های مربوط به یک برنامه به خوبی کنترل شده بیماری‌های کمبود ید را به دست آورده‌اند [۲۰]. با وجود موفقیت در مبارزه با کمبود ید در سطح کشور و منطقه جنوب ایران [۶، ۲۱]، بررسی دوباره حجم تیروئید به وسیله اولتراسونوگرافی و شیوع گواتر در بندر بوشهر به عنوان یک منطقه عاری از کمبود ید، نشان دهنده افزایش حجم تیروئید و شیوع گواتر در کودکان دبستانی بندر بوشهر بود که این افزایش در مقایسه با مطالعه نخست که در ۶ سال پیش از این توسط همین گروه از پژوهشگران انجام گردید، چشمگیر بود [۹، ۱۰].

هر چند که علت اصلی گواتر و اختلال‌های ناشی از کمبود ید، کمبود ید خاک و آب است، اما عوامل ژنتیکی، مصرف زیاد مواد گواتروژن از جمله گیاهان خانواده کلم و شلغم، بادام زمینی، لوبیای سویا و گاساوا، جذب ید را دچار اختلال می‌کنند؛ سوءتغذیه پروتئین و انرژی، کمبود ویتامین A و کمبود سلنیم نیز به عنوان عوامل ثانوی شدت کمبود ید گزارش شده‌اند. بنابراین، برای این افزایش حجم تیروئید و گواتر در بندر بوشهر (به عنوان منطقه‌ای که عاری از کمبود ید است)، می‌بایست به جستجوی عوامل دیگر پرداخت.

در این میان، در بررسی سطح عناصر دیگر که در ارتباط با موضوع زمین‌شناسی پزشکی می‌باشند باید به کمبود سلنیم، منیزیم و کبالت و افزایش سیلیسیم در افزایش گواتر در مناطق با ید کافی، اشاره نمود [۴]. نقش فلوراید در افزایش حجم تیروئید نیز در کودکان مورد بررسی قرار گرفته است [۲۲]. اما آنچه که به بحث ما در اینجا برمی‌گردد ارتباط ید و کمبود سلنیم است. سلنیم از عناصر کمیابی است که کمبود آن با افزایش حجم تیروئید توأم است. این عنصر به عنوان یک ضد اکسیدانت و کاهنده ساخت رادیکال‌های آزاد، نقش مهمی را در ساخت، متابولیسم و عمل هورمون‌های تیروئیدی بازی می‌کند زیرا دو آنزیم که در ساخت و متابولیسم هورمون‌های تیروئیدی نقش ایفا می‌کنند (مانند دی‌آیودیناز و گلوکوتایون پروکسیداز)، از پروتئین‌های سلنوسیستئینی هستند [۲۳].

در مناطقی از جهان، مردم در معرض کمبود سلنیوم قرار دارند زیرا محتوای سلنیوم خاک‌های سطحی با فرسایش و فروشست زمین مانند آنچه که در سرنوشت ید وجود دارد،

کاهش یافته و خاک دچار فقر سلنیوم می‌شود بنابراین، زنجیره‌های غذایی گیاهی و جانوری حاوی مقادیر ناکافی هر دو عنصر ید و سلنیوم می‌شوند [۲۳]؛ بنابراین، بررسی سلنیوم و ید خاک نیز در بررسی بیماری‌های وابسته به کمبود ید می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

۹-۶- منابع

- 1) Goldschmidt, V.M., *Geochemistry*. Vol. 78. 1954: LWW.
 - 2) Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., *Trace elements from soil to human*. 2007: Springer Science & Business Media.
 - 3) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, *Essentials of medical geology*. 2016: Springer.
 - 4) Gorbachev, A.L., Skalny, A.V., and Koubassov, R.V., Bioelement effects on thyroid gland in children living in iodine-adequate territory. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2007. 21: p. 56-58.
 - 5) Jafari, S.M., Heidari, G., Nabipour, I., *et al.*, Serum retinol levels are positively correlated with hemoglobin concentrations, independent of iron homeostasis: a population-based study. *Nutrition research*, 2013. 33(4): p. 279-285.
- ۶) شیخ الاسلام، ر.، میرمیران، پ.، هدایتی، م.، همکاران.، پایش شیوع گواتر و میزان ید ادرار در دانش آموزان ۸ تا ۱۰ ساله استان بوشهر در سال ۱۳۷۵. *دوماهنامه طب جنوب*، ۱۳۸۰. سال ۴، شماره ۱، صفحات ۳۵-۳۰.
- 7) Rezaie, M., Dolati, S., Far, A.H., *et al.*, Assessment of Iodine Status in Iranian Students Aged 8–10 Years: Monitoring the National Program for the Prevention and Control of Iodine Deficiency Disorders in 2016. *Iranian Journal of Public Health*, 2020. 49(2): p. 377.
 - 8) Shamsollahi, H.R., Nadarloo, M., Rastkari, N., *et al.*, Monitoring of salt iodisation programme in Iran; Health outcomes, shortages and perspective. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2019. 52: p. 6-11.
 - 9) Morad Haseli, F., Ostovar, A., Homayoon, N., *et al.*, Ultrasonographic evaluation of the thyroid gland and goiter prevalence in Bushehr port as an iodine-sufficient area: 6-year prospective study in schoolchild. *ISMJ*, 2015. 18(1): p. 147-157.
 - 10) Morad Haseli, F., Nabipour, I., Asadi, M., *et al.*, Ultrasonographic determination of the thyroid volume in 7-10 years old children of Bushehr port 2007. *Iranian South Medical Journal*, 2009. 11(2): p. 170-176.

- 11) Mohammadi, A., Amir, A.E., Masoudi, S., *et al.*, Ultrasonographic prevalence of thyroid incidentaloma in Bushehr, southern Iran. 2009.
- 12) Zimmermann, M.B., Symposium on 'Geographical and geological influences on nutrition' Iodine deficiency in industrialised countries: Conference on 'Over-and undernutrition: challenges and approaches'. Proceedings of the Nutrition Society, 2010. 69(1): p. 133-143.
- 13) Ashworth, D.J., Transfers of Iodine in the Soil-Plant-Air System: Solid-Liquid Partitioning, Migration, Plant Uptake and Volatilization. Comprehensive handbook of iodine. Academic Press, Oxford, 2009: p. 107-118.
- 14) Johanson, K.J., Iodine in soil. 2000, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- 15) Johnson, C., The geochemistry of iodine and its application to environmental strategies for reducing the risk from iodine deficiency disorders (IDD). 2003: British Geological Survey Commissioned Report.
- 16) Azizi, F., Delshad, H., Amouzegar, A., *et al.*, Prevention of iodine-deficiency induced goiter and brain damage in the Islamic Republic of Iran. Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism, 2014. 15(5): p. 411-429.
- 17) Delshad, H., History of the Iodine Deficiency in the World and Iran. Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism, 2008. 9(4): p. 439-453.
- 18) Delshad, H. and Azizi, F., Review of iodine nutrition in Iranian population in the past quarter of century. International journal of endocrinology and metabolism, 2017. 15(4).
- 19) Risher, J. and Keith, L.S., Iodine and inorganic iodides: human health aspects. 2009: World Health Organization.
- 20) Delshad, H., Mirmiran, P., Abdollahi, Z., *et al.*, Continuously sustained elimination of iodine deficiency: a quarter of a century success in the Islamic Republic of Iran. Journal of endocrinological investigation, 2018. 41(9): p. 1089-1095.
- 21) Mirahmadizadeh, A., Kavousi, E., Vakili, M., *et al.*, Iodine Deficiency Disorders in the South of Iran during 1989-2012: A Surveillance System Report. Journal of Health Sciences & Surveillance System, 2013. 1(2): p. 57-66.
- 22) Kutlucan, A., Koroglu, B.K., Tamer, M.N., *et al.*, The investigation of effects of fluorosis on thyroid volume in school-age children. Med. Glas, 2013. 10: p. 93-98.
- 23) Zimmermann, M.B. and Köhrle, J., The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. Thyroid, 2002. 12(10): p. 867-878.

فصل دهم

عنصر فلورین در استان بوشهر

۱-۱۰- زمین‌شیمی زیست محیطی فلورور

فلورور سیزدهمین عنصر از نظر فراوانی در زمین است و میانگین غلظت آن در خاک ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. فلورور عنصری لیتوفیل است و در سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی و در طیف وسیعی از شرایط زمین‌شناسی و محیطی حضور دارد. غلظت فلورور در سنگ‌های مافیک به ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد؛ در حالی که تمرکز آن در سنگ‌های آذرین اسیدی ۳۰۰ تا ۸۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و میانگین پوسته‌ای آن ۶۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. علاوه بر این، غلظت‌های بالایی از فلورور در کانی‌های فسفات‌ها مشاهده شده است [۱، ۲].

مهم‌ترین منبع طبیعی این عنصر در محیط‌زیست کانی فلورین (فلوروریت) است که حاوی ۵۱/۳ درصد کلسیم و ۴۸/۷ درصد فلورور است. بر اساس قوانین جانشینی عناصر (فصل اول)، عناصر ایریدیم و سزیم ممکن است جانشین کلسیم شوند این کانی در سیستم مکعبی متبلور می‌شود و می‌تواند عناصر نادر را در خود جای دهد. به طور معمول، کانی فلورین با نهشته‌های سرب، روی و باریت همراه است. دیگر کانی‌های رایج فلورور عبارتند از: کریولیت و فلورورآپاتیت.

هوازگی سنگ، منجر به آلودگی خاک و آب زیرزمینی می‌شود. بیشتر فلورور موجود در خاک، در کانی‌ها و یا به صورت جذب شده به رس‌ها و اکسی‌هیدروکسیدها می‌باشد. در pH‌های قلیایی، جانشینی میان یون هیدروکسیل (OH^-) و فلورور بسیار رایج است [۳]. کانی‌های کلریت، بیوتیت، مسکوویت، میکا و اکسی‌هیدروکسیدها مثال‌هایی از این جانشینی در طبیعت هستند [۴، ۵]. حضور غلظت‌های بالایی از فلوراید در آب‌های زیرزمینی و گیاهان مناطقی که منشأ زمین‌زاد

این عنصر وجود دارد، می‌تواند ناشی از انحلال کانی‌های فوق در آب باشد [۳، ۶]. گیاهان فلئوئور را هم از آب و هم از خاک و بیشتر از راه فرآیندهای انتشار جذب می‌کنند [۷]. به طور مثال، غلظت فلئوئور در چای به ۶۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد که ناشی از جذب این یون از خاک در شرایط مناسب pH و حضور رس در خاک است [۸]. در تحرک‌پذیری عنصر فلئوئور در خاک به ظرفیت جذب خاک بستگی دارد که این خود نیز به pH خاک، نوع جاذب موجود در خاک و شوری خاک وابسته است [۹]. به طور کلی غلظت فلئوئور در خاک‌های ریزدانه که حاوی مقادیر بالایی از رس و اکسی‌هیدروکسیدها هستند بیش از خاک‌های درشت‌دانه و ماسه‌ای است. در خاک ریزدانه با pH حدود ۶ تا ۶/۵ تحرک یون فلئوئور بسیار پایین است [۶]. علاوه بر این، شوری بالا نیز می‌تواند تحرک و زیست دسترس‌پذیری فلئوئور را افزایش دهد. این رویداد با افزایش پتانسیل برای تشکیل کمپلکس‌های فلئوئور و افزایش تعداد یون‌هایی که در رقابت با سایت‌های جذب خاک هستند صورت می‌گیرد [۱۰].

آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی به فلئوئور پدیده‌ای رایج است که بسیاری از افراد را در معرض غلظت‌های بالایی از فلوراید قرار می‌دهد. آزاد شدن این عنصر از کانی‌های فلئوئوردار به pH آب، زمان ماند آب در آبخوان، مدت‌زمان تماس بین آب و کانی، ترکیب شیمیایی آب و دسترسی آب به کانی‌های فلئوئوردار بستگی دارد [۱۱]. تثبیت فلئوئور در آب بیشتر به حضور کانی‌های رسی، فسفات‌ها و کربنات‌ها بستگی دارد اما در شرایطی که عوامل تثبیت‌کننده وجود نداشته باشند، می‌تواند به جو وارد شود. حضور F در آب باران و آب ناشی از ذوب برف در مناطق دور از آلودگی تایید کننده ورود فلئوئور به جو است [۱].

گیاهان رشد یافته در مناطق آلوده ممکن است غلظت‌های بالایی از فلئوئور را در اندام‌های هوایی خود داشته باشند. در بسیاری از گیاهان به خصوص گیاهان علوفه‌ای، F در برگ انباشته می‌شود. به طور کلی، فلئوئور از عناصر ضروری برای گیاه محسوب نمی‌شود و گیاهان حساس ممکن است نشانه‌هایی از کاهش سرعت رشد، توقف تولید مثل و کاهش بازدهی را نشان دهند. علاوه بر این، انتقال فلئوئور از گیاه به گیاه‌خواران به ویژه دام‌های چرنده بسیار حائز اهمیت است. مسمومیت گاوها با مقادیر بالای F منجر به کاهش تولید مثل و کاهش تولید شیر آن‌ها می‌شود.

گستره غلظت مجاز F در علوفه، ۲۰ تا ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم تخمین زده شده است [۱]. فلئور یک عنصر ضروری برای سلامت انسان است و مقدار آن در بافت‌های نرم بدن به ۰/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم و در اسکلت به ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌رسد. میانگین غلظت فلئور در ادرار و شیر انسان به ترتیب ۱/۲ و ۰/۰۱۷ میلی گرم بر لیتر است [۱]. اگرچه مقادیر بهینه فلئور برای سلامتی دندان مفید است، اما غلظت‌های بالای آن منجر به نابهنجاری‌هایی در بدن انسان می‌شود. جذب روزانه بین ۲۰ تا ۷۰ میلی گرم فلئور توسط افراد بالغ ممکن است منجر به سوزش معده شود. خوردن غذا یکی از راه‌های مهم ورود عنصر فلئور به بدن انسان است، اما فلوراید بیشتر از راه آب آشامیدنی به بدن انسان می‌رسد و غلظت بیش از ۱/۵ میلی گرم بر لیتر آن در آب آشامیدنی منجر به بیماری فلئورزیس^۱ دندان‌ها و استخوانی می‌شود. از نشانه‌های بارز بیماری فلئورزیس، لکه‌دار شدن مینای دندان و تغییر شکل‌های اسکلتی و مفصلی مانند انحنای ستون فقرات و مشکلات خمیدگی زانو می‌باشد. افراد مسن، کودکانی که سوءتغذیه دارند و افراد دارای بیماری‌های قلبی - عروقی بیشتر در معرض بیماری فلئورسیس هستند. علاوه بر این، تغییرات جهش‌زا و سرطان‌زا در کلیه‌ها نیز ناشی از دریافت غلظت‌های بالای فلئور می‌باشد. در حالی که غلظت حدود یک میلی گرم بر لیتر باعث کاهش پوسیدگی دندان می‌شود [۲]. جذب بالای F و جذب پایین I می‌تواند بیماری‌های مختلفی از جمله آسیب‌های عصبی، پرکاری تیروئید و عملکرد پارانشیم کبد ایجاد کند [۱]. ساکنین برخی از نقاط ایران مانند بهاباد استان یزد، ماکو آذربایجان شرقی، کوهبنان استان کرمان، لار استان فارس و دشتستان استان بوشهر علائمی از فلئورزیس دندان‌ها و استخوانی نشان می‌دهند.

۱۰-۲- فلئور در استان بوشهر

در بخش‌هایی از استان بوشهر مانند منطقه دشتستان، غلظت‌های بالایی از عنصر فلئور وجود دارد که وجود بیماری فلئورزیس دندان‌ها در ساکنین این مناطق نیز مؤید این مسئله

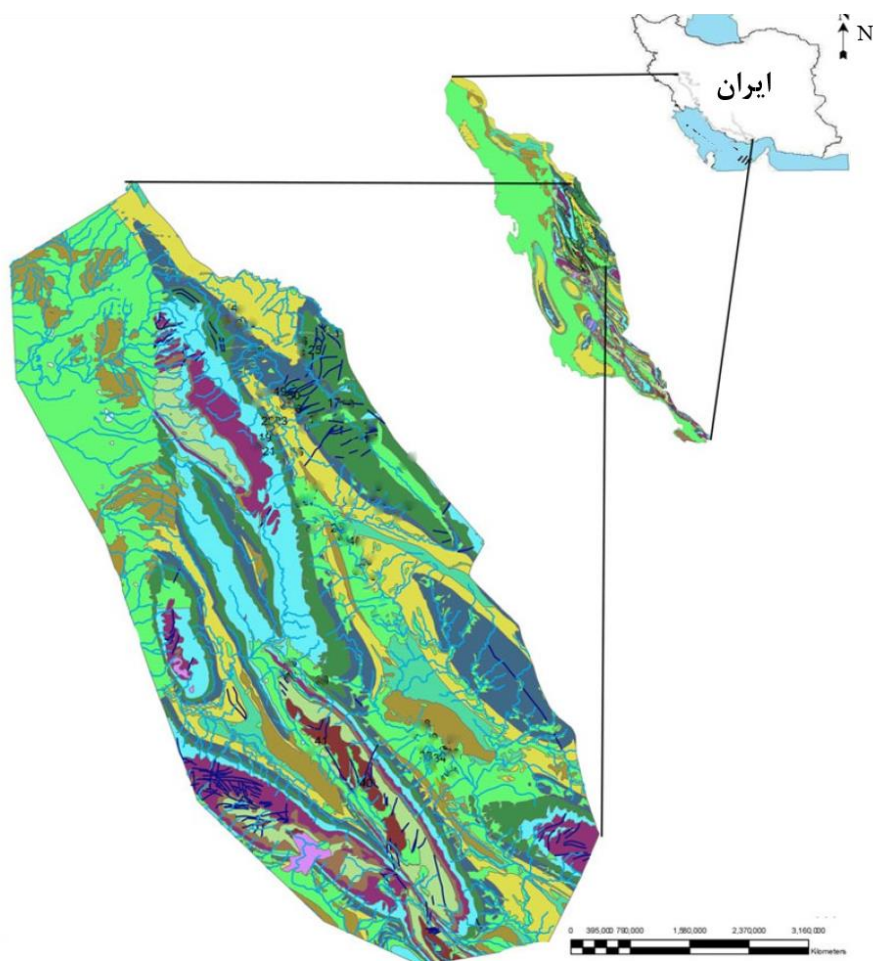
^۱ Fluorosis

می‌باشد. فلوراید در آب آشامیدنی استان بوشهر در گستره ۱/۱ تا ۴/۶ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین ۱/۹ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است [۱۲]. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، منشأ فلوراید در آب، خاک و گیاه منطقه طبیعی و زمین‌زاد است [۷، ۱۳]. خرما، گندم، کنجد و ذرت بیشترین سطح زیر کشت منطقه پشتکوه دشتستان را به خود اختصاص داده‌اند.

۱۰-۲-۱- فلوراید در منطقه دشتستان

قدیمی‌ترین سازندهای منطقه دشتستان مربوط به گروه خامی و جدیدترین آن‌ها مربوط به آبرفت‌های عهد حاضر می‌باشند. بیشتر خاک‌های منطقه از مارن‌های هوازده تشکیل شده‌اند. در بخش‌هایی نیز سازندهای اطراف که ماسه‌سنگی، آهکی با میان‌لايه‌های مارنی هستند، هوازده شده و به خاک تبدیل شده‌اند. به طور دقیق‌تر سنگ‌آهک‌های کرتاسه پایینی همراه با شیل (سازند فهلیان - داریان)، مارن‌های کرتاسه بالایی (سازند گورپی)، سنگ‌آهک‌های رسی ائوسن - پالئوسن (سازند پابده)، نمک‌ها و انیدریت‌های میوسن (سازند گچساران)، مارن‌های میوسن (سازند میشان)، ماسه‌سنگ‌ها و مارن‌های میوسن (سازند آغاچاری) و کنگلومرای پیلوسن (سازند بختیاری) مهم‌ترین سنگ‌های منطقه دشتستان هستند [۳، ۱۴] (شکل ۱۰-۱).

غلظت فلوراید در سنگ، خاک، آب زیرزمینی، آب چاه، آب چشمه، آب رودخانه، آب آشامیدنی و گیاهان گندم و خرما در منطقه پشتکوه دشتستان اندازه‌گیری شده است [۳، ۶، ۷]. در این پژوهش‌ها، ارتباط میان غلظت فلوراید با زمین‌شناسی منطقه و همچنین زیست‌انباشتگری گیاهان بررسی شده‌اند. نتایج این پژوهش‌ها در جدول ۱۰-۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین فلوراید در خاک این منطقه (۵۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیش از ۱/۵ برابر میانگین جهانی این عنصر (۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است که منشأ اصلی آن حضور کانی‌های فلوریدار منطقه (کلریت، فلوریت، مسکوویت و میکا) و pH قلیایی خاک می‌باشد.



راهنمای نقشه

- | | |
|--|---|
|  ماسه سنگ و مارن قرمز |  سنگ آهک |
|  رسوبات عهد حاضر - خاک های تحکیم نیافته، رس، ماسه و گراول |  سنگ آهک، شیل، سنگ آهک دولومیتی |
|  انیدریت، سنگ آهک دولومیتی و دولومیت |  سنگ آهک، شیل، سنگ آهک دولومیتی، انیدریت |
|  انیدریت، مارن های کلسیتی، نمک |  سنگ آهک، شیل، سنگ آهک دولومیتی |
|  کنگلومرا، کنگلومرای مارنی ماسه ای |  سنگ آهک، شیل |
|  مارن خاکستری |  شیل های اولیوینی و ماسه سنگ |
| |  مارن های کلسیتی و شیل ها، مارن خاکستری |
| |  مارن قرمز |

شکل ۱۰-۱- نقشه سنگ شناسی منطقه دشتستان [۱۳]

جدول ۱۰-۱- اسیدیته خاک، اسیدیته آب و غلظت فلئور در خاک، آب زیرزمینی، آب چاه، آب چشمه، آب رودخانه، گندم و خرما در منطقه دشتستان

مرجع	میانگین	رنج	منطقه مورد مطالعه	پارامتر اندازه‌گیری شده
[۳]	۸/۰۳	۷/۲۵ - ۸/۶	پشتکوه دشتستان	اسیدیته خاک (pH)
	۷/۶	۷/۲ - ۸/۲		اسیدیته آب (pH)
	۴۱۳/۴۲	۱۶۵ - ۶۴۵		غلظت فلئور در سنگ (mg/Kg)
	۵۳۲	۳۸۵ - ۷۳۵		غلظت فلئور در خاک (mg/Kg)
[۶]	۳/۳	۰/۹۷ - ۶/۶	پشتکوه دشتستان	غلظت فلوراید در آب زیرزمینی (mg/L)
[۱۶، ۱۵]	۱/۷۶	۰/۹۹ - ۲/۵	دشتستان	
[۱۷]	-	۲/۱	انارستان	
	۳/۸	۳/۳ - ۹۴/۶۶	تنگ ارم	
	-	۳/۱۸	بوشکان	
	-	۱/۷۲	کلمه	
[۷، ۳]	۱/۱۳	۰/۷۶ - ۱/۷۶	پشتکوه دشتستان	غلظت فلوراید در آب چشمه (mg/L)
	۱/۴۶	۰/۷۷ - ۲/۶۰		غلظت فلوراید در آب رودخانه (mg/L)
	۱/۹۷	۰/۹۱ - ۴/۳۵		غلظت فلوراید در آب چاه (mg/L)
	-	۰/۸۸		غلظت فلوراید در آب آشامیدنی (mg/L)
	۳۰/۲۸	۲۰ - ۳۸		غلظت فلئور در ریشه گندم (mg/Kg)
	۱۷/۵۷	۱۲ - ۲۳		غلظت فلئور در ساقه گندم (mg/Kg)
	۱۰	۶ - ۱۹		غلظت فلئور در خرما (mg/Kg)

فلوئور آزاد شده از خاک به راحتی وارد منابع آب آشامیدنی، گیاهان و در نهایت بدن انسان می‌شود. غلظت فلوراید اندازه‌گیری شده در آب‌های زیرزمینی این منطقه که برای شرب و پخت‌وپز نیز استفاده می‌شوند بین ۰/۹۷ تا ۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است. میانگین غلظت فلوراید در آب چاه‌ها، چشمه‌ها و رودخانه‌ها نیز به ترتیب ۱/۹۷، ۱/۱۳ و ۱/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بدین ترتیب، غلظت بسیاری از نمونه‌های آب آشامیدنی بیش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد.

غلظت فلوراید در آب زیرزمینی منطقه دشتستان و ارتباط آن با آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب، در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ نیز توسط دوبرادران و همکاران اندازه‌گیری شده است [۱۵، ۱۶]. ارتباط مثبت و معناداری میان غلظت فلوراید، کلسیم، منیزیم و سولفات وجود دارد [۱۶]. ارتباط میان غلظت فلوراید در آب آشامیدنی با میزان پوسیدگی دندان کودکان نیز بررسی شد و نتایج نشان داد رابطه معناداری میان غلظت فلوراید در آب آشامیدنی و پوسیدگی دندان ۲۳۴۰ بچه ۶ تا ۱۱ سال وجود ندارد [۱۵].

۱۰-۲-۲- فلوئور در منطقه بوشهر

غلظت فلوراید در آب آشامیدنی شهر بوشهر توسط رئیسی و همکاران در سال ۲۰۱۶ اندازه‌گیری شد [۱۸]. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین غلظت فلوراید برابر با ۰/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر و بسیار پایین‌تر از استانداردهای ملی و سازمان بهداشت جهانی است. غلظت فلوراید در آب‌های خلیج فارس در منطقه بوشهر برای نخستین بار توسط نبی‌پور و دوبرادران در سال ۲۰۱۳ اندازه‌گیری شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که گستره تغییر غلظت فلوراید از ۲/۲۸ تا ۲/۹۲ میلی‌گرم بر لیتر متفاوت است [۱۹]. با توجه به میانگین غلظت فلوراید در آب‌های جهان (۱/۲ تا ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر)، به نظر می‌رسد که ورود آب‌های غنی از فلوئور که از بخش‌های مختلف استان سرچشمه می‌گیرد و به خلیج فارس می‌ریزد باعث افزایش غلظت فلوراید در آب‌های ساحلی خلیج فارس است.

جدول ۱۰-۲- غلظت فلوراید در آب‌های ساحلی خلیج فارس و آب زیرزمینی در منطقه کنگان.

منطقه مورد مطالعه	نوع نمونه	تعداد نمونه	پارامتر اندازه‌گیری شده	رنج	میانگین	مرجع
بوشهر	آب‌های ساحلی	۸	دمای آب °C	۳۱/۲ - ۳۱/۶	۳۱/۳۳	[۱۹]
			اسیدیته آب (pH)	۸/۱۶ - ۸/۲	۸/۱۹	
			غلظت فلئور (mg/L)	۲/۴۳ - ۲/۶۷	۲/۶۴	
نخل تقی	آب‌های ساحلی	۱۵	دمای آب °C	۲۵/۲ - ۳۳/۸	۲۹/۴۵	[۲۰]
			اسیدیته آب (pH)	۷/۴۲ - ۸/۹۷	۸/۰۹	
			غلظت فلئور (mg/L)	۱/۲۹ - ۲/۷۹	۱/۸۲	
کنگان	آب‌های ساحلی	۱۵	دمای آب °C	۲۴/۷ - ۳۳/۹	۲۹/۳۸	[۲۰]
			اسیدیته آب (pH)	۷/۳۲ - ۸۸/۸	۷/۹۶	
			غلظت فلئور (mg/L)	۱/۲۷ - ۲/۶۳	۱/۷۰	
لاور ساحلی	آب‌های ساحلی	۱۵	دمای آب °C	۲۴/۳ - ۳۳/۷	۲۹/۳۹	[۲۰]
			اسیدیته آب (pH)	۷/۰۹ - ۸/۸۲	۷/۹۴	
			غلظت فلئور (mg/L)	۰/۳۵ - ۲/۲۸	۱/۴۴	
کنگان	آب زیرزمینی	۴	غلظت فلئور (mg/L)	۱/۵۲ - ۲/۷۴	۱/۸۵	[۱۷]

۱۰-۲-۳- فلوتور در مناطق کنگان، لاور ساحلی و نخل تقی

غلظت فلوراید در آب‌های خلیج فارس در مناطق سه‌گانه لاور ساحلی، کنگان و نخل تقی توسط ایزدی و همکاران [۲۰] اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش در جدول ۱۰-۲ قابل مشاهده است. یافته‌های این بررسی نشان داد که منشأ انسان‌زاد فلوراید در منطقه (فعالیت‌های صنعتی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس) نقش به‌سزایی در افزایش غلظت فلوراید در آب‌های خلیج فارس دارد.

۱۰-۲-۴- فلوتور در مناطق دشتی و دیر

غلظت فلوراید در آب زیرزمینی مناطق دشتی و دیر توسط دوبرادران و همکاران در سال ۲۰۱۸ اندازه‌گیری شد [۱۷]. نتایج این پژوهش که در جدول ۱۰-۳ ارائه شده است، نشان داد که غلظت بسیاری از نمونه‌های آب آشامیدنی بیش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد.

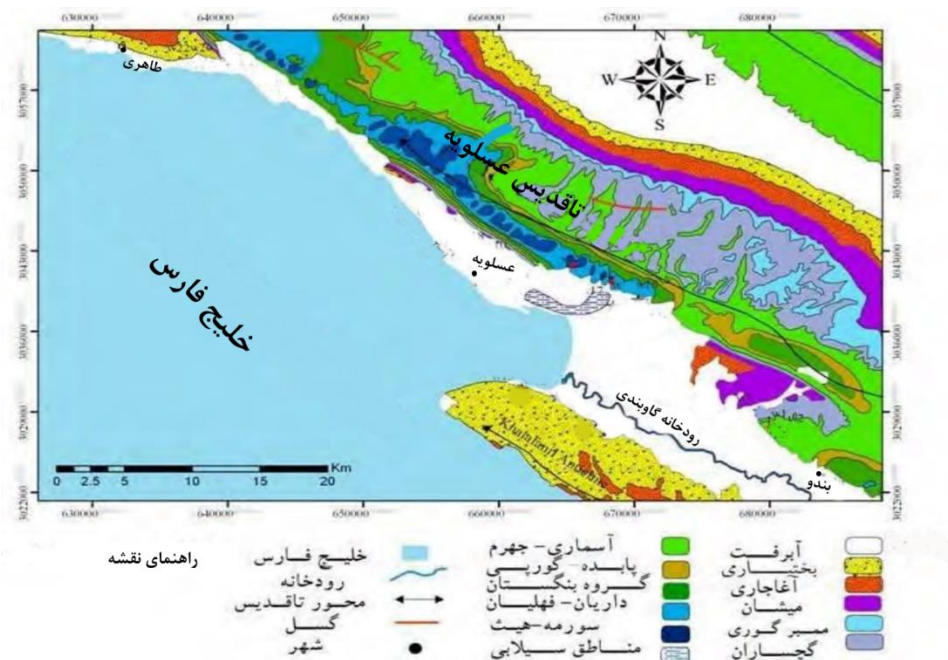
جدول ۱۰-۳- غلظت فلوراید در آب زیرزمینی مناطق دشتی و دیر [۱۷]

منطقه مورد مطالعه	تعداد نمونه	رنج	میانگین
دشتی - خورموج	۵	۱/۷۱ - ۲/۴۴	۲/۰۴
دشتی - کاکلی	۴	۱/۶۱ - ۱/۶۳	۱/۶۲
دشتی - شنبه	۲	۱/۱ - ۸۴/۷۲	۱/۷۸
دیر - دیر	۱	۱/۵۴	-

۱۰-۲-۵- فلوتور در مناطق عسلویه و بندر طاهری

دشت عسلویه یک ناودیس است که ارتفاعات شمالی آن را سازندهای آسماری، جهرم، ایلام و سروک تشکیل می‌دهند. در حالی که بخش میانی و جنوبی آن به ترتیب از آبرفت‌های کوتاه‌تر و سازند بختیاری تشکیل شده است (شکل ۱۰-۲). آهک‌های آسماری، جهرم، سروک

و ایلام مستعد تشکیل آبخوان کارستی هستند. سازندهای کنگلومرای بختیاری و ماسه سنگ آغاچاری سنگ‌بستر این آبرفت را تشکیل می‌دهند. آبرفت‌های حاشیه شمالی دانه‌درشت هستند و به سمت جنوب دانه ریزتر می‌شوند [۲۱].



شکل ۱۰-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه عسلویه [۲۱]

غلظت فلوراید در آب دو چاه در منطقه عسلویه و بندر طاهری، ۱/۹۴ و ۱/۸۷ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است [۲۱]. این مقادیر بیش از مقدار استاندارد فلوراید در آب آشامیدنی (حداکثر ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) است. تپ آب زیرزمینی این منطقه بیشتر کلروره-سدیک است و غلظت عناصر قلیایی بیش از عناصر قلیایی خاکی است [۲۱]. دلیل احتمالی این مشاهده، نفوذ آب دریا به چاه‌ها به دلیل برداشت بی‌رویه از چاه و همچنین انحلال بالای هالیت در سازندهای گچساران، آغاچاری و میشان است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، شوری بالای آب، به تحرک‌پذیری بیشتر عنصر فلوئور کمک می‌کند.

۱۰-۳- منظرهای پزشکی فلوراید

فلوراید اثرات سودمند و مضر بر سلامت انسان دارد. از دیدگاه سلامت دندان‌ها، شیوع پوسیدگی دندانی به شکل معکوس با غلظت فلوراید در آب آشامیدنی، رابطه معکوس دارد و این در حالی است که یک «رابطه دوز-پاسخ» میان غلظت فلوراید آب آشامیدنی و شیوع فلئوریزیس دندانی مشاهده می‌شود. از دیدگاه سلامت عمومی، در جوامعی که آب آشامیدنی و غذاها سرشار از فلوراید باشند، فلئوریزیس اسکلتی و شکستگی استخوان، از عوارض ناخواسته مربوطه قلمداد می‌شوند.

غلظت بهینه فلوراید، بر طبق شرایط اقلیمی، در محدوده ۰/۵ میلی‌گرم تا یک میلی‌گرم در لیتر بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی است. در بسیاری از کشورها، به ویژه هندوستان، آفریقا، چین و خاورمیانه، آب آشامیدنی می‌تواند حاوی مقادیر بالاتری از فلوراید بوده که به صورت طبیعی دیده می‌شود که این مقادیر می‌توانند در فراتر از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر مقدار پیشنهادی دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی باشد [۲۲]. فلوراید به عنوان یک عنصر کمیاب در بدن محسوب می‌شود زیرا مقدار آن در یک فرد بالغ ۲/۶ گرم است و مقدار مورد نیاز روزانه برای نگهداشت سلامت فقط چند میلی‌گرم در روز است. حدود ۹۶ درصد از فلوراید تام بدن در استخوان‌ها و دندان‌ها وجود دارد [۲۳].

اثرات دندانی فلوراید که به شکل طبیعی در آب آشامیدنی عمومی وجود دارد در طی دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ توسط ترندلی دین و همکاران وی در خدمات سلامت عمومی ایالات متحده آمریکا آشکار گردید. در طی یک مجموعه از مطالعات اپیدمیولوژیک در سراسر آمریکا، آن‌ها نشان دادند که غلظت موجود در آب آشامیدنی که به صورت طبیعی وجود دارد، چنانچه افزایش یابد، شیوع و شدت فلئوریزیس دندانی نیز فزونی یافته و شیوع و شدت پوسیدگی دندانی کاهش می‌یابد [۲۲]. در طی چند سال اخیر، پاتوزن فلئوریزیس اندمیک مورد توجه واقع شده و بررسی مسیرهای ملکولی و سیگنالی مربوطه تحت جستجو قرار گرفته‌اند و به اثرات فرا استخوانی فلوراید در بدن نیز پرداخته شده است؛ زیرا آشکار شده است که مکانیسم‌های تنظیمی اصلی بدن مانند متابولیسم، استرس و آپوپتوز ممکن است تا حدی

تحت تأثیر بعضی از غلظت‌های فلوراید باشند. نشان داده شده است که فلوراید زیادی موجب استرس اکسیداتیو و ارتقاء آپوپتوز در بافت‌های غیراستخوانی می‌شود [۲۴].

از این رو، اثرات فلوراید در بعضی از دستگاه‌های بدن مانند قلب و عروق، دستگاه عصبی، کلیه‌ها و کبد، دستگاه تولید مثلی و در دیابت و فشارخون مورد بررسی قرار گرفته‌اند که نتایج ضد و نقیضی حاصل شده است و این نشان می‌دهد که می‌بایست در مورد پاتوژنز آن در دستگاه‌های گوناگون بدن، پژوهش‌های بیشتری با مقادیر فیزیولوژیک فلوراید و یا مقادیری که در سطح طبیعت یافت می‌شوند و بر بدن انسان اثر می‌گذارند، انجام شود [۲۴].

وجود این نتایج ضدونقیض در مورد اثر فلوراید را می‌توان در اثر این عنصر بر فشارخون، به خوبی مشاهده نمود؛ برای مثال، در مطالعه‌ای از چین، خطر بالاتر فشارخون در افرادی که در معرض غلظت‌های بالاتر فلوراید در آب بودند، گزارش گردید و در مطالعه‌ای دیگر در ایران، یک همبستگی مثبت میان غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی و میانگین فشارخون سیستولیک در مردان به دست آمد اما در مطالعه‌ای که در ۹۱ روستا در استان بوشهر به انجام رسید، یک همبستگی معنی‌دار منفی میان شیوع فشارخون و سطح فلوراید آب مشاهده شد [۲۵].

۱۰-۳-۱- فلئوریزیس دندانی

فلئوریزیس دندانی، یک اختلال رشدونمو در مینای دندان است که در نتیجه برخورد با غلظت‌های بالای فلوراید در هنگام رشدونموی دندان‌ها رخ می‌دهد و به مینای با محتوی کمتر و افزایش تخلخل آن منجر می‌گردد. شدت فلئوریزیس دندانی بستگی به زمان و چگونگی در معرض قرار گرفتن فراوان فلوراید، پاسخ فرد، وزن، درجه فعالیت فیزیکی، عوامل تغذیه‌ای و رشد استخوانی دارد که بدین سان مقدار همسان فلوراید ممکن است به سطوح متفاوتی از فلئوریزیس دندانی منتهی شود. از عوامل دیگر که ممکن است حساسیت فرد را به فلئوریزیس دندانی افزایش دهد، ارتفاع از سطح دریا، سوءتغذیه و نارسایی کلیوی می‌باشند.

تغییرات ملموس در دندان‌های دائمی از نگرانی‌های اصلی در فلئوریزیس دندانی است که این تغییرات اگر کودکان در سنین ۲۰ تا ۳۰ ماهگی در معرض فلوراید فراوان قرار گیرند،

بسیار مستعد هستند که این تغییرات را بروز دهند. بسیار مهم است که یادآوری شود زمان بحرانی برای در معرض فراوان قرار گرفتن با فلوراید بین یک تا چهار سالگی است و از ۸ سالگی کودک در خطر نخواهد بود [۲۶].

در صورتی که دندان هنگام شکل‌گیری قبل از رویش در حفره دهان، در معرض مقادیر جزئی فلوراید اضافی، حتی به طور مقطعی قرار گیرد، دندان هیپومینرالیزه می‌شود. تخلخل مینای دندان به علت جذب فلوراید افزایش یافته و بسته به شدت ابتلا، مینا می‌تواند لکه‌های مات، شیار، خال و سوراخ‌های ریز را دارا شود. این لکه‌ها در ابتدای رویش دندان، سفید و مات هستند؛ اما به علت جذب رنگ غذاها ممکن است به رنگ‌های زرد تا قهوه‌ای مایل به سیاه، تغییر یابند [۲۷].

در بررسی فلئورزیس در دانش آموزان ۱۲ تا ۱۵ ساله مدارس شهرستان بوشهر، نشان داده شد که شیوع این بیماری در پسرها و دخترهای ۱۲ تا ۱۵ ساله، بسیار بالا است (۸۲/۶ درصد در پسرها و ۷۷/۱٪ در دخترها)، همین گروه از پژوهشگران بیان نمودند که حضور املاح کلسیم، منیزیم و آلومینیوم در منابع غذایی و آب این ناحیه از عواملی هستند که موجب کاهش آسیب‌های فلئورزیسی نسبت به میزان قابل انتظار در غلظت‌های بالای فلوراید آب این ناحیه شده است [۲۸].

در مطالعه‌ای دیگر که توسط مرتضوی و دیگران در شهرستان دیر در استان بوشهر انجام گردید، شیوع فلئورزیس دندانی در پسران و دختران به ترتیب ۸۷/۹ درصد و ۸۳/۵ درصد گزارش شد و نکته جالب آن که مقاومت نسبی دندان‌های دارای فلئورزیس برای ایجاد پوسیدگی، در این مطالعه نشان داده شد [۲۹].

به طور کلی، میانگین^۱ DMFT کودکان ۱۲ ساله استان بوشهر در مقایسه با همین میانگین در استان‌های دیگر کشور و حتی استان‌های خوزستان و هرمزگان در حاشیه خلیج فارس که از لحاظ اقلیمی و عادات فرهنگی به نسبت مابقی کشور به استان بوشهر نزدیک‌تر هستند، پایین‌تر

^۱ مهم‌ترین شاخص پوسیدگی دندان است که در آن D ابتدای کلمه DECAY به معنای پوسیده، M ابتدای کلمه MISSING به معنای افتاده یا کشیده شده، F ابتدای کلمه FILLING به معنای پر شده و T ابتدای کلمه TEETH به معنای دندان‌ها است.

گزارش گردیده است که شاید با میزان فلئورزیس در این استان، در ارتباط باشد [۲۹].



شکل ۱۰-۳- فلئورزیس دندان‌های در روستایان منطقه دشتستان استان بوشهر [۱۵]

در مطالعه جوان و همکاران در شهر بوشهر جهت بررسی فلئورزیس در نوجوانان ۱۰-۱۲ ساله مشخص گردید که شیوع فلئورزیس دندان‌های در چهار دندان فک بالا، ۵۲/۶ درصد بود. میانگین فلوراید ادرار نیز ۲/۱۸ میلی‌گرم در لیتر، غلظت فلوراید آب شرب مدارس ۰/۴۱-۰/۵۸ میلی‌گرم در لیتر و فراوانی بدون پوسیدگی نیز ۴۰ درصد بود [۲۷]. در مطالعه دوبرادران و همکاران بر روی ۲۳۴۰ کودک ۶-۱۱ ساله در دشتستان، غلظت فلوراید آب‌های زیرزمینی میان ۰/۹۹ تا ۲/۵۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش گردید و همبستگی خطی ضعیفی میان افزایش فلوراید در آب آشامیدنی و پوسیدگی در دندان‌های دائم و شیری به دست آمد [۱۵]. در ایران، با وجود این که آب آشامیدنی حاوی غلظت فلوراید کمتر از استاندارد است ولی

نسبتاً سطح بالایی از فلئورزیس دیده می‌شود [۳۰]. این نشان دهنده آن است که باید منابعی را به جز آب آشامیدنی برای فلئورزیس در این کشور جستجو نمود [۳۰، ۳۱]. آب آشامیدنی بوشهر از چاه‌های محلی استان تأمین نمی‌شود و از رودخانه شاپور و چشمه ساسان سرچشمه می‌گیرد ولی همان گونه که اشاره شد بر اساس تحقیقات جوان و همکاران در ۵۲/۶ درصد از نوجوانان این شهر فلئورزیس خفیف تا شدید مشاهده گردید و این در حالی بود که آب شرب آن زیر ۰/۶ میلی‌گرم در لیتر حاوی فلوراید بود؛ یعنی در محدوده توصیه شده بین‌المللی قرار داشت [۲۷]؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که منابعی غیر از آب شرب باید عامل فلئورزیس در این شهر بوده باشد.

چندین نظر توسط دیگر پژوهشگران که پیش از این در مورد فلئورزیس در استان بوشهر پژوهش انجام داده بودند نیز مطرح گردیده بود [۲۸، ۲۹]؛ به این صورت که مصرف غذاهای دریایی یا مصرف گیاهان و میوه‌هایی که محصول آب و خاک این استان هستند و یا مصرف چای و خرما ممکن است با شیوع بالای فلئورزیس در این استان، ارتباط داشته باشد [۷، ۲۸، ۲۹]. بر اساس یک برآورد، میانگین ۳۰ درصد دریافتی فلوراید در جمعیت بوشهر به مصرف خرما ارتباط دارد [۷]. از آنجا که آب قابل شرب بوشهر دارای ۰/۵ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۱/۶ میلی‌گرم در لیتر، فلوراید است و ۴۴/۴ درصد از این آب از مقادیر دستورالعملی ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی فراتر می‌رود، بررسی محصولات محتوی فلوراید محصولات کشاورزی استان بوشهر برای ارزیابی چگونگی فلئورزیس در این استان ضروری می‌باشد؛ زیرا همانطور که پیش از این اشاره شد، برداشت یون فلوراید توسط فاکتورهای بسیاری مانند نوع خاک، pH و محتوای اجزای اندازه خاک رس آن، بستگی دارد [۷].

۱۰-۳-۲- فلئورزیس استخوانی

خطر عوارض ناخواسته فلوراید در اسکلت انسان در غلظت‌های بالاتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر در روز مشاهده می‌شود. اما با این وجود، فلئورزیس اسکلتی اندمیک در بچه‌ها، غیرشایع نیست. برای تشخیص این بیماری، معاینه بالینی کافی نیست زیرا در بسیاری از موارد، مورد

تشخیص قرار نمی‌گیرد؛ حتی نبود فلئورزیس دندان‌ی درگیری اسکلتی را کنار نمی‌گذارد و از این رو دانشمندان پیشنهاد کرده‌اند که کودکانی که در مناطق اندمیک برای فلئورزیس زندگی می‌کنند، فارغ از فلئورزیس دندان‌ی، برای بیماری فلئورزیس استخوانی نیز مورد غربالگری قرار گیرند، زیرا تشخیص زودرس آن از حالت معلولیت پیشگیری می‌کند [۳۲].

برخورد با سطوح غلظتی بالای فلوراید در طی زمان طولانی به فلئورزیس حاد و مزمن منتهی می‌شود. در سال ۱۹۹۳ بیان گردید که فلئورزیس اسکلتی معلول‌کننده، در افرادی که ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم فلوراید در روز برای ۱۰ تا ۲۰ سال مصرف کرده‌اند، روی می‌دهد. مراحل اولیه فلئورزیس اسکلتی با درد در استخوان و مفاصل، ضعف عضلانی، دردهای گاه به گاه، سفتی مفاصل و خستگی مزمن خود را نشان می‌دهد. در مراحل بعدی، کلسیفیکاسیون استخوان‌ها، استئوپروز در استخوان‌های دراز و علائم استئواسکلروز (استخوان‌ها متراکم تر می‌شوند و ساختار کریستالین غیرطبیعی به دست می‌آورند)، رخ می‌دهند. در مرحله پیشرفته، استخوان‌ها و مفاصل به صورت کامل ضعیف شده و به سختی می‌توان آن‌ها را تکان داد. مهره‌های ستون فقرات با یکدیگر چسبندگی پیدا کرده و در نهایت فرد معلول می‌شود. بدبختانه فلئورزیس استخوانی معمولاً هنگامی که بیماری تا به مرحله پیشرفته نرسیده باشد مورد تشخیص قرار نمی‌گیرد [۳۳].

در ایران مطالعات ناچیزی در مورد فلئورزیس اسکلتی انجام شده است. فلئورزیس اسکلتی در منطقه پلدشت آذربایجان غربی مورد مطالعه قرار گرفته است که با توجه به بالا بودن سطح فلوراید در آب آشامیدنی روستاهای این منطقه، شیوع بسیار بالایی از علائم فلئورزیس اسکلتی در افراد بالای ۷۱ سال در این منطقه گزارش گردید [۳۴]. بر پایه چنین مطالعه‌ای، طراحی و اجرای غربالگری فلئورزیس اسکلتی در استان بوشهر و بررسی میزان تراکم استخوان و همراهی آن با شکستگی‌های استخوان ران و ستون فقرات، پیشنهاد می‌شود. همچنین بررسی اثر فلوراید بر شیوع گواتر و بیماری‌های تیروئید و نیز اثر فلوراید بر ضریب هوشی نیز از موضوعات داغ پژوهشی می‌باشند که انجام آن‌ها در استان بوشهر، پیشنهاد می‌گردند.

۴-۱۰- منابع

- 1) Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., Trace elements from soil to human. 2007: Springer Science & Business Media.
- 2) Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., *et al.*, Essentials of medical geology. 2016: Springer.
- 3) Battaleb-Looie, S., Moore, F., Jacks, G., *et al.*, Geological sources of fluoride and acceptable intake of fluoride in an endemic fluorosis area, southern Iran. Environmental geochemistry and health, 2012. 34(5): p. 641-650.
- 4) Warren, C., Burgess, W., and Garcia, M., Hydrochemical associations and depth profiles of arsenic and fluoride in Quaternary loess aquifers of northern Argentina. Mineralogical Magazine, 2005. 69(5): p. 877-886.
- 5) Apambire, W., Boyle, D., and Michel, F., Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper regions of Ghana. Environmental geology, 1997. 33(1): p. 13-24.
- 6) Battaleb-Looie, S. and Moore, F., A study of fluoride groundwater occurrence in Posht-e-Kooh-e-Dashtestan, South of Iran. World Applied Sciences Journal, 2010. 8(11): p. 1317-1321.
- 7) Battaleb-Looie, S., Moore, F., Malde, M., *et al.*, Fluoride in groundwater, dates and wheat: Estimated exposure dose in the population of Bushehr, Iran. Journal of food composition and analysis, 2013. 29(2): p. 94-99.
- 8) Malde, M.K., Greiner-Simonsen, R., Julshamn, K., *et al.*, Tealeaves may release or absorb fluoride, depending on the fluoride content of water. Science of the total environment, 2006. 366(2-3): p. 915-917.
- 9) Liu, X., Wang, B., and Zheng, B., Geochemical process of fluorine in soil. Chinese Journal of Geochemistry, 2014. 33(3): p. 277-279.
- 10) Edmunds, W.M. and Smedley, P.L., Fluoride in natural waters, in Essentials of medical geology. 2013, Springer. p. 311-336.
- 11) Gupta, S., Banerjee, S., Saha, R., *et al.*, Fluoride geochemistry of groundwater in Nalhati-1 block of the Birbhum district, West Bengal, India. Fluoride, 2006. 39(4): p. 318.
- 12) Mesdaghinia, A., Vaghefi, K.A., Montazeri, A., *et al.*, Monitoring of fluoride in groundwater resources of Iran. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 2010. 84(4): p. 432-437.

- 13) Battaleb-Looie, S., Moore, F., Jafari, H., *et al.*, Hydrogeochemical evolution of groundwaters with excess fluoride concentrations from Dashtestan, South of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 2012. 67(4): p. 1173-1182.
 - 14) Aghanabati, A., *Geology of Iran*. 2004: Geological survey of Iran.
 - 15) Dobaradaran, S., Mahvi, A.H., Dehdashti, S., *et al.*, Drinking water fluoride and child dental caries in Dashtestan, Iran. *Fluoride*, 2008. 41(3): p. 220-6.
 - 16) Dobaradaran, S., Mahvi, A.H., Dehdashti, S., *et al.*, Correlation of fluoride with some inorganic constituents in groundwater of Dashtestan, Iran. *Fluoride*, 2009. 42(1): p. 50.
 - 17) Dobaradaran, S., Khorsand, M., Hayati, A., *et al.*, Data on fluoride contents in groundwater of Bushehr province, Iran. *Data in brief*, 2018. 17: p. 1158-1162.
 - 18) Raeisi, A., Soleimani, F., Dobaradaran, S., *et al.*, Microbial, chemical and physical properties of drinking water in Bushehr distribution network system. *Desalination and Water Treatment*, 2017. 65: p. 208-214.
 - 19) Nabipour, I. and Dobaradaran, S., Fluoride and chloride levels in the Bushehr coastal seawater of the Persian Gulf. *Fluoride*, 2013. 46(4): p. 204-7.
 - 20) Izadi, A., Dobaradaran, S., Nabipour, I., *et al.*, The fluoride and chloride ion levels in the seawater along the northern part of the Persian Gulf in Bushehr province, Iran. *Fluoride*, 2017. 50(1): p. 127.
- ۲۱) سجادی میان آب، ز. بررسی هیدروشیمی و باکتریولوژیکی منابع آب زیرزمینی محدوده بندر عسلویه تا بندر طاهری در استان بوشهر. ۱۳۹۰، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
- 22) Lennon, M., Whelton, H., O'Mullane, D., *et al.*, Rolling Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health, 2004.
 - 23) Mandal, P.K., Ray, D., Majhi, F.R., *et al.*, Skeletal fluorosis--an epidemiological-clinico-radiological study. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 2013. 2(9): p. 1335-1344.
 - 24) Wei, W., Pang, S., and Sun, D., The pathogenesis of endemic fluorosis: Research progress in the last 5 years. *Journal of cellular and molecular medicine*, 2019. 23(4): p. 2333-2342.
 - 25) Ostovar, A., Dobaradaran, S., Ravanipour, M., *et al.*, Correlation between fluoride level in drinking water and the prevalence of hypertension: an ecological correlation study. *Int J Occup Environ Med (The IJOEM)*, 2013. 4(4 October): p. 259-216-7.
 - 26) Alvarez, J.A., Rezende, K., Marocho, S.M.S., *et al.*, Dental fluorosis: exposure, prevention and management. *J Clin Exp Dent*, 2009. 1(1): p. 14-8.

- 27) Javan, G., Mostaghni, E., Jafary, S.M., et al., Dental fluorosis and urinary fluoride in 10-12 years old adolescents of Bushehr port. ISMJ, 2006. 8(2): p. 165-171.
- ۲۸) نوذری، ع.، خورشیدیان، ک. و هاشمی، س.ا.، میزان فلئورزیز در دانش آموزان ۱۲ تا ۱۵ ساله ی مدارس شهرستان بوشهر و بررسی ارتباط آن با شاخص DMFT. مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی فارس، ۱۳۷۹. ۱۱(۱): صفحات ۲۳-۳۰.
- ۲۹) مرتضوی، م.، بردستانی، غ. و دانش، م.، بررسی شیوع و شدت فلئورزیز دندانی و میزان DMFT در دانش آموزان ۱۱-۱۶ ساله شهرستان دیر (استان بوشهر). مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی فارس، ۱۳۸۱. ۳(۱): صفحات ۷۳-۶۵.
- 30) Azami-Aghdash, S., Ghojazadeh, M., Azar, F.P., et al., Fluoride concentration of drinking waters and prevalence of fluorosis in iran: a systematic review. Journal of dental research, dental clinics, dental prospects, 2013. 7(1).
- 31) Keramati, H., Miri, A., Baghaei, M., et al., Fluoride in Iranian drinking water resources: a systematic review, meta-analysis and non-carcinogenic risk assessment. Biological trace element research, 2019. 188(2): p. 261-273.
- 32) Teotia, M., Teotia, S., and Kunwar, K., Endemic skeletal fluorosis. Archives of disease in childhood, 1971. 46(249): p. 686-691.
- 33) Joseph, S.E. and Johnson, A., Effects of fluorosis and its prevention: review International Journal of Current Research, 2016. 8(9): p. 37641-37643.
- 34) Mohammadi, A.A., Yousefi, M., Yaseri, M., et al., Skeletal fluorosis in relation to drinking water in rural areas of West Azerbaijan, Iran. Scientific reports, 2017. 7(1): p. 1-7.

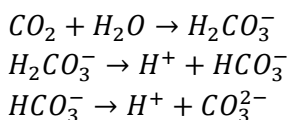
فصل یازدهم

اسیدی شدن خلیج فارس

در محدوده استان بوشهر

۱۱-۱- اسیدی شدن اقیانوس‌ها

در یک چرخه جهانی، آلودگی جو باعث ایجاد اثرات زیست محیطی جبران‌ناپذیری در اقیانوس‌ها می‌شود که از آن میان می‌توان به اسیدی شدن اقیانوس‌ها اشاره کرد. با افزایش CO₂ در جو، بخشی از آن توسط اقیانوس‌ها جذب می‌شود. دلیل این امر این است که گازها در سطح آب اقیانوس و جو در تعادل و تبادل هستند. به بیان دیگر، هرچه CO₂ بیشتری به جو وارد کنیم، مقدار بیشتری از آن در آب اقیانوس حل می‌شود. بر خلاف جو، CO₂ در آب دریا وارد واکنش‌های شیمیایی می‌شود و بخشی از آن به کربنات و بی‌کربنات تبدیل می‌شود که به آن کربن معدنی گفته می‌شود. اما بخش دیگر آن به اسید کربنیک تبدیل می‌شود و در نتیجه آب اقیانوس‌ها را اسیدی می‌کند. فرآیند از منظر شیمیایی بسیار ساده است: کربن دی‌اکسید حل شده در آب، اسید کربنیک تولید می‌کند. واکنش‌های زیر فرآیند را به خوبی شرح می‌دهند:



اهمیت اسیدی شدن اقیانوس‌ها، به اثرات آن بر آبزیان برمی‌گردد. به طور مثال، پوسته سخت بسیاری از اندامگان‌های دریایی از کربنات کلسیم (CaCO₃) ساخته شده است. علاوه بر این، ریف‌های مرجانی که میزبان بسیاری از آبزیان هستند نیز از کربنات کلسیم ساخته شده است. در شرایطی که آب دریا در حالت فوق اشباع از کربنات کلسیم نباشد و یا آب دریا

اسیدی باشد، ادامه حیات این آبریزان غیرممکن است.

در قرن اخیر، حدود ۰/۱۱ واحد از pH اقیانوس‌ها کاهش یافته است (از ۸/۱۸ به ۸/۰۷ رسیده است) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰، ۰/۳ تا ۰/۴ واحد دیگر نیز کاهش یابد. در چنین pH پایینی حیات بسیاری از آبریزان امکان‌پذیر نیست. موجوداتی که از بین می‌روند بخشی از چرخه زیستی اقیانوس هستند و در چنین شرایطی، چرخه غذایی اقیانوس از بین می‌رود [۱]. کاهش pH تا مقدار ۷/۸۲ منجر به از بین رفتن ۲۰ تا ۴۰ درصد از مرجان‌ها خواهد شد [۲]. بنابراین، می‌توان گفت که اسیدی شدن اقیانوس‌ها، همه بخش‌های آن‌ها (از اعماق تا سواحل) را تحت تاثیر قرار می‌دهد اما تاثیر آن بر آبریزان واضح‌تر است. ایجاد آثار منفی بر بقاء، کلسیتی شدن، فوتوسنتز، عملکرد، رشدونمو و فراوانی آبریزان از مهم‌ترین اثرات منفی اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌باشد. از میان آبریزان مختلف، جلبک‌های کلسیتی، مرجان‌ها، نرم‌تنان و خارپوستان (در مراحل لاروی) بیشترین آسیب را تجربه می‌کنند در حالی که سخت‌پوستان، ماهی‌ها، جلبک‌های گوشتی، علف‌های دریایی و دیاتومه‌ها کمترین آسیب را متحمل می‌شوند [۳]. با این حال، پاسخ گونه‌های مختلف به در معرضی‌های طولانی‌مدت ممکن است متفاوت باشد.

۱۱-۲- اسیدی شدن خلیج فارس در استان بوشهر

نهشت کربنات‌ها در خلیج فارس قابل ملاحظه است و در بیشتر مناطق کربنات کلسیم (CaCO_3) بیش از ۵۰ درصد از ترکیب اصلی رسوبات را تشکیل می‌دهد. حضور کربنات‌های زیست‌زاد^۱ در همه قسمت‌های خلیج، آب‌وهوای گرم و شوری بالا، خلیج فارس را به یک منطقه ایده‌آل برای تشکیل و تهنشست کربنات‌های معدنی تبدیل کرده است [۴]. بر اساس یک تخمین کلی در منطقه خلیج فارس، به ازای هر مول CO_2 که طی فرآیند فوتوسنتز در بافت آلی تثبیت می‌شود، حدود ۲/۵ مول در پوسته کربناته تثبیت می‌شود [۴]. علاوه بر این، فوتوسنتز پلانکتون‌های دریایی منجر به افزایش قلیابیت آب دریا با نرخ ۱۷ واحد به ازای حذف

¹ Biogenic

هر ۱۰۶ مول CO_2 می‌شود [۵].

در خلیج فارس مناطق مرجانی زیادی وجود دارد که تحت تاثیر شرایط محیطی، فصلی، تغییرات دمایی و فعالیت‌های انسان‌زاد قرار دارند [۶]. در آب‌های کرانه‌ای ایران تا کنون ۲۸ گونه مرجان در حاشیه ۱۶ جزیره و ۲ منطقه ساحلی (بوشهر و چابهار) شناسایی شده‌اند. اجتماعات آبسنگ‌های مرجانی در محدوده آب‌های ایرانی خلیج فارس به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱) آبسنگ‌های مرجانی حاشیه‌ای^۱ و ۲) آبسنگ‌های مرجانی پراکنده (تکه‌تکه)^۲. آبسنگ‌های مرجانی پیرامون جزایر کیش، قشم، لارک، خارک، خارکو، سیری و هندورابی در دسته اول و آبسنگ‌های مرجانی خلیج نایبند و بندر طاهری در دسته دوم قرار دارند [۷]. تغییر در pH خلیج فارس به شدت آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با این حال، مطالعات بسیار کمی هستند که به موضوع اسیدی شدن آب خلیج فارس و اثرات آن بر اکوسیستم منطقه پرداخته باشند [۲، ۶، ۸-۱۰]. نتایج مطالعاتی که در استان بوشهر انجام شده است در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

رسم همزمان قلیابیت کل (A_T) و کربن دی اکسید کل (TCO_2) می‌تواند اثرات شیمیایی و فرآیندهای زیست‌زمین‌شناختی (مانند فتوسنتز، تجزیه مواد آلی (تنفس)، تشکیل کلسیم کربنات و حل شدن آن) بر شیمی آب دریا را نشان دهد. هنگام فتوسنتز، CO_2 از ستون آب حذف می‌شود؛ در حالی که تنفس (تجزیه مواد آلی) اثری عکس دارد. به طور مشابه، تشکیل کربنات کلسیم در دریا، CO_2 آب دریا را کم می‌کند؛ در حالی که حل شدن آن باعث افزایش TCO_2 می‌شود [۵]. ته نشینی و انحلال صدف کربناتی، کلسیم و کربن را به نسبت مولار ۱:۱ آزاد می‌کند. این فرآیند به طور طبیعی در آب‌های عمیق رخ می‌دهد و به عمقی که کربنات‌ها در آن حل می‌شوند، عمق اشباع کربن گفته می‌شود. در ریف‌های مرجانی، آب‌های ساحلی و سواحل صخره‌ای خلیج فارس شیب نمودار $A_T\text{-TCO}_2$ به ترتیب ۱/۳۵، ۲/۱۳ و ۴/۳۵ است که نشان دهنده بیشتر بودن فتوسنتز نسبت به تنفس و تشکیل کلسیم کربنات نسبت به انحلال

¹ Fringing corals

² Patchy corals

آن است. علاوه بر این، در کنترل شیمی کربن در آب‌های کم عمق خلیج فارس، نقش فرآیندهای فتوسنتز - تنفس غالب تر از فرآیندهای کلسیتی شدن - انحلال می‌باشد [۶].

نتایج بررسی حالت اشباع کلسیت (Ω_{Ca}) و آراگونیت (Ω_{Ar}) نشان داد که در آب‌های ساحلی خلیج فارس در طول روز و در منطقه بین جزر و مدی (کهکشندی)، آب دریا در وضعیت فوق اشباع نسبت به کربنات کلسیم قرار دارد [۶]. زمانی که Ω بزرگتر از یک است، نرخ کلسیتی شدن خالص توسط بی کربنات کنترل می‌شود. بی کربنات‌ها نسبت به کربنات‌ها، منابع در دسترس تری از کربن معدنی هستند؛ چرا که بی کربنات‌ها کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند. با این حال، آن‌ها نیز در شرایطی تحت تاثیر فاکتورهای زیست محیطی مانند دما و شوری قرار می‌گیرند و نسبت $[HCO_3^-]$ به $[H^+]$ تغییر می‌کند. به طور مثال، با کاهش دمای آب دریا، نسبت $[HCO_3^-]$ به $[H^+]$ افزایش می‌یابد و نرخ اشباع کلسیم کربنات به شدت کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، کاهش دمای آب، نسبت A_T به TCO_2 را نیز تغییر می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی داده‌های جزیره خارگو در خلیج فارس، با افزایش دما از ۱۷ درجه به ۳۳ درجه، Ω بیش از ۶۰ درصد افزایش و نسبت $[HCO_3^-]$ به $[H^+]$ ، بیش از ۸ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به این که دمای آب به طور مرتب در طول سال تغییر می‌کند، به نظر می‌رسد که در آب‌وهوای متغیر فصلی و شرایط فوق اشباع خلیج فارس، نرخ کلسیتی شدن مرجان‌ها بیشتر تحت تاثیر نسبت $[HCO_3^-]$ به $[H^+]$ است تا Ω_{Ar} [۶].

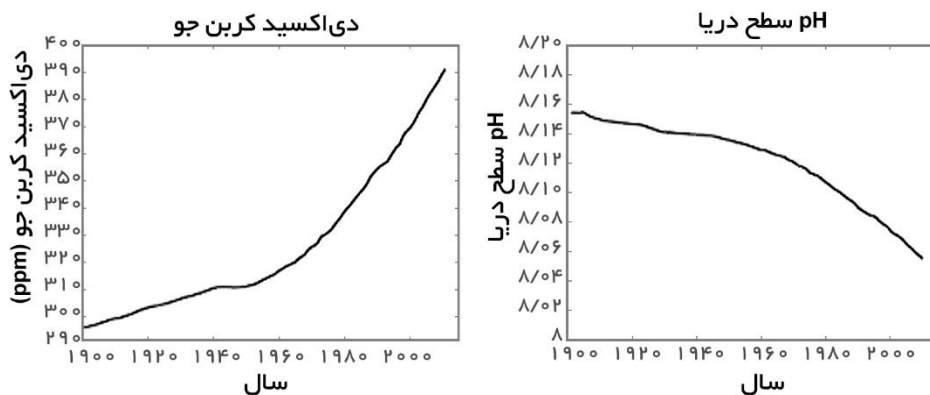
با این که مقدار زمینه pH در خلیج فارس مشخص نیست، اما در برخی از مطالعات انجام شده در محدوده استان بوشهر سنجش pH انجام شده که نتایج آن‌ها در جدول ۱۱-۱ ارائه شده است. گستره طبیعی pH در اقیانوس‌های جهان از ۷/۵ تا ۸/۳ متغیر است و میانگین آن ۸/۱ می‌باشد [۱۱]. بر اساس نتایج مطالعات انجام شده، pH در خلیج فارس و در محدوده استان بوشهر نیز ۸/۱ است.

جدول ۱۱-۱- اسیدیته (pH) آب‌های خلیج فارس در محدوده استان بوشهر

منبع	$[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}^+]$ (mol/ μ mol)	حالت اشباع		CO_3^{2-} (mol/kg μ)	HCO_3^- (mol/kg μ)	TCO_2 (μ mol/kg)	قلیابیت کل (μ mol/kg)	pH		منطقه مورد مطالعه
		Ω_{Ar} آراگونیت	Ω_{Ca} کلسیت					گستره	میانگین	
[۶]	۰/۲۷۹	۴/۹	۷/۲	۳۰۹	۱۷۳۵	۲۵۰۴	۲۵۰۰	۸/۲۰	-	جزیره خارکو
[۱۰]	-	-	-	-	-	-	۲۵۰۰	۸/۲۰	-	ورودی زمستان
	-	-	-	-	-	-	۲۵۰۰	۸/۲۰	-	رودخانه مند تابستان
[۱۲]	-	-	-	-	-	-	-	۸/۱۴	۷/۹ - ۸/۷	زمستان
	-	-	-	-	-	-	-	۸/۳۶	۷/۹ - ۸/۷	تابستان بندر بوشهر
[۱۳]	-	-	-	-	-	-	-	۸/۲۲	۷/۵ - ۸/۵	جزیره خارک
[۱۴]	-	-	-	-	-	-	-	۷/۷۱	۷/۶ - ۷/۸	جزیره خارک
[۱۵]	-	-	-	-	-	-	-	۸/۰۹	۷/۳ - ۸/۹	نخل تقی
	-	-	-	-	-	-	-	۷/۹۶	۷/۳ - ۸/۸	کنگان
	-	-	-	-	-	-	-	۷/۹۴	۷/۲ - ۸/۸	لاور ساحلی

۱۱-۳- اثر بر سلامت انسان

شواهد رو به افزایشی وجود دارد که با گسیلش دی‌اکسید کربن (CO_2) و جذب آن توسط اقیانوس‌ها و دریاها به صورت چشمگیری افزوده شده است و این پدیده، افزایش سطح میانگین اسیدیته اقیانوس‌ها از آنچه بیش از دوران پیش صنعتی بوده است را موجب شده است [۱۶]. به شکل عمومی، محتوی CO_2 دریاها حدود ۵۰ برابر بالاتر از اتمسفر است. جذب دی‌اکسید کربن در نتیجه تغییرات اتمسفری، توازن شیمیایی آب دریا را تغییر می‌دهد و موجب افزایش غلظت‌های اسید کربنیک گردیده و سطح pH آب کاهش می‌یابد. از زمان شروع انقلاب صنعتی، اقیانوس‌ها تقریباً ۳۰ درصد تمام گاز دی‌اکسید کربن آزاد شده به اتمسفر توسط فعالیت‌های انسانی را جذب کرده‌اند که نتیجه آن ۲۶ درصد افزایش اسیدیته اقیانوس‌ها تا کنون بوده است.



شکل ۱۱-۱- روند pH سطح دریا و دی‌اکسید کربن جو در طی سال‌های گوناگون [۱۸]

برآوردهای آینده نشان می‌دهند که این افزایش اسیدیته اقیانوس‌ها تا ۱۷۰ درصد در سال ۲۱۰۰ در مقایسه با سطوح پیش صنعتی، (چنانچه گسیلش‌های دی‌اکسید کربن ادامه یابد)؛ افزایش می‌یابد. هم‌اکنون، محیط زیست دریایی با اسیدیته شدن بیش از ده برابر تندتر از هر زمان در طی ۵۵ میلیون سال، روبه‌رو است و این به دلیل جذب ۲۴ میلیون تن دی‌اکسید کربن

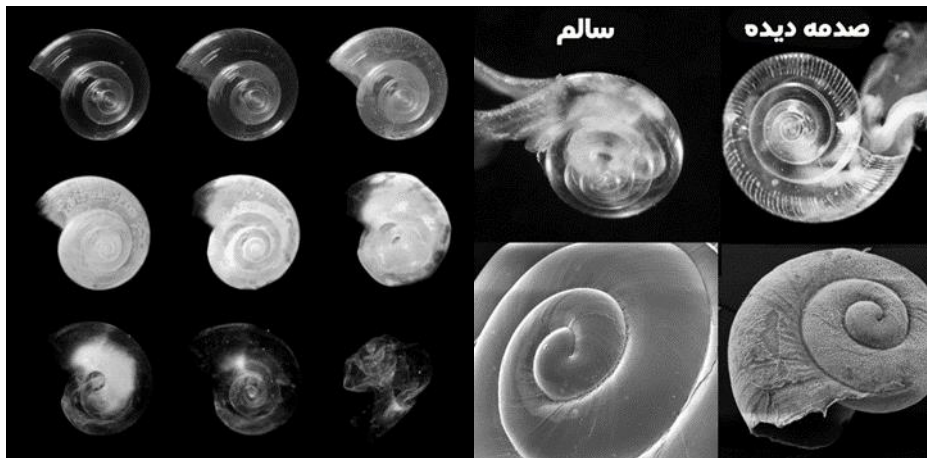
در روز است [۱۷]. این جذب بالای دی‌اکسیدکربن و واکنش آن با آب دریا و تولید اسیدکربنیک (H_2CO_3)، آب دریا را بیشتر اسیدی می‌نماید. این کاهش میانگین pH به حد ۰/۲۵ واحد آن را به $pH=7/8$ در پایان قرن می‌رساند. چنین اسیدیته‌ای هم اکنون نیز به اجزای اسکلتی کربنات کلسیم تعدادی از ارگانسیم‌های دریایی، شامل مرجان‌ها، اثر خود را گذاشته است زیرا تغییرات شیمیایی جهت ایجاد تعادل کربنات در دریاها (در نتیجه اسیدی شدن)، این را برای موجودات زنده دشوار می‌سازد تا پوسته‌ها و اجزای اسکلتی کلسیم کربناتی خود را شکل داده و حفظ نمایند؛ چنین تغییرات شگرفی در میزان اسیدیته اقیانوس‌ها موجب برانگیخته شدن دولت‌ها و سازمان‌های زیست محیطی و دریایی در سراسر جهان شده است [۱۸].

حفظ حیات دریاها و سلامت دریاها با سلامت انسان‌ها در پیوند نزدیک است زیرا محیط‌زیست دریایی بر سلامت انسان با برقراری کیفیت هوایی که تنفس می‌کنیم، غذایی که می‌خوریم، آبی که می‌آشامیم و فرصت‌های اقتصادی فزاینده سلامت و فرصت‌های تفریحی‌ای که ایجاد می‌کند، به شکل چشمگیری اثر می‌گذارد [۱۹]. تقریباً، به شکل خام، نیمی از جمعیت جهان در ۱۰۰ کیلومتری سواحل زندگی می‌کنند و استقرار انسان‌ها در سواحل به نسبت شهرهای درون سرزمینی، سرعت تندتری دارد و این در حالی است که اسیدی شدن دریاها، بر ارگانسیم‌های میکروسکوپی تا مرجان‌ها، اثر خود را می‌گذارد. به تنهایی، تشکیلات مرجانی نواحی گرمسیری در تأمین غذا و امنیت زندگی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان اثر دارد و اقتصاددانان حمایت از زندگی مردم را از سوی مرجان‌ها بین ۳۰ تا ۱۷۲ میلیارد دلار در سال، برآورد می‌کنند [۲۰].

صنعت شیلات و آبرزی پروری هم اکنون و در آینده، نقش بی‌همتایی را در امنیت غذایی انسان‌ها دارد و خواهد داشت؛ اما این صنایع در زمان حال، از اسیدی شدن آینده اقیانوس‌ها در معرض خطر قرار دارند و این خطر برآمده از اثر مستقیم اسیدیته دریاها بر روی خود ارگانسیم‌های آن‌ها و به شکل غیرمستقیم از طریق زنجیره‌های غذایی می‌باشد [۲۱].

بر اساس مطالعات و پژوهش‌های علمی، حدود ۵۰ درصد از تمام گونه‌های مورد آزمون قرار گرفته، نشانگان منفی در پاسخ به اسیدی شدن اقیانوس‌ها را نشان داده‌اند. از سوی دیگر، بعضی

از ارگانیس‌های فتوسنتز کننده از افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بهره‌جسته و از آن برای فتوسنتز استفاده می‌کنند. چنین تغییراتی در سطح ارگانیس‌می می‌تواند تعادل میان گونه‌ها را تغییر داده و اثرات اکوسیستمی شگرفی را خلق نماید که بر سلامت و تندرستی انسان‌ها اثر می‌گذارد [۲۲]. همچنین توانایی بسیاری از ارگانیس‌های پلانکتونی برای ساخت اسکلت، با افزایش اسیدیته آب دریاها، کاهش می‌یابد هرچند که این پاسخ به صورت یکسان نمی‌باشد [۲۱].



شکل ۱۱-۲- اسیدی شدن اقیانوس‌ها موجب حل شدن کربنات کلسیم ارگانیس‌های دریایی می‌شود.

هنگامی که سطح یون هیدروژن در محیط بیرونی به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد و به سوی اسیدی شدن میل می‌کند، انرژی افزون‌تری برای حفظ تعادل اسید- باز درونی ارگانیس‌م، نیاز است. این امر موجب کاهش سنتز پروتئین و کاهش در تناسب اندام آن موجود می‌شود. چنین افزایش متابولیسمی برای تنظیم اسید- باز می‌تواند بر این موجودات اثر منفی خود را فرود آورد. از زاویه‌ای دیگر، اسیدی شدن اقیانوس‌ها، بسیاری از جنبه‌های ژئوشیمی زیستی آن‌ها را تغییر می‌دهد که بازخوردهای آن‌ها بر فرآیندهای اقلیمی و سلامت انسان‌ها اثرات خود را نشان می‌دهند. بسیاری از این اثرات هنوز به خوبی مورد پژوهش قرار نگرفته‌اند؛ برای مثال، مقدار بالای دی‌اکسید کربن، بهره‌وری اولیه خالص، گسیلش گازی ناچیز، نسبت‌های نیتروژن به کربن در زنجیره‌های غذایی و دسترس‌پذیری آهن را ممکن است تغییر دهد [۲۳].

اخیراً، شواهد گسترده‌ای فراهم آمده‌اند که نشان می‌دهند افراد و جمعیت‌های انسانی که با دریاها و اقیانوس‌ها در ارتباط نزدیک قرار دارند از اثرات چشمگیری بر سلامت، برخوردار می‌گردند؛ برای مثال، مطالعه در سه کشور ایرلند، نیوزلند و هنگ کنگ، نشان داده است که فقط داشتن چشم‌انداز از سوی خانه به اقیانوس با کاهش خطر عمومی و مسائل سلامت روانی توأم است و این اثر حتی با تعدیل عوامل دیگر اقتصادی-اجتماعی نیز خود را نشان می‌دهد و این پدیده نشان می‌دهد که چگونه یک محیط دریایی با کیفیت بالا می‌تواند در بهبودی سلامت و تندرستی افراد، به ویژه افرادی که دچار فقر اقتصادی-اجتماعی هستند، مؤثر واقع شود [۲۴]. البته سودمندی‌های فیزیکی و روانی سلامت حاصل از مجاورت با محیط زیست دریایی، بسیار دشوار است که توصیف و کمی‌سازی نمود ولی مطالعات نشان داده‌اند که به شکل عمومی، افرادی که در سواحل زندگی می‌کنند از افرادی که ساکن در شهرهای درون سرزمینی هستند، با در نظر گرفتن حتی عوامل اقتصادی-اجتماعی، شادتر و سالم‌تر می‌باشند. زیرا کسانی که در این شهرها زندگی می‌کنند سطح تماس خود را با جهان طبیعی از دست می‌دهند ولی کسانی که در مجاور آب‌های دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند، با هر سنی، ارتباط خود را با طبیعت نگه می‌دارند و این ارتباط موجب بهبودی در سیستم ایمنی، کاهش استرس و مقابله با تنهایی افراد می‌شود [۲۵]. چنین است که نگهداری و حفظ محیط زیست دریایی سالم در سلامت انسان‌ها بسیار حائز اهمیت است و آلودگی محیط زیست دریایی و از دست دادن تنوع زیستی در نتیجه اسیدی شدن اقیانوس‌ها، نه تنها بر اکوسیستم‌های دریایی اثر می‌گذارد بلکه سلامت انسان‌ها را نیز هدف قرار می‌دهد.

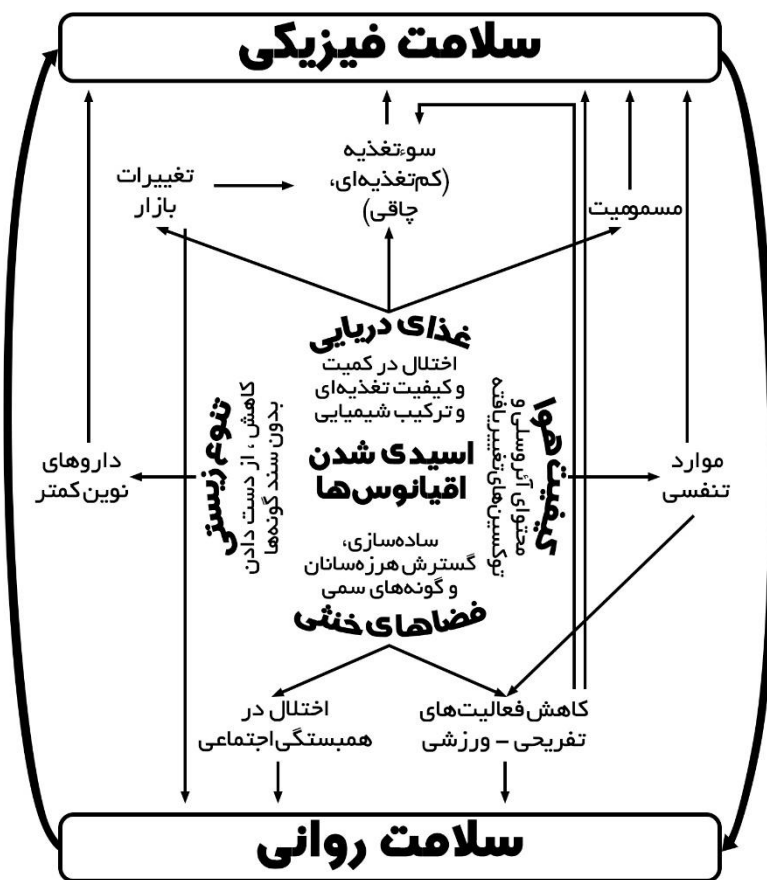
از این رو، اسیدی شدن اقیانوس‌ها بر سلامت انسان‌ها به شیوه‌های گوناگونی که بسیار فراتر از آن که به شکل سنتی نگریسته می‌شود، اثر می‌گذارد و بر همین اساس دانشمندان، اسیدی شدن اقیانوس‌ها را به عنوان یک مورد اثر بر سلامت نوپدید می‌نگرند که دارای پیچیدگی‌های عظیم و در مقیاسی است که تا کنون حتی در مورد آن اندیشه نشده بود. بنابراین، مطالعه در این خصوص خود نیاز به پژوهش‌های میان‌رشته‌ای دارد تا بتوان چالش‌هایی که انسان با آن‌ها روبه‌رو خواهد شد را درک نموده و آماده شد تا با این چالش‌ها

در پیوند با توسعه اجتماعی، در زیر چتر تغییرات اقلیمی مقابله کرد [۲۲].

خوشبختانه در سال ۲۰۲۰، در مجله بین‌المللی و پژوهش‌های زیست محیطی و سلامت عمومی، مقاله‌ای عالمانه تحت عنوان «اسیدی شدن اقیانوس و سلامت انسان» به چاپ رسید که این مقاله حاصل مطالعات گروهی از دانشمندان در سطح بین‌المللی بود که در قالب برنامه پژوهش و نوآوری افق ۲۰۲۰ اتحادیه اروپا به انجام رسید و ما به رؤس مطالب این پروژه در اینجا اشاره می‌کنیم. به یاد داشته باشیم که pH آب دریا تغییرات فضایی و زمانی طبیعی منحصر به خود را دارد؛ به گونه‌ای که اسیدیته آب دریا به شکل طبیعی بر اساس مقیاس زمانی، مکانی و منطقه‌ای در نوسان است و خود تابعی از ژرفای آب است. اکوسیستم‌های ساحلی و زیست محیط‌های بسته‌تر دریایی تغییرپذیری گسترده‌تری را نسبت به اقیانوس‌های باز به دلیل فرآیندهای فیزیکی، ژئوشیمی و زیستی و اثر بخش خشکی سواحل، از خود نشان می‌دهند [۲۳]. برای مثال، خلیج فارس به دلیل بسته‌تر بودن آن دچار فرسودگی تندتری حاصل از اسیدی شدن نسبت به شیمی اقیانوسی و چرخه‌های ژئوشیمی زیستی آن پیدا کرده است و اثرات منفی را زودتر از آب‌های اقیانوسی از خود نشان داده است. مطالعات اندازه‌گیری pH خلیج فارس در طی چهار سال نشان داده‌اند که با گذر زمان، آب‌های آن اسیدی‌تر شده که نمود آن در کاهش باروری و بهره‌وری دریایی و سفید شدن مرجان‌ها در طی دهه گذشته را می‌توان مشاهده کرد [۲۶]. این پدیده خود حاکی از آن است که در راستای تلاش‌های بین‌المللی که برای نجات حیات اقیانوس‌ها در حال انجام هستند، برای مقابله با اثرات منفی اسیدی شدن خلیج فارس، باید بسیار جدی تلاش نمود. در هر صورت، سلامت انسان و تندرستی‌اش در پیوند با اسیدی شدن اقیانوس‌ها، یک گستره نوپدید برای پژوهش‌های میدانی است و پرداختن به آن و مدیریت اثرات مربوطه می‌تواند نقش برجسته‌ای را در آینده انسان‌ها در زیست کره زمین، ایفا نماید. در مطالعه‌ای که در قالب برنامه پژوهش و نوآوری افق ۲۰۲۰ اتحادیه اروپا انجام گردید، اثرات اسیدی شدن اقیانوس بر سلامت در چهار مسیر مورد بررسی قرار گرفت:

(۱) سوءتغذیه و مسمومیت از طریق تغییر در کمیت و کیفیت غذا

- (۲) موارد تنفسی از طریق اختلال در کیفیت هوا
 (۳) اثرات بر سلامت روانی از طریق تغییر فضای طبیعی
 (۴) کاهش فرصت توسعه و به دست آوردن منابع پزشکی از طریق از دست دادن تنوع زیستی دریایی



شکل ۱۱-۳- اسیدی شدن اقیانوسها اثر منفی بر چهار عملکرد اصلی آنها دارد (منبع غذای دریایی، کیفیت هوا، فضاهای خنثی و تنوع زیستی دریایی). همه این عملکردها با سلامت فیزیکی و روانی انسان‌ها از طریق مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم به هم پیوسته، ارتباط دارند [۲۲].

ما هم اکنون به چکیده‌ای از هر کدامیک از این مسیرها، به صورت جداگانه، می‌پردازیم:

۱۱-۳-۱- سوء تغذیه و مسمومیت از طریق تغییر در کمیت و کیفیت غذا

از ۷/۸ میلیارد جمعیت زمین، بیش از ۴/۵ میلیارد حداقل ۱۵ درصد از دریافتی پروتئین خود را از ماهی به دست می‌آورند و این در حالی است که در بعضی از کشورها شامل آفریقای غربی، کشورهای ساحلی آسیا و بسیاری از دولت‌های جزیره‌ای، سهم پروتئین به دست آمده از ماهی بالاتر از ۵۰ درصد است. اسیدی شدن اقیانوس و تغییرات شیمیایی آن می‌تواند اثرات مستقیمی در مراحل تاریخچه زندگی همه مراحل ارگانسیم‌ها (مانند زمان تخم‌گذاری و لاروی) داشته باشد و این اثرات بر بقا و در نتیجه دسترس پذیری آن‌ها به عنوان یک منبع پروتئینی برای انسان‌ها جهت مقابله با سوء تغذیه و پیشگیری از مرگ‌ومیرهای مربوطه در سطح کودکان نقش داشته باشد.

در متاآنالیزهای انجام شده در فرآیندهای تولید مثل، آشکار شده است که اثرات منفی اسیدی شدن اقیانوس بر بقا، رشدونمو و تولیدمثل ارگانسیم‌های گوناگون (مانند ماهی‌ها، نرم‌تنان، خارپوستان و سخت‌پوستان) چشمگیر بوده و بر گونه‌هایی که در آبی‌پروری نیز استفاده می‌شوند، اثرات متنوع تری مشاهده گردیده است. اثرات غیرمستقیم در اینجا منظور اثرات فیزیولوژیک بر موجود مورد مطالعه نیست بلکه اثر اسیدی شدن بر ارگانسیم است که موجود مورد نظر از آن تغذیه می‌کند. بدین سان با در خطر قرار گرفتن این ارگانسیم در ارتباطات اکولوژیک، بقای موجود مورد نظر در چالش قرار می‌گیرد و در نهایت دسترس‌پذیری آن به عنوان ماده غذایی، بر سلامت انسان اثر می‌گذارد. برای مثال، فیتوپلانکتون‌ها نقش مهمی در پایه و اساس زنجیره غذایی دریایی دارند و آن‌ها گستره‌ای از پاسخ را به اسیدی شدن اقیانوس از خود نشان می‌دهند و اسیدی شدن می‌تواند اسید چرب چندگانه غیراشباع فیتوپلانکتونی را کاهش داده و در واکنش به این پدیده، اثراتی منفی بر رشد سوماتیک کوپه پودها حاصل شود که نتیجه آن کاهش بیوماس آن‌ها و اثر بر مابقی زنجیره غذایی است.

اسیدی شدن اقیانوس‌ها بر کیفیت تغذیه‌ای غذاهای دریایی در دسترس از لحاظ پروتئین

و چربی نیز مؤثر است. کاهش در سطح لیپیدها، به ویژه اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع (PUFAs)، از نوع امگا-۳ آبزبان می‌تواند بر سلامت انسان اثر گذارد. زیرا منابع تغذیه‌ای دریایی که سرشار از این نوع اسیدهای چرب و ویتامین‌های محلول در چربی هستند می‌توانند خطر بیماری‌های قلبی را کاهش داده و از خود خصوصیات ضدالتهابی نشان داده و از آریتمی قلبی جلوگیری نموده و سطح گردش خون کارآمد را برانگیزند.

از این رو، با از دست دادن ذخایر اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع در نتیجه اسیدی شدن دریاها، اثرات منفی بر سلامت انسان‌ها حادث می‌گردد. این تغییرات بیولوژی قابل انتظار از اسیدی شدن اقیانوس‌ها که با کاهش درون‌داد پروتئینی در توأمان قرار می‌گیرد موجب نقصان در کیفیت غذا و کمیت آن و در نتیجه ایجاد سوءتغذیه در انسان می‌شود و این موضوع به ویژه برای جوامع مستعد و در معرض خطر گرسنگی که در خطوط ساحلی کشورهای فقیر و جزایر محروم زندگی می‌کنند، می‌تواند بسیار خود را نمایان ساخته و بر کشورهای در حد متوسط و پایین از لحاظ اقتصادی، فشار مضاعفی را ایجاد کرده و بر امنیت غذایی آن‌ها اثرات منفی فرود آورد.

نکته حائز اهمیت دیگر در مورد مواد غذایی آن است که اسیدی شدن اقیانوس‌ها و دریاها می‌تواند دسترس‌پذیری زیستی آلاینده‌های زیست محیطی را افزایش داده و شانس برخورد ارگانیسم‌ها را با این آلاینده‌ها تقویت نموده و موجب انباشت زیستی آن‌ها در تمام سطوح ارگانیسم‌های دریایی، از ژن‌ها تا اکوسیستم‌ها شوند. برای مثال، جیوه و برخی از فلزات مانند آلومینیوم، آهن، روی، مس و سرب اغلب در شرایط محیط آبی اسیدی شده و دسترس‌پذیری زیستی بیشتری می‌یابند. چنین زیست‌پذیری فزونی یافته می‌تواند انباشت کادمیم در دوکفه‌های دریایی که در معرض اسیدی شدن اقیانوس‌ها قرار گرفته‌اند را توجیه نماید. از سوی دیگر، اسیدی شدن آب دریا ممکن است انباشت را با ایجاد آسیب در سطح بافت اپیتلیالی فزونی داده و موجب نفوذ آسان‌تر کادمیم گردیده و یا توانایی بیرون فرستادن کادمیم را مختل سازد.

از اثرات غیرمستقیم دیگر برآمده از آلاینده‌ها آن است که از لحاظ فیزیولوژیک با کاهش

رشد ماهیان در نتیجهٔ اسیدی شدن دریاها، سطح آلاینده‌هایی هم چون جیوه در آن‌ها افزایش می‌یابد زیرا ماهیان با رشد بالاتر، غلظت‌های کمتری از جیوه را دارند. جمعیت‌های انسانی که با مصرف غذاهای دریایی آلوده به جیوه در معرض این ماده قرار می‌گیرند از خود خطر بروز بیماری‌های نورولوژیک و رشدونموی بیشتری را نشان می‌دهند. نشان داده شده است که آلاینده‌هایی مانند PCBs که در ماهیان انباشت می‌یابند و توسط انسان‌ها به مصرف می‌رسند اثرات نورولوژیک، به ویژه در هنگامی که از طریق جفت و یا شیردهی انتقال می‌یابند، ایجاد می‌کنند. از زاویهٔ دیگر، اسیدی شدن اقیانوس‌ها در شکوفایی جلبک‌های مضر، مؤثر است و بدین طریق، مسمومیت نرمتنان حاوی سموم این جلبک‌های مضر افزایش می‌یابد. مصرف این نرمتنان می‌تواند موجب مسمومیت عصبی (NSP)، مسمومیت فراموشی (ASP)، مسمومیت فلج کننده (PSP) و مسمومیت اسهالی (DSP) شود.

۱۱-۳-۲- موارد تنفسی از طریق اختلال در کیفیت هوا

موارد بروز بیماری‌های تنفسی می‌تواند از طریق آئرولیزه شدن توکسین‌های طبیعی تولیدی که در در شکوفایی جلبکی مضر روی می‌دهد، برانگیخته شوند. شکوفایی تاژکدار چرخان *Karenia brevis* که تولید نوروکسین‌ها به ویژه بروتوکسین‌ها (Brevetoxins) می‌کند، مثال خوبی می‌باشد. هنگامی که این تاژکدار چرخان در سطح شکسته می‌شود، آزادسازی بروتوکسین همراه با آئروسل آب دریا رخ می‌دهد. در برخورد با این آئروسل، تحریک سطح فوقانی و تحتانی تنفسی انسان روی می‌دهد و موجب بدتر شدن علائم آسم می‌گردد. در ساکنین سواحل که در هنگام بروز کشند قرمز در معرض این آئروسل‌ها قرار می‌گیرند، علائم تنفسی ممکن است تا چندین روز به درازا کشیده شوند. با اسیدی شدن اقیانوس‌ها، شکوفایی این تاژکدار چرخان افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، آئروسل حاوی بروتوکسین نیز با افزایش این تاژکدار چرخان فزونی یافته و اثر بر سلامت این شکوفایی بر انسان، دو چندان می‌شود.

۱۱-۳-۳- اثرات بر سلامت روانی از طریق تغییر فضای طبیعی

سودمندی‌های سلامت روانی برخاسته از اقیانوس به شکل عظیمی با جنبه‌های زندگی، فعالیت‌های تفریحی و ارتباطات اجتماعی انسان‌ها در توأمان است. این ارتباطات از ایجاد شغل تا فرصت‌های تفریحی و ورزشی را شامل می‌شوند. نشان داده شده است که همه این ارتباطات با سلامت روانی انسان‌ها در پیوند می‌باشند. ما هم اکنون پی برده‌ایم که فعالیت‌های فیزیکی و ورزشی و برهم‌کنش‌های اجتماعی که با سلامت اقیانوس‌ها و دریاها در پیوند می‌باشند، می‌توانند موجب همبستگی اجتماعی، فزونی در سرمایه اجتماعی و ارزش‌ها و اعتمادپذیری جامعه شده و حس مثبتی را در سطح اجتماع ایجاد کنند.

اسیدی شدن اقیانوس‌ها با ایجاد رکود در صنایع شیلات، آبی‌پروری و صید در دریاهای آزاد موجب بیکاری، فشارهای مالی، استرس‌های اجتماعی و کاهش در سلامت روحی و روانی ماهیگیران و جامعه صیادی می‌شود. در بخش نخست این نوشتار ما به اثرات زندگی در ساحل بر ساحل‌نشینان، بر سلامت روحی و روانی این ساکنین اشاره کردیم. بی‌شک، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و از دست دادن اکوسیستم‌های طبیعی دریایی موجب جدایی انسان با طبیعت و گزینش زندگی در خانه و قطع ارتباط با طبیعت شده و بر سلامت روانی افراد، اثرات منفی ایجاد خواهد کرد. در طی نسل‌های آینده، این جدا شدن انسان‌ها از طبیعت و بیگانگی آن‌ها از محیط زیست، موجب خواهد شد که تلاش آن‌ها برای حفظ و نگهداری طبیعت نیز کاهش یابد.

۱۱-۳-۴- کاهش فرصت جهت توسعه و به دست آوردن منابع پزشکی از طریق از

دست دادن تنوع زیستی دریایی

از ۳۴ هزار ملکول که در پزشکی و صنایع بهداشتی - آرایشی می‌توانند کاربرد داشته باشند، فقط ۱۰ درصد هم اکنون از منابع ارگانیک دریایی به دست می‌آید و این نشان می‌دهد که دریاها می‌توانند داروخانه آینده برای بشر باشند. فرصت‌های بی‌همتایی برای استخراج مواد فعال زیستی و ترکیبات دارویی از منابع زیستی دریایی وجود دارد که اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌تواند در انهدام این ذخیره دارویی آینده نقش ایفا نماید؛ زیرا اسیدی شدن

دریاها موجب از دست دادن تنوع زیستی موجودات دریایی شده و در نتیجه ما با کاهش در تنوع ترکیبات فعال زیستی، در آینده روبه‌رو خواهیم شد.

هر چند که ما در اینجا به شکل چکیده به عملکرد هر کدامیک از این مسیرهای اسیدی شدن اقیانوس‌ها و دریاها به شکل جداگانه پرداختیم اما باید متوجه این نکته بود که در عالم واقعیت و طبیعت، این جدایی وجود ندارد و همه این مسیرها به شکلی پیچیده و به هم پیوسته، با یکدیگر برهم‌کنش دارند و می‌توانند اثرات مضاعف و تشدید شونده‌ای را در نتیجه این برهم‌کنش‌های پیچیده سیستمی ایجاد کنند [۲۲].

۱۲-۴- منابع

- 1) Archer, D. and S. Rahmstorf, The climate crisis: An introductory guide to climate change. 2010: Cambridge University Press.
- 2) Behbehani, M., *et al.*, Response of Corals *Acropora pharaonis* and *Porites lutea* to Changes in pH and Temperature in the Gulf. *Sustainability*, 2019. 11(11): p. 3156.
- 3) Kroeker, K.J., *et al.*, Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global change biology*, 2013. 19(6): p. 1884-1896.
- 4) Brewer, P.G. and D. Dyrssen, Chemical oceanography of the Persian Gulf. *Progress in oceanography*, 1985. 14: p. 41-55.
- 5) Wolf-Gladrow, D.A., Zeebe, R. E., Klaas, C., *et al.*, Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes. *Marine Chemistry*, 2007. 106(1-2): p. 287-300.
- 6) Saleh, A., Samiei, J., Amini-Yekta, F., *et al.*, The carbonate system on the coral patches and rocky intertidal habitats of the northern Persian Gulf: Implications for ocean acidification studies. *Marine Pollution Bulletin*, 2020. 151: p. 110834.
- 7) عوفی، ف.، ربانی‌ها، م.، بهزادی، س.، مهردوست، م. پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم بر ساختار زیستگاهی و تنوع گونه‌ای ماهیان آب‌سنگ‌های مرجانی در بوم سازگان‌های جزیره‌ای خلیج فارس، اولین همایش ملی توسعه پایدار خلیج فارس (اکوسیستم‌های حساس). ۱۳۹۷: بوشهر، ایران.
- 8) Purkis, S.J., D. Renegar, and B. Riegl, The most temperature-adapted corals have an Achilles' Heel. *Marine pollution bulletin*, 2011. 62(2): p. 246-250.

- 9) Rivers, J.M., Varghese, L., Yousif, R., *et al.*, The geochemistry of Qatar coastal waters and its impact on carbonate sediment chemistry and early marine diagenesis. *Journal of Sedimentary Research*, 2019. 89(4): p. 293-309.
- ۱۰) قائمی، م. مطالعه تغییرات فصلی پارامترهای مرتبط با اسیدی شدن در اکوسیستم مصب مند در خلیج فارس، دوازدهمین همایش علوم و فنون دریایی. ۱۳۹۶: مشهد، ایران.
- 11) Eby, G.N., *Principles of environmental geochemistry*. 2016: Waveland Press.
- 12) Kafaei, R., Papari, F., Seyedabdi, M., *et al.*, Occurrence, distribution, and potential sources of antibiotics pollution in the water-sediment of the northern coastline of the Persian Gulf, Iran. *Science of the Total Environment*, 2018. 627: p. 703-712.
- 13) Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., *et al.*, Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons risk assessment in coastal water and sediments of Khark Island, SW Iran. *Marine Pollution Bulletin* 2016. 108(1-2): p. 33-45.
- 14) Jafarabadi, A.R., Bakhtiari, A., Aliabadi, M., *et al.*, Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*, 2017. 185: p. 1090-1111.
- 15) Izadi, A., Dobaradaran, S., Nabipour, I., *et al.*, The fluoride and chloride ion levels in the seawater along the northern part of the Persian Gulf in Bushehr province, Iran. *Fluoride*, 2017. 50(1): p. 127.
- 16) Bijma, J., Barange, M., Brander, L., *et al.*, Impacts of ocean acidification. *ESF Science Policy Briefing*, 2009. 37: p. 1-12.
- 17) Isensee, K. and L. Valdes, *Ocean Acidification*. 2015, Global Sustainable Development Report.
- 18) House, T., *The Challenge of Ocean Acidification*, in Washington: The White House Office of Science and Technology Policy. 2014.
- 19) Moore, M.N., *Linking oceans and human health: a strategic research priority for Europe*. 2013.
- 20) *Understanding Ocean Acidification – and what we can do about it*. Available from: <https://www.climatecentre.org/news/397/understanding-ocean-acidification-a-and-what-we-can-do-about-it>.
- 21) Turley, C. and K. Boot, *UNEP emerging issues: environmental consequences of ocean acidification: a threat to food security*. United Nations Environment Programme, 2010.
- 22) Falkenberg, L.J., Bellerby, R. G. J., Connel, S. D., *et al.*, *Ocean Acidification and Human Health*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020. 17(12): p. 4563.

- 23) Hennige, S., J.M. Roberts, and P. Williamson, An updated synthesis of the impacts of ocean acidification on marine biodiversity. CBD Technical Series, 2014(75).
- 24) Fleming, L.E., Maycock, B., White, M. P., *et al.*, Fostering human health through ocean sustainability in the 21st century. *People and Nature*, 2019. 1(3): p. 276-283.
- 25) Matthies-Wiesler, F., Fleming, LE, HEALTH, THE GLOBAL OCEAN AND MARINE RESOURCES. 2019, World Health Organization Regional Office for Europe.
- 26) Uddin, S., Gevao, B., Al-Ghad., *et al.*, Acidification in Arabian Gulf–Insights from pH and temperature measurements. *Journal of Environmental Monitoring*, 2012. 14(5): p. 1479-1482.

فصل دوازدهم

خاک خواری (ژئوفاجی)

۱۲- ژئوفژی

ژئوفژی مصرف آگاه‌مند خاک است و به صورت گسترده در صدها فرهنگ، در تمام قاره‌های مسکونی مشاهده می‌شود. نخستین بار بقراط در بیش از ۲۰۰۰ سال پیش به آن اشاره کرده است، اما شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که پیشینه ژئوفژی به هزاران سال پیش‌تر باز می‌گردد و ممکن است به *Homo habilis*^۱ برسد. در هر صورت، این رفتار هنوز نیز در سراسر جهان مشاهده می‌شود. پژوهندگان گستره‌های گوناگون شامل انسان‌شناسی، بیوشیمی، اکولوژی رفتاری، شناخت الگوهای رفتاری جانوران، جغرافیا و پزشکی، برای رخداد این رفتار، طیف گسترده‌ای از فرضیه‌ها را ارائه داده‌اند [۱]

انسان‌شناسان از این لحاظ به این گروه پیوسته‌اند زیرا تجزیه و تحلیل مواد دفعی انسانی فسیل شده که در طی حفاری‌های نزدیک شهر جرمو در نزدیکی کرکوک عراق یافت شده‌اند، نشانگر آن است که این مواد حاوی مقدار زیادی گل است و این موضوع نشان می‌دهد گل یکی از مواد عادی رژیم غذایی در دوران نوسنگی بوده است. در ایران، مصرف گل و خاک، هم به عنوان محصول غذایی و هم به صورت دارویی، با گستردگی فراوانی وجود داشته است. همانند همه پیشینیان، پزشکان ایرانی، انواع متفاوتی از خاک و گل را برای مداوای بیماری‌ها و ضعف‌های بدنی، چه مصارف داخلی و چه خارجی، تجویز می‌کردند.

پزشکانی همچون رازی و ابن سینا، در میان چیزهای دیگر، مردم را به استفاده از گل سرشوی (گل رس ارمنی) تشویق می‌کردند (به ویژه استفاده بر روی مو و پوست بدن)، زیرا

^۱ انسان ماهر (*Homo habilis*) از گونه انسان تباران است که در عصر گلاسیین و اوایل عصر کالابرن در دور زمین‌شناسی پلیستوسن یعنی زمانی حدود ۱/۶۵ تا ۲/۳ میلیون سال قبل زندگی می‌کرده است.

این گل حاوی اکسید آهن، منگنز و کلسیم است که مو و پوست را قوت می‌بخشد. رازی «رساله‌ای در مورد گل و فواید آن» نوشت و در آن بیان داشت خاک نیشابور تقویت کننده قلب و برطرف کننده دل آشوبه و حالت تهوع است. استفراغ را متوقف می‌سازد (به عنوان ضد قی استفاده می‌شود) و به ویژه تهوع ایجاد شده را برطرف می‌سازد. رازی مدعی بود که مصرف گل نیشابوری موجب انسداد کلیه‌ها و مثانه‌ها نمی‌شود، در صورتی که چنین وضعیتی با خاک‌های دیگر رخ می‌دهد.

از آنجایی که پزشکان ایرانی از پیروان مکتب جالینوس بودند، بیشتر اطلاعات و آگاهی‌های آن‌ها درباره گل و خاک و استفاده از آن، اقتباس شده از مدرسین یونانی مانند دیسکوریدیس و جالینوس بود. بدین سان، آن‌ها از گل‌هایی نام می‌برند که در زمان باستان شناخته شده بود مانند گل تجاری یا طین ارمنی که از آن برای درمان بیماری طاعون استفاده می‌شد [۲].

مرحوم دکتر محمود نجم‌آبادی در اثر پرافتخار خود درباره تاریخ پزشکی ایران، به تعدادی از این خاک‌ها اشاره می‌کند [۳].

ایران‌شناس مشهور، ویلم فلور در اثر جاویدان خود تحت عنوان «مطالعاتی در تاریخ پزشکی ایران» در بخش خاک‌خوری در ایران که به همت زنده‌یاد اسماعیل نبی‌پور ترجمه و توسط انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر به چاپ رسیده است، به شکل عالمانه‌ای به تاریخ خاک‌خوری در ایران و انواع خاک‌ها اشاره کرده است؛ برای مثال، او از استخری (جغرافی‌دان تاریخی) یاد می‌کند که به نوعی گل خوردنی سبز رنگ، به شکل برگ‌های چغندر که شبیه آن در هیچ جای دیگری یافت نشده بود و در منطقه کوران در نزدیکی بندر سیراف وجود داشته است، اشاره می‌کند. ویلم فلور همچنین از شیوع بالای خاک‌خوری در ایران قاجار شگفت زده می‌شود که مصرف همگانی داشته است. در این دوران، مردم گزینه‌هایی از گل‌ها را در دسترس داشتند که به روش‌های مختلفی مصرف می‌کردند؛ برای مثال، گل معروف نیشابور را به صورت خام یا به طریق برشته و اغلب با ادویه و مواد معطر، آماده می‌کردند [۲].

جدول ۱۲-۱- تجزیه شیمیایی از دو قبه (مشت) گل کرمان (گل گیوه) [۲]

۲۳/۵۰۰	۱۴/۶۸۰	بی‌کربنات کلسیم
۶۸/۷۵۷	۷۸/۱۶۲	کربنات منیزیم
۲/۹۸۵	۱/۳۸۵	هیدرات منیزیم
۱/۹۴۶	۱/۷۷۳	کلرید سدیم
-	۰/۳۱۴	سولفات سدیم
۲/۸۱۲	۳/۳۰۸	آب
۱۰۰/۰۰۰	۹۹/۶۱۵	جمع

همان‌گونه که اشاره شد ژئوفازی امروزه نیز در ایران و سراسر جهان، به ویژه در مناطق گرمسیری زمین و مکان‌های با جمعیت فقیر و قبیله‌ای وجود داشته و به ویژه در میان زنان باردار و کودکان شیوع دارد [۴]. شیوع ژئوفازی به مکان زیست جغرافیایی (به ویژه در افریقا)، میزان تحصیلات فرد و وجود آنمی (کم‌خونی)، بستگی دارد [۵]. در ایران قدیم که اطلاعاتی از نوشتارهای پزشکان غربی و یا سفرنامه‌نویسان وجود دارد، مصرف خاک‌وگل در میان کودکان و زنان باردار بسیار شایع بوده است و پژوهش‌های جدید نیز در زنان باردار ایرانی که آنمی فقر آهن داشته‌اند، بیانگر وجود شیوع بالای ژئوفازی در میان آنان است [۶].

زنان ایرانی باردار در زمان وپار در قدیم از گل‌هایی مثل گل ارمنی، گل محلاتی یا طباشیر قمی، سنگ سلسیوس، همچنین طباشیر هندی، طریاق، زغال، برنج خام و یک نوع کائولینیت زنجانی به نام گل داغستانی (که در داغستان یافت می‌شد)، مصرف می‌کردند. علت ژئوفازی هنوز آشکار نشده است. عوامل فیزیولوژیک (مانند کمبود مواد معدنی یا گرسنگی) و مدل‌های روانی (مانند ولع یا طیف بیماری وسواس فکری) به عنوان علت ژئوفازی پیشنهاد شده‌اند. عوامل فرهنگی و اقتصادی اجتماعی نیز به عنوان عوامل مؤثر بر ژئوفازی عنوان شده‌اند که بر پیچیدگی و ماهیت کمتر شناخته شده ژئوفازی می‌افزایند.

جدول ۱۲-۲- تجزیه شیمیایی گل ارمنی [۲]

۱۳/۶۴	از دست رفتن در اشتعال
۶۷/۵۷	سیلیکات
۵/۷۶	اکسید آهن
۷/۸۷	آلومینیوم
۲/۷۶	آهک
۰/۹۸	اکسید منیزیم
۰/۶۷	پتاس
۰/۵۶	سودا
۰/۰۶	اسید سولفوریک
۰/۱۱	ان هیدرات فسفر
۱۰۰	جمع

۱۲-۲- منظرهای پزشکی ژئوفازی

خاک مصرفی توسط زنان باردار ممکن است حاوی موادی شامل ریزمغذی‌ها و توکسین‌ها باشد. ریزمغذی‌هایی مانند مس، آهن، منگنز، روی و کروم به عنوان مواد مغذی ضروری برای انسان محسوب می‌شوند. آرسنیک و سرب به عنوان توکسین بوده و می‌توانند اثرات مخربی را بر سلامت انسان ایجاد کنند. برای مواد دیگر شایع در خاک مانند کادمیم و نیکل شواهد کافی برای سودمندی آن‌ها بر سلامت وجود ندارد ولی چنانچه در دوزهای تکرار شونده داده شوند، در طول زمان، خطرناک هستند. از این رو، زنان بارداری که از خاک استفاده می‌کنند بسته به فراوانی مصرف و مکان خاک، ممکن است در معرض اثرات ناخواسته‌ای بر سلامت خود و جنین باشند [۷، ۸].

از نظر علت ژئوفازی، فرضیه فیزیولوژیک کمبود مواد مغذی که منجر به این رفتار می‌شود بسیار طرفدار داشته و بخش عمده‌ای از طرفداری از این فرضیه، ریشه در همراهی ژئوفازی با آنمی دارد [۱]. در مطالعه‌ای که در زنان حامله سواحل کنیا انجام شد یک رابطه معنی‌دار منفی میان سطح هموگلوبین و فریتین با ژئوفازی مشاهده شد [۹].

در استان بوشهر در میان زنان در دوران باروری نیز ژئوفازی در دو دهه پیش مانند دیگر

مناطق ساحلی خلیج فارس و استان فارس، بسیار شایع بوده است. در مطالعه سال ۱۹۹۹ در زنان (در دوران باروری) استان بوشهر که جهت بررسی فقر آهن و آنمی مربوطه، بر اساس اندازه‌گیری سطح سرمی فریتین انجام شد، آشکار گردید که شیوع آنمی (کم‌خونی)، کمبود آهن و آنمی کمبود آهن به ترتیب ۱/۱۸٪، ۳/۵۳٪ و ۸/۱۲٪ بود [۱۰]. بر این اساس، در ۳۱ ماه مه ۲۰۰۱، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برنامه غنی‌سازی آرد مصرفی در استان بوشهر با آهن را شروع کرد که در پرمیکس آرد غنی یافته با آهن شامل ۳۰ PPM سولفات آهن و ۱/۵ PPM فولیک اسید بود. در مطالعه اثربخشی برنامه تداخلی غنی‌سازی آرد با آهن که در سال ۲۰۰۸ انجام شد، ۱۲۴۲ زن غیرحامله که در دوران باروری قرار داشتند (۱۵ تا ۴۹ سال) با همان تعریف سطح برش برای فریتین (سرم فریتین کمتر از ۱۰ نانوگرم در میلی‌لیتر)، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شیوع آنمی، کمبود آهن و آنمی فقر آهن به ترتیب در ۸/۸٪، ۱۷/۷٪ و ۴٪ از زنان در دوران باروری وجود داشت.

مقایسه این ارقام با مطالعه پیشین، نشانگر افت چشمگیر شیوع کم‌خونی فقر آهن در نتیجه برنامه تداخلی غنی‌سازی آرد با آهن و فولیک اسید بود [۱۱]. بدین سان، با جبران کم‌خونی فقر آهن، شیوع ژئوفازی نیز در این زنان افت پیدا کرد. این مطالعه مانند دیگر مطالعات، بر همبستگی آنمی با ژئوفازی، مهر صحت گذاشت. اما با وجود بحث رابطه میان ژئوفازی و وضعیت آهن و آنمی، هنوز آشکار نیست که آیا پایین بودن شاخص‌های وضعیت آهن موجب خاک‌خوری می‌شود و یا این که خاک‌خوری موجب وضعیت پایین آهن می‌گردد و یا این که همبستگی میان این دو به دلیل عوامل مخدوش‌گر دیگر است؛ هر چند که می‌دانیم خاک‌خوری در بسیاری از موارد می‌تواند آهن را برای فرد خاک‌خور مهیا سازد؛ [۹] با این وجود، بعضی دیگر از افراد خاک‌خوری را عامل بروز کم‌خونی دانسته‌اند [۱۲، ۱۳]. در سطح مطبوعات پزشکی به یافته‌های ضدونقیض در رابطه با ژئوفازی و وضعیت آهن بر می‌خوریم [۱، ۹، ۱۳]. در هر صورت، فرضیه سازگارمندی ژئوفازی با کمبود مواد مغذی مانند آهن بر اساس یافته‌های مطالعات ضدونقیض، دچار لرزش شده است؛ به ویژه از آنجا که در زمان ژئوفازی با تغییر زمان نیازها به ماده مغذی، در طول زندگی و حتی در حاملگی آن‌ها در

موازات یکدیگر قرار نمی‌گیرند.

از سوی دیگر، حضور نامنظم همراه با زیست دسترس‌پذیری کلسیم، روی و آهن در خاک مورد استفاده در ژئوفازی و نیز این واقعیت که غنی‌سازی آهن در بعضی از مطالعات، رفتار ژئوفازی را کاهش نداده است و همچنین این موضوع که جذب ریزمغذی بعد از ژئوفازی محدود می‌باشد، بر پیکره فرضیه سازگarmندی ژئوفازی با مواد مغذی، شک فراوانی را فرود آورده است [۱]. اما از منظر فرضیه سازگarmندی ژئوفازی می‌توان به گونه‌ای دیگر نگریست که ژئوفازی مکانیسمی است برای حفاظت بر علیه توکسین‌های گیاهی، انگل‌ها و دیگر پاتوژن‌ها؛ زیرا خاک می‌تواند مواد شیمیایی مضر و پاتوژن‌ها را به خود جذب کرده و دیسترس‌گوارشی و اثرات مضر این مواد را کاهش دهد. شیوع ژئوفازی در مناطقی از جهان که تراکم انگلی و پاتوژنی بالایی دارند (مانند مناطق گرمسیری) و رخداد ژئوفازی در زمانی که استعداد فرد به انگل‌ها، پاتوژن‌ها و توکسین‌ها بالا است، خود می‌تواند گواهی بر درستی این فرضیه باشد [۱].

در نیمه قرن نوزدهم، پزشکان ایرانی توضیح داده بودند که ژئوفازی به خصوص در میان زنان جوان، به منظور برطرف کردن کرم‌های روده‌ای بوده است [۲]. در هر صورت، ژئوفازی چه یک مدل رفتاری باشد و چه پاسخی سازگarmند برای نیازهای فیزیولوژیک و یا رفتاری سازگarmند برای مقابله با پاتوژن‌ها و توکسین‌ها، خود نیز با خطراتی توأم است که در مطالعات بر اثرات سوء آن در اوایل و اواخر حاملگی با افزایش ضربان قلب، شاخص آتروژنیک پلازما و افزایش نسبت خطر قلبی اشاره کرده‌اند؛ همچنین به اثرات آن بر پارانشیم کبدی، خون‌ریزی روده‌ای، کاهش مواد معدنی استخوانی و توکسیسیتی عصبی در زمان حاملگی نیز گزارشاتی وجود دارد. اخیراً، در سطح جانوران آزمایشگاهی نیز اثرات ژئوفازی بارداری بر یکپارچگی کلیه - قلب و سیستم رنین - آنژیوتنسنین آلدسترون، پمپ‌های پروتون رانش یافته با ATP، مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴]. در یک فراگرد کلی، شاید با کاربرد یافته‌های پزشکی فرادقیق و سیستمی بتوان به رابطه ژئوفازی با آنمی و اثرات سودمند یا ناخواسته آن، در قالب یک رهیافت سیستمی، نایل شد.

۱۲-۳- منابع

- 1) Young, S.L., Sherman, P.W., Lucks, J.B., *et al.*, Why on earth?: Evaluating hypotheses about the physiological functions of human geophagy. The quarterly review of Biology, 2011. 86(2): p. 97-120.
- ۲) فلور، و.، مطالعاتی در تاریخ پزشکی ایران. ۱۳۹۷: ترجمه اسماعیل نبی پور، ایرج نبی پور، کتابیون وحدت. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر. صفحه ۲۹۵.
- ۳) نجم‌آبادی، م.، تاریخ طب در ایران پس از اسلام. ۱۳۵۳: انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۶۵۷.
- 4) Abrahams, P.W. and Parsons, J.A., Geophagy in the tropics: a literature review. Geographical Journal, 1996: p. 63-72.
- 5) Fawcett, E.J., Fawcett, J.M., and Mazmanian, D., A meta-analysis of the worldwide prevalence of pica during pregnancy and the postpartum period. International Journal of Gynecology & Obstetrics, 2016. 133(3): p. 277-283.
- 6) Janbabai, G., Azadeh, H., Farazmandfar, T., *et al.*, The Prevalence of Pica and the Associated Factors in Women with Iron Deficiency Anemia. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 2011. 21(85): p. 21-26.
- 7) Nyanza, E.C., Joseph, M., Premji, S.S., *et al.*, Geophagy practices and the content of chemical elements in the soil eaten by pregnant women in artisanal and small scale gold mining communities in Tanzania. BMC Pregnancy and Childbirth, 2014. 14(1): p. 1-10.
- 8) Ghorbani, H., Geophagia, a soil-environmental related disease. 2009.
- 9) Geissler, P.W., Shulman, C., Prince, R.J., *et al.*, Geophagy, iron status and anaemia among pregnant women on the coast of Kenya. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 1998. 92(5): p. 549-553.
- 10) Jafari, S., Nabipour, I., and Mahbobnia, M., Prevalence of iron deficiency (low ferritin) in reproductive aged women in Bushehr province. Iran J Endocrinol Metabol, 1999. 1: p. 209-14.
- 11) Jafari, S.M., Heidari, G., Nabipour, I., *et al.*, Serum retinol levels are positively correlated with hemoglobin concentrations, independent of iron homeostasis: a population-based study. Nutrition research, 2013. 33(4): p. 279-285.
- 12) George, G. and Abiodun, A. Physiological effects of geophagy (soil eating) with reference to iron. Nutritional status in pregnant women: a study in selected antenatal clinics in KSD municipal area of the Eastern Cape, South Africa. in 3rd International conference on biology, environment and chemistry. IPCBEE. 2012.

- 13) Nchito, M., Geissler, P.W., Mubila, L., *et al.*, Effects of iron and multimicronutrient supplementation on geophagy: a two-by-two factorial study among Zambian schoolchildren in Lusaka. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2004. 98(4): p. 218-227.
- 14) Agomuo, E.N., Amadi, P.U., and Adumekwe, C., Gestational Geophagia Affects Nephrocardiac Integrity, ATP-Driven Proton Pumps, the Renin–Angiotensin–Aldosterone System, and F2-Isoprostane Status. *Medical Sciences*, 2019. 7(2): p. 13.

فصل سیزدهم
پاتوژن‌های خاک

۱۳-۱- پاتوژن‌های خاک

خاک، مکان زیست حدود ۲۵ درصد از نمونه‌های زمین است. اکثریت این ارگانیسم‌ها تهدیدی برای سلامت انسان نیستند ولی برهم‌کنش‌های اکوسیستمی بی‌شماری را با خود خاک فراهم می‌آورند که این برهم‌کنش‌ها از حیاتی بودن آن‌ها برای برقراری حیات شامل شکل‌گیری خود خاک، چرخش کربن و مواد مغذی با نگهداشت چرخه‌های مفید کربن و نیتروژن، باروری خاک، تصفیه آب تا فراهم آوردن ترکیبات مفید، مانند آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشند (فراموش نکنیم که تاکنون اکثریت آنتی‌بیوتیک‌ها موجود از ارگانیسم‌های خاک جدا شده‌اند). اما خاک حاوی ارگانیسم‌هایی است که می‌توانند در بدن انسان بیماری ایجاد کنند. گستره‌ای از عفونت‌های وابسته به خاک، به ویژه عفونت‌های زخم، دستگاه تنفسی یا گوارشی را در این مورد باید ملاحظه نمود.

میکروب‌های برخاسته از خاک که برای انسان‌ها پاتوژن هستند شامل انگل‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و نیز ویروس‌ها هستند که این ارگانیسم‌ها، یک میزبان را برای بقای خود نیاز دارند. بیش از ۴۰۰ جنس باکتریایی که احتمالاً شامل ۱۰ هزار گونه باکتری (بدون ویروس‌ها) است، مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. تعداد باکتری‌هایی که می‌توانند در آزمایشگاه رشد کنند احتمالاً کمتر از یک درصد است. تنوع واقعی آن‌ها احتمالاً بسیار عظیم‌تر است. از ۱۰۰ هزار گونه قارچ که تا کنون شناخته شده‌اند فقط ۳۰۰ گونه ممکن است موجب بیماری در انسان شوند.

از سوی دیگر، ارگانیسم‌های خاک ممکن است بتوانند به آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق خاک دسترسی بیابند. بنابراین، خاک اغلب به عنوان منشأ عفونت‌های برخاسته از آب مطرح می‌شود، اما خاک عمدتاً به عنوان مانعی مؤثر بر علیه پاتوژن‌ها برای رسیدن به آب‌های

زیرزمینی نقش ایفا می‌کند و بدین سان تعداد ارگانیس‌هایی که به آب‌های زیرزمینی می‌رسند ممکن است به صورت طبیعی پایین باشد. بعضی از بیماری‌های برخاسته از خاک می‌توانند به هوا منتقل بیابند مانند تب کیو، اسپروژیلوس، تولارمیا، اسپوتریکوزیس که می‌توانند توسط گردوغبار انتقال بیابند. از این رو، این بیماری‌ها احتمالاً به شیوه‌های بهره‌برداری از زمین و تغییر کاربری زمین حساس بوده و هر فعالیتی که با فرسایش باد همراه باشد، احتمالاً رخداد چنین بیماری‌هایی را در محیط اطراف افزایش می‌دهد [۱].

این ارگانیس‌ها می‌توانند به صورت پاتوژن‌های فرصت‌طلب بوده و در افراد مستعد (مانند کسانی که اختلال در سیستم ایمنی دارند)، عفونت ایجاد کنند و یا پاتوژن‌های ناگزیر هستند که انسان‌ها را آلوده سازند تا چرخه زیست خود را تکمیل سازند. این ارگانیس‌ها ممکن است بتوانند در خاک برای زمان‌های متمادی در قبل از این که انسانی در تماس با خاک آلوده قرار گیرد، زیست کنند [۲].

پاتوژن‌های خاک را به صورت منتقل از آب یا منتقل از غذا تقسیم کرده‌اند. برای مثال، در مورد پاتوژن‌های منتقل از آب، به این صورت است که مدفوع، ادرار یا دیگر مواد دفعی جانور یا انسان، نخست به محیط خاک وارد شده و سپس به آب سطحی شسته می‌گردد و یا به آب زیرزمینی منتقل می‌شود. عفونت سپس توسط تماس با یا مصرف آب آلوده ایجاد می‌شود. چنین وضعیتی برای بیماری‌های منتقل از غذا نیز رخ می‌دهد.

پاتوژن از طریق مدفوع کردن یا از طریق مواد دفعی آلوده دوباره به خاک وارد شده و سپس ممکن است از طریق سبزیجات و یا میوه خام شسته نشده مصرف شود. تعدادی از پاتوژن‌ها، چرخه‌های زندگی پیچیده‌ای دارند که ممکن است شامل میزبان‌هایی شوند که در آن‌ها زندگی و تولید مثل می‌کنند. بسیاری از این پاتوژن‌ها، عوامل انتقال بیولوژیک (حشرات، جانوران) و فیزیکی (آب و باد) داشته و مخازن گوناگون با شرایط زیست محیطی متنوعی را در طی چرخه زندگی خود دارند.

برای آشکار نمودن منشأ پاتوژن، یک تقسیم‌بندی به شرح زیر توصیه شده است:

(۱) بیماری‌های توأم یافته با خاک که با پاتوژن‌های فرصت‌طلب یا نوپدید متعلق به

میکروبیوتای طبیعی خاک رخ می‌دهند (برای مثال، قارچ شایع اسپرژیلوس فومیگاتوس که در خاک دیده می‌شود می‌تواند شش‌ها را از طریق استنشاق اسپورهای خود آلوده کند)؛ (۲) بیماری‌های وابسته به خاک که موجب مسمومیت از طریق بلع غذای آلوده با آنتروتوکسین‌ها یا نوروٹوکسین‌ها می‌شوند (مانند کلستریدیوم بوتولینیوم، کلستریدیوم پرفرینجنز و باسیلوس سروس)؛ (۳) بیماری‌های بر پایهٔ خاک ایجاد شده توسط پاتوژن‌ها بومی خاک (مانند کلستریدیوم تتانی، باسیلوس آنتراسیس، کلستریدیوم پرفرینجنز) و (۴) بیماری‌های منتقل از خاک ایجاد شده توسط پاتوژن‌های روده‌ای که به خاک از طریق مواد دفعی جانور یا انسان وارد می‌شوند. پاتوژن‌های روده‌ای که از راه مدفوع - دهانی انتقال می‌یابند شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوآها و کرم‌های بیماری‌زا هستند.

روش دیگر تقسیم‌بندی پاتوژن‌های منتقل از راه خاک به این صورت است که آن‌ها را به (۱) پاتوژن‌های خاک‌زاد^۱ و (۲) پاتوژن‌های انتقال یافته از خاک تقسیم‌بندی می‌کنند. پاتوژن‌های خاک‌زاد، ارگانسیم‌های واقعی خاک هستند در حالی که پاتوژن‌های انتقال یافته از خاک، ارگانسیم‌های واقعی خاک نیستند اما ممکن است بتوانند در خاک برای زمانی متممادی زندگی کنند (جدول ۱۳-۱). این گروه آخر باید در یک میزبان زندگی کنند تا چرخهٔ زندگی خود را کامل سازند.

احتمال بسیار بالایی وجود دارد که عفونت با پاتوژن‌های خاک‌زاد، از خاک رخ داده باشد ولی در مورد پاتوژن‌های انتقال یافته این قطعیت کمتر است؛ برای مثال، سالمونلوزیس می‌تواند در نتیجهٔ عدم بهداشت توسط فرد آلوده‌ای که غذا درست می‌کند، ایجاد شود [۱]. با این تقسیم‌بندی که پنج شاخهٔ عمده شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوآها و کرم‌های بیماری‌زا (نماتودها) می‌توانند در پیوند با خاک برای انسان بیماری ایجاد کنند، پرداختن به آن‌ها خود نوشتاری مفصل و مستقل را می‌طلبد که فراتر از حوصلهٔ این نوشتار است و در کتب مرجع زمین‌شناسی پزشکی نیز به آن‌ها تا حدی اشاره شده است. ما در این بخش از نوشتار برای نمونه به یک پاتوژن اشاره

¹ Euedaphic

می‌کنیم که در روستاهای شهرستان بوشهر، در طی سال‌های گذشته، مشکلاتی را آفریده است و از لحاظ اپیدمیولوژیکی اهمیت فراوانی را داشته و بیماری مهم لپتوسپیروز را موجب می‌شود.

جدول ۱۳-۱ - نمونه‌هایی از پاتوژن‌های برخاسته از خاک و بیماری‌های عفونی وابسته به آن‌ها [۱]

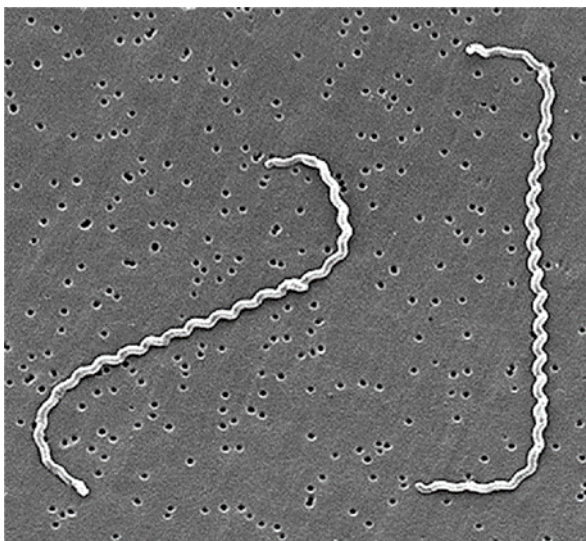
پاتوژن‌های خاک‌زاد	پاتوژن‌های انتقال‌یافته از خاک
پاتوژن / بیماری عفونی	پاتوژن / بیماری عفونی
باکتری‌ها	ویروس‌ها
<i>Actinomycetes/Actinomycetoma</i>	<i>Hantavirus/Hantavirus syndrome</i>
<i>Bacillus anthracis/Anthrax</i>	<i>Enteroviruses/Broad clinical spectrum</i>
<i>Bacillus cereus/Broad clinical spectrum</i>	
<i>Clostridium botulinum/Botulism</i>	باکتری‌ها
<i>Campylobacter jejuni/Campylobacteriosis</i>	<i>Coxiella burnetii/Q fever</i>
<i>Leptospira interrogans/Leptospirosis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa/Broad clinical spectrum</i>
<i>Listeria monocytogenes/Listeriosis</i>	<i>Escherichia coli/Broad clinical spectrum</i>
<i>Clostridium tetani/Tetanus</i>	<i>Salmonella enterica/Salmonellosis</i>
<i>Francisella tularensis/Tularemia</i>	کرم‌ها
<i>Clostridium perferingens/Gas gangrene</i>	<i>Ascaris lumbricoides/Ascariasis</i>
<i>Yersinia enterocolitica/Yersiniosis</i>	<i>Ancylostoma duodenale/Hookworm</i>
قارچ‌ها	<i>Strongyloides stercoralis/Strongyloidiasis</i>
<i>Aspergillus ssp./Aspergillosis</i>	<i>Trichuris trichiura/Trichuriasis</i>
<i>Blastomyces dermatitidis/Blastomycosis</i>	<i>Echinococcus multicularis/Echinococcosis</i>
<i>Coccidioides immitis/Coccidioidomycosis</i>	<i>Trichinella spiralis/Trichinellosis</i>
<i>Histoplasma capsulatum/Histoplasmosis</i>	پروتوزواها
<i>Sporothrix schenckii/Sporotrichosis</i>	<i>Entamoeba histolytica/Amoebiasis</i>
	<i>Balantidium coli/Balantidiasis</i>
	<i>Cryptosporidium parvum/Cryptosporidiosis</i>
	<i>Cyclospora cayetanensis/Cyclosporiasis</i>
	<i>Giardia lamblia/Giardiasis</i>
	<i>Isospora belli/Isosporiasis</i>
	<i>Toxoplasma gondii/Toxoplasmosis</i>
	<i>Shigella dysenteriae/Shigellosis</i>

۱۳-۲- مثال موردی بیماری لپتوسپیروز

پاتوژن‌های جنس لپتوسپیرا^۱، عامل اتیولوژیک لپتوسپیروز هستند که در سراسر جهان دیده می‌شوند. این بیماری عفونی، افرادی را که در اقلیم گرم و معتدل در مناطق شهری و روستایی زندگی می‌کنند را دچار می‌سازد. مطالعات حاکی از آن است که این بیماری حداقل در سال یک میلیون نفر را دچار کرده و ۶۰ هزار مرگ حاصل می‌کند. این بیماری عفونی از طریق برخورد غیرمستقیم به ادرار جانوران بدون علامت از طریق محیط رخ می‌دهد. موارد انسانی عموماً بعد از یک ریزش باران سنگین رخ می‌دهد. فرضیه‌ای جدید این را مطرح کرده است که ریزش باران، این پاتوژن‌ها (لپتوسپیراها) را با ذرات خاک، باز معلق می‌سازد. باکتری‌ها سپس به سطح آب حمل می‌شوند یعنی جایی که انسان‌ها با آن‌ها در معرض تماس قرار می‌گیرند.

مطالعات فراوانی که به حضور لپتوسپیراها در خاک تا آب اشاره کرده‌اند این فرضیه که خاک مکان زیست لپتوسپیرا معرفی کرده و بازمعلق‌سازی آن با ذرات خاک در هنگام ریزش باران‌های سنگین موجب پخش این پاتوژن‌ها می‌شود را تقویت می‌نماید؛ از این رو، مطالعات بیشتر پیرامون مکان زیست این پاتوژن‌ها که در خاک می‌باشند راه را برای پیشگیری و کنترل کارآمد این بیماری مشترک بین انسان و دام هموار می‌سازد [۳]. احتمالاً این بیماری، گسترده‌ترین و شایع‌ترین بیماری مشترک بین انسان و دام است. تشخیص بالینی و آزمایشگاهی آن دشوار است. این بیماری اغلب مورد تشخیص قرار نمی‌گیرد و در نتیجه شدیداً مورد غفلت قرار گرفته و این در حالی است که در طی دهه گذشته، در سراسر جهان، رخدادهای بی‌شماری از آن روی داده است. از این رو، لپتوسپیروز را به عنوان یک مسئله سلامت عمومی بازپدید، مطرح کرده‌اند [۴، ۵].

^۱ Leptospira



شکل ۱۳-۱- اسکن الکترومیکروگراف *Leptospira interrogans*

پاتوژن‌های لپتوسپیرا در طبیعت در تنوعی از جانوران میزبان نگه داشته می‌شوند؛ این جانوران شامل حیوانات اهلی و وحشی هستند. این پاتوژن‌ها با ادرار جانوران ناقل به بیرون ریخته می‌شوند و می‌توانند در محیط زیست برای زمانی طولانی زندگی کنند. منبع آلودگی لپتوسپیرایی انسان، این ادرار جانوران است. از این رو، عوامل خطرناک و رفتارهای شایع برای این بیماری، آن‌هایی هستند که افراد را با مخازن جانوری یا محیط آلوده در معرض قرار می‌دهند. تماس با گونه‌های گوناگون جانوران، بافت جانوری، ادرار حیوانات و محیط مرطوب و در معرض قرار گرفتن شغلی یا تفریحی با پیکره آبی آلوده، به عنوان عوامل خطرناک معرفی شده‌اند [۶].

به صورت عمومی، انتقال لپتوسپیروز از طریق تماس با خاک، آب تازه یا احتمالاً سبزی‌هایی که با ادرار حیوانات عفونت یافته با این ارگانسیم آلوده شده‌اند، رخ می‌دهد. باکتری می‌تواند حداقل ۴۲ روز در خاک اسیدی (pH تقریباً ۵/۵) و تا ۷۴ روز در خاک‌های خنثی‌تر زندگی کند. این نشان می‌دهد که گونه‌های پاتوژنیک به افراد آلوده نیاز دارد تا آن‌ها را به محیط خاک از طریق ادرار انتقال دهند و آن‌گاه این پاتوژن‌ها می‌توانند تا زمان قابل ملاحظه‌ای بعد از این که

مورد آلوده منطقه را ترک کرد، زیست نموده تا میزبان مناسبی از راه برسد. این واقعیت که باکتری‌ها می‌توانند تا زمان‌های متمادی در آب بقا بیابند این را معنا می‌دهد که آن‌ها می‌توانند در زمان‌های سیلاب تا فواصل نسبتاً دور، انتقال یابند [۱]. علائم و نشانه‌های بالینی این بیماری متغیر بوده و از تظاهرات تحت بالینی تا تظاهرات بالقوه کشنده می‌تواند خود را نشان دهد. پس از یک دورهٔ کمون ۲ تا ۲۰ روزه، لپتوسپیروز به صورت یک بیماری دو مرحله‌ای شامل یک فاز لپتوسپیرومیک ابتدایی با طول مدت ۳ تا ۷ روز و سپس با یک فاز ایمنی با طول مدت ۴ تا ۳۰ روز تظاهر می‌یابد. فرم خفیف غیرایکتربیک بیماری که شایع‌تر نیز هست با علائم غیر اختصاصی نظیر تب، سردرد، لرزش، درد عضلانی، تهوع و دردشکمی مشخص می‌شود.

فرم شدید ایکتربیک بالقوه کشندهٔ لپتوسپیروز (Weil's disease) با زردی، اختلال عملکرد کلیوی و تمایل به خون‌ریزی خود را نشان می‌دهد. تشخیص زودهنگام درمان سریع لپتوسپیروز در تمام فرم‌های آن اهمیت دارد؛ خواه بیماری خفیف و غیرایکتربیک شبه آنفولانزا و یا خواه بیماری ویل باشد. در هنگام آغاز بیماری، پیش‌بینی کردن چگونگی روند بیماری ممکن نیست. این حالت، تشخیص زودهنگام - که تشخیص پیش از شروع فاز ایمنی است - را بیش از پیش الزامی می‌نماید [۷، ۸]. این بیماری هم در کشورهای در حال توسعه و هم کشورهای صنعتی دیده می‌شود ولی به طور ویژه در کشورهای گرمسیری شایع است زیرا شرایط زیست محیطی و اقتصادی اجتماعی در این مکان‌ها برای انتقال آن بسیار مناسب می‌باشد و دلیل دیگر همان گونه که اشاره شده است آن است که لپتوسپیروا در خاک مرطوب و گرم و نیز در آب برای ماه‌ها و سال‌ها، به حیات خود ادامه می‌دهد [۹].

در اواخر دی ماه ۱۳۸۲، در پی بارندگی شدید و جاری شدن سیلاب در منطقهٔ کره‌بند، تالاب رودخانهٔ شهرستان بوشهر شاهد یک رخداد گستردهٔ بیماری تب خون‌ریزی دهنده در دام‌های منطقه کره‌بند بود. این منطقه در سواحل دریا و به فاصلهٔ ۱۰ کیلومتری شمال شرقی بندر بوشهر واقع گردیده است و مساحت آن ۴۲،۶۰۰ هکتار است که حدود ۲۰،۰۰۰ هکتار آن تالابی می‌باشد. منبع تأمین کنندهٔ آب تالاب، رودخانهٔ حله می‌باشد که از به هم پیوستن

رودخانه شور دالکی و رودخانه شیرین شاپور در شمال غربی روستای درودگاه تشکیل می‌گردد. متعاقب بارندگی سنگین پنج روزه (متجاوز از ۲۰۰ میلی‌متر) در این منطقه، در اواخر دی ماه سال ۱۳۸۲، بیماری تب خون‌ریزی دهنده‌ای به صورت خون شاشی، دوره کوتاه بالینی، مرگ ناگهانی، تراوش خون و مایعات آماسی از منافذ بدن در هنگام مرگ و بعضاً پس از مرگ، در جمعیت‌های گوسفندی، بز و گاوی بروز نمود. این بیماری، تلفات بالایی در جمعیت‌های گوسفندی و بز و در درجات کمتر گاوها ایجاد می‌کند. از ۱۵۰ رأس دام منطقه شامل ۴۰ گاو، ۶۰ گوسفند و ۵۰ بز، سرم جهت انجام آزمون سرولوژی MAT گرفته شده و به آزمایشگاه میکروبیولوژی مؤسسه رازی ارسال شد که ۴۵ درصد از نمونه‌های ارسال شده واجد تیترا بالاتر از ۱/۱۰۰ بودند؛ در نتیجه هر چند که هیچ‌گونه گزارش کشت مثبت از این پاتوژن اسپیروکت به دست نیامد، رخداد گسترده بیماری تبار خون‌ریزی دهنده منطقه کره‌بند، به عنوان لپتوسپیروز قلمداد شد [۱۰].

سپس در یک مطالعه، پژوهشگران دانشگاه علوم پزشکی بوشهر از ۵۸ دامدار منطقه تالاب به عنوان گروه مورد و از ۳۵۹ دامدار در ۱۴ روستای اطراف منطقه به عنوان گروه شاهد، نمونه سرمی تهیه کردند و تحت آزمایش الیزا برای بررسی IgG و IgM لپتوسپیرا قرار دادند. فراوانی مثبت شدن IgG و IgM در گروه مورد (۲۹/۳ و ۱۵/۵ درصد، به ترتیب) و در گروه شاهد (۱۵/۰ و ۸/۴ درصد) بود. تعداد ۸ نفر از ۱۷ نفر با سرولوژی مثبت در منطقه رودحله بوشهر نیز علائم بالینی را در طی رخداد گسترده بیماری تب خون‌ریزی دهنده دامی از خود نشان داده بودند که سه نفر از آنها نیز با افت فشارخون در بیمارستان دانشگاهی فاطمه الزهرا(س) بوشهر، بستری شدند [۱۱].



شکل ۱۳-۲- تلفات دامی لپتوسپیروز در رودخانه بوشهر بعد از سیلاب دی‌ماه ۱۳۸۲
[عکس از آقای علی برغندان]

سپس این پژوهشگران، سرم‌های ۴۹ دامدار و ۲۰۰ دام منطقه تالاب را پس از ۷ الی ۱۰ روز از رخداده تب خون‌ریزی دهنده دامی منطقه تالاب رودخانه شهرستان بوشهر و همچنین به عنوان گروه شاهد، نمونه‌های سرمی ۶۰ دامدار در چهارده روستای اطراف منطقه تالاب را گرفتند و به روش ملکولی PCR (که دارای اختصاصیت و حساسیت بالایی برای تشخیص زودهنگام این بیماری است)، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در ۳۲/۶۵ درصد از دامداران و ۹/۵۰ درصد از دام‌های منطقه، ژنوم لپتوسپیروا وجود دارد و این در حالی بود که در گروه شاهد هیچ ژنوم لپتوسپیروا مورد شناسایی قرار نگرفت (۱۲). مجموعه این مطالعات نشان داد که بیماری لپتوسپیروز در استان بوشهر اندمیک بوده و منطقه تالاب رودخانه در سال ۱۳۸۲ دچار یک رخداد گسترده بیماری انسانی و دامی لپتوسپیروز بوده است. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه اندمیک برای بیماری لپتوسپیروز که خاک منطقه با پاتوژن‌های لپتوسپیروبی آلوده است، پس از سیلاب و ریزش سنگین باران، بروز تب، سردرد و درد عضلانی در ساکنین منطقه و یا مشاهده گسترده رخداد تب خون‌ریزی دهنده در دام‌ها، باید بیماری لپتوسپیروز را در صدر تشخیص‌های افتراقی قرار داد [۱۱، ۱۲].

۱۳-۳- منابع

- 1) Nieder, R., Benbi, D.K., and Reichl, F.X., Soil as a Transmitter of Human Pathogens, in Soil Components and Human Health. 2018, Springer. p. 723-827.
- 2) Jeffery, S. and Van der Putten, W.H., Soil borne human diseases. Luxembourg: publications office of the European Union, 2011: p. 37199.
- 3) Bierque, E., Thibeaux, R., Girault, D., *et al.*, A systematic review of Leptospira in water and soil environments. PloS one, 2020. 15(1): p. e0227055.
- 4) Costa, F., Hagan, J.E., Calcagno, J., *et al.*, Global morbidity and mortality of leptospirosis: a systematic review. Plos negl trop dis, 2015. 9(9): p. e0003898.
- 5) Hartskeerl, R., Collares-Pereira, M., and Ellis, W., Emergence, control and re-emerging leptospirosis: dynamics of infection in the changing world. Clinical microbiology and infection, 2011. 17(4): p. 494-501.

- 6) Vijayachari, P., Sugunan, A., and Shriram, A., Leptospirosis: an emerging global public health problem. *Journal of biosciences*, 2008. 33(4): p. 557-569.
- 7) Mandell, G., Mandell, G.L., Bennett, J.E., *et al.*, Principles and Practice of Infectious Diseases, 2-Volume Set. 1999, Churchill Livingstone.
- 8) Feigin, R.D., Cherry, J., and Demmler, G.J., Textbook of pediatric infectious diseases. Vol. 1. 2004: Gulf Professional Publishing.
- 9) Ganoza, C.A., Matthias, M.A., Collins-Richards, D., *et al.*, Determining risk for severe leptospirosis by molecular analysis of environmental surface waters for pathogenic *Leptospira*. *PLoS Med*, 2006. 3(8): p. e308.
- ۱۰) اسماعیلی، ح.، گراوند، م.م.، حامدی، م.، همکاران.، اپیدمی لیتوسپیروز در گاو، گوسفند و بزهای منطقه تالاب حله استان بوشهر در سال ۱۳۸۲. نشریه تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک، ۱۳۹۳. ۲۷(۲): صفحات ۳۰-۲۰.
- 11) Vahdat, K., Nabipour, I., Motamedi, M., *et al.*, A sero-epidemiological survey on leptospirosis in the livestock breeders during the outbreak of haemorrhagic fever in domestic animals of the Helleh River area in 2004. *ISMJ*, 2005. 8(1): p. 53-59.
- 12) Vahdat, K., Nabipour, I., Jafari, S.M., *et al.*, Diagnosis of Leptospirosis in haemorrhagic fever in domestic animals of the Helleh River area in 2004 by polymerase chain reaction (PCR) molecular technique. *ISMJ*, 2007. 10(1): p. 9-18.

فصل چهاردهم

زمین‌شناسی پزشکی در طب سنتی

۱۴-۱- مومیایی

در فرهنگ دهخدا آمده است که مومیایی یا عرق کوه که در اصطلاح محلی به آن مومنیایی گویند، ترش‌حی است قیر مانند که در شکاف‌ها و شکستگی‌های طبقاتی زمین و در بعضی غارها یافت می‌شود. مومیایی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و وزن مخصوص آن ۱/۲ است. متأسفانه در مورد تجزیه شیمیایی مومیایی به متون علمی جامع بر نمی‌خوریم. رضوانی‌پور و همکاران در مقاله خود در خصوص مرور خواص شیمیایی آن چنین نوشته‌اند: *”برخی از محققین ترکیب آن را مواد قیر مانند دانسته و تجزیه شیمیایی و طیفی، حاکی از وجود هیدروکربورها در آن می‌باشد. در حالی که در مطالعاتی دیگر، مومیایی را به دو نوع یکی محلول در چربی و مواد آلی چون الکل و کلروفرم (نوع موضعی) و دیگری محلول در آب (نوع خوراکی) تقسیم کرده‌اند. نوع اول قیر مانند ولی نوع دوم متفاوت از آن بوده و تجزیه شیمیایی انجام شده بر آن حکایت از حضور یون کلسیم، فسفات، کربنات، منیزیم و نیز ارت و پلی‌ساکاریدها دارد.“* [۱].

در مورد مومیایی باید این را عنوان نماییم که مومیایی در نوشتارهای دیگر با اسامی شیره کوه، قیر طبیعی، زفت رومی، قیر معدنی، عرق الجبال، زفت البحر، کفرالبهود، فقرالبهود و آسفالت معدنی آمده است [۲]. نخست می‌بایست مشخص نمود که آیا ماده مؤثره دارویی در تمامی مواد با اسامی مذکور یکسان است یا خیر که این خود به پژوهشی پرمایه نیاز دارد. دوم آن که داروی مومیایی در طب سنتی ایران، هیچ‌گونه ارتباطی با ماده شیمیایی که در مومیایی کردن اجساد در مصر استفاده می‌شد ندارد. آقای داوسون عنوان کرده است در قرون وسطی در اروپا از مومیایی‌های مصری به عنوان ماده دارویی استفاده می‌کردند و آن‌ها بر این

باور بودند که اجساد مومیایی مصری با مومیا یا قیر طبیعی، آماده‌سازی شده بودند؛ حتی امروزه نیز مردم بر این تصور هستند که مصریان از قیر طبیعی برای مومیایی استفاده می‌کرده‌اند که البته این تصور اشتباه است زیرا آنچه آن‌ها برای مومیایی کردن استفاده می‌کرده‌اند، رزین بوده است که شباهت ظاهری به قیر طبیعی داشته است.



شکل ۱۴-۱- مومیایی استخراج شده از کوه درنگ شهرستان دیر در استان بوشهر
[عکس از آقای میلاد آزموده]

از دید داوسون، در مومیایی کردن، احتمالاً از قیر طبیعی استفاده نمی‌شده است زیرا او با کمک شیمیدان‌های خبره نتوانست قیر طبیعی را در آنالیز نمونه‌های مومیایی مصری به دست آورد. اما در هر صورت، از دارویی شفابخش با واژه مومیایی (که ریشه فارسی دارد و سپس توسط اعراب برگرفته شد)، در فواصل قرون ۱۲ تا ۱۷ میلادی در اروپا بسیار گسترده استفاده می‌شد [۳]. استفاده از قیر طبیعی، پیشینه‌ای بس کهن دارد و پلینی^۱ از قیر تولید شده در دریای مرده صحبت می‌کند و می‌گوید که نوع بابلی آن برای آب مروارید و دیگر بیماری‌های چشم،

^۱ Pliny

بیماری‌های پوستی، جذام، بیماری لیکن، خارش و نقرس، مفید بوده است [۳].

اما آنچه در مورد خواص دارویی و پژوهش‌های نوین در مورد اثرات ویژه مومیایی به آن در اینجا اشاره می‌کنیم همان مومیایی یا شیرۀ کوه است که در ارتفاعات کوه‌های استان کرمان، فارس، بندرعباس و بوشهر یافت می‌شود. همچنین گفته شده است که در طبیعت حیواناتی که دچار جراحاتی می‌شده‌اند با مالیدن بخش مجروح خود به مومیایی جوشیده از کوه و همچنین با خوردن آن، به درمان خود اقدام می‌کرده‌اند [۲].

زکریای رازی، پزشک پرآوازه ایرانی، در یکی از رساله‌های کوچک خود «فی المومیایی» به کیفیات، خواص، منافع و ترکیب استعمال مومیایی در بیماری‌های گوناگون می‌پردازد. نسخه‌ای خطی از این رساله در کتابخانه ملی و شادروان دکتر قاسم غنی توسط شادروان دکتر محمود نجم آبادی فهرست شده است [۴]. رازی در این رساله پیرامون مومیایی بیان می‌دارد که مومیایی برای اولین بار در روزگار پادشاهی فریدون پیشدادی در شهر دارابجرد (دارابگرد) یا داراب کنونی کشف شده است و سپس توسط پزشکان ایرانی به کار رفته و خواص درمانی آن به تجربه، به تدریج آشکار گردیده است. او می‌نویسد که مومیایی در مناطق مختلفی از سرزمین فارس و سایر نواحی وجود دارد، اما تمامی آن‌ها از لحاظ قوت و تأثیر به پای مومیایی کوهستان دارابجرد نمی‌رسند [۵].

از نظر رازی: "مومیایی گرم و لطیف و نافذ و بازکننده رگ‌ها و جلا دهنده معده و مقوی روح و برطرف کننده باده است و اما فوایدی که اطبای فارس برای آن ذکر کرده و همگی بر آن اجماع دارند، این است که می‌گویند: این دارو برای سردرد ناشی از بلغم و سودای فاسد و خفقان و گوش درد و ناشنوایی و خناق (بادزهره) و زخم‌ها و بدبویی دهان و تنگی نفس ناشی از سرما و درد طحال و زخم‌های آن و برای بادهای بواسیر و دردهای مقعد و تورم آن و استسقاء (آماس کردن شکم و غیر آن از اعضا) و در حالت آغاز بیماری جذام و برص و داءالفیل (فیلاریوز) و درد ناشی از سرما و سوءهضم، نیش عقرب و مار و برای کسی که سم نوشیده و برای مبتلایان به لرزش و رعشه دست و پا که معمولاً در افراد کهن سال دیده می‌شود و برای خواب ناشی از سرما و همچنین برای بیماری ام صبیان (کج بچگان، صرع اطفال) ناشی از سرما و همچنین

برای اختناق رحم و سایر بیماری‌های زنان که در اثر سرما به وجود می‌آید و برای تب چهار روزه مزمن ناشی از بلغم و برای دردهای جراحات چرکین بدحالت و ناسوری که ترشحات آن بیرون می‌زند و پزشکان از درمان آن عاجز شده‌اند و همچنین برای بیماری کجی دهان (لقوه) و شکستگی استخوان و صرع و سرگیجه و گلودردهای ناشی از سرما و باد و نفخ معده و باد برآمده از معده (فواق) و صدمه معده و کبد و کثرت جماع و برای کسی که تیر خورده و یا زخمی در نزدیکی یکی از اعضای اصلی بدن ایجاد شده باشد و برای تازیانه خورده و یا کسی که با چوب کتک خورده باشد و همچنین برای بیرون راندن سن از مثانه و کلیه و تسکین درد آن به یاری مشیت الهی مفید خواهد بود [۵].

به نظر می‌رسد که ابن سینا میان مومیا و قیر و زقت تفاوت قائل است زیرا از نظر او "مومیا قوت قیر و زقت با هم مخلوط دارد و بسیار منفعت‌رسان است" [۶]؛ ابن سینا، مومیا را در التیام دررفتگی و شکستگی و تسکین مفاصل، در صرع، تسکین سردرد و سرگیجه، درد و چرک گوش، علاج خناق و درد گلو، سرفه، خفقان، توان بخشی به معده، علاج دل به هم آمدن بلغمی، درد کبد، سکسکه، درد طحال، زخم ذکر و آبدان، علاج مسمومیت و رفع نیش کژدم، مفید می‌داند [۶]. در استفاده از مومیا، ابن سینا هرگز آن را به تنهایی به کار نمی‌برد بلکه همیشه با بعضی از گیاهان دارویی، یا به صورت نوشیدنی با مایعاتی هم چون شراب، شیر یا با کره و روغن به کار می‌برد [۳].

دکتر یاکوب ادوارد پولاک، پزشک مخصوص ناصرالدین شاه و معلم طب و جراحی دارالفنون که در مورد طب عامه و رایج در سرزمین ایران به پژوهش پرداخته بود در مورد مومیایی می‌نویسد که مومیایی فارس و ایران مرغوب بوده و مومیایی اصل باید سیاه، براق و خوشبو باشد و سپس ادامه می‌دهد: "ایرانیان ثروتمند همیشه چند حب مومیایی با خود بر می‌دارند تا هرگاه دچار وحشت شدید شدند و در حال بیهوشی یا خون رفتگی، حبی از آن بخورند و هرگاه دست یا پایشان شکست قسمت‌های مربوط را با آن بمالند؛ زیرا می‌پندارند مومیایی قدرت ایجاد سریع غضروف‌سازی دارد و مدعی هستند که مومیایی می‌تواند پای شکسته مرغ را در ظرف یک روز کاملاً التیام بخشد." [۷].

در دوران قاجار بر اساس گزارش پزشکان غربی که در ایران طبابت می‌کردند، مومیای در درمان شکستگی‌ها کاربرد گسترده‌ای داشت به گونه‌ای که یوهانس شلیمر، پزشک معلم دارالفنون، تلاش‌هایی را برای اثبات درمانی مومیایی انجام داد؛ هر چند که او هرگز آنچه در مورد اثرات درمانی شگفت‌انگیز مومیایی را می‌گفتند، نتوانست معلوم کند. او همچنین گزارش کرد که عطرها نمی‌توانستند بگویند که چه کیفیاتی از مومیایی حقیقی وجود دارد که آن را از مومیایی جعلی، افتراق می‌دهد. شلیمر این حقیقت که یک عطار با فروش مومیایی جعلی، ثروتمند شده است را می‌دانست [۸].

هم اکنون از مومیایی در بسیاری از نقاط ایران از جمله استان بوشهر استفاده می‌شود. مومیایی در ارتفاعات شمال‌غرب شهرستان جیرفت کرمان در منطقه‌ای به نام ساردوئیه و بهر آسمان از میان غارهای موجود در میان کوه‌ها و از لای درزهای صخره‌ها بیرون می‌آید. در این منطقه، عشایر و روستاییان، از میان شکاف‌های غارها آن را بیرون آورده و روانه بازار می‌کنند. در شهرستان جیرفت از مومیایی برای درمان التهاب و آسیب مفاصل، روماتیسم، شکستگی‌ها، زخم‌ها و دردهای ستون فقرات استفاده می‌کنند که به دو شکل موضعی و خوراکی مصرف می‌شود. به منظور استفاده موضعی جهت درمان زخم التهاب مفاصل معمولاً آن را در آب جوش حل کرده و به موضع مورد نظر می‌مالند [۹].

در بررسی دانش بومی کاربردهای درمانی مومیایی، آشکار گردید که این ماده به دو صورت خوراکی و موضعی استفاده می‌شود و در شکستگی استخوان، ضرب دیدگی و کوفتگی، التیام درد و بهبود زخم‌های جلدی مؤثر است [۱۰]. بررسی‌هایی که توسط پژوهشگران موزه تاریخ پزشکی خلیج فارس، وابسته به دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام گردید، نشان داد که مصرف مومیایی در بوشهر نیز روایی پایداری داشته است و در گذشته به فراوانی از آن در شکستگی‌های استخوانی، ضرب دیدگی و کوفتگی استفاده می‌کرده‌اند. بر اساس اطلاعات به دست آمده از آگاه‌مندان بومی، در سال ۱۳۹۹ تیم پژوهشی موزه تاریخ پزشکی خلیج فارس به دامنه کوه درنگ در مشرق بخش بردخون از شهرستان دیر در استان بوشهر اعزام گردید و در نزدیکی به امامزاده شاه فرج الله (مشهور به امیر دیوان) از مکان برداشت سنگ مومیایی بازدید نمود. این منطقه با

داشتن چشمه و درختان خرما و درختچه‌های کوهی دارای چشم‌انداز دیدنی طبیعی و کوهستانی است. در مجاورت امامزاده امیردیوان و شرق کارگاه سنگ‌بری، در دامنه‌ای از کوه که چشم‌انداز به دریا را دارد از شکاف صخره‌ای بلند، مکان برداشت مومیایی مشاهده می‌شود که گروه اعزامی با صعود به این صخره که در بخش فوقانی یک آب‌کنند بزرگ قرار دارد نمونه‌هایی را برای موزه تاریخ پزشکی خلیج فارس و آنالیز شیمیایی برداشت نمود. هدف دیگر این گروه اعزامی معرفی کاربردهای سنتی مومیایی برای دانشجویان پزشکی و پژوهشگران مراکز تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی بوشهر بوده است؛ زیرا هر چند که استفاده از مومیایی تاریخ طولانی دارد و در مشکلات استخوانی و گوارشی به فراوانی استفاده شده است، اما برای شناخت مواد مؤثره آن به طراحی کارآزمایی‌های بالینی نیاز است [۱۱].



شکل ۱۴-۲- شکاف صخره‌ای در دامنه کوه درنگ در شهرستان دیر در استان بوشهر
که مکان برداشت مومیایی است [عکس از آقای حسین معین].

خوشبختانه هم اکنون تعدادی از مطالعات آزمایشگاهی بر روی حیوانات آزمایشگاهی و نیز پژوهش‌های پایه در سطح مطبوعات علمی پزشکی وجود دارند که در این بخش از نوشتار به نتایج این مطالعات می‌پردازیم. جای بسی سرافرازی است که بسیاری از این مطالعات در کشور ایران انجام شده‌اند.

۱۴-۲- مطالعات نوین پیرامون اثر زیستی و دارویی مومیا

از آنجا که در جیرفت کرمان از مومیایی به صورت مرهم بر زخم‌های جلدی استفاده می‌شود، مطالعه‌ای برای مقایسه اثر مصرف موضعی آن با کرم فنی توئین بر ترمیم زخم پوستی در موش صحرائی طراحی گردید که نتایج مطالعه برای اولین بار نشان داد که ماده مومیایی، ترمیم زخم پوستی را در موش صحرائی تسریع می‌کند. از سوی دیگر آشکار شد که اثر آن در ترمیم زخم با اثر کرم فنی توئین ۱٪ قابل مقایسه است. از این رو، مکانیسم‌های موجود در ترمیم زخم شامل اثر بر سنتز کلاژن، کاهش التهاب، افزایش اکسیژن‌رسانی، افزایش عروق جدید و فیلتراسیون فیبروبلاست‌ها در موضع زخم، می‌بایست در این خصوص مورد پژوهش قرار گیرند [۹].

در ادامه این مطالعات، گروه دیگری از پژوهشگران در دانشگاه علوم پزشکی کرمان، اثر مومیایی را بر روی برخی از شاخص‌های دخیل در ترمیم زخم موش سوری انجام دادند که نتایج نشان داد مرهم‌گذاری زخم پوست با مومیا با این که تغییرات معنی‌داری بر روی برخی شاخص‌های بافت‌شناسی دخیل در ترمیم زخم ندارد اما با تأثیرات احتمالی که بر روند سنتز و یا رسوب کلاژن دارد موجب تسریع و افزایش در میزان مقاومت زخم در مقابل کشش می‌گردد که ارزیابی دقیق‌تر مکانیسم این اثر نیاز به مطالعات بیشتری دارد [۱].

از آنجا که می‌دانیم در طب سنتی از مومیایی برای درمان شکستگی‌ها نیز استفاده می‌شده است، گروهی از پژوهشگران دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد در یک مطالعه کهورت غیرتهاجمی، اثر مومیایی بر روی میزان بهبودی در استخوان‌های درشت نی و ران در بیماران مراجعه کننده به بیمارستان کاشانی شهرکرد را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه که بر

روی ۱۳۸ بیمار انجام شد، بر اساس یافته‌های رادیولوژیک در هفته‌های ۱، ۴، ۸ و ۱۲ بعد از درمان، میزان بهبودی در گروه مورد که از مومیایی استفاده کرده بودند در مقابل گروه شاهد که از مومیایی استفاده نکرده بودند، بهتر بود و این تفاوت در هفته‌های ۸، ۱۲ و ۲۰ بعد از درمان معنی‌دار بود. سطح درد در گروه مورد در مقایسه با گروه شاهد در اولین هفته بعد از درمان نیز کمتر بود [۱۲].

در یک کارآزمایی بالینی تصادفی دو سویه کور بر روی ۷۵ بیمار که به دلیل زخم فشاری در نتیجه آسیب‌های مغزی - نخاعی در بیمارستان شهید باهنر کرمان بستری شده بودند، اثر مومیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که علائم قابل قبول بهبودی، در مقایسه با گروه شاهد، به صورت چشمگیری بهتر بود. در نتیجه می‌توان از مومیایی همراه با پانسمان رایج در موارد زخم‌های بستر استفاده کرد [۱۳]. همچنین از آنجا که مومیایی در التیام زخم و بهبودی مشکلات گوارشی در طب سنتی کاربرد دارد، در یک مطالعه به حیوانات آزمایشگاهی اتانول داده شد تا زخم معده در این حیوانات ایجاد کنند، سپس آن‌ها را به سه گروه تقسیم کردند؛ یک گروه مومیایی دریافت کرد، به گروه دیگر (گروه کنترل مثبت) داروی سایمتیدین تجویز شد و در گروه آخر (گروه کنترل منفی)، آب مقطر داده شد. نتایج مطالعه نشان داد که بعد از دو هفته، در گروه حیواناتی که مومیایی دریافت کرده بودند، امتیاز زخم معده و شاخص زخم در آن‌ها در مقایسه با گروه کنترل مثبت و منفی، به صورت چشمگیری، کاهش یافته بودند و نرخ التیام در گروه درمان به صورت معنی‌داری بالاتر از گروه‌های کنترل منفی و مثبت بود. اثرات ضدزخم مومیایی بر مخاط معده ممکن است از طریق کاهش اینفیلتراسیون سلول‌های التهابی و اثرات محافظتی بر روی پروتئین‌های اسکلت سلولی با مکانیسمی ناشناخته بوده باشد. از این رو، مومیایی ممکن است یک جایگزین نوین ضدزخم معده باشد که سلول‌ها را مورد محافظت قرار داده و بهبودی زخم را فراهم می‌سازد [۱۴].

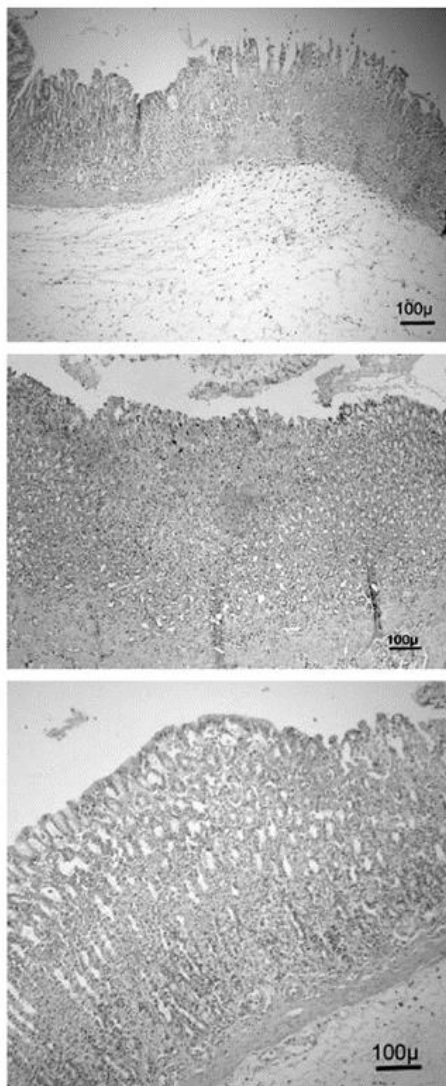
پژوهشگران مرکز تحقیقات سلول‌های بنیادی دانشگاه علوم پزشکی تبریز با بررسی اثر مومیایی بر تکثیر و مهاجرت سلول‌های بنیادی فراگردیافته از چربی و فیبروبلاست‌ها، پی بردند که ماده مومیایی اثر مثبتی بر ارتقا تکثیر و مهاجرت این سلول‌ها دارد و این پدیده نشان

می‌دهد که مومیایی ممکن است بر فازهای تکثیر و اپیتلیزاسیون التیام زخم اثر داشته باشد. از این رو، این نتایج آشکار می‌سازد که مومیایی، پدیدهٔ بهبود یافتن زخم را تسریع می‌کند که از این طریق مهر درستی بر باورهای مردم و طب سنتی گذاشته می‌شود [۱۵]. پژوهشگران در همین مرکز تحقیقاتی سلول‌های بنیادی، اثر مادهٔ مومیایی را بر تکثیر و مهاجرت سلول‌های بنیادی فراگردیافته از وارتون ژلی^۱ و فیبروبلاست را در شرایط آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که با تحریک مهاجرت سلول‌های فیبروبلاست در شرایط کشت منفرد و کشت توأم با سلول‌های بنیادی و با افزایش تکثیر سلول‌های بنیادی فراگردیافته از وارتون ژلی، مادهٔ مومیایی را می‌توان به عنوان درمان جهت پرشتاب کردن پدیدهٔ ترمیم زخم، به کار برد [۱۶].

از آنجا که مردم بومی در طب سنتی از مومیایی در التیام شکستگی‌های استخوانی استفاده می‌کردند، پژوهشگران مرکز تحقیقات سلول‌های بنیادی دانشگاه علوم پزشکی تبریز در پی پاسخ به این پرسش برآمدند که آیا مادهٔ مومیایی می‌تواند تمایز سلول‌های بنیادی مزانشیمی را به استئوبلاست تحریک نموده و بیان پروتئین‌ها و ژن‌های ویژهٔ استخوانی را افزایش دهد؟ یافته‌های آن‌ها نشانگر آن بود که مادهٔ مومیایی یک فزونی دهندهٔ بالقوه برای تمایز سلول‌های بنیادی فراگردیافته از چربی به سوی استئوبلاست در شرایط آزمایشگاهی بوده و احتمالاً این کار را با افزایش سطح پروتئین‌ها و ژن‌های ویژهٔ استخوانی، به انجام می‌رساند [۱۷].

در نهایت، از آنجا که در طب سنتی از مومیایی برای تسکین التهاب مفاصل استفاده می‌شده است، پژوهشگران مرکز تحقیقات سلول‌های بنیادی دانشگاه علوم پزشکی تبریز در جستجوی آن برآمدند که آیا مادهٔ مومیایی می‌تواند پاسخ‌های التهابی را در سلول‌های غضروفی تحریک یافته با اینترکولین 1B، لغو کند؟ آن‌ها دریافتند که مادهٔ مومیایی می‌تواند پاسخ‌های التهابی را در سلول‌های غضروفی القا یافته با اینترکولین 1B را منع کند (احتمالاً از طریق منع فعالیت زیرواحدهای NF-KB) و بنابراین مادهٔ مومیایی می‌تواند به عنوان یک ترکیب مفید در توسعهٔ مهندسی بافت غضروف، مطرح شود [۱۸].

¹ Wharton's Jelly-derived stem cells



شکل ۱۴-۳- تصویر بالا، گروه شاهد: نکروز و خون‌ریزی در کل بخش‌های مخاط معده در رت‌های

آزمایشگاهی القا شده با زخم معده توسط اتانول

تصویر وسط، گروه درمانی: مکان‌های نقطه‌ای نکروز در بخش فوقانی مخاط معده در رت‌های

آزمایشگاهی القا شده با زخم معده توسط اتانول که با مومیایی درمان شده بودند.

تصویر پایین، گروه درمانی: خون‌ریزی کم منتشر در مخاط معده در رت‌های آزمایشگاهی القا شده با

زخم معده توسط اتانول که با مومیایی درمان شده بودند [۱۴].

۱۴-۳- منابع

- (۱) رضوانی‌پور، م.، حسینی، ف.پ.، پورافشار، ر.م. و همکاران. بررسی اثر مومیایی بر روی برخی از شاخص‌های دخیل در ترمیم زخم در موش سوری. مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمان، ۱۳۸۶. ۱(۴): صفحات ۲۶۷-۲۷۷.
- (۲) روازاده، ح.، روازاده، م.ج. و عباس طاهر، م.، تاثیر شیره کوه یا مومیایی بر سلامتی، کنفرانس بین‌المللی طب ایرانی اسلامی. ۱۳۹۸: هلدینگ لاماسو، دبیرخانه دائمی کنفرانس.
- 3) Dawson, W.R., *Mummy as a drug*. 1927, SAGE Publications.
- (۴) نجم‌آبادی، م.، تاریخ طب در ایران پس از اسلام. ۱۳۵۳: انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۳۹۱.
- (۵) رازی، م.، ب.، ز.، دو رساله در فواید سکنجبین و خواص مومیایی. ۱۳۹۱: انتشارات نیلوبرگ.
- (۶) شیخ‌الرئیس ابوعلی سینا، قانون در طب (کتاب دوم) ترجمه عبدالرحمن شرفکندی. ۱۳۷۰: انتشارات سروش، صفحه ۲۰۷.
- (۷) پولاک، ی.ا.، سفرنامه پولاک. ترجمه کیکاووس جهانداری، ۱۳۶۱: انتشارات خوارزمی. ص ۴۵۱.
- (۸) فلور، و.، سلامت مردم در ایران قاجار. ترجمه ایرج نبی‌پور، ۱۳۸۶: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر. صفحه ۲۰۷.
- (۹) توکلی، م.ا.، حداد، م.خ. و آثار، ش.ا.، مقایسه اثر مصرف موضعی مومیایی و کرم فنی توئین بر ترمیم زخم پوستی در موش صحرائی. مجله دانشگاه علوم پزشکی بابل، ۱۳۸۲. ۵(۲): صفحات ۱۳-۷.
- (۱۰) دور، س. و قوام، م.، بررسی دانش بومی کاربردهای درمانی مومنیایی (مطالعه موردی شهرستان بهبهان). دوفصلنامه دانش‌های بومی ایران، ۱۳۹۵. ۵(۱): صفحات ۱۷۲-۱۵۳.
- 11) Shahriari, M., Zare, F., and Nimrouzi, M., THE CURATIVE ROLE OF BITUMEN IN TRADITIONAL PERSIAN MEDICINE. *Acta medico-historica Adriatica*: AMHA, 2018. 16(2): p. 283-292.
- 12) Dehghan, M. and Faradonbeh, A.S., The effect of mummy on the healing of bone fractures. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2012. 6(5): p. 305-309.

- 13) Moghadari, M., Rezvanipour, M., Mehrabani, M., *et al.*, Efficacy of mummy on healing of pressure ulcers: A randomized controlled clinical trial on hospitalized patients in intensive care unit. *Electronic physician*, 2018. 10(1): p. 6140.
- 14) Abshenas, J., Kheirandish, R., and Salary, A.R., Gastroprotective effect of mummy on induced gastric ulcer in rats. *Comparative Clinical Pathology*, 2014. 23(2): p. 305-309.
- 15) Khodaie, S.H., Roshangar, L., Sabetkam, S., *et al.*, Impact of Mummy Substance on the Proliferation and Migration of Human Adipose-derived Stem Cells and Fibroblasts in Separate or Co-culture Model. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018. 80(3): p. 516-524.
- 16) Sabetkam, S., Soleimani Rad, J., Hassan Pour Khodaie, S., *et al.*, Impact of mummy substance on proliferation and migration of human wharton's jelly-derived stem cells and fibroblasts in vitro culture system. *Crescent J Med Biol Sci*, 2018. 5(3): p. 233-40.
- 17) Eyvazi, M., Farahzadi, R., Fathi, N.K., *et al.*, Mummy Material Can Promote Differentiation of Adipose Derived Stem Cells into Osteoblast through Enhancement of Bone Specific Transcription Factors Expression. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 2018. 8(3): p. 457.
- 18) Morrovati, F., Fathi, N.K., Rad, J.S., *et al.*, Mummy Prevents IL-1 β -Induced Inflammatory Responses and Cartilage Matrix Degradation via Inhibition of NF- κ B Subunits Gene Expression in Pellet Culture System. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 2018. 8(2): p. 283.

نمایه

اتمفسفر، ۱۵، ۱۹۳، ۲۵۷، ۲۶۰، ۲۷۱، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۳۱۴	آب آشامیدنی، ۱۹، ۶۱، ۶۵، ۷۰، ۷۵، ۷۹، ۸۴، ۸۶، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۸، ۲۷۶، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۳۰۰، ۳۰۲
اتموفیل، ۹، ۱۰، ۲۷۱، ۲۷۳	آب شویی، ۱۲۲
ادرار، ۵۶، ۵۸، ۶۲، ۶۵، ۱۱۱، ۱۲۷، ۱۵۵، ۱۶۶، ۱۹۴، ۲۷۴، ۲۸۳، ۲۸۹، ۳۰۰، ۳۴۰، ۳۴۴، ۳۴۳	آبرفت، ۲۹۶
آذرین، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۳۳، ۳۸، ۶۲، ۹۵، ۱۰۵، ۲۷۱، ۲۸۷	آبزیان، ۱۸، ۵۵، ۶۰، ۱۷۲، ۱۷۶، ۱۷۹، ۱۸۲، ۱۸۷، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۲۱
آراگونیت، ۳۱، ۳۱۲، ۳۱۳	آب گرم، ۸، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲، ۷، ۴۲، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۳۱، ۱۳۵، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۲۴۵
آرتروز، ۵۸، ۱۴۳	آب‌های زیرزمینی، ۴۴، ۵۳، ۵۷، ۶۰، ۶۸، ۸۷، ۱۱۴، ۱۲۲، ۱۴۱، ۱۴۲، ۲۴۵، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۹۳، ۲۹۸، ۳۰۰، ۳۴۰
آرسنات، ۵۹	آب‌های سطحی، ۳۵، ۵۷، ۶۰، ۶۸، ۸۸، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۱۱، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۳، ۱۹۳، ۲۴۵، ۲۷۱، ۳۳۹
آرسنیک، ۶، ۱۷، ۱۴، ۱۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۸۸، ۱۰۸، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۵۰، ۱۵۰، ۳۳۲	آپوتوز، ۲۹۷
ارگانسیم، ۳۱۶، ۳۲۰، ۳۴۴	اپیدمیولوژی، ۱۴، ۱۹۸
آروماتیک، ۸، ۹، ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۷، ۱۶۹، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۵، ۱۹۷، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۶، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۶۵	آترواسکلروز، ۱۵۲
آریتمی قلبی، ۱۱۲، ۳۲۱	
آزبست، ۲۴۸	

۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸	آزبستوسیس، ۲۴۷
۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵	استخراج ترتیبی، ۸۶، ۷۹، ۷۴، ۶۹، ۶۴، ۶۱
۳۴۴	۲۵۱، ۹۶، ۹۴، ۸۹
اسیدیت، ۱۹، ۱۹۱، ۲۹۲، ۲۹۴، ۳۱۳، ۳۱۴	استخوان، ۶۱، ۶۵، ۷۰، ۸۴، ۸۶، ۹۴، ۱۱۱
۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۸	۲۱۴، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳
اشباع، ۱۱۳، ۱۵۰، ۱۶۷، ۱۶۸، ۳۰۹، ۳۱۱	۲۷۲، ۲۹۷، ۳۰۲، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۹
۳۱۲، ۳۱۳، ۳۲۱	استرانسیم، ۹، ۲۱۴، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۲۲
آغاچاری، ۳۲، ۳۵، ۳۸، ۴۲، ۱۱۳، ۱۴۱	استرانسیوم، ۲۳۱
۱۴۳، ۱۴۶، ۲۹۰، ۲۹۶	استرس، ۱۹، ۱۲۶، ۱۲۹، ۱۵۳، ۲۰۲، ۲۶۴
آفت‌کش، ۱۲۵، ۱۲۸	۲۹۷، ۳۱۷
افسردگی، ۵۶، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۵۵، ۲۱۵	استرس اکسیداتیو، ۱۲۹، ۱۵۳، ۲۶۴، ۲۹۸
اقلیم، ۲۳، ۵۷، ۲۲۹، ۳۲۴، ۳۴۳	استنشاق، ۸، ۷۵، ۹۰، ۱۲۵، ۱۵۱، ۱۶۶
اقیانوس، ۵۷، ۱۰۱، ۲۷۱، ۲۷۳، ۲۷۸، ۳۰۹	۲۱۵، ۲۱۸، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۴۶
۳۱۰، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۲۰، ۳۲۳	۲۴۸، ۳۴۱
اکسایش، ۱۴، ۵۴، ۵۹، ۸۲، ۸۴، ۸۵، ۱۶۵	استئوبلاست، ۳۶۱
۱۶۸، ۱۶۹، ۲۵۱، ۲۷۳	استئوپروز، ۳۰۲
اکسید، ۸۵، ۱۷۲، ۱۹۰، ۲۱۹، ۲۲۵، ۲۵۹	اسکلت، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳
۳۰۹، ۳۱۱، ۳۱۶، ۳۳۰، ۳۳۲	۲۸۹، ۳۰۱، ۳۱۶، ۳۶۰
اکسیژن، ۱۱، ۱۶، ۸۱، ۸۴، ۱۰۶، ۱۵۱، ۱۵۴	اسکلروز مالتیپل، ۲۶۴
۱۶۴، ۲۴۶، ۲۵۱، ۳۵۹	آسم، ۹، ۱۵، ۵۸، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۹۴
اکسیژن فعال، ۲۵۱	۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۲، ۲۶۰، ۳۲۲
اکلامپسی، ۱۲۴	آسماری، ۲۴، ۳۰، ۳۴، ۳۵، ۳۸، ۱۱۳، ۱۲۰
اکوسیستم، ۱۲۷، ۱۹۳، ۲۲۸، ۳۱۱، ۳۲۵	۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۱۴۹، ۲۹۵
اکولوژی، ۲۶۳، ۳۲۹	اسید کربنیک، ۳۰۹
اگزالات، ۱۲۷	اسید پنتانئونیک، ۱۵۴
آلاینده، ۶، ۱۹، ۵۱، ۶۱، ۶۳، ۶۸، ۷۴، ۷۸	اسیدی، ۱۱، ۱۶، ۵۹، ۶۲، ۶۸، ۷۳، ۷۷، ۸۲
۸۹، ۹۶، ۱۲۰، ۱۷۱، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۹۱	۸۵، ۹۲، ۹۵، ۱۵۷، ۲۷۱، ۲۸۷، ۳۰۷

۲۲۵	۲۵۶، ۲۴۷، ۲۴۶، ۲۲۲، ۱۹۴
اندوکرین، ۲۰۲	آلبین، ۳۸، ۳۳، ۲۹
انرژی هسته‌ای، ۹، ۲۲۸، ۲۲۹	الترامافیک، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۱۱
انسداد، ۳۳۰	التهاب، ۵۶، ۹۰، ۱۳۸، ۱۵۱، ۱۵۵، ۱۶۶
انسولین، ۷۰، ۱۱۲	۳۶۱، ۳۵۹، ۳۵۷
آنمی، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴	آزایمر، ۸۷، ۱۳۸، ۱۵۲
انیدریت، ۲۹، ۳۳، ۳۴، ۳۸، ۱۰۶، ۱۴۱، ۱۴۶	الکترولیت، ۱۶
آنیون، ۱۰۹، ۱۵۰	آلودگی، ۸، ۱، ۸، ۱۹، ۴۸، ۴۹، ۵۳، ۵۴، ۵۵
اهرم، ۸، ۱۴، ۱۸، ۲۳، ۴۴، ۴۹، ۱۱۳، ۱۱۸	۵۹، ۶۱، ۶۳، ۶۴، ۶۸، ۶۹، ۷۳، ۷۴، ۷۹
۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۲، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷	۸۳، ۸۶، ۸۸، ۸۹، ۹۲، ۹۳، ۹۶، ۹۹، ۱۱۵
۱۴۹	۱۳۰، ۱۶۲، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۸، ۱۷۳، ۱۷۴
آهن، ۶، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸	۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۳
۵۶، ۵۹، ۶۳، ۶۴، ۷۳، ۷۶، ۷۹، ۸۱، ۸۲	۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۸، ۲۰۸، ۲۱۶، ۲۱۸
۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۹۱، ۹۲، ۹۴	۲۲۲، ۲۲۴، ۲۲۷، ۲۳۴، ۲۳۶، ۲۴۵، ۲۴۶
۹۵، ۱۰۵، ۱۱۳، ۱۲۹، ۱۳۷، ۱۴۷، ۱۴۸	۲۴۷، ۲۴۸، ۲۵۰، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۶۴
۱۵۰، ۲۱۳، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۴۶، ۲۵۱، ۲۵۳	۲۸۷، ۲۸۸، ۳۰۹، ۳۱۷، ۳۴۴
۲۶۴، ۲۷۲، ۲۷۶، ۳۱۶، ۳۲۱، ۳۳۰، ۳۳۱	آلومینیوم، ۱۱، ۱۳، ۸۱، ۲۶۴، ۲۷۶، ۲۹۹
۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴	۳۳۲، ۳۲۱
اورانیم، ۹، ۱۳، ۱۴، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶	آلیفاتیک، ۸، ۹، ۱۸، ۱۶۴، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۷۴
۲۱۷، ۲۱۹، ۲۲۱، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶	۱۷۵، ۱۷۶
۲۲۹	آمفیبول، ۱۱، ۸۷، ۹۱
اورانینیت، ۱۲	آنتراسیس، ۲۶۴، ۳۴۱
اولیوین، ۱۱، ۸۷، ۱۱۱	آنتروتوکسین، ۳۴۱
آئروسول، ۳۲۲	آنتی‌بیوتیک، ۲۶۵، ۳۳۹
ایلام، ۳۳، ۳۸، ۲۹۵	آنتیموان، ۱۴، ۱۳۷، ۲۵۱، ۲۵۵
بار الکتریکی، ۱۲	انحلال‌پذیری، ۱۳، ۷۸، ۸۲، ۸۵، ۹۵، ۱۲۱
باردار، ۱۲۴، ۲۷۲، ۲۸۱، ۳۳۱، ۳۳۲	۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۷، ۱۶۹، ۱۷۱، ۱۸۱، ۲۱۷

- باروری، ۹، ۷۰، ۱۷۲، ۱۹۲، ۲۰۰، ۲۴۶، ۳۳۹، ۳۳۲، ۳۱۸
- بازیک، ۶۸، ۷۳، ۷۷، ۸۱، ۸۵
- باسیلوس، ۲۶۴، ۳۴۱
- باکتری، ۳۳۹، ۳۴۴
- باهوش، ۱۳، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۹
- بختیاری، ۲۸، ۳۲، ۳۵، ۳۸، ۱۱۳، ۱۱۸، ۲۹۰، ۲۹۵
- برازجان، ۱۳، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۸، ۱۰۶، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۳۰، ۱۳۹
- بریل، ۱۲
- بنزن، ۱۶۶، ۱۶۹، ۱۹۰، ۱۹۷
- بنگستان، ۳۳، ۳۸، ۱۱۳، ۱۱۸، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶
- بواسیر، ۳۵۵
- بوتولینیوم، ۳۴۱
- بور، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۳۷، ۱۴۷
- بوشهر، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲، ۳، ۴، ۹، ۲۱، ۲۳، ۳۱، ۳۲، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۸، ۴۹، ۵۱، ۵۴، ۵۵، ۵۸، ۶۰، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۶، ۶۸، ۶۹، ۷۱، ۷۴، ۷۶، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۲، ۸۳، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۶، ۹۷، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۳، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۲۲، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۵، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۶۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۶، ۱۸۷
- ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۱، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۶، ۲۰۳
- ۲۰۶، ۲۱۱، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳
- ۲۲۴، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۳۸، ۲۴۱، ۲۴۳، ۲۴۸
- ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵
- ۲۵۶، ۲۵۸، ۲۶۰، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۹، ۲۷۴
- ۲۷۵، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۹، ۲۹۳
- ۲۹۴، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۴
- ۳۰۵، ۳۰۷، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۲۴
- ۳۳۰، ۳۳۲، ۳۳۵، ۳۴۲، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷
- ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۶۳
- بوکسیت، ۱۳
- بیکربنات، ۸۷، ۱۱۴، ۱۲۲، ۱۲۹، ۳۰۹، ۳۱۲
- ۳۳۱
- بیماری، ۵، ۹، ۱۱، ۷، ۱۸، ۱۹، ۵۶، ۵۸، ۶۵، ۸۴، ۱۲۶، ۱۵۲، ۱۵۴، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳
- ۲۳۴، ۲۴۷، ۲۴۹، ۲۵۷، ۲۶۰، ۲۶۴، ۲۶۵
- ۲۷۲، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۸۹، ۲۹۹، ۳۰۱، ۳۰۲
- ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۹، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴
- ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۸، ۳۵۵
- بیماری‌زا، ۱۲۷، ۲۳۳، ۲۶۴، ۳۴۱
- بیوتیت، ۱۱، ۲۸۷
- بیوشیمی، ۳۲۹
- بیولوژی، ۳۲۱
- پایده، ۳۴، ۳۸، ۱۱۳، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۲۹۰
- پانتوزن، ۳۳۴، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۶
- پارکینسون، ۸۷، ۱۳۸، ۱۵۲
- پاسخ، ۱۷، ۱۵۴، ۱۵۵، ۲۹۸، ۳۱۰، ۳۱۵

۳۵۹، ۳۲۹، ۲۷۲، ۲۳۳، ۲۳۱	۳۶۱، ۳۲۰
پوسته زمين، ۱۷، ۱۰، ۱۱، ۵۹، ۶۴، ۸۱، ۸۵، ۲۷۳، ۲۱۷، ۱۱۲، ۱۱۰، ۱۰۹، ۱۰۷، ۸۷	پانكراس، ۹۰، ۱۹۹ پای سياه، ۸، ۱۷
پوسيدگی دندان، ۱۹، ۲۸۹، ۲۹۳، ۲۹۷، ۲۹۹	پتاسيم، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۰۵، ۱۰۸، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۲۲، ۱۲۹، ۱۴۷، ۲۲۲، ۲۲۴، ۲۲۶، ۲۲۷
پيروكسن، ۱۱، ۸۷، ۹۱، ۱۱۱	پتانسيل اكسایشی، ۲۵۱
تاقدیس، ۱۰۶، ۱۲۱، ۱۴۸	پتانسيل يونی، ۱۳
تاول، ۲۳۴	پتروشیمی، ۱۴، ۱۵، ۶۴، ۶۹، ۷۴، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۵۰
تبخیری، ۱۴، ۲۹، ۳۰، ۳۲، ۴۲، ۴۴، ۱۱۴، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۴۱، ۱۴۲	پراكلامسی، ۱۲۴
تخلخل، ۱۵، ۱۷۱، ۱۹۱، ۲۹۸، ۲۹۹	پرتوزا، ۹، ۱۵، ۱۸، ۲، ۲۱۱، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۶
تشنج، ۶۵، ۱۲۴، ۱۵۱، ۱۶۸	پروتئين، ۶۵، ۷۰، ۸۶، ۱۱۱، ۱۲۹، ۲۸۲، ۳۱۶، ۳۲۰
تغذیه، ۱۷، ۳۱، ۵۴، ۲۱۷، ۳۲۰	پسوريازيس، ۱۵۴، ۱۵۵
تنفس، ۱۴، ۱۵۱، ۱۵۵، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۸، ۱۷۲، ۱۹۲، ۱۹۳، ۲۱۵، ۲۲۵، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۳۱۱، ۳۱۵	پگماتيت، ۱۱
تنوع زیستی، ۱۱، ۱۶، ۴۹، ۱۲۷، ۳۱۷، ۳۱۹، ۳۲۳، ۳۲۴	پلاژیوكلاز، ۱۱
ته نشینی، ۱۳، ۱۴، ۲۹، ۳۱	پلاسم، ۱۱۱، ۱۱۲، ۳۳۴
توپ تار، ۱۸، ۱۶۴، ۱۷۳، ۱۸۸، ۱۸۹	پلانكتون، ۶۰، ۱۶۸
تورم، ۵۸، ۱۰۸، ۱۴۳، ۲۷۲، ۳۵۵	پلوتونيوم، ۲۲۹
توریم، ۹، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۶، ۳۳۲	پلی ساكاريد، ۳۵۳
تولوئن، ۱۶۶، ۱۹۰	پلیوسن، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۵، ۱۱۹، ۱۴۶، پوست، ۶۱، ۷۰، ۷۵، ۹۰، ۹۶، ۹۸، ۱۳۸، ۱۵۱، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۶۶، ۱۷۳، ۲۱۵، ۲۲۵،
تولید مثل، ۲۸۸، ۲۹۸، ۳۲۰، ۳۴۰	
تیروئید، ۱۵، ۲۱۷، ۲۲۴، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۷۴، ۲۷۳، ۲۷۲، ۲۳۷، ۲۳۶، ۲۳۵	

- چگالی، ۱۳، ۹۵، ۱۰۵، ۱۹۱، ۲۲۵
- چین خوردگی، ۱۳، ۲۵، ۳۹، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۴۷، ۱۳۱
- خارک، ۱۸، ۵۴، ۵۸، ۶۰، ۶۲، ۶۴، ۶۷، ۶۹، ۷۲، ۷۵، ۷۷، ۷۹، ۸۱، ۸۳، ۸۶، ۸۷، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۳، ۹۴، ۹۷، ۹۹، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۷، ۲۰۸، ۳۱۱، ۳۱۳
- خشت و کمارج، ۷، ۱۱۳، ۱۱۸
- خلیج فارس، ۱، ۲، ۵، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۹، ۲، ۳، ۴، ۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۶، ۴۷، ۴۹، ۵۵، ۶۴، ۶۹، ۷۵، ۷۹، ۸۳، ۸۸، ۸۹، ۹۲، ۹۴، ۹۶، ۱۰۱، ۱۰۵، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۵۶، ۱۷۳، ۱۸۱، ۱۸۴، ۱۸۸، ۱۹۱، ۱۹۴، ۲۱۹، ۲۲۲، ۲۲۵، ۲۲۷، ۲۵۹، ۲۶۳، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۹، ۳۰۷، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۸، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۳۳، ۳۵۷
- خودکشی، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۶۸
- خورموج، ۷، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۳۹، ۴۱، ۴۴، ۱۱۳، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۳۱، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۲۹۵
- خون، ۱۴، ۵۸، ۶۱، ۷۰، ۷۶، ۷۹، ۸۰، ۸۴، ۸۶، ۹۴، ۹۷، ۱۰۷، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۵۲، ۱۵۵، ۱۶۶، ۱۹۵، ۱۹۷، ۱۹۸، ۲۱۴، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۹، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۶۰، ۲۷۸، ۳۲۱، ۳۳۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۵۶، ۳۴۸
- ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۹، ۳۰۲
- تیوسولفات، ۱۵۲
- جاشک، ۲، ۷، ۱۴، ۴۸، ۶۰، ۹۹، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۹، ۱۲۲، ۱۲۷، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۴۸
- جانشین، ۱۲، ۷۶، ۸۵، ۸۷، ۲۸۷
- جذب سطحی، ۱۳، ۵۷، ۵۹، ۱۷۱
- جزر و مد، ۲۸، ۱۷۹، ۳۱۲
- جم، ۲۳، ۴۲، ۶۹، ۷۴
- جنین، ۷۵، ۷۶، ۲۷۹، ۳۳۲
- جهرم، ۳۴، ۳۵، ۳۸، ۴۲، ۱۱۳، ۱۲۰، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۲۹۵
- جو، ۱۰، ۱۶، ۸، ۵۳، ۵۷، ۶۳، ۷۳، ۱۵۸، ۱۷۱، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۲۲، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۵۷، ۲۶۵، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۸۸، ۳۰۹، ۳۱۴
- جیوه، ۶، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۸، ۱۲۲، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۴۷، ۱۵۰، ۲۵۱، ۲۵۵، ۲۷۳، ۳۲۱، ۳۲۲
- چاه‌پیر، ۷، ۱۳، ۳۹، ۴۱، ۱۱۳، ۱۱۸
- چرخه زیست زمین شیمیایی، ۵، ۱۵
- چرخه غذایی، ۱۶۵، ۲۱۷، ۳۱۰
- چشم، ۱۵۱، ۱۶۶، ۲۱۴، ۲۴۷، ۳۱۷، ۳۵۴، ۳۵۸
- چشمه، ۸، ۱۴، ۱۹، ۴۲، ۱۳۱، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۴، ۱۵۷، ۱۵۸، ۲۹۰، ۲۹۲، ۳۰۱، ۳۵۸

۱۶۸، ۱۷۱، ۱۷۴، ۱۸۱، ۲۱۷، ۳۱۲	دالکی، ۸، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۲۳، ۴۲، ۴۳، ۴۵
دوز، ۱۲۴، ۱۶۶، ۱۹۹، ۲۲۴، ۲۲۶، ۲۳۶	۴۸، ۱۲۱، ۱۳۰، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۲، ۱۴۴
۲۳۷، ۲۳۸، ۲۹۷	۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۷
دوز-پاسخ، ۱۹۹، ۲۹۷	درد، ۷۶، ۱۲۶، ۱۴۳، ۱۵۴، ۳۰۲، ۳۴۵
دولومیت، ۲۸، ۲۹، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۸، ۱۱۱	۳۴۸، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۶۰
۱۴۶، ۲۵۰	درماتیت آتوپیک، ۱۵۴، ۱۵۵
دی آیودیناز، ۲۸۲	دریا، ۱۰، ۱۶، ۱۸، ۱۵، ۲۳، ۲۶، ۲۹، ۳۱
دیابت، ۱، ۵۸، ۶۱، ۲۹۸	۵۳، ۵۴، ۵۷، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۷، ۶۹
دیاستولیک، ۱۲۲، ۱۲۳	۷۲، ۷۴، ۷۷، ۷۸، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۵، ۸۷
دیر، ۲، ۱۰، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۴۲، ۵۵، ۶۴	۸۹، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۷، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۱۲
۸۸، ۹۱، ۹۲، ۱۴۷، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵	۱۱۳، ۱۲۳، ۱۲۸، ۱۶۴، ۱۶۸، ۱۷۳، ۱۷۴
۲۹۵، ۲۹۹، ۳۰۵، ۳۵۴، ۳۵۷، ۳۵۸	۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲
دیلیم، ۲۳، ۸۹، ۹۳، ۱۸۳، ۱۸۵، ۲۲۶	۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۹۳، ۲۱۶، ۲۲۰، ۲۲۹
ذرات معلق، ۵۴، ۸۲، ۸۵، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۹۰	۲۴۵، ۲۷۱، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸
۱۹۶، ۲۱۵، ۲۴۵، ۲۴۸، ۲۵۷، ۲۶۱، ۲۶۱	۲۹۶، ۲۹۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۴
۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵	۳۱۵، ۳۱۸، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۴۵، ۳۵۸
رادیم، ۹، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۶، ۲۲۷	دستگاه تنفس، ۸، ۹۰، ۹۸، ۱۲۵، ۱۳۸
رادیواکتیو، ۱۸، ۱۵۳، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۲۸	۱۴۷، ۱۵۱، ۲۱۵، ۲۲۵، ۲۴۷، ۲۶۱، ۳۳۹
۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۶، ۲۶۵	دستیابی زیستی، ۶۴، ۶۹، ۷۴، ۷۹، ۸۶، ۸۹
رخساره، ۳۰، ۳۳، ۱۲۰، ۱۴۲	۹۶، ۹۴
رسوبات، ۵، ۶، ۱۳، ۱۸، ۱۳، ۱۵، ۲۳، ۲۶	دشتستان، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۹، ۲۳، ۳۹، ۴۵
۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۴۴، ۴۹، ۵۴، ۵۵، ۵۸	۱۴۶، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۳۰۰
۵۹، ۶۰، ۶۳، ۶۴، ۶۹، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۸	دشتی، ۲، ۷، ۱۰، ۱۹، ۲۳، ۴۲، ۱۱۳، ۱۲۰
۷۹، ۸۲، ۸۳، ۸۵، ۸۶، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۲	۱۲۲، ۱۲۷، ۱۳۱، ۱۴۸، ۲۹۵
۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۱۴، ۱۲۱	دگرسان، ۱۵
۱۳۱، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۱۴۷	دگرگونی، ۵، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۲۴، ۱۰۶، ۱۲۶
۱۶۵، ۱۶۸، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵	۲۸۷
۱۷۶، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳	دما، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۵۴، ۵۵، ۱۴۰، ۱۴۴

- ۱۱۹، ۱۰۵، ۴۰، ۳۹، ۳۵، ۳۴، ۳۳، ۳۱
۱۴۹، ۱۴۷، ۱۴۶، ۱۴۲، ۱۳۱
- زخم، ۱۶، ۷۰، ۱۵۲، ۲۳۴، ۳۳۹، ۳۵۶، ۳۵۷
۳۶۳، ۳۶۲، ۳۶۱، ۳۶۰، ۳۵۹
- زغال‌سنگ، ۵۶، ۵۹، ۷۳، ۸۸، ۱۶۸، ۲۱۵
۲۱۹، ۲۱۶
- زمین‌شناسی پزشکی، ۲
زمین‌شیمی، ۱۵، ۱۷، ۶۳، ۸۵
- زمین‌شناسی، ۱، ۵، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱، ۲
۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰
۲۱، ۲۳، ۲۴، ۳۲، ۳۶، ۳۹، ۴۵، ۴۷، ۱۰۵
۱۰۷، ۱۱۶، ۱۲۱، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۴۰
۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۸، ۱۴۹
۱۵۷، ۲۵۹، ۲۶۴، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۹۰، ۲۹۶
۳۲۹، ۳۴۱، ۳۵۱
- زنجیره غذایی، ۱۵، ۱۹، ۵۴، ۵۶، ۱۷۲، ۱۹۳
۲۱۶، ۲۷۸، ۳۲۰
- زهاب اسیدی، ۷، ۱۰۶
- زیرکن، ۱۲، ۱۳
- ژئوپیس، ۱۳، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۸، ۴۲، ۴۴، ۱۱۴
۱۲۱، ۱۴۱، ۱۴۶، ۲۴۶، ۲۵۰
- ژئوفازی، ۱۱، ۳۲۷، ۳۲۹، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳
۳۳۴
- ساحل، ۲۶، ۲۸، ۳۲، ۹۹، ۱۲۳، ۱۷۵، ۱۷۷
۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۸، ۱۹۳، ۲۰۸، ۲۷۷، ۳۳۳
- سازند، ۲۴، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۸، ۴۱، ۱۱۳
۱۱۸، ۱۲۰، ۱۲۵، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۲، ۱۴۶
۱۴۸، ۱۹۲، ۲۲۹، ۲۹۰، ۲۹۵، ۳۴۰
- ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۹۳، ۱۹۴، ۲۰۶
۲۲۶، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۷۱، ۳۱۰
- رسوبی، ۵، ۱۳، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۴، ۲۸
۳۰، ۳۲، ۴۴، ۴۷، ۵۳، ۶۲، ۶۸، ۷۷، ۸۱
۸۵، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۱۴، ۱۱۸، ۱۴۰، ۱۹۳
۲۸۷
- رشد جنین، ۷۰، ۱۶۶
رماتیسم، ۵۸، ۱۴۷، ۱۴۸
رنین، ۳۳۴
رنین - آنژیوتنسین آلدسترون، ۳۳۴
روده، ۱۸، ۷۹، ۸۹، ۲۳۱، ۲۳۳، ۳۳۴
روماتولوژی، ۱۵۴، ۱۵۵
روماتیسم، ۱۴۶، ۱۵۵، ۳۵۷
روی، ۲، ۶، ۱۵، ۱۷، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸
۲۹، ۴۱، ۶۲، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۳، ۷۵
۷۶، ۷۹، ۸۲، ۱۰۰، ۱۰۶، ۱۱۳، ۱۱۸
۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۴، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۱
۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۴
۱۵۵، ۱۵۶، ۱۶۴، ۱۶۶، ۱۷۱، ۱۸۸، ۱۹۴
۱۹۹، ۲۱۴، ۲۲۱، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۲، ۲۳۴
۲۳۶، ۲۶۱، ۲۶۰، ۲۵۷، ۲۵۴، ۲۵۱، ۲۳۶
۲۶۴، ۲۷۸، ۲۸۷، ۳۰۰، ۳۰۲، ۳۱۵، ۳۲۱
۳۲۲، ۳۲۹، ۳۳۲، ۳۳۴، ۳۴۳، ۳۵۹، ۳۶۰
۳۶۳
- ریخت‌شناسی، ۲۳، ۳۱، ۱۱۴
ریه، ۱۴، ۸، ۹۰، ۹۴، ۱۶۶، ۱۹۲، ۱۹۸، ۲۱۵
۲۱۸، ۲۲۵، ۲۳۳، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۶۰
زاگرس، ۵، ۱۳، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۰

۳۱۵، ۳۱۴، ۲۹۷، ۲۸۹، ۲۶۷، ۲۶۵، ۲۶۴	۳۴۱
۳۲۲، ۳۲۱، ۳۲۰، ۳۱۹، ۳۱۸، ۳۱۷، ۳۱۶	سدیم، ۷، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹،
۳۶۳، ۳۴۳، ۳۳۹، ۳۳۲، ۳۲۳	۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۸،
سلامت روان، ۸، ۱۱، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۸، ۲۳۱،	۱۴۸، ۱۴۷، ۱۴۳، ۱۴۲، ۱۴۰، ۱۳۹، ۱۲۹
۳۲۳، ۳۱۹، ۳۱۷	۱۵۰، ۲۲۲، ۲۲۷، ۳۳۱
سلنوسیتئینی، ۲۸۲	سرب، ۶، ۱۷، ۱۴، ۵۳، ۵۸، ۶۲، ۶۸، ۷۳، ۷۴،
سلنیم، ۶، ۷، ۱۶، ۱۷، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۱۹۰،	۷۵، ۷۶، ۸۴، ۱۰۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۷،
۲۸۳، ۲۸۲، ۲۷۲	۱۵۰، ۱۹۴، ۲۱۸، ۲۲۷، ۲۵۱، ۲۵۴، ۲۸۷،
سلول، ۱۰۸، ۱۱۲، ۲۳۲	۳۳۲، ۳۲۱
سنگ، ۲۱۴، ۲۱۶	سرطان، ۹، ۱۴، ۱۵، ۱، ۸، ۱۸، ۵۸، ۶۲، ۹۰،
سنگ آهک، ۱۰، ۱۳، ۷۳	۹۴، ۹۸، ۱۳۸، ۱۶۶، ۱۹۲، ۱۹۵، ۱۹۶،
سنگ کلیه، ۸، ۱۱۰، ۱۲۷	۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸،
سوء تغذیه، ۲۸۹، ۳۱۸	۲۲۴، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷،
سوخت و ساز، ۵۸، ۸۶، ۹۴	۲۴۸، ۲۴۷
سولفات، ۹، ۴۲، ۵۵، ۷۷، ۱۰۶، ۱۱۴، ۱۲۲،	سرفه، ۱۵۱، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۴۷، ۲۶۰، ۳۵۶
۱۲۹، ۱۳۹، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۰،	سرگیجه، ۸۴، ۱۳۸، ۱۵۱، ۱۶۸، ۳۵۶
۲۵۹، ۲۹۳، ۳۳۱، ۳۳۳	سروک، ۳۳، ۳۸، ۱۲۰، ۲۹۵
سولفید، ۹، ۱۴، ۵۳، ۱۱۰، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱،	سری هرمز، ۲۶، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۱۰۵،
۱۵۲، ۱۵۶، ۱۹۰، ۱۹۳	۱۱۸، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶
سیدروفیل، ۹، ۱۰، ۱۱، ۵۹، ۸۷	سزیم، ۹، ۲۱۳، ۲۱۹، ۲۲۲، ۲۲۷
سیستم ایمنی، ۷۰، ۱۶۶، ۱۷۲، ۲۴۸، ۲۶۳،	سزیوم، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۴
۳۴۰، ۳۱۷	سلامت، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱، ۲، ۳، ۷،
سیستم عصبی، ۸، ۲۷۲، ۲۷۸	۸، ۷۵، ۸۲، ۹۸، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳،
سیستولیک، ۱۲۳، ۲۹۸	۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۴۹، ۱۵۰،
سیلیس، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۲۴۶، ۲۴۸	۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۶۶، ۱۹۰، ۱۹۱،
سیلیکات، ۳۳۲	۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۸، ۲۰۰، ۲۰۲، ۲۰۳،
سیلیکوسیس، ۲۴۸، ۲۴۷	۲۲۴، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۴۵،
	۲۴۸، ۲۵۵، ۲۵۷، ۲۵۹، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳،

- شاپور، ۱۳، ۲۳، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۸، ۱۲۱، ۱۳۰، ۳۰۱، ۳۴۶
- شعاع یونی، ۹، ۱۲، ۲۷۱
- شوری، ۸، ۴۲، ۱۰۶، ۱۱۴، ۱۱۷، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۸، ۱۸۱، ۱۹۱، ۲۸۸، ۲۹۶، ۳۱۰، ۳۱۲
- شوک، ۸۴، ۱۵۱، ۲۳۳
- شیل، ۱۰، ۳۳، ۳۴، ۳۸، ۱۴۶، ۲۹۰
- شیلات، ۳۱۵، ۳۲۳
- صرع، ۱۵۶، ۳۵۵، ۳۵۶
- ضریب آلودگی، ۵۵، ۶۰، ۶۴، ۶۹، ۷۴، ۷۸، ۸۳، ۸۶، ۹۶
- ضریب غنی‌شدگی، ۵۵، ۶۰، ۶۴، ۶۹، ۷۴، ۷۸، ۸۳، ۸۶، ۹۶
- ضریب هوشی، ۲۸۰، ۳۰۲
- تاق‌دیس، ۱۳، ۱۴، ۳۲، ۳۹، ۴۲، ۱۱۳، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲
- عسلویه، ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۲۳، ۵۴، ۵۸، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۴، ۸۶، ۸۷، ۸۹، ۹۱، ۹۳، ۹۶، ۹۷، ۱۰۰، ۱۴۷، ۱۷۴، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۱، ۱۹۳، ۱۹۴، ۲۲۶، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۹۵، ۲۹۶، ۳۰۴
- عفونت، ۲۳۲، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۴
- عناصر، ۵، ۶، ۷، ۱۷، ۱، ۲، ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۵۱، ۵۳، ۵۸، ۵۹، ۶۲، ۶۴، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۴، ۷۵، ۷۷، ۷۹، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۹، ۹۲، ۹۴، ۹۶، ۹۹، ۱۰۳، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۱، ۱۱۵، ۱۳۸، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۴۸، ۲۱۳، ۲۰۸، ۱۶۴، ۱۵۵، ۱۵۳، ۱۵۰، ۱۴۸، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۴، ۲۲۷، ۲۴۹، ۲۵۱، ۲۶۴، ۲۷۳، ۲۷۶، ۲۸۲، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۹۶
- عناصر نادر خاکی، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۲۱۸، ۲۴۹
- عنصر ضروری، ۱۰۹، ۱۱۲، ۲۷۲، ۲۸۹
- غبار، ۷، ۱۸، ۳۰، ۳۱، ۵۴، ۶۳، ۶۹، ۷۵، ۱۷۱، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶
- غضروف، ۳۶۱
- غنی‌شدگی، ۱۳
- فاضلاب، ۷۸، ۸۹
- فتوسنتز، ۶۳، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۶
- فرسایش، ۳۵، ۹۵، ۱۲۰، ۱۷۴، ۲۲۱، ۲۴۵، ۲۴۸، ۲۶۴، ۲۷۶، ۲۸۲، ۳۴۰
- فریتین، ۸۶، ۳۳۲، ۳۳۳
- فسفات، ۶۰، ۱۲۷، ۳۵۳
- فشار، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۶۹، ۱۷۱، ۱۸۰، ۲۱۹، ۳۲۱
- فشارخون، ۸، ۵۸، ۷۵، ۱۰۸، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۶۸، ۱۶۸، ۲۹۸، ۳۴۶
- فلدسپار، ۱۱، ۳۱، ۲۵۰

- فلسيک، ۱۰، ۱۲
 فلورايد، ۱۰، ۱۹، ۱۵۰، ۲۸۲، ۲۸۷، ۲۸۸
 ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶
 ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲
 فلئوريزيس، ۱۰، ۱۵، ۱، ۲۸۹، ۲۹۷، ۲۹۸
 ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۵
 فلئوئور، ۱۰، ۱۹، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۱۳۷، ۱۴۳
 ۱۴۷، ۲۸۵، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۲
 ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶
 فيبروزيس، ۲۴۷
 فيزيولوژي، ۱۶، ۱۵۵، ۱۹۶
 قارچ، ۲۶۴، ۳۳۹، ۳۴۱
 قانقاريا، ۱۳۸
 قلب، ۵۸، ۶۱، ۸۰، ۹۶، ۱۹۳، ۲۰۲، ۲۱۴
 ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۹۸، ۳۳۰، ۳۳۴
 قلبي، ۷، ۱۸، ۵۶، ۵۸، ۶۲، ۶۵، ۹۷، ۱۱۱
 ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۳۸، ۱۵۲، ۱۵۶، ۲۳۳، ۲۴۶
 ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۶، ۲۵۷، ۲۶۰، ۲۶۲، ۲۶۳
 ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۷۲، ۲۸۹، ۳۲۱، ۳۳۴
 قلبي - عروقي، ۶۲، ۱۱۱، ۱۲۶، ۲۴۶، ۲۴۷
 ۲۴۹، ۲۵۶، ۲۶۲، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۸۹
 قليايبی، ۱۱، ۵۳، ۵۹، ۷۷، ۸۱، ۹۲، ۹۵، ۱۰۷
 ۱۱۱، ۲۷۱، ۲۸۷، ۲۹۰، ۲۹۶
 قوچاک، ۱۳۹
 قير، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۶
 کاتيون، ۸۵، ۹۲، ۱۱۰، ۱۱۲، ۱۵۰، ۲۱۶
 کادميم، ۶، ۱۷، ۱۸، ۵۳، ۵۸، ۶۲، ۶۳، ۶۴
 ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵

کمپلکس، ۱۵، ۸۲، ۹۰	کروم، ۷، ۱۷، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۸۱، ۹۴، ۹۵، ۹۶
کمون، ۳۴۵	۹۷، ۱۹۰، ۱۹۴، ۲۱۳، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۵۱
کنگان، ۱۰، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۳۲، ۴۲، ۱۴۸	۲۵۲، ۳۳۲
۱۷۴، ۱۷۷، ۱۸۶، ۱۸۸، ۱۸۹، ۲۹۴، ۲۹۵	کریپتون، ۲۱۳، ۲۲۲، ۲۳۱
۳۱۳	کریستالیزه، ۱۲۷
کوارتز، ۱۱، ۳۱، ۲۴۶، ۲۵۰، ۲۶۴	کژدمی، ۲۹، ۳۳، ۳۸، ۱۲۰
کوهزایی، ۲۴، ۳۱	کشان، ۱، ۸، ۵۸
کووید، ۱۹، ۲۶۵	کشان یک، ۸
گابرو، ۱۱	کله، ۷، ۱۱، ۱۶، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۴، ۱۳۷
گاز، ۹، ۱۳، ۱۴، ۲، ۲۴، ۲۷، ۴۰، ۸۹، ۱۰۹	۱۳۹، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۰
۱۳۹، ۱۴۳، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۶	۲۲۷، ۲۷۳
۱۷۳، ۱۷۵، ۱۷۸، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۳، ۱۹۴	کلسترول، ۸۰، ۸۶، ۹۷
۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۱۵، ۲۱۸	کلسیم، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۶۵، ۷۳، ۱۰۸
۲۲۷، ۲۲۸، ۲۶۳، ۳۱۴	۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۲۲، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹
گچساران، ۳۴، ۳۵، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۱۱۳، ۱۱۸	۱۳۹، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۰
۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۱۴۸، ۱۴۹، ۲۹۰	۲۱۴، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۸۷، ۲۹۳، ۲۹۹
۲۹۶	۳۰۹، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۳۰، ۳۳۴، ۳۵۳
گرانودیوریت، ۱۱	کلکوفیل، ۹، ۱۰
گرانیت، ۱۱	کلیه، ۱۴، ۵۸، ۶۵، ۷۰، ۷۵، ۱۱۰، ۱۱۲
گردوغبار، ۲، ۲۶۷	۱۲۷، ۱۴۳، ۱۶۶، ۱۹۷، ۳۳۴، ۳۵۶
گسل، ۱۳، ۲۴، ۲۵، ۳۱، ۳۲، ۳۵، ۳۹، ۴۰	کم‌خونی، ۸۷، ۱۲۵، ۲۱۶، ۳۳۱، ۳۳۳
۴۱، ۴۲، ۴۸، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۴۱	کمارج، ۳۵، ۴۱، ۱۱۸
۱۴۹	کمیود، ۱۸، ۷، ۱۷، ۱۸، ۵۸، ۶۳، ۶۵، ۷۰
گلو تانیون پروکسیداز، ۲۸۲	۷۹، ۸۰، ۸۴، ۸۷، ۹۰، ۹۴، ۹۷، ۱۰۸
گناوه، ۱۸، ۲۳، ۷۴، ۷۸، ۷۹، ۸۸، ۹۰، ۹۲	۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۲۹، ۱۹۶، ۲۷۲، ۲۷۳
۱۷۴، ۱۷۷، ۱۸۰، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۸	۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱
۱۸۹، ۲۲۶	۲۸۲، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳

- ماسبه سنگ، ۱۰، ۳۸، ۷۳، ۱۴۶، ۲۱۵، ۲۹۶
 مافيک، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۸۴، ۹۵، ۲۸۷
 مالاريا، ۱۲۷
 متابوليسم، ۲، ۴، ۱۴۶، ۲۷۸، ۲۸۲، ۲۹۷
 متيل، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۶۰، ۲۷۳
 مثانه، ۱۹۹، ۳۵۶
 محيط زيست، ۳، ۸، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۵۹، ۱۲۳، ۱۵۷، ۱۶۴، ۱۹۱، ۱۹۶، ۱۹۷، ۲۰۶، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۸، ۲۲۲، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۷۶، ۳۱۴، ۳۱۷، ۳۲۳، ۳۴۴
 مدفوع، ۵۶، ۶۲، ۳۴۰، ۳۴۱
 مرجان، ۶۷، ۷۲، ۷۷، ۸۱، ۹۱، ۱۱۸، ۱۷۵، ۳۱۱، ۱۸۱
 مرگ، ۱۴، ۶۵، ۸۰، ۹۰، ۱۲۵، ۱۲۸، ۱۵۱، ۱۶۶، ۱۶۸، ۱۹۲، ۱۹۸، ۲۱۴، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۵۶، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۷۹، ۳۲۰، ۳۴۳، ۳۴۶
 مزوتليوما، ۸، ۲۴۸
 مس، ۶، ۱۷، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۵۸، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۹، ۹۲، ۹۶، ۱۰۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۲۵۱، ۲۵۲، ۳۲۱، ۳۳۲
 مسکوويت، ۳۱، ۲۸۷، ۲۹۰
 مسموميت عصبي، ۹، ۲۰۱، ۳۲۲
 معده، ۱۶، ۱۸، ۶۴، ۷۹، ۸۴، ۱۲۹، ۱۵۲، ۱۵۴، ۱۶۶، ۲۸۹، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۶۰، ۳۶۲
 مفصل، ۳۴۱
 مند، ۱۷، ۱۱۴، ۱۱۷، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۵۳، ۱۴۸، ۱۳۱، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۴، ۱۶۴، ۱۶۸، ۱۷۲، ۲۰۲، ۲۱۴، ۲۳۱، ۲۳۳، ۲۷۹، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۳۰۲، ۳۱۱، ۳۱۳، ۳۱۹، ۱۴، ۱۷، ۳۲، ۳۹، ۴۸، ۶۰، ۹۹، ۱۰۵، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۷، ۱۳۰، ۱۴۸، ۱۳۱، ۸، گنويه، ۱۵۷، ۱۵۰، ۱۴۷، ۱۳۹، ۱۳۱، ۱۷، ۷، ۱، گواتر، ۲۷۸، ۲۷۵، ۲۷۴، ۲۷۲، ۲۷۹، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۳۰۲، گواتروژن، ۲۸۲، گوارش، ۱۵، ۹۸، ۱۱۲، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۷۲، ۲۰۲، ۲۱۴، ۲۳۱، ۲۳۳، گوريبي، ۳۴، ۳۸، ۱۱۳، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۲۹۰، گوگرد، ۷، ۱۶، ۵۳، ۵۶، ۵۹، ۶۲، ۶۳، ۶۸، ۸۸، ۱۰۶، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۳، ۱۳۷، ۱۳۹، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۴، ۱۶۴، گيسکان، ۱۳، ۱۳، ۳۳، ۳۴، ۳۹، ۴۱، ۴۲، لاتريت، ۱۳، لاور، ۱۰، ۱۴۸، ۱۹۳، ۱۹۴، ۲۹۴، ۲۹۵، ۳۱۳، لپتوسپيرا، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۸، لرزش، ۵۶، ۱۱۰، ۱۳۸، ۳۳۳، ۳۴۵، لوزالمعده، ۷۰، لوسمي، ۱۴، ۱۹۷، ۱۹۸، ۲۲۹، ۲۳۲، ۲۳۴، ليتوفيل، ۹، ۱۰، ۱۲، ۸۴، ۹۱، ۹۴، ۱۰۷، ۱۱۰، ۱۱۱، ۲۱۴، ۲۱۶، ۲۸۷، مارن، ۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۳، ۳۴، ۳۸، ۱۰۶، ۱۳۹، ۱۴۶

نخیلو، ۳۱	۳۲۵، ۱۸۵
نفت، ۹، ۱۳، ۱۴، ۲، ۲۴، ۲۷، ۳۴، ۴۰، ۵۴، ۶۱، ۶۴، ۶۹، ۷۳، ۷۴، ۸۸، ۸۹، ۹۲، ۹۳، ۱۰۶، ۱۰۹، ۱۳۹، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۸، ۱۷۰، ۱۷۳، ۱۷۵، ۱۷۸، ۱۸۰، ۱۸۸، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۲۰۰، ۲۰۲، ۲۰۳	منگنز، ۷، ۱۷، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۵۶، ۵۹، ۶۳، ۶۴، ۷۳، ۸۲، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۴، ۹۵، ۱۳۸، ۱۹۴، ۲۱۳، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۵۱، ۲۵۳، ۳۳۰، ۳۳۲
نفوذپذیر، ۳۸، ۱۳۷	مننژیت، ۲۶۵
نکروز، ۱۶، ۳۶۲	مو، ۵۸، ۶۱، ۷۰، ۸۰، ۸۴، ۱۲۹، ۱۴۲، ۳۲۹
نمک، ۷، ۸، ۱۴، ۲۶، ۳۳، ۳۸، ۴۴، ۶۰، ۷۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۴۱، ۱۴۸، ۱۹۱، ۲۷۲، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۸، ۲۸۱	مواد آلی، ۱۳، ۱۸، ۵۷، ۵۹، ۶۲، ۶۴، ۶۸، ۷۹، ۹۵، ۱۱۳، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۱، ۱۹۱، ۲۱۵، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۷۴، ۳۱۱، ۳۵۳
نوترون، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۳۰	مومیایی، ۲، ۱۱، ۱۶، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳
نوزاد، ۲۰۰	مونازیت، ۱۳، ۲۱۸
نوموکونیوسیس، ۲۴۷	میراحمد، ۸، ۱۴، ۱۸، ۱۳۹، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۹
نیترات، ۱۵، ۱۲۲	میشان، ۳۵، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۱۱۳، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۶، ۲۹۰، ۲۹۶
نیتروژن، ۱۴، ۱۶، ۱۲۹، ۱۹۰، ۱۹۲، ۲۷۳، ۳۱۶، ۳۳۹	میکروذرات، ۲۵۹
نیکل، ۷، ۱۷، ۹، ۱۷، ۸۱، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۲، ۹۴، ۱۰۱، ۱۴۷، ۱۵۰، ۱۹۱، ۱۹۴، ۲۲۷، ۲۵۱، ۲۵۳، ۳۳۲	میوسن، ۲۴، ۳۲، ۳۵، ۳۸، ۱۱۸، ۱۴۶، ۲۹۰، ۱۵۵، ۸۴، ۵۸، ۸۶، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۷، ۱۷۴، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۳، ۱۹۴
هالوزن، ۱۰۸	ناخن، ۵۸، ۶۱، ۸۴، ۱۵۵
هگزان، ۱۹۰	ناودیس، ۱۰۵، ۱۰۶، ۲۹۵
هماتیت، ۳۳، ۸۱	نابیند، ۱۸، ۶۰، ۶۲، ۶۴، ۶۶، ۶۹، ۷۱، ۷۶، ۸۰، ۸۷، ۸۸، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۷، ۱۷۴
همه‌گیر شناختی، ۱۱۱، ۲۶۱	نخل تقی، ۱۰، ۶۹، ۷۸، ۷۹، ۲۹۴، ۲۹۵
	۳۱۳

هیدروکربن، ۱۴۶، ۱۶۴، ۱۹۵، ۲۲۷	هموگلوبین، ۷۵، ۷۶، ۸۴، ۱۵۲، ۳۳۲
هیدروکسید، ۱۴، ۸۵	هوا، ۱۱، ۱۶، ۴، ۵۷، ۵۹، ۶۳، ۷۳، ۱۰۶
هیدروکسیل، ۲۸۷	۱۶۶، ۱۷۱، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۳، ۱۹۶، ۲۱۴
واپاشی، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۷	۲۱۵، ۲۲۲، ۲۲۵، ۲۲۹، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸
وزن مولکولی، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹	۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۲، ۳۱۹، ۳۲۲
۱۸۷	۳۴۰
ویتامین، ۶۵، ۷۰، ۸۰، ۲۷۲، ۲۸۲	هوابرد، ۲۴۵
ید، ۹، ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۷، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۵۸	هوازدگی، ۸، ۱۲، ۳۸، ۶۰، ۶۳، ۶۸، ۸۱، ۸۵
۲۱۳، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۲۲، ۲۳۱، ۲۳۴، ۲۳۶	۸۶، ۸۸، ۹۵، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۶۵، ۲۴۸
۲۴۱، ۲۶۹، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵	۲۴۹، ۲۷۳، ۲۸۷
۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲	هورمون، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۸، ۲۷۹
۲۸۳	هیپراندمیک، ۲۸۰
	هیدروژن، ۱۶، ۹۴، ۱۰۸، ۱۱۰، ۱۴۹، ۱۵۰
	۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۶، ۱۶۴، ۲۱۳، ۳۱۶



مومیایی استخراج شده از کوه درنگ شهرستان دیر در استان بوشهر

در بررسی دانش بومی کاربردهای درمانی مومیایی، آشکار گردید که این ماده به دو صورت خوراکی و موضعی استفاده می‌شود و در شکستگی استخوان، ضرب دیدگی و کوفتگی، التیام درد و بهبود زخم‌های جلدی مؤثر است. بررسی‌هایی که توسط پژوهشگران موزه تاریخ پزشکی خلیج فارس، وابسته به دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام گردید، نشان داد که مصرف مومیایی در بوشهر نیز روایی پایداری داشته است و در گذشته به فراوانی از آن در شکستگی‌های استخوانی، ضرب دیدگی و کوفتگی استفاده می‌کرده‌اند.



بنیاد رشد و اندیشه سازندگی
استان بوشهر



مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی
خلیج فارس



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
مرکز تحقیقات بهداشت محیط سیستمی و انرژی



بنیاد ملی نخبگان
بنیاد نخبگان استان بوشهر



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت آموزشی
کلان منطقه پنج