

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

دانشکده فنی
گروه مهندسی شیمی

بررسی رفتار جذبی استرانسیم بر روی هیبریدی از نانولوله های کربنی چند لایه ای
عامل دار شده - استانیک مولیبدوفسفات به عنوان یک جاذب جدید

از:

نسرین اسدالهی

اساتید راهنما:

دکتر حسین قناد زاده

دکتر رامین یآوری

آذر ۱۳۹۲

تقدیم به همسر

به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت

او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را با حضورش برایم تسهیل نمود.

تقدیر و تشکر

سپاس خداوند بزرگ راست که دور نظر است و نیکو حضر، نیکو کار نیکو منظر، که ادای شکر او بیچ زبان نیست و دریای فضل او را بیچ کران نیست و سر حقیقت او برچ کس عیان نیست.

خدا را شاکرم که در مراحل انجام این پیمان نامه فرصتی برایم فراهم گشت که از محضر اساتید محترمی بهره ببرم. لذا بر خود لازم می دانم که از زحمات بی دریغ استاد کرامتدرم جناب آقای دکتر یآوری که در تمامی مراحل مرا با مساعدت های بی نظیر و نظرات بی بدیشان یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر قنادزاده به خاطر راهنمایی شان بسیار سپاسگذارم.

در پایان از پرسنل آزمایشگاه تحقیقاتی جابرن حیان و تمامی عزیزانی که در پیشبرد این پیمان نامه همراهم بودند سپاسگذاری می نمایم.

فهرست

ز	فهرست جداول	۲
ح	فهرست شکلها	۳
ی	چکیده	۴
۲	فصل ۱ : کلیات	۵
۳	۱-۱- مقدمه	۶
۴	۲-۱- تاریخچه استرانسیم	۷
۴	۳-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم	۸
۵	۴-۱- ایزوتوپهای استرانسیم	۹
۵	۱-۴-۱- استرانسیم-۹۰	۱۰
۶	۵-۱- ترکیبات استرانسیم	۱۱
۷	۶-۱- کاربردهای استرانسیم	۱۲
۸	۷-۱- اثرات زیست محیطی	۱۳
۹	۸-۱- جداسازی استرانسیم از پسابها	۱۴
۱۰	۹-۱- مواد هیبریدی	۱۵
۱۰	۱-۹-۱- نانو کامپوزیتها	۱۶
۱۱	۲-۹-۱- شبکه های آلی-فلزی	۱۷
۱۱	۳-۹-۱- نانو لوله های کربنی- مواد معدنی	۱۸
۱۲	۱۰-۱- طبقه بندی مواد هیبریدی	۱۹
۱۳	۱۱-۱- نانولوله های کربنی در مواد هیبریدی	۲۰
۱۳	۱-۱۱-۱- مقدمه ای بر نانولوله های کربنی	۲۱
۱۵	۲-۱۱-۱- ساختار نانو لوله های کربنی	۲۲
۱۶	۳-۱۱-۱- مشخصه های نانولوله های کربنی	۲۳
۱۸	۴-۱۱-۱- سنتز نانو لوله های کربنی	۲۴
۱۹	۵-۱۱-۱- کاربردهای نانولوله های کربنی	۲۵
۲۶	۱۲-۱- آماده سازی نانولوله های کربنی	۲۶
۲۷	۱-۱۲-۱- خالص سازی نانو لوله های کربنی	۲۷
۲۹	۱۳-۱- عامل دار کردن	۲۸
۳۰	۱-۱۳-۱- معرفی گروههای عاملی	۲۹

۳۱	۱-۱۳-۲- عامل‌دار کردن کووالانسی
۳۲	۱-۱۳-۳- عامل‌دار کردن غیر کووالانسی
۳۳	۱-۱۴- تبادل یون
۳۴	۱-۱۴-۱- مکانیزم تبادل
۳۴	۱-۱۴-۲- انواع مبادله کننده یونی
۳۶	۱-۱۴-۳- نمک پلی اکسی متالات
۳۷	۱-۱۵- سنتز هیبرید نانولوله های کربنی- موادغیرآلی
۳۷	۱-۱۵-۱- روش اول: اتصال نانوذرات به نانولوله های کربنی
۴۰	۱-۱۵-۲- روش دوم: تشکیل مستقیم نانوذرات روی سطح نانولوله کربنی
۴۲	۱-۱۶- مقایسه روشهای سنتز هیبرید نانولوله های کربنی-موادغیرآلی
۴۴	فصل ۲: مواد و روشها
۴۵	۲-۱- مواد شیمیایی
۴۶	۲-۲- دستگاه ها و تجهیزات
۴۶	۲-۳- آزمایشها
۴۶	۲-۳-۱- خالص سازی و عامل‌دار کردن نانولوله ها
۴۷	۲-۳-۲- روش تهیه مبادله کننده معدنی استانیک مولیبدوفسفات
۴۷	۲-۳-۳- روش تهیه هیبرید نانولوله های کربنی-استانیک مولیبدوفسفات
۴۸	۲-۴- تهیه محلول اولیه:
۴۸	۲-۵- بررسی ساختار مولکولی
۴۸	۲-۵-۱- طیف مادون قرمز (FT-IR)
۴۹	۲-۵-۲- پراش پرتو ایکس (XRD)
۴۹	۲-۵-۳- مطالعات ترموگراویمتری (TG)
۴۹	۲-۵-۴- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۴۹	۲-۵-۵- میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۵۰	۲-۵-۶- ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن
۵۰	۲-۶- بررسی رفتارهای جذبی استرانسیم
۵۰	۲-۶-۱- بررسی اثر غلظت اولیه استرانسیم بر جذب آن
۵۰	۲-۶-۲- بررسی اثر جرم جاذب بر جذب استرانسیم
۵۱	۲-۶-۳- بررسی اثر زمان بر جذب استرانسیم
۵۱	۲-۶-۴- بررسی اثر pH بر جذب استرانسیم
۵۱	۲-۶-۵- بررسی اثر غلظت سدیم بر جذب استرانسیم
۵۲	۲-۷- اندازه گیری غلظت استرانسیم با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP)

۵۳	فصل ۳ : نتایج و بحث.....
۵۴	۱-۳- بررسی ساختار نانولوله اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات.....
۵۴	۱-۱-۳ مورفولوژی.....
۵۵	۳-۱-۲- مطالعات طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR).....
۵۸	۳-۱-۳- پراش پرتو ایکس (XRD).....
۶۱	۳-۱-۴- مطالعات ترموگراویمتری (TG).....
۶۳	۳-۱-۵- ایزوترمهای جذب و واجذب نیتروژن.....
۶۸	۳-۲- مطالعات جذب استرانسیم.....
۶۸	۳-۲-۱- ایزوترم های جذب.....
۷۲	۳-۲-۲- بررسی اثر جرم جاذب.....
۷۵	۳-۲-۳- بررسی اثر pH.....
۷۷	۳-۲-۴- بررسی اثر یون سدیم.....
۷۷	۳-۲-۵- بررسی اثر زمان تماس.....
۸۱	فصل ۴ : نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۸۴	پیشنهادات.....
۸۵	منابع و مراجع.....
۹۰	ضمیمه.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۱. خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم [۱] ۴
- جدول ۲-۱. شمائی از رادیوایزوتوپهای استرانسیم تولید شده به طریقه مصنوعی [۲] ۵
- جدول ۳-۱. خواص فیزیکی و شیمیایی برخی از ترکیبات استرانسیم [۴] ۸
- جدول ۴-۱. مقایسه ای از انواع مواد هیبریدی [۱۴] ۱۱
- جدول ۵-۱. خلاصه ای از خواص فیزیکی نانو لوله ها در مقایسه با گرافیت [۱۴] ۱۴
- جدول ۶-۱. ظرفیت جذب ماکزیمم برخی از رادیونوکلئیدها بر روی نانولوله های کربنی و دیگر جاذبها [۳۰] ۲۳
- جدول ۱-۲. لیست مواد شیمیایی بکار رفته در طول آزمایشها ۴۲
- جدول ۲-۲. لیست دستگاه های مورد استفاده در طول آزمایشها ۴۳
- جدول ۱-۳. خواص فیزیکی نانولوله های کربنی چند لایه ۶۵
- جدول ۲-۳. پارامترهای ایزوترمهای جذب لانگمویر و فروندلیچ برای استرانسیم بر روی نانولوله های کربنی اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۶۹
- جدول ۳-۳. پارامترهای جذب استرانسیم بر جذب نانولوله های اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۷۷

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱. شمایی از گونه های مختلف کربن ۱۳
- شکل ۱-۲. شمایی از (A) نانولوله کربنی چنددیواره و (B) نانو لوله کربنی تک دیواره [۲۹] ۱۴
- شکل ۱-۳. جایگاههای متفاوتی از جذب بر روی دسته های هموزن از نانولوله به طور جزئی انتها- باز (SWCNTs) [۲۹] ۲۰
- شکل ۱-۴. شماتیکی از عامل دار کردن نانولوله های کربنی و مکانیزم اصلی جذب یونهای فلزی دو قطبی در سطح نانولوله های کربنی ۲۲
- شکل ۱-۵. شماتیکی از جذب رادیو نوکلید بر سطح نانولوله های کربنی [۲۹] ۲۳
- شکل ۱-۶. تصاویر TEM. (A). کربن آمورف و مولکولهای فلورن بر سطح نانولوله ها (B). ذرات فلزی که به وسیله لایه های کربن امورف پوشانده شده است (C). ذرات فلزی که به وسیله گرافیت چند لایه پوشانده شده اند [۴۶] ۲۵
- شکل ۱-۷. نقوص در ساختار SWCNT، A. حلقه ۵ یا ۷ عضوی به جای ۶ عضوی B. نقوص هیبریدی SP^3 . C. شبکه آسیب دیده به دلیل شرایط اکسیداسیون D. گروههای کربوکسیلی روی سرهای انتهایی [۶۰] ۳۰
- شکل ۱-۸. شیوه های متفاوت عاملدار شدن A. عاملدار شدن سایتهای نقص دار B. عاملدار شدن کووالانسی دیواره نانولوله ها C. عاملدار کردن غیر کووالانسی با پیش ماده D. عاملدار کردن غیر کووالانسی با پلیمرها E. عاملدار کردن با C_{60} ۳۱
- شکل ۱-۹. شمایی از ساختار کگین [۶۸] ۳۴
- شکل ۱-۱۰. مورفولوژی اتصال نانوذرات طلا به واسطه اتصال دهنده آمینوتیول [۷۲] ۳۶
- شکل ۱-۲. نمونه های از نانولوله های کربنی چند لایه ای بکار رفته در طول آزمایشها ۴۲
- شکل ۲-۲. شمایی کلی تخلیص و عاملدار کردن نانولوله های کربنی چند لایه ای با استفاده از اسید نیتریک. ۴۴
- شکل ۲-۳. نمونه ای از صاف کردن نمونه ها به کمک فیلتر سرسرنگی ۴۷
- شکل ۲-۴. شمایی از ظروف نمونه پس از خروج از شیکر. ۴۸
- شکل ۳-۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانولوله های کربنی چند لایه (A) پیش از عملیات اکسیداسیون (B) بعد از عملیات اکسیداسیون ۵۱
- شکل ۳-۲. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی مربوط به نمونه هیبرید ۵۲
- شکل ۳-۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری مربوط به نمونه هیبرید ۵۲
- شکل ۳-۴. طیف مادون قرمز نانولوله های کربنی چند لایه ای اولیه ۵۳
- شکل ۳-۵. طیف مادون قرمز نانولوله های کربنی چند لایه ای پس از اکسیداسیون با اسید نیتریک ۵۴
- شکل ۳-۶. طیف مادون قرمز استانیک مولیبدوفسفات ۵۵
- شکل ۳-۷. طیف مادون قرمز هیبرید نانولوله های کربنی چند لایه ای-استانیک مولیبدوفسفات ۵۵
- شکل ۳-۸. الگوی پراش اشعه ایکس نانولوله های کربنی چند لایه ای اولیه ۵۶
- شکل ۳-۹. الگوی پراش اشعه ایکس نانولوله های اکسید شده. ۵۶
- شکل ۳-۱۰. الگوی پراش اشعه ایکس استانیک مولیبدوفسفات ۵۷
- شکل ۳-۱۱. الگوی پراش اشعه ایکس هیبرید نانولوله های کربنی چند لایه ای-استانیک مولیبدوفسفات ۵۷

- شکل ۳-۱۲. ترموگرام نانولوله های کربنی چند لایه ای اولیه ۵۸
- شکل ۳-۱۳. ترموگرام نانولوله های کربنی چند لایه ای اکسید شده با اسید نیتریک ۵۹
- شکل ۳-۱۴. ترموگرام استانیک مولیبدوفسفات سنتز شده ۵۹
- شکل ۳-۱۵. ترموگرام هیبرید نانولوله های کربنی چند لایه ای اکسید شده-استانیک مولیبدوفسفات ۶۰
- شکل ۳-۱۶. پنج نوع ایزوترمهای جذب گاز ۶۱
- شکل ۳-۱۷. منحنی ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن برای نانولوله های کربنی چند لایه ای اولیه ۶۲
- شکل ۳-۱۸. منحنی ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن برای نانولوله های کربنی چند لایه ای اکسید شده با اسید نیتریک ۶۳
- شکل ۳-۱۹. منحنی ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن برای هیبرید نانولوله های کربنی چند لایه ای اکسید شده-استانیک مولیبدو فسفات ۶۳
- شکل ۳-۲۰. منحنی ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن برای مبادله کننده معدنی استانیک مولیبدوفسفات ۶۴
- شکل ۳-۲۱. بررسی اثر غلظت استرانسیم بر میزان جذب استرانسیم در نانولوله های کربنی چند لایه ای، نانولوله های کربنی اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۶۶
- شکل ۳-۲۲. ایزوترم جذب لانگمویر استرانسیم (II) بر نانولوله های کربنی اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۶۸
- شکل ۳-۲۳. ایزوترم جذب فروندلیچ استرانسیم (II) بر نانولوله های کربنی اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۶۹
- شکل ۳-۲۴. اثر جرم نانولوله های اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات بر میزان جذب استرانسیم با غلظت اولیه ی ۵ PPM ۷۰
- شکل ۳-۲۵. اثر جرم نانولوله های اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات بر میزان جذب استرانسیم با غلظت اولیه ی ۳۰ PPM ۷۰
- شکل ۳-۲۶. اثر جرم نانولوله های اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات بر درصد جذب استرانسیم با غلظت اولیه ی ۵ PPM ۷۱
- شکل ۳-۲۷. اثر جرم نانولوله های اولیه، اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات بر درصد جذب استرانسیم با غلظت اولیه ی ۳۰ PPM ۷۲
- شکل ۳-۲۸. اثر PH اولیه بر جذب یون استرانسیم به وسیله نانولوله های اکسید شده، هیبرید نانولوله های کربنی چندلایه- استانیک مولیبدوفسفات و مبادله کننده استانیک مولیبدوفسفات با غلظت اولیه ی ۵ PPM ۷۳
- شکل ۳-۲۹. اثر PH اولیه بر جذب یون استرانسیم به وسیله نانولوله های اکسید شده، هیبرید نانولوله های کربنی چندلایه- استانیک مولیبدوفسفات و مبادله کننده استانیک مولیبدوفسفات با غلظت اولیه ی ۳۰ PPM ۷۳
- شکل ۳-۳۰. اثر قدرت یونی بر جذب یونهای استرانسیم بر نانولوله های اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات در غلظت اولیه ۳۰ PPM ۷۴
- شکل ۳-۳۱. اثر زمان بر جذب استرانسیم توسط نانولوله های اکسید شده، هیبرید و استانیک مولیبدوفسفات ۷۵
- شکل ۳-۳۲. نمودار سینیتیک جذب معادله شبه مرتبه اول ۷۶
- شکل ۳-۳۳. نمودار سینیتیک جذب شبه مرتبه دوم ۷۷

بررسی رفتار جذبی استرانسیم بر روی هیبریدی از نانولوله های کربنی چند لایه ای عامل دار شده - استانیک مولیبدوفسفات
به عنوان یک جاذب جدید
نگارش: نسرين اسدالهي

استرانسیم ۹۰ به عنوان یکی از محصولات شکافت، با توجه به نیمه عمر فیزیکی طولانی، انحلال پذیری بالا و سمی بودن از خطرناک ترین رادیو نوکلئیدهای موجود در پسمان ها تلقی می گردد. روش های متعددی برای آمایش پساب ها مورد بررسی قرار گرفته است که از آن میان جذب کاربردی ترین روش محسوب می شود.

در این تحقیق در ابتدا هیبرید نانولوله های کربنی عامل دار شده - استانیک مولیبدوفسفات به روش سل-ژل سنتز شد. نانولوله های عامل دار شده، استانیک مولیبدوفسفات و هیبرید با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (SEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (TEM)، ایزوترم های جذب-وا جذب نیتروژن، طیف مادون قرمز (FTIR)، ترموگراویمتری (TG)، پراش اشعه ایکس (XRD) مشخصه یابی شدند. ریزنگارهای هیبرید سنتز شده نشان می دهد که استانیک مولیبدوفسفات به خوبی به سطح نانولوله های کربنی عامل دار شده متصل شدند. طیف IR نیز تشکیل هیبرید را تصدیق می نماید. پراش اشعه ایکس برای نمونه هیبرید نشان می دهد که ذرات استانیک مولیبدوفسفات آمورف می باشد. هیبرید سنتز شده طبق آنالیز جذب و وا جذب نیتروژن در دسته مواد مزوپور قرار می گیرد. پایداری حرارتی تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد برای هیبرید به اثبات رسیده است. در ادامه رفتارهای جذبی استرانسیم بر روی هیبرید، نانولوله های اکسید شده و استانیک مولیبدوفسفات به عنوان تابعی از غلظت استرانسیم، زمان تماس، میزان جاذب، pH و قدرت یونی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که قدرت جذب استرانسیم بر جاذب ها به ترتیب استانیک مولیبدوفسفات < هیبرید < نانولوله های اکسید شده می باشد. برای تمامی جاذب ها جذب استرانسیم به شدت به غلظت استرانسیم، مقدار جاذب، غلظت سدیم و مقدار pH وابسته می باشد. بنابراین مطابق به بررسی های انجام گرفته هیبرید سنتز شده جاذبی جدید برای جذب استرانسیم شناخته شده است. در هیبرید سنتز شده نه تنها میزان جذب نسبت به نانولوله های اکسید شده بهبود یافته است بلکه از سوی دیگر سینتیک جذب نیز نتایج بهتری را آشکار می سازد.

کلید واژه: نانولوله های کربنی چند لایه، استانیک مولیبدوفسفات، استرانسیم، جذب، هیبرید

Abstract:

Investigation of strontium adsorption behavior on hybrid based on modified multiwall carbon nanotubes- stannic molybdophosphate as a new sorbent

By: Nasrin Asadollahi

Strontium-90 has been considered as one of the most hazardous nuclear fission product. Therefore, removal of strontium from radioactive wastewater due to their long life, high solubility and biotoxicity have gained specific attention. Adsorption among common used techniques for strontium removal has been widely used in nuclear waste treatment.

A novel hybrid, stannic molybdophosphate supported on multiwall carbon nanotubes (SMP-MWCNTs hybrid) was synthesized for the removal of strontium-90 from radioactive wastewater. The hybrid, synthesized by sol-gel method using functionalized MWCNTs and SMP solution. The pristine and prepared material were characterized using scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), nitrogen adsorption/desorption isotherms, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetry (TG) and X-ray diffraction (XRD) analysis. The micrograph of hybrid material showed that SMP has been attached well onto the MWCNTs surface and its size on MWCNTs was less than 20 nm. Also, the formation of hybrid was confirmed by investigation of FTIR spectrum. XRD pattern of hybrid and pristine materials revealed that the SMP as an amorphous was found in both of them. N₂ adsorption/desorption isotherm curves of hybrid indicated that the synthesized material imitates type IV isotherms which is commonly associated with the presence of mesoporosity. The thermal stability of this material up to 600 °C was proved by TG studies. Therefore, it is clear that this composite can be a promising candidate as a new adsorbent to the removal of some radionuclids such as strontium from nuclear waste.

Strontium adsorption on the Ox-MWCNTs, SMP and their hybrid as a function of initial concentration of strontium, contact time, adsorbents dosage, pH and ionic strength was studied. The experimental results indicated that adsorption sequence of strontium on these adsorbents as following; Ox-MWCNTs < hybrid < SMP. For all the adsorbent, strontium adsorption was strongly influenced by strontium concentration, adsorbents content, sodium concentration and pH values. This study suggests that synthesized material can be a promising candidate for the removal of strontium from nuclear waste solution.

Key words: Multiwall Carbon Nanotubes; Stannic Molybdophosphate ; Strontium; Adsorption; Hybrid

مقدمه:

رادیو نوکلئید استرانسیم ۹۰ یکی از رادیونوکلئیدهای سمی و اصلی در پسمان های هسته ای شناخته شده است. این عنصر ساطع کننده ذرات بتا بوده و نیمه عمر فیزیکی معادل ۲۶/۷۸ سال دارد. استرانسیم، از نظر رفتار بیولوژیکی مشابه عنصر کلسیم می باشد و توسط گیاه از خاک جذب شده و با خوردن گیاه وارد بافت استخوانی می شود و از آنجاییکه بدن انسان نمی تواند از نظر شیمیایی فرقی مابین استرانسیم و کلسیم قائل شود، استرانسیم همانند کلسیم به راحتی جذب می شود. استرانسیم منجر به بیماری های استخوانی از جمله سرطان استخوان و اختلالات خونی می شود. بنابراین به سبب سمیت و طول عمر طولانی استرانسیم ۹۰، جداسازی این عنصر از پسمان ها به کمک روش هایی چون تبادل یون، جذب سطحی و فرآیندهای غشایی امری لازم محسوب می شود. از میان روش های مذکور، جذب روشی کارآمد و اقتصادی می باشد.

استفاده از مواد هیبریدی به عنوان جاذب راهکاری نوین به منظور تصفیه پساب های هسته ای از برخی رادیونوکلئیدها شبیه به استرانسیم ۹۰ می باشد. استفاده از مواد هیبریدی این امکان را فراهم می سازد که ماده ای جدید با خواص جدیدی که ترکیبی از خواص مواد تشکیل دهنده آن است حاصل گردد.

استفاده نانولوله های کربنی به سبب خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردشان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نانولوله های کربنی با توجه به تعداد صفحات گرافیتی به دو دسته نانولوله های تک دیواره و چند دیواره تقسیم بندی می شوند. این دسته از مواد، به سبب ساختمان متخلخلشان، سطح ویژه بالا و دانسیته جرمی پایین به عنوان جاذب برای هیدروژن و دیگر گازها مورد استفاده قرار می گیرند. از سوی دیگر نانولوله های کربنی در مقایسه با صفحات گرافیتی از واکنش پذیری بالایی برخوردارند و نیروهای واندروالس بین آنها قوی می باشد. این نیروها باعث تجمع آنها و تشکیل توده هایی می شود که از توزیع مناسب آنها در حلال های مختلف جلوگیری می کند. یک راه مناسب جهت بهبود پراکندگی نانولوله ها در حلال های مختلف عاملدار کردن آنها می باشد.

مبادله کننده های یونی در تصفیه پساب های هسته ای به شکل گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند. گروه های مبادله کننده یونی قابلیت های زیادی دارند که از آن جمله به انتخاب پذیری، مقاومت در برابر تشعشع و پایداری شیمیایی و حرارتی می توان اشاره نمود. ترکیبات فسفو مولیبدیک جزء گروه پلی اکسو متالات ها به عنوان مبادله کننده های یونیبرشمرده می شوند. پلی اکسو متالات ها از طریق جذب شیمیایی با سطح نانولوله ها کمک به پراکندگی آنها می کنند. استانیک مولیبدوفسفات به دلیل انتخاب پذیری نسبت به عنصر استرانسیم به عنوان گروه مبادله کننده یونی انتخاب گردیده است.

بررسی رفتارهای جذبی استرانسیم بر روی هیبرید جدید به عنوان راهی نوین برای آمایش پساب های هسته ای بسیار با اهمیت می باشد. لذا در این راستا در ابتدا هیبرید نانولوله های کربنی استانیک مولیبدوفسفات سنتز گردید و در ادامه رفتارهای جذبی آن نسبت به استرانسیم به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت.

این پایان نامه در چهار فصل تدوین گردیده است. فصل اول شامل کلیاتی در ارتباط با مواد هیبریدی، تشکیل آنها و استفاده از آنها در کاربردهای گوناگون، نانولوله های کربنی و مبادله کننده معدنی استانیک مولیبدوفسفات می باشد. در فصل دوم به بخش آزمایشگاهی پرداخته شده است و مواد و روش های به کار گرفته شده به تفصیل ارائه شده است. فصل سوم شامل نتایج می باشد و در ادامه به تفسیر نتایج حاصل پرداخته شده است و در انتها در فصل چهارم به شکل اجمالی نتیجه گیری حاصل از این پروژه تحقیقاتی آورده شده است و در ادامه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ارائه شده است.

فصل ۱ : کلیات

۱-۱- مقدمه

فرآیندی را که در آن یک اتم سنگین مانند اورانیوم به دو اتم سبکتر تبدیل شود را شکافت هسته‌ای^۱ گویند. برای ایجاد شکافت هسته‌ای، به بمباران نوترونی ماده‌ی هدف قابل شکافت نیاز است. زمانی که هسته‌ای با عدد اتمی زیاد شکافته شود، بر اساس فرمول انیشتین، مقداری از جرم آن به انرژی تبدیل می‌شود. از این انرژی می‌توان در جهت اهداف بشردوستانه نظیر تولید برق در نیروگاه هسته‌ای و یا اهداف نظامی و غیر بشردوستانه نظیر تولید سلاح‌های هسته‌ای استفاده کرد. ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ با فراوانی ۰/۷ درصد در اورانیم طبیعی بطورگسترده‌ای در راکتورهای شکافت هسته‌ای بعنوان یک عنصر با خصوصیات متمایز و مفید در برهم کنش با نوترون‌های حرارتی قابل شکافت جهت تولید برق بکار می‌رود. در اثر برخورد یک نوترون منفرد به هسته اتم اورانیوم ۲۳۵، اورانیوم به ایزوتوپ اورانیم ۲۳۶، با قابلیت شکافت تبدیل می‌گردد که در جریان این شکافت، مقادیر زیادی انرژی نیز آزاد می‌گردد. اما نتیجه مهمتر شکستن هسته اورانیوم، آزادی دو تا سه نوترون می‌باشد. که در اثر جذب آن توسط دیگر هسته‌های اتم اورانیم، می‌توانند باعث شکافت دیگر هسته‌ها و در نهایت ادامه زنجیره شکافت گردد. زمانی که هسته اورانیوم ۲۳۶ دچار شکافت می‌شود طیف وسیعی از عناصر پرتوزا با محتمل‌ترین گستره جرمی ۱۴۴-۹۲ نظیر: باریوم ۱۴۴، کریپتون ۸۹، استرانسیوم ۹۰، ایتریوم ۹۰، زیرکونیوم ۹۵، سزیم ۱۳۷، سریم ۱۴۴ و غیره تولید می‌شود. یکی از چندین واکنش احتمالی شکافت در زیر نشان داده شده است [۱].



امروزه استفاده از صنعت هسته‌ای تنها به تولید برق خلاصه نشده و در صنایع مختلفی نظیر: کشاورزی، پزشکی، نفت و گاز صنایع سبک و سنگین بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است که در راستای بکارگیری از این صنعت مقدار زیادی پسمان حاوی مواد پرتوزا سمی و خطرناک تولید شده است و آزاد سازی این گونه مواد بدون انجام هیچ گونه فرایند آمایش و جداسازی موجبات آلوده کردن محیط زیست و در نتیجه به خطر انداختن سلامت و زندگی موجودات زنده را فراهم می‌کند. لذا توجه بسیاری از اندیشمندان به حذف این رادیونوکلیدهای سمی و خطرناک و در نتیجه جلوگیری از عدم امکان نشت آنها به محیط زیست، کاهش حجم پسمان و نگهداری آسان آنها معطوف شده است. در بررسی های انجام شده رادیونوکلید استرانسیوم-۹۰ بعنوان یکی از رادیونوکلیدهای عمده، اصلی، خطرناک و سمی در پسمان های هسته ای شناخته شده است که عمدتاً از محصولات شکافت تولید شده و احتمال حضور آنها در طبیعت در نتیجه ی نشت این عناصر از تانک های ذخیره سازی پسمانها، رخدادهای هسته ای نظیر حادثه ی چرنوبیل و فوکوشیما، آزمایش سلاح های هسته ای و یا رهاسازی ناخواسته وجود دارد که موجب بروز آلودگی های محیطی و غیر قابل برگشتی خواهد شد. عنصر استرنسیوم-۹۰ ساطع کننده ی ذرات بتا بوده که با

^۱ Nuclear fission

نیمه عمری فیزیکی معادل ۲۸/۷۸ سال به ایتریوم- ۹۰ و در نهایت به زیرکونیوم- ۹۰ واپاشی می کند. این عنصر از نظر رفتار بیولوژیکی، مشابه عنصر کلسیم می باشد؛ توسط گیاه از خاک جذب شده و با خوردن گیاه به استخوان وارد می شود؛ در حالی که بدن انسان نمی تواند از نظر شیمیایی فرقی مابین استرانسیوم و کلسیم قائل شود؛ استرانسیوم را نیز همانند کلسیم به راحتی جذب می کند. استرانسیوم رادیواکتیو می تواند در مغز استخوان وارد شده و باعث بیماری های استخوانی از جمله سرطان استخوان و اختلالات خونی شود. بنابراین لازم است که قبل از ورود به محیط زیست با روش های مناسبی غلظت آنها به حد مجاز رسانده شود [۱].

۲-۱- تاریخچه استرانسیم

عنصر استرانسیم اولین بار توسط هامفری داوی^۱ در سال ۱۸۰۸ با استفاده از الکترولیز کشف گردید. استرانسیم عمدتاً در کانی سلسیت^۲ (سولفات استرانسیم) و استرونیانیت^۳ (کربنات استرانسیم) وجود دارد. نام استرانسیم از کانی استرونیانیت، از شهر اسکاتلندی استرونتیان^۴، نام سلسیت از سلسیتال^۵ به معنای رنگ آبی آسمانی بسیار زیبا گرفته شده است. استرانسیم معمولاً در طبیعت یافت می شود و به طور میانگین % ۰/۰۳۴ از کل سنگ های آذرین را تشکیل می دهد. سلسیت (سولفات استرانسیوم) در حال حاضر به عنوان منبع رایج استرانسیوم شناخته می شود. کانی سلسیت بیشتر به صورت رسوبات ته نشین شده به مقدار زیادی وجود دارد که سهولت در توسعه استخراج معدن را ساده تر و جذاب تر می کند. بلورهای زیبا، جلای خوب و رنگ فوق العاده سلسیت، از خصوصیات بارز آن است. با این حال کانی استرونیانیت کانی مفیدتری می باشد، چراکه استرانسیم اغلب به شکل کربناته استفاده می شود. این فلز می تواند به وسیله الکترولیز مخلوط کلرید مذاب با کلرید پتاسیم یا به وسیله احیای اکسید استرانسیم با آلومینیوم در خلا در دمایی خارج از نقطه تقطیر استرانسیم آماده شود [۱].

۳-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم

استرانسیم یکی از عناصر فلزی گروه دوم (فلزات قلیائی خاکی) جدول تناوبی است که در زیر کلسیم و بالای باریم قرار گرفته است. نماد آن St و عدد اتمی آن ۳۸ می باشد. استرانسیوم، که به رنگ سفید مایل به نقره ای یا زرد براق است، به شدت واکنش پذیر می باشد. این فلز هنگام مواجهه با هوا به رنگ زرد در می آید و در آب واکنش پذیر می باشد. فلز پودر شده این عنصر فوراً در هوا آتش می گیرد. از خصوصیت بارز ترکیبات استرانسیم تابش قرمز رنگ و مشعشع آن در اثر ترکیب با اکسیژن می باشد و از این رو در طول سالیان دراز از این عنصر در بیشتر آتش بازی ها استفاده شده است و می توان با سوزاندن

^۱ Sir Humphry Davy

^۲ Celestite

^۳ Strontianite

^۴ Strontian

^۵ Celestial

مقداری از این عنصر و ایجاد نور خیره کننده‌ای در علامت دادن و نشان دادن راه به کشتی‌های در حال غرق و سانحه دیده، نجات دادن جان بسیاری از انسان‌ها استفاده کرد. از طریق آتش گرفتن استرانسیم در هوا، اکسید و نیتريد استرانسیم حاصل می‌گردد. به سبب واکنش پذیری بالای استرانسیم با هوا، به طور معمول، برای جلوگیری از اکسیداسیون استرانسیم درون نفت سفید نگهداری می‌شود. استرانسیم دارای شعاع اتمی مشابه کلسیم می‌باشد از این جهت در کانی‌ها به راحتی جایگزین کلسیم می‌شود [۱].

جدول ۱-۱. خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم [۱]

فلزات قلیایی خاکی	گروه شیمیایی
۲، ۵، $[Kr]5s^2$	گروه، تناوب، ساختار الکترونی
2640 Kg/m^3	دانسیته
۱.۵	سختی
سفید نقره‌ای براق	رنگ
26.4 J/mol	ظرفیت گرمایی مولی
$1050 \text{ K} (1431^\circ \text{F})$	نقطه ذوب
$1655 \text{ K} (2520^\circ \text{F})$	نقطه جوش
144 KJ/mol	گرمای تبخیر
8.3 KJ/mol	گرمای هم جوشی

۱-۴- ایزوتوپهای استرانسیم

استرانسیم که یک فلز قلیایی خاکی است، دارای چهار ایزوتوپ طبیعی و پایدار با نسبت فراوانی متفاوت می‌باشد. ایزوتوپ‌های پایدار استرانسیم عبارتند از: ^{87}Sr (۷۰٪)، ^{86}Sr (۹٪)، ^{88}Sr (۸۲٪) و ^{84}Sr (۰٪). تنها ایزوتوپ ^{87}Sr رادیوژنیک می‌باشد که از واپاشی فلز قلیایی و پرتوزای روبیدیوم-۸۷ که دارای نیمه عمری معادل $10^{10} \times 4/88$ سال است، بوجود آمده است. بنابراین تنها دو منبع برای تولید ^{87}Sr وجود دارد که یا از ترکیب هسته‌ای عنصری با ^{86}Sr ، ^{84}Sr و ^{88}Sr شکل می‌گیرد و یا از واپاشی روبیدیوم-۸۷. نسبت $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ در مطالعات ژئولوژیکی گزارش شده است. این نسبت در کانی‌ها و سنگ‌ها در محدوده ۰/۷ تا ۴ قرار می‌گیرد. ۳۱ ایزوتوپ ناپایدار نیز برای این عنصر وجود دارد که مهمترین آنها ^{90}Sr با نیمه عمر ۲۸/۷۸ سال و ^{89}Sr با نیمه عمر ۵۰/۵۳ روز می‌باشند شمای کلی ایزوتوپهای استرانسیم در جدول (۱-۲) آورده شده است [۱].

۱-۴-۱- استرانسیم-۹۰

استرانسیم طبیعی غیر رادیو اکتیو و غیر سمی است در صورتی که استرانسیم-۹۰ یکی از رادیوایزوتوپ‌های بسیار سمی و خطرناک و از اجزاء اصلی و مهم شکافت هسته‌ای می‌باشد، این رادیوایزوتوپ دارای نیمه عمری معادل ۲۸/۷۸ سال و به عنوان

یک تابشگر اشعه بتا شناخته شده است. این ایزوتوپ در راکتورها و تسلیحات هسته‌ای تولید شده و احتمال حضور آن از طریق نشت از راکتورهای حاوی پسمان‌ها و یا از طریق بارش‌های جوی، به محیط زیست وجود دارد. این ایزوتوپ ناپایدار استرانسیم، که از طریق آب و غذای آلوده می‌تواند وارد بدن انسان شود، مشکلاتی برای سلامتی انسان به همراه دارد چرا که به راحتی می‌تواند جانشین کلسیم در استخوان شود. از مقادیر استرانسیم وارد شده به بدن حدود ۸۰-۷۰٪ آن از بدن دفع و الباقی در مغز استخوان رسوب و یا وارد خون می‌شود [۱].

جدول ۱-۲. شمائی از رادیوایزوتوپ‌های استرانسیم تولید شده به طریق مصنوعی [۲]

نیمه عمر	رادیونوکلید استرانسیم	نیمه عمر	رادیونوکلید استرانسیم
۵۰/۵۳d	^{۸۹} Sr	>۲۵ms	^{۷۳} Sr
۲۸/۷۸Y	^{۹۰} Sr	۵۰ms	^{۷۴} Sr
۹/۶۳h	^{۹۱} Sr	۷۱ms	^{۷۵} Sr
۲/۷۱h	^{۹۲} Sr	۸/۹s	^{۷۶} Sr
۷/۴۲۳min	^{۹۳} Sr	۹s	^{۷۷} Sr
۷۵/۳s	^{۹۴} Sr	۲/۵min	^{۷۸} Sr
۲۳/۹۰s	^{۹۵} Sr	۲/۲۵min	^{۷۹} Sr
۱/۰۷s	^{۹۶} Sr	۱۰۶/۳min	^{۸۰} Sr
۴۲۹ms	^{۹۷} Sr	۲۲/۳min	^{۸۱} Sr
۰/۶۵۳s	^{۹۸} Sr	۲۵/۵۵d	^{۸۲} Sr
۰/۲۶۹s	^{۹۹} Sr	۳۲/۴۱h	^{۸۳} Sr
۲۰۲ms	^{۱۰۰} Sr	پایدار	^{۸۴} Sr
۱۱۸ms	^{۱۰۱} Sr	۶۴/۸۴d	^{۸۵} Sr
۶۹ms	^{۱۰۲} Sr	پایدار	^{۸۶} Sr
۵۰ms	^{۱۰۳} Sr	پایدار	^{۸۷} Sr
۳۰ms	^{۱۰۴} Sr	پایدار	^{۸۸} Sr

۱-۵- ترکیبات استرانسیم

- **کرومات استرانسیم:** کرومات استرانسیم با عملیات ته نشست محلول کرومات قابل حل در آب به همراه یک نمک استرانسیم یا اسید کرومیک با محلول هیدروکسید استرانسیم، ساخته می‌شود. این ترکیب به صورت یک پیگمنت زرد (با قابلیت سمی بودن پایین) و به عنوان پوشش ضد خوردگی برای روی، منیزیم و آلومینیوم استفاده می‌شود. این ماده در هواپیما سازی نیز کاربرد دارد.
- **هگزا فريت استرانسیم:** هگزا فريت استرانسیم با فرمول $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ با ترکیب کردن پودر اکسید آهن و

کربنات استرانسیم و کلسینه کردن مخلوط در ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره دوار تولید می‌شود. محصول مورد نظر پس از خرد شدن توسط یک همزن مخلوط شده و در قالب‌های مخصوص تحت عملیات پرس قرار گرفته و به اشکال مورد نظر تبدیل می‌گردد. هگزا فريت استرانسیم در ساخت موتورهای الکتریکی کوچک به ویژه موتورهای برف پاک کن و شیشه باز کن اتومبیل‌ها به کار می‌رود.

- **هالیدهای استرانسیم:** هالیدهای استرانسیم از واکنش کربنات استرانسیم به همراه اسیدهای عنصر مورد نظر تهیه می‌شوند. این ترکیبات در صنایع دارو سازی به عنوان جانشینی برای دیگر برمیدها و یدیدها استفاده می‌شود. برمید استرانسیم از بلورهای سوزنی سفیدی تشکیل شده که در آب و الکل قابل حل می‌باشد. کلرید استرانسیم مشابه کلرید کلسیم بوده اما در آب حلالیت کمتری دارد. از کلرید استرانسیم در فرمولاسیون خمیر دندان‌ها استفاده می‌شود. فلورید استرانسیم به صورت بلورهای مکعبی شفاف یا پودر سفید رنگ است. این نمک در آب غیر قابل حل است. یدید استرانسیم (STI₂) از بلورهای شفاف تشکیل شده که در هوای معمولی تجزیه می‌شود و در آب قابل حل می‌باشد.
- **نیتрат استرانسیم:** نیترات استرانسیم در حالت غیر آبدار پودری بلوری است. نیترات استرانسیم از واکنش کربنات استرانسیم آسیاب شده به همراه اسید نیتریک به وجود می‌آید. محلول نیتراته تصفیه شده متبلور می‌گردد. سپس عملیات سانتریفیوژ و خشک کردن در خشک کن دوار روی آن صورت می‌گیرد و محصول نهایی پس از دانه‌بندی بسته بندی می‌شود. کاربرد اصلی نیترات استرانسیم در صنایع نظامی در مهمات سازی از قبیل ساخت منورها (به دلیل ایجاد شعله قرمز رنگ) است.
- **اکسید، هیدروکسید و پراکسید استرانسیم:** اکسید استرانسیم پودر سفیدی است. این ماده با حرارت دادن کربنات استرانسیم و کربن در کوره قوس الکتریکی به دست می‌آید. از ترکیب این ماده با آب، هیدروکسید استرانسیم تشکیل می‌شود. هیدروکسید استرانسیم شبیه آهک مرده است ولی در آب حلالیت بیشتری دارد. این ماده در حالت جامد سفید و ریزدانه است. پراکسید استرانسیم پودر سفیدی است که در آب تجزیه می‌شود. این ماده در صنایع دارویی و نظامی کاربرد دارد.
- **تیتانات استرانسیم:** تیتانات استرانسیم یک ماده سرامیکی عایق دی الکتریک بوده که در آب غیر قابل حل است. از کربنات استرانسیم تهیه می‌شود و به شکل صفحات با ضخامت ۵ میلی‌متر به عنوان خازن‌های الکتریکی در دستگاه‌های رایانه، رادیو تلویزیون مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **استات استرانسیم:** استات استرانسیم نمکی بلوری می‌باشد. استات استرانسیم به صورت تتراهیدرات یا پنتاهیدرات متبلور شده و با حرارت دادن آن تجزیه می‌گردد.
- **کربنات استرانسیم:** کربنات استرانسیم به صورت طبیعی با نام استرانسیانیت دیده می‌شود. اهمیت کربنات استرانسیم در این است که برای ساخت اکثر ترکیبات استرانسیم از این ماده استفاده می‌کنند. در جدول (۱-۳) به برخی از ترکیبات استرانسیم و خواص فیزیکی و شیمیایی آنها اشاره گردیده است [۳].

۱-۶- کاربردهای استرانسیم

شیمیدانان در آغاز قرن بیستم دریافتند که استرانسیم برای تصفیه شکر بسیار موثر و مناسب است. به طوری که به میزان

قابل ملاحظه‌ای استخراج شکر را از شیر قند، افزایش می‌دهد. در حال حاضر، استرانسیم در ساخت شیشه تلویزیون‌های رنگی و لامپ‌های کاتدی استفاده می‌گردد. در تولید مگنت‌های هیدروکسید آهن، پالایش روی و برای تولید رنگ در آتش بازی‌ها نیز به کار می‌رود. در صنایع نظامی، ترکیبات مختلف استرانسیم از قبیل نیترات استرانسیم برای ساخت منورها، مهمات ردیاب استفاده می‌شود. تیتانات استرانسیم نمای انکساری بسیار بالایی دارد و پراکندگی نوری آن از الماس نیز بیشتر است که باعث افزایش کاربرد آن در استفاده‌های نوری بصری می‌شود. تیتانات استرانسیم به عنوان خازن الکتریکی در کامپیوتر، رادیو و تلویزیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ساختن لعاب شیشه (برای براق کردن آن)، به جای ترکیبات سمی و زیان آور سرب که حتی فراوانی آن کم است از استرانسیم استفاده می‌شود. همچنین استرانسیم در تصفیه فولاد از گازها و بخارات و ناخالصی‌های زیان آور کمک می‌کند [۱].

در الکترونیک نیز از استرانسیم برای اکسیده کردن کاتد لامپ‌های الکترونی و نیز به عنوان جذب کننده گاز به خصوص برای عایق‌ها استفاده می‌شود از ترکیبات استرانسیم که با فسفر مخلوط شده برای رنگ‌های ساختمانی پایدار استفاده می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استرانسیم-۹۰ به عنوان یک منبع تابشی ذرات بتا (β) ماده سودمندی برای بکارگیری آن در صنعت و پزشکی است به عنوان مثال این رادیوایزوتوپ استرانسیم در سیستم‌های SNAP^۱ به کار می‌رود. این سیستم‌ها در ایستگاه‌های هوایی دور دست، سفینه‌ها، شناورهای راه یاب و مکانهایی که به یک منبع نیروی اتمی با وزن کم و قدرت الکتریکی و هسته‌ای بالا نیاز باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رادیوایزوتوپ، در باتری‌های هسته‌ای موجود در ساختمان موشک‌های فضایی و اقمار مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع باتری‌ها براساس استفاده از انرژی حاصل از آزادی الکترون‌های ^{90}Sr ساخته می‌شود که این انرژی زیاد به الکتریسته تبدیل شده و می‌تواند به مدت ۱۵ تا ۲۵ سال بدون شارژ مجدد کار کند در حال حاضر کارخانه‌های ساعت سازی سوئیس از آن استفاده می‌کنند. مقادیر کنترل شده‌ای از استرانسیم ۹۰ و ۸۹ در درمان بیماری سرطان استخوان به کار می‌رود. علاوه بر این در برخی از داروها به عنوان منبع رادیواکتیو برای رادیوتراپی برخی از سرطان‌ها نیز استفاده می‌شوند.

۱-۷- اثرات زیست محیطی

به طور کلی، ترکیبات استرانسیم غیر سمی شناخته می‌شوند. برای کربنات‌ها خطر خاصی شناخته نشده است. نیترات به عنوان یک ماده اکسید کننده که شرایط احتراق سریع را برای مواد فراهم می‌کند، تحت نظارت قانون قرار گرفته است. استرانسیم به طور طبیعی در بسیاری از بخش‌های محیط زیست مانند سنگ‌ها، خاک، آب و هوا وجود دارد. ترکیبات استرانسیم به آسانی در محیط زیست حرکت می‌کنند زیرا بسیاری از این ترکیبات در آب محلول هستند. استرانسیم به صورت غبار، همیشه و به میزان مشخصی در هوا وجود دارد. میزان استرانسیم موجود در هوا در اثر فعالیت‌های بشری مانند سوختن ذغال و نفت، دارای غباری که حاوی استرانسیم هستند در آبهای سطحی، خاک یا سطح گیاهان ته نشین می‌شوند. ذراتی که ته نشست نکرده‌اند؛ به هنگام ریزش باران یا برف به زمین برمی‌گردند. بنابراین مقدار استرانسیم در خاک یا کف آبهای سطحی افزایش می‌یابد و با استرانسیم موجود مخلوط می‌شود. استرانسیم از طریق خاک و هوازدگی سنگها، وارد آب می‌شود. قسمت عمده استرانسیم موجود در آب به صورت محلول است. اما بخشی از آن هم به صورت معلق می‌باشد که در بعضی جاها باعث

^۱ Systems for Nuclear Auxiliary Power