



چکیده

در این پایان نامه تعیین درجه خلوص آب سنگین با استفاده از شبیه سازی یک کند کننده وهم خط سازنوترون توسط کد MCNP 4C و واکنش $^1_0n + ^2_1H \rightarrow ^3_1H + \gamma$ صورت گرفته است. به این منظور ابتدا اقدام به شبیه سازی یک کند کننده وهم خط ساز نوترون با چشمه Am-Be نموده ایم. این کند کننده نقش بسیار مهمی در تولید نوترون های حرارتی دارد. هر چه انرژی نوترون حرارتی بیشتر باشد سطح مقطع جذب نوترون کمتر است. یک کند کننده نوترون علاوه بر تولید نوترونهای حرارتی باید دارای دز مجاز برای کارکنان باشد. با استفاده از کد محاسباتی MCNP 4C ابتدا ابعاد بهینه، ضخامت حفاظ برای پرتو های گاما، ضخامت مواد جاذب نوترون، فاصله چشمه تا ته حفره خروجی را برای کند کننده وهم خط ساز محاسبه نموده ایم. بعد از این شبیه سازی و تجزیه و تحلیل، نهایتاً کند کننده به شکل مکعب پارافینی به ابعاد $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$ ، ضخامت ماده جذب کننده نوترون (اسید بوریک) 5 cm ، ضخامت ماده حفاظی (سرب) 10 cm ، فاصله چشمه تا ته حفره 3 cm تعیین گردید. بعد از شبیه سازی این کند کننده ما 5 نمونه ظرف حاوی آب سنگین را هر کدام به مدت 6 ساعت در برابر شار نوترون حرارتی قرار داده و طیف گاما و شمارش گاما در بازه انرژی ($2/23 \text{ MeV}$) برای هر نمونه با درجه خلوص متفاوت اندازه گیری گردید. ضریب همبستگی بین شمارش گاما ها و درجه خلوص های متفاوت آب سنگین محاسبه شده است. با استفاده از این منحنی خطی می توان مقدار 2_1H را در نمونه های مجهول تعیین کرد.

مقدمه

از تجزیه و تحلیل بیناب گامای آنی ناشی از گیر اندازی نوترون می توان برای تعیین مقدار نوع ایزوتوپهای موجود در یک نمونه استفاده کرد.

در این روش واکنش در کنار آشکارساز گاما (HPGe) انجام می شود و گاماها می توانند ثابت می گردند. آب سنگین یکی از مواردی است که از طریق بیناب گاماها می تواند ناشی از گیر اندازی نوترون می باشد می تواند درجه خلوص آنرا تعیین کرد. آب سنگین ترکیبی است که در مولکول آن بجای هیدروژن معمولی ایزوتوپ سنگینتر آن یعنی دتریم قرار گرفته است. هیدروژن با جذب نوترون تبدیل به دوترون می گردد و گامایی با انرژی (2.23 MeV) تولید می کند.

آب سنگین با فرمول (D_2O) یک کند کننده و خنک کننده خوب برای راکتورهای (CANDU) می باشد. احتمال جذب نوترون توسط آب سنگین کمتر از آب معمولی است به همین دلیل در راکتورهای با سوخت اورانیوم طبیعی از آب سنگین به عنوان کند کننده و خنک کننده استفاده می شود. وظیفه خنک کننده راکتور، برداشت حرارت تولید شده در راکتور است. درجه خلوص آب سنگین تاثیر بسیار زیادی در بحرانی شدن راکتور با ابعاد کوچکتر دارد. روش های متداول و مرسوم برای اندازه گرفتن میزان درجه خلوص آب سنگین وجود دارد. در این طرح ما با استفاده از روش شبیه سازی کد MCNP 4C² اقدام به طراحی یک کند کننده و هم خط ساز چشمه Am-Be نموده و نمونه ای آب ها تحت بمباران نوترون حرارتی قرار گرفته و گاماها هر نمونه از آب را با درجه خلوص متفاوت شمارش کرده ایم.

فهرست ها

فصل اول: مقدمه

- ۱ - 1 جداسازی ایزوتوپ ۱
- ۱ - 2 دتریم ۱
- ۱ - 3 منابع دتریم ۱
- ۲ - 4 آب سنگین ۲
- ۲ - 4 - 1 خواص فیزیکی آب سنگین ۲
- ۳ - 4 - 1 خواص شیمیائی آب سنگین ۳
- ۳ - 4 - 1 خواص کوانتومی آب سنگین ۳
- ۴ - 5 - 1 فرآیندها و دستگاههای تولید آب سنگین ۴
- ۶ - 5 - 1 تقطیر ۶
- ۹ - 5 - 1 تبادل تک دمایی ۹
- ۹ - 5 - 1 - 1 تبادل تک دمائی بین آب و سولفید هیدروژن ۹
- 10 - 5 - 1 - 2 تبادل دودمائی بین آب و سولفید هیدروژن 10
- 12 - 6 - 1 کاربرد آب سنگین 12
- 14 - 7 - 1 مروری روش هایی که در تعیین درجه خلوص آب سنگین صورت گرفته است 14
- 14 - 7 - 1 اندازه گیری جویباری از میزان تراکم آب سنگین با استفاده از کند سازی نوترونهای میانی ... 14

۱۸ ۲-7-۱ اندازه گیری میران D_2O ستفاده از واکنش هسته ای $^2_1H(n, \alpha)^1_1H$

۲۱ ۳-7-1 استفاده از تبدیلات فوریه برای تعیین درجه خلوص آب سنگین

فصل دوم: واکنش های هسته ای

۲۵ ۱-۲ واکنش های هسته ای

۲۵ ۱-۱-۲ واکنش هسته مرکب

۲۷ ۲-۱-۲ واکنش های مستقیم

۲۸ ۳-۱-۲ واکنش های تشدید

۲۸ ۴-۱-۲ گیر اندازی تابشی

۲۹ ۵-۱-۲ Break-up واکنش

۲۹ ۶-۱-۲ nouck-out واکنش

۳۰ ۲-۲ سطح مقطع

۳۲ ۱-۲-۲ سطح مقطع جذب

۳۳ ۳-۲ واکنش های نوترونی

۳۴ ۱-۳-۲ پراکندگی

۳۵ ۱-۱-۳-۲ پراکندگی کشسان (n,n)

۳۶	..... (n, n') پراکندگی ناکشسان ۲-۱-۳-۲
۳۶	..... جذب نوترون ۲-۳-۲
۳۷	..... (n, γ) 1-2-3-2 گیر اندازی پر تونزا
۳۸	..... ۲-۲-3-۲ گیر اندازی با گسیل ذره باردار
۳۸	..... 4-2 چشمه های نوترون
۳۸	..... (n, α) ۱- 4-2 چشمه های رادیواکتیو
38	..... (Am-Be) ۱-1-4-2 چشمه های آمرسیوم-بریلیوم
39	..... ۲-4-۲ راکتورهای هسته ای
40	..... ۳-4-۲ شتابدهنده های یون و الکترون
۴۰	..... (γ, n) ۴-4-۲ چشمه های رادیواکتیو
۴۰	..... 5-۲ تجزیه و تحلیل طیف های گاما حاصل از واکنش های هسته ای
۴۲	..... ۱-۵-۲ مزایا و معایب روش فعالسازی با نوترون
۴۲	..... ۱-۱-5-۲ مزایا آنالیز به روش فعالسازی نوترون
۴۲	..... ۲-۱-5-۲ معایب آنالیز به روش فعالسازی نوترون
۴۳	..... ۲-5-۲ آنالیز به طریق فعالسازی نوترونی به وسیله اندازه گیری پرتوی گامای تاخیری

۴۴	..... ۳-۵-۲ آنالیز مواد به کمک شمارش گامای آنی تولید شده در فعالسازی نوترون
۴۵	..... ۶-۲ کندکننده های نوترون
۴۵	..... ۱- ۶-۲ کاهش لگاریتم انرژی (ξ)
۴۷	..... ۲- ۶-۲ قدرت کند کنندگی ماکروسکوپی
۴۷	..... ۳-۶-۲ نسبت کند کنندگی

فصل سوم: دز سنجی

۵۳	..... ۱-۳ آشکارساز
۵۳	..... ۲-۳ انواع آشکار ساز پرتو گاما
۵۳	..... ۱-۲-۳ آشکارسازهای سوسوزن
۵۴	..... ۲-۲-۳ عملکرد شمارنده سوسوزن
۵۴	..... ۳-۲-۳ انواع مختلف سوسوزن ها
۵۴	..... ۳-۳ آشکارسازهای نیمه رسانا (نیمه هادی)
۵۵	..... ۱-۳-۳ آشکارسازهای ژرمانیومی
۵۶	..... ۴-۳ اجزاء تشکیل دهنده آشکار ساز ژرمانیومی
۵۸	..... ۵-۳ الکترونیک استفاده شده در آشکار سازهای ژرمانیومی

۶۱	.....۶-۳ مهمترین برتری های آشکارسازهای نیمه رسانا.....
۶۱	.....۷-۳ معرفی آشکارساز مورد استفاده
۶۳	.....۸-۳ فیزیک بهداشت.....
۶۳	.....۸-۳-۱ یونش.....
۶۴	.....۸-۳-۲ یکاهای تابش.....
۶۶	.....۸-۳-۳ اثرات زیست شناختی تابش.....
۶۸	.....۸-۳-۴ دز سنجی.....
۷۱	.....۸-۳-۵ حدود پرتوگیری
۷۳	.....۸-۳-۶ استانداردهای پرتوگیری.....
۷۴	.....۸-۳-۷ حفاظ سازی.....

**فصل چهارم : طراحی کند کننده وهم خط سازبا چشمه آمرسیوم-
بریلیوم Am-Be با استفاده از شبیه سازی به روش مونت کارلو
MCNP 4C**

۷۶	.....۴-۱ تاریخچه مونت کارلو.....
۷۷	.....۴-۲ ویژگی مونت کارلو

79	.....نحوه شبیه سازی یک مسأله و دستورات مورد نیاز توسط کد MCNP 4C
80	.....1-3-4 اجرای برنامه
81	..... 2-3-4 تعریف کارت در MCNP
82	.....3-3-4 فایل ورودی یا INP FIL
82	.....1-3-3-4 هندسه مسأله
84	.....4-3-3-1 کارت تعریف سلول
85	.....4-3-3-2 کارت تعریف سطوح
85	.....4-3-3-2 انتخاب MODE
86	.....4-3-3-3 کارت تعریف چشمه و مشخصات آن
88	.....4-3-3-4 تالی ها
89	.....4-3-3-5 کارت تقسیم بندی انرژی خروجی
90	.....4-3-3-6 کارت تعریف اهمیت سلول
91	.....4-3-3-7 کارت تعریف مواد
91	.....4-3-3-8 تعیین زمان اجرای برنامه (CTME) یا تعداد ذرات شرکت کننده در پرتو دهی (NPS)
92	.....4-4 شبیه سازی کند کننده وهم خط ساز چشمه آمرسیوم - بریلیوم (Am-Be) توسط کد Mcnp 4C
92	.....4-4-1 شبیه سازی چشمه توسط کد Mcnp 4c
96	.....4-5 شبیه سازی کند کننده خطی چشمه آمرسیوم-بریلیوم

۹۶	.....۱-۵-۴ ماده کند کننده
۹۷	.....۲-۵-۴ ماده حفاظ برای کند کننده وهم خط ساز
۹۸	.....۳-۵-۴ جداره کند کننده وهم خط ساز
۹۹	.....۴-۵-۴ ابعاد کند کننده وهم خط ساز
۹۹	.....۵-۵-۴ تعیین فاصله چشمه تا ته حفره
101	.....۶-۴ چیدمان تعیین درجه خلوص آب سنگین با استفاده از واکنش هسته ای $^1_0n + ^2_1H \rightarrow ^3_1H + \gamma$ توسط MCNP کد .....4C

فصل پنجم : نتایج و آنالیز دادها

۱۰۴	.....۱-۵ طیف نگاری
۱۰۴	.....۱-۱-۵ طیف انرژی
۱۰۵	.....۲-۱-۵ طیف انتگرالی
۱۰۵	.....۲-۵ اصول محاسبه سطح خالص زیر پیک
۱۰۸	.....۳-۵ بازده آشکارساز (ε)
۱۰۸	.....۴-۵ کالیبراسیون انرژی
۱۱۱	.....۵-۵ کالیبراسیون بازدهی

- ۱۱۲ ۶-۵ عوامل مؤثر در بازدهی آشکار ساز ژرمانیومی
- ۱۱۲ ۷-۵ بازدهی آشکار ساز بصورت تابعی از انرژی
- ۱۱۳ ۸-۵ روش های اندازه گیری بازدهی آشکار سازی ژرمانیومی
- ۱۱۳ ۹-۵ ضریب همبستگی
- ۱۱۵ ۱۰-۵ نتایج حاصل از تعیین پارامتر های لازم برای ساخت کند کننده
- ۱۱۵ ۱-۱۰-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری های متفاوت برای ابعاد کند کننده
- ۱۱۹ ۲-۱۰-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری های متفاوت برای ضخامت اسید بوریک
- ۱۲۰ ۳-۱۰-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری های متفاوت برای ضخامت سرب
- ۴-۱۰-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری های متفاوت برای فاصله چشمه تا امتداد حفره..
- ۱۲۳ خروجی
- ۱۲۷ 5-۱۰-۵ نتیجه بهینه پارامترهای بدست آمده برای کند کننده وهم خط ساز نوترون
- ۱۲۷ ۶-۱۰-۵ نتایج حاصل از نمونه گذاری آب سنگین در برابر شار نوترون حرارتی
- ۱۲۸ ۱-6-۱۰-۵ طیف نگاری نمونه های آب سنگین بدرجه خلوص متفاوت در برابر شار نوترون حرارتی...
- ۱۳۱ ۱-۱-۶-۱۰-۵ ضریب همبستگی بین درجه خلوص های متفاوت آب سنگین وگاماهاى شمارش شده
- ۱۳۲ ۱۱-۵ نتیجه گیری

- II پیوست الف : برنامه نوشته شده توسط کد MCNP 4C برای شبیه سازی کند کننده
- VI پیوست ب : محاسبه قدرت کند کنندگی و نسبت کند کنندگی برای پارافین ($C_{25}H_{52}$)
- VII پیوست ج : هندسه خروجی برنامه MCNP 4C برای شبیه سازی کند کننده و هم خط ساز

فصل اول

مقدمه

آب سنگین ترکیبی است که در مولکول آن به جای هیدروژن معمولی ایزوتوپ سنگینتر آن یعنی دتریم قرار گرفته است. خواص فیزیکی و شیمیایی این آب با آب سبک متفاوت است. از آب سنگین در راکتور ها به عنوان کند کننده و خنک کننده استفاده می شود. روشهای متداول و مرسوم برای اندازه گرفتن میزان درجه خلوص آب سنگین وجود دارد که در این فصل به طور اجمال به مطالعه روش های تعیین درجه خلوص آب سنگین پرداخته می شود.

1-1 جداسازی ایزوتوپ ها

برای تعیین جرم ایزوتوپها و فراوانی نسبی آنها در یک عنصر باید بتوا نیم ایزوتوپها را به کمک جرمشان از یکدیگر جدا کنیم. اگر مقصود فقط جداسازی ایزوتوپها از یکدیگر باشد به دستگاههایی با حساسیت فوق العاده زیاد نیاز نیست. اختلاف جرم ایزوتوپهای مجاور در هسته های متوسط در حدود ۱٪ است. برای اندازه گیری جرم با مرتبه دقت 10^{-6} به دستگاه های پیچیده تری که طیف سنج جرمی نامیده می شوند نیاز داریم. ایزوتوپهای جدا شده نه تنها در فیزیک هسته ای بلکه در زمینه های دیگری مانند شیمی با زیست شناسی نیز کاربرد دارد.

1-2 دتریم 2_1H

گونه ای از ایزوتوپ پایدار هیدروژن می باشد که هسته آن دارای ۱ پروتون و ۱ نوترون است و به آن هیدروژن سنگین نیز اطلاق می شود. این ایزوتوپ به هنگام تشکیل گامایی بانرژی (2/23MeV) ساطع می کند. فراوانی ایزوتوپی آن در طبیعت نسبت ۱ به ۶۴۰۰ از اتمهای هیدروژن است [۱].

1-3 منابع دتریم

بهترین منبع دتریم آب طبیعی است. نفت خام و گاز طبیعی نیز از دیگر منابع دتریم می باشند اما هیچ روش اقتصادی برای استخراج مستقیم دتریم از نفت خام و گاز طبیعی وجود ندارد. برای این کار ابتدا باید این مواد از طریق فرایندهای شیمیائی به مواد دیگر تبدیل شوند. از هیدروژن صنعتی و گاز سنتزی آمونیاک تولید شده از طریق تبدیل شیمیائی گاز طبیعی و نفت خام می توان به عنوان منابع دتریم استفاده کرد اما مقدار آب سنگینی که از این منابع صنعتی به دست می آید در مقایسه با نیاز راکتورها بسیار کم است. یک دستگاه بزرگ تولید کننده ۱۰۰۰ تن آمونیاک سنتزی در روز فقط حدود 7/5 تن آب سنگین در سال تولید می کند که این مقدار در مقایسه با ۵۰۰ تن آب سنگین که یک نیروگاه هسته ای آب سنگین با قدرت $600^1(MWe)$ برای شارژ اولیه نیاز دارد بسیار کم است [۱].

بر خلاف سایر عناصر، فراوانی ترکیب های هیدروژن از نظر منابع مختلف به خصوص آب در طبیعت بسیار زیاد می باشد. این مسئله باعث شده است تا در کشور های مختلف از آب موجود در طبیعت برای تولید آب سنگین استفاده کنند. به علت تغییراتی که هنگام تبخیر آب در سطح زمین یا دریا و هنگام چگالیده شدن آب از هوا رخ می دهد مقدار دتریم موجود در آب طبیعی بسته به مکان و زمان متغیر است. مقدار دتریم آب طبیعی در مناطق مختلف نسبت به

فصل اول : مقدمه

نمونه های آب استاندارد توسط تعدادی از محققین تعیین شده است. برخی از این مقادیر در جدول (۱-۱) آمده است [۱].

۱-۴ آب سنگین

آب سنگین با فرمول (D_2O) بر خلاف آب معمولی (H_2O) به جای هیدروژن سبک ایزوتوپ سنگینتر آن به نام دتریم 2_1H جایگزین شده است. به آب سنگین واژه اکسید هیدروژن سنگین نیز اطلاق می شود. اگر در اکسید هیدروژن تنها یکی از اتمهای هیدروژن با ایزوتوپ دتریم جایگزین شود (HDO) تولید شده که به آن آب نیمه سنگین گفته می شود [۱].

آبی که حاوی ۵۰ درصد آب سبک و آب سنگین باشد در موازنه شیمیائی در حدود ۵۰ درصد آب (HDO) و ۲۵ درصد (H_2O) و ۲۵ درصد (D_2O) خواهد بود [۱].

جدول (۱-۱) حجم دتریم آب طبیعی نسبت به نمونه های آب استاندارد [۶]

استاندارد شامل 148ppm ^۱	اختلاف درصدبا استاندارد	اتم دتریم ppm	استاندارد شامل 156ppm	اختلاف درصدبا استاندارد	اتم دتریم ppm
اقیانوس اطلس در استوا	5/41	156/0	رودخانه نیگارا	-5/3	148/3
رودخانه می سی سی پی	0/39	148/5	دریای سرخ	1/42	158/8
سواحل غربی گرینلند	2/42	151/6	رود نیل، سودان	4/22	163/2

۱-۴-۱ خواص فیزیکی آب سنگین

آب سنگین ماده ای بی رنگ، بی بو است که از لحاظ خواص فیزیکی تفاوت های با آب معمولی دارد. یکی از این تفاوت ها چگالی بیشتر آب سنگین نسبت به آب سبک می باشد. با توجه به جانشینی D به جای H در آب سنگین، انرژی پیوندی اکسیژن - هیدروژن در آب تغییر می کند. [۲].

فصل اول : مقدمه

۲-4-۱ خواص شیمیائی آب سنگین

یکی از تفاوت ها آب سنگین نسبت به آب سبک جرم مولکولی آن است. جرم مولکولی آب سنگین ۲۰ و جرم مولکولی آب سبک ۱۸ می باشد. آب سنگین به علت بیشتر بودن جرم مولی در دمای بالاتر از آب معمولی می جوشد. با کنترل گرما در نقطه جوش آب معمولی، آب سبک تبدیل به بخار شده و از آب سنگین جدا می شود. درجه جوش D_2O تنها $0/7C^0$ (سانتیگراد) با آب سبک تفاوت دارد. در جدول (۲-۱) برخی از ویژگی های آب سنگین و آب سبک درج شده است [۲].

۳-4-۱ خواص کوانتومی آب سنگین

بر پایه تحقیقات انجام شده خواص کوانتومی آب سنگین و آب سبک متفاوت بوده و به شرح زیر می باشند :

۱- زنجیره مولکولی OH در H_2O بزرگتر از زنجیره مولکولی OD در D_2O بوده و طول پیوند $0/03 A^0$ OH بیشتر از طول پیوند در OD است.

۲- نوار بین مولکولی که متصل کننده دو مولکول جدا از هم می باشد در H_2O نسبت به D_2O کوتاهتر بوده و همچنین پیک جذبی مادون قرمز OH در H_2O نسبت به OD در D_2O متقارنتر است. اگر چه فاصله بین اتم های هیدروژن در مولکول های همسایه در H_2O تنها $0/03A^0$ نسبت به D_2O بلندتر است اما تعداد نوارهای هیدروژن در هر مولکول آب در H_2O نسبت به D_2O کمتر می باشد. تفاوت ساختاری این دو ناشی از پهن بودن ساختار H_2O و باریک بودن ساختار D_2O است [۳].

جدول (۲-۱) ویژگی های آب سنگین و آب سبک [۴]

نوع آب	دمای جوش (C^0)	دمای انجماد (C^0)	چگالی $20(C^0)$ ($\frac{g}{cm^3}$)	چگالی $25(C^0)$ ($\frac{g}{cm^3}$)	چگالی $0(C^0)$ ($\frac{g}{cm^3}$)
آب سنگین (D_2O)	101/42	3/8	1/105	۱/۱۰۴	۱/۱۰۴
آب سبک (H_2O)	100	0	0/۹۹۸	0/۹۹۹	0/۹۹۹
یخ (D_2O)					1/017
یخ (H_2O)					0/۹۸۲

5-1 فرآیندها و دستگاههای تولید آب سنگین

تقریباً تمام دستگاه های تولید دتریم به شکل آب سنگین با توان تولید یک تن در سال یا بیشتر در جدول (۱ - ۳) لیست شده است.

نظر های کلی زیر در مورد این دستگاهها و فرآیندهای ممکن طرح می شود :

۱- دستگاه هائی که برای تغلیظ اولیه با استفاده از تقطیر (WD)^۱ و یا روش دو دمائی آب و سولفید هیدروژن استفاده می کنند تنها تولیدشان آب سنگین است.

۲- سایر دستگاه ها که برای تغلیظ اولیه از الکترولیز آب (WE)^۲، تبادل سولفید- هیدروژن

(SH)^۳، تقطیر گاز سنتزی (SD)^۴ تقطیر هیدروژن (HD)^۵، از دستگاه سنتز آمونیاک استفاده

می کنند، آب سنگین محصول فرعی این دستگاه ها به شمار می آید.

۳- مقدار نسبی غلیظ سازی برای هر کدام از روش های تغلیظ اولیه از سال ۱۹۷۵ به بعد چنین گزارش شده است [۵].

فرآیند سولفید هیدروژن - آب ۹۰ درصد.

الکترولیز آب و تبادل بخار - هیدروژن ، ۶ درصد.

تقطیر هیدروژن و گاز سنتزی ، ۲ درصد.

تبادل هیدروژن - آمونیاک ، ۱ درصد.

تقطیر آب ۰/۳ درصد [5].

کوچکترین جزء دستگاه جداسازی ایزوتوپ ها که حاصلش مقداری جداسازی باشد واحد جدا

سازی نامیده می گردد. یک سینی در ستون تقطیر و یا یک سلول الکترولیتی هر کدام یک

واحد جدا سازی می باشند. گروهی از واحدهای جدا سازی که به صورت موازی با هم در

ارتباطند و با ترکیب یکسان تغذیه می گردند و محصولی با ترکیب یکسان تولید می کنند به

عنوان یک مرحله شناخته می شوند. در بعضی موارد از یک واحد به عنوان یک مرحله نیز

استفاده می گردد مانند یک سینی در یک ستون سینی حبابی. در برخی از روش های جدا

سازی، واحد ها دارای ظرفیت کمی هستند و لازم است که از تعدادی واحد به صورت موازی

استفاده شود [۵].

هنگامی که درجه جدا شدگی در طی یک مرحله کمتر از درجه جدا شدگی مطلوب باشد

اتصال مراحل به صورت سری می باشد. به گروهی از مراحل که به صورت سری با هم مرتبط

باشند یک آبشار^۶ گفته می شود مانند یک ستون کامل تقطیر [۵]

1- Water Distilation

2- Water Electroliz

3-Sulfide Hidrogen

4 - Sulfide Distilation

5 -Hidrogen Distilation

6- Cascade

فصل اول : مقدمه

جدول (۳-۱) تمام دستگاه های تولید دتریم به شکل آب سنگین با توان تولید یک تن در سال یا بیشتر [۵].

Site, country	Designer, owner†	Start, shutdown	Most recent capacity, MT/yr	Concentrati processes; primary, final‡
1. Rjukan & Glomfjord, Norway	Norsk Hydro, Norsk Hydro	1934, Oper.	12	WE + SH, WD
2. Morgantown, W.Va., United States	du Pont, Man. Dist.	1943, 1945	3	WD WE
3. Childersburg, Ala., United States	du Pont, Man. Dist.	1943, 1945	5	WD, WE
4. Dana, Ind., United States	du Pont, Man. Dist.	1943, 1945	8	WD, WE
5. Trail, B.C., Canada	Man. Dist., Cominco	1944, 1956	6	WE + SH, WE
6. Dana, Ind., United States	du Pont, U.S. AEC	1952, 1958	490	GS, WD, WE
7. Savannah River, S.C., United States	du Pont, U.S. DOE	1952, Oper.	Originally 480, reduced to 69	GS, WD
8. Hoechst, Germany	Linde, Farbwerke Hoechst	1952, 1960	6	SD, HD
9. Toulouse, France	Air Liquide, ONIA	1958, 1960	2	SD, FD
10. Domat Ems, Switzerland	Sulzer, Emser Werke	1960, 1967	2	WE + HD, WD
11. Nangal, India	Linde, DAE	1962, Oper.	14	WE, HD
12. Mazingarbe, France	Sulzer- Air-Liquide, SCC	1968, 1972	26	AH1 AD
13. Port Hawkesbury, Canada	Lummus, AECL	1970, Oper.	400	GS, WD
14. Bruce A, Canada	Lummus, Ont. Hydro	1973, Oper.	800	GS, WD
15. Glace Bay, Canada	Canatom, AECL	1976, Oper.	400	GS, WD
16. Baroda, India	GELPRA, DAE	1979 [§]	67	AH1, AH1
17. Kota, India	DAE, DAE	1980 [§]	100	GS, WD
18. Tuticorin, India	GELPRA, DAE	1979 [§]	71	AH1, AH1
19. Talcher, India	Uhde, DAE	1979 [§]	63	AH2 WE
20. Bruce B, Canada	Lummus, Ont. Hydro	1979	800	GS WD
21. La Prade, Canada	Canatom, AECL	Planned	800	GS, WD
22. Bruce D, Canada	Lummus, Ont. Hydro	Planned	800	GS, WD