

## کاربرد های ایزوتوپ های لیتیم و روش های جداسازی آنها

محمد رضا کوثری<sup>۱\*</sup>، محمد اتوکش<sup>۲</sup>، سید جواد احمدی<sup>۳</sup>، جواد رفیعی<sup>۴</sup>، علی امینیان<sup>۵</sup>

۱-۲- دانشگاه صنعتی شریف-دانشکده مهندسی انرژی

۳،۴،۵- سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای

\*آدرس پست الکترونیکی مولف رابط: MohammadrezaKosary@gmail.com

لیتیم بطور طبیعی متشکل از ۲ ایزوتوپ پایدار  ${}^6\text{Li}$  و  ${}^7\text{Li}$  است که درصد فراوانی  ${}^6\text{Li}$  برابر ۷.۵۳٪ می باشد. لیتیم و ایزوتوپهای آن دارای کاربرد های متعددی در علوم و صنایع مختلف هستند. از  ${}^6\text{Li}$  برای تولید تریتم استفاده می شود که به عنوان خوراک در راکتورهای گداخت مورد استفاده قرار می گیرد. از  ${}^7\text{Li}$  به فرم  $\text{LiOH}$  برای تنظیم PH سیال خنک کننده در راکتورهای آب سبک و نیز به عنوان ترکیب ضد خوردگی در راکتور های شکافت بکار می رود. در تحقیق حاضر در ضمن بیان روش های جداسازی ایزوتوپ های لیتیم، جداسازی این ایزوتوپ ها با روش الکترولیز مورد آزمایش قرار گرفته که در نهایت فاکتور جداسازی بهینه گردیده است.

**کلمات کلیدی: ایزوتوپ های لیتیم- جداسازی ایزوتوپ- فاکتور جداسازی- لیتیم**

### ۱. مقدمه

لیتیم دارای ۲ ایزوتوپ پایدار  ${}^6\text{Li}$  و  ${}^7\text{Li}$  است که درصد فراوانی  ${}^6\text{Li}$  برابر ۷.۵۳٪ می باشد [1]. ایزوتوپهای لیتیم نسبتا کمیاب هستند و در آب دریا، شورابه ها و برخی انواع صخره ها وجود دارند [2]. هرچند که غلظت لیتیم پوسته زمین اندک است اما اهمیت آن در فرآیند های هسته ای، محیطی و زمین شناسی آشکار گردیده است [3]. در مورد نسبت  ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ ، این ایزوتوپ ها اطلاعات ارزشمندی را در مورد مسیر آب های جاری روی زمین و تغییرات گسترده در سیستم زمینی ارائه می دهند [4].

منابع قابل توجه و شناخته شده لیتیم بر روی زمین شیلی، آرژانتین، تبت، چین، ایالت نوادای آمریکا و بولیوی می باشد. اخیرا معدن بزرگی به فرم شورابه ای با ترکیب نوعی لیتیم کلرید در افغانستان نیز یافت شده است. این در حالیست که منابع بولیوی که معدن شناسان میزان ذخایرش را برابر با ذخایر افغانستان تخمین می زنند، هنوز مورد بهره برداری واقع نشده اند.

لیتیم نیروی کششی زیادی دارد، بخاطر وزن سبک خود، گزینه بسیار مناسبی برای باتری های کم وزن و پراثری می باشد. لیتیم همراه با سرب آلیاژی را تولید می کند که در ساختن بلبرینگ چرخهای قطار بکار گرفته می شود. لیتیم حتی در صنایع داروسازی مورد مصرف دارد. آلیاژی از لیتیم و آلومینیوم هم اکنون در صنایع هواپیما سازی بکار گرفته می شود که سبک، قابل انعطاف و همزمان محکم و مقاوم است.

از جمله کاربردهای لیتیم و ترکیب های آن می توان به استفاده در شیشه و سرامیک پایدار در برابر گرما و آلیاژهای دارای مقاومت بالا نسبت به وزن آنها، که در فضاپیماها به کار می روند، اشاره کرد.

لیتیم یکی از اجزاء مهم در باطری های قابل شارژ است که در تلفن های همراه، رایانه های دستی و اتومبیل های برقی مورد استفاده قرار می گیرد. صنایع تولیدی باتری های لیتیم و باتری های لیتیم-یون بیش از نیمی از لیتیم مصرفی صنایع را از آن خود می کنند.

با این همه در مورد مصرف لیتیم هم در صنایع و همچنین در داروسازی توجه به یک نکته بسیار مهم می باشد، آن هم تذکر این نکته است که مرز میان سودمند بودن این ماده و سمی بودنش برای انسان و محیط زیست بسیار بسیار نازک و شکننده است.



لیتیم همچنین یکی از عناصر کاربردی و مهم برای مصرف صنایع هسته ای می باشد به گونه ای که در این صنعت توجه ویژه ای به ایزوتوپ  ${}^6\text{Li}$  معطوف می باشد. سطح مقطع جذب برای  ${}^7\text{Li}$  در ناحیه نوترون های حرارتی در حدود 37 mbarn و برای  ${}^6\text{Li}$  سطح مقطع جذب نوترونی بالا برابر 940 barn در همین ناحیه است [5]. ترکیبات  ${}^6\text{Li}$  برای تولید تریتم در روکش راکتورهای گداخت هسته ای با سوخت دوتریوم-تریتم (DT) به کار می رود [6]. تریتم حاصله در تشخیص بیماریهایی از جمله تالاسمی استفاده می گردد. ترکیب  ${}^6\text{LiD}$  به عنوان سوخت در راکتورهای گداخت هسته ای که با روش محصورسازی اینرسی لیزری کار می کنند، کاربرد دارد. لیتیم غنی شده به فرم  ${}^7\text{LiOH}$  برای تنظیم pH سیال خنک کننده در راکتورهای آب سبک و نیز به عنوان ترکیب ضد خوردگی در راکتورهای شکافت بکار می رود. از  ${}^7\text{Li}$  در راکتورهای زاینده<sup>1</sup> استفاده می شود. از این جهت تولید و غنی سازی ایزوتوپ های لیتیم خصوصاً ایزوتوپ  ${}^6\text{Li}$  بسیار مهم تلقی می گردد.

## 2. پارامترهای مهم در جداسازی ایزوتوپی

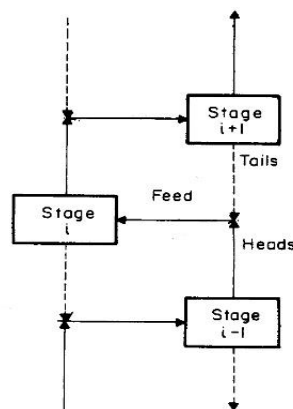
با توجه به کاربرد ایزوتوپ های لیتیم در صنعت هسته ای و صنایع دیگر، لیتیم به عنوان یک هدف کلی در جداسازی ایزوتوپی مورد بحث می باشد. مهمترین پارامترهای موجود در جداسازی ایزوتوپی عبارتند از:

1. فاکتور جداسازی. فاکتور جداسازی نشان دهنده میزان قابلیت غنی سازی یک مرحله می باشد. فاکتور جداسازی برای یک مرحله به صورت زیر تعریف می شود:

$$\alpha = (\text{Li}^6/\text{Li}^7)_{\text{Enrich}} / (\text{Li}^6/\text{Li}^7)_{\text{Tails}} \quad (1)$$

که در آن صورت کسر نسبت مولی ایزوتوپ لیتیم 6 به لیتیم 7 در محصول غنی شده و مخرج کسر نسبت مولی ایزوتوپ لیتیم 6 به لیتیم 7 در جریان تهی شده است و  $\alpha$  فاکتور جداسازی می باشد.

2. تعداد مراحل غنی سازی. برای یافتن تعداد مراحل جداسازی، از یک مجموعه ایده آل که آبشار جداسازی<sup>2</sup> نامیده می شود، استفاده می کنیم. در شکل 1 شمای کلی یک آبشار جداسازی به صورت مقطعی نمایش داده شده است.



شکل 1- آبشار جداسازی

در اغلب فرآیندهای غنی سازی در هر مرحله از جداسازی با توجه به کوچک بودن میزان فاکتور جداسازی تنها تفاوت اندکی در ترکیب



ایزوتوپی بدست می آید. لذا برای افزایش غنا بایستی فرآیند در تعداد مراحل زیادی به صورت آبشاری انجام گیرد. تعداد مراحل غنی سازی یک مجموعه جداسازی در یک آبشار با رابطه زیر داده می شود:

$$N_E = 2 \ln(y_P(1-z_F)/z_F(1-y_P)) / \ln \alpha \quad (2)$$

که در آن  $N_E$  تعداد مراحل غنی سازی،  $z_F$  ترکیب درصد ایزوتوپی خوراک،  $y_P$  ترکیب درصد ایزوتوپی محصول غنی شده و  $\alpha$  فاکتور جداسازی می باشد.

### 3. روش های جداسازی

از جمله روش هایی که برای جداسازی ایزوتوپ های لیتیم به کار می رود می توان به روش های جداسازی الکترومغناطیسی<sup>1</sup>، تبادل شیمیایی<sup>2</sup>، لیزر<sup>3</sup>، الکترولیز<sup>4</sup>، تقطیر<sup>5</sup>، دیفیوژن حرارتی<sup>6</sup> و تبادل یونی<sup>7</sup> اشاره کرد.

1. جداسازی الکترومغناطیسی. در این روش با استفاده از یک میدان مغناطیسی بسیار قوی که معمولاً توسط آهنربا های قوی ایجاد می شود، ایزوتوپهای سبک و سنگین موجود در جریانی از یونهای کم انرژی بر مبنای اختلاف در مسیر شعاعی ایزوتوپ ها - که از اختلاف دانسیته آنها ناشی می شود- از یکدیگر جدا می شوند [7].

2. تبادل شیمیایی. در این روش 2 فاز، یکی محلول خوراک حاوی لیتیم و دیگری سیال جیوه در جهت مخالف همدیگر جریان دارند که  $Li^6$  از فاز خوراک به فاز جیوه وارد شده و درصد ایزوتوپی آن در فاز آمالگام نسبت به خوراک افزایش می یابد. انتقال فاز با احیای الکتروشیمیایی لیتیم روی سطح الکترود و تشکیل آمالگام انجام می گیرد. سپس تبادل بین جیوه و محلول محصول در ستون تبادل ایزوتوپی صورت می گیرد. بهترین سیستمی که عنصر لیتیم در دو فاز، دو فرم اکسیداسیون متفاوت دارد فرایند  $Colex^2$  است که در آن یکی از فازها به صورت آمالگام لیتیم است [8,9].

3. لیزر. یکی از روش های جدید در جداسازی ایزوتوپی محسوب می شود. مهمترین ویژگی آن دسترسی به گزینش پذیری بالا در یک مرحله است. یکی از رایج ترین روش های جداسازی با لیزر، روش Two-Step Selective Photoionization است [10,11]. از این روش لیزر نیز برای جداسازی ایزوتوپهای لیتیم استفاده شده است.

4. الکترولیز. به طور کلی روش الکترولیز یک روش مناسب برای جداسازی ایزوتوپهای با وزن اتمی پایین می باشد که با افزایش عدد اتمی از کارایی آن کاسته می شود. برای جداسازی ایزوتوپهای لیتیم با استفاده از روش الکترولیز آمالگام، از یک بستر جیوه ای به عنوان کاتد و از آندهایی از جنس تیتانیوم، به طور معمول استفاده می شود. در اثر الکترولیز، یون های  $Li^6$  در سطح کاتد جیوه ای احیا شده و با جیوه تشکیل ملقمه می دهند. ملقمه خروجی از سل الکترولیز، در اثر تماس با آب در دکامپوزر به فرم لیتیم هیدروکسید تبدیل شده که اندکی از  $Li^6$  غنی گردیده است.

5. تقطیر. تقطیر می تواند یکی از روش های موثر در جداسازی ایزوتوپی برخی عناصر باشد [12,13]. در این فرآیند ایزوتوپ های سبکتر سریعتر از ایزوتوپ های سنگین تر تبخیر می شوند و هیچ یک از ترکیبات لیتیم در دمای معمولی نمی تواند به فرم مایع باشد. لذا این روش در محدوده دماهای بالا قابل اجرا است که به دلیل استفاده از دمای بالا این روش چندان مقرون به صرفه نیست.

6. دیفیوژن حرارتی. این روش برای سیستمهای گاز و یا مایع کاربرد دارد. در این روش بر اثر وجود گرادیان دما در یک سیال ایزوتوپ سبک تر تمایل به حضور در نواحی گرمتر و ایزوتوپ سنگین تر در نواحی سرد تر تجمع می یابد [14,15]. در این روش مهمترین محدودیت عملی نرخ پایین تولید محصول در مقابل مصرف انرژی بالای آن است [16].



7. تبادل یونی. یکی از مناسبترین راهها برای جداسازی دو ایزوتوپ استفاده از تفاوت آنها در توزیع میان دو فاز مختلف جامد-مایع و یا مایع-مایع (مخلوط نشدنی) می باشد. این فرایند برای عنصرهای سبکتر بواسطه بزرگتر بودن اختلاف مذکور مناسبتر است. [17,18]. در مورد ایزوتوپهای لیتیم، هنگامی که بین مایع های مخلوط نشدنی توزیع می گردند، به دلیل داشتن تفاوت کمی که در حلال پوشی با یکدیگر دارند، هر یک به دو فاز مختلف گرایش دارند. بهترین فاکتور جداسازی در استفاده از پلی کرون اترهای حلقوی گزارش شده است. روشی که در مقیاس صنعتی برای جداسازی ایزوتوپی لیتیم به کار می رود روش آمالگام می باشد که به دو دسته روش تبادل شیمیایی (Colex) و الکترولیز (Elex) تقسیم می گردد [19]. که روش اول خودش نیازمند استفاده از سیستم الکترولیز اولیه می باشد. از آنجایی که به دلایل اقتصادی و میزان غناسازی، روش های ذکر شده راندمان کمی دارند، از این رو به بررسی دقیق روش الکترولیز می پردازیم و فاز اجرا را نیز همین روش در بر می گیرد.

#### 4. روش الکترولیز

این قسمت شامل دو بخش زیر می باشد:

##### 1.4.1. آزمایش

آزمایش حاضر از 4 بخش تشکیل شده، که عبارتند از:

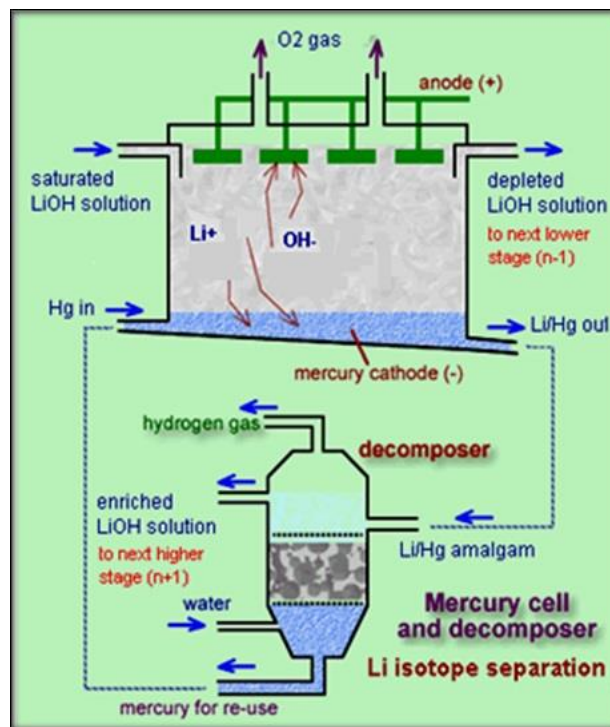
1. مواد شیمیایی. شامل جیوه، لیتیم هیدروکسید آبدار (Merck, min. 98%) و نیز سولفوریک اسید برای شستشوی جیوه، کلریدریک اسید و معرف آبی تیمول برای عملیات غلظت سنجی می باشند.
  2. الکترولیز. فرآیند الکترولیز در محدوده وسیعی از پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. در هر آزمایش نوسانات کوچکی بر روی ولتاژ 2 سر آند و کاتد وجود داشت. آزمایش ها در دمای آزمایشگاه (25 C) انجام شده اند.
  3. آنالیز. آنالیز نمونه ها به دو صورت اندازه گیری غلظت آنالیز شیمیایی) و اندازه گیری نسبت ایزوتوپی آنالیز  ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$  (آنالیز ایزوتوپی یا جرمی) انجام می گیرد.
  - 3.1. آنالیز شیمیایی. میزان راندمان به صورت نسبت واقعی لیتیم احیا شده به میزان تئوری آن محاسبه می شود. به وسیله تیتراسیون لیتیم هیدروکسید جریان غنی شده با اسید کلریدریک استاندارد، میزان واقعی لیتیم احیا شده بدست آمده و برای بدست آوردن میزان لیتیم احیا شده به صورت تئوری از قانون فارادی (رابطه 6) استفاده می شود.
- $$\text{Yield} = (I \cdot t \cdot M_w) / 96500 \quad (6)$$
- که در آن I آمپر جریان، t میزان زمان الکترولیز و  $M_w$  وزن ملکولی لیتیم می باشد.
- 2.3. آنالیز جرمی. برای آنالیز کردن نمونه ها به صورت جرمی و بدست آوردن نسبت ایزوتوپی از آنالیز ICP-MS (پلاسمای جفت شده القایی) استفاده می شود [20].

##### 2.4. فرآیند

در روش الکترولیز آمالگام (ملمقه) از سل الکترولیزی که کاتد آن جیوه بوده و جیوه بصورت پیوسته در حال جریان (ورود و خروج به سل) است، استفاده می شود. در اثر الکترولیز، یون  $\text{Li}^+$  در سطح کاتد (جیوه) احیاء شده و بلافاصله با جیوه تشکیل ملمقه می دهد. ملمقه حاصل که نسبت به  ${}^6\text{Li}$  غنی شده است از سل الکترولیز خارج شده و در اثر تماس با آب در دکامپوزر به ترکیب  $\text{LiOH}$  تبدیل شده و گاز  $\text{H}_2$  آزاد می گردد، جیوه حاصل نیز توسط پمپ به ورودی سل الکترولیز برگشت داده می شود. محلول  $\text{LiOH}$  تولید شده سپس وارد سل بعدی می شود و دوباره الکترولیز



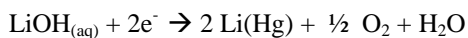
شده و غنای  ${}^6\text{Li}$  بالاتر می رود. دلیل تمایل بیشتر یون  ${}^6\text{Li}^+$  به احیاء را به تحرک (mobility) بالاتر این ایزوتوپ نسبت به  ${}^7\text{Li}^+$  و نیز تمایل بالاتر آن به تشکیل ملقمه با جیوه می دانند. شکل 2 شمایی از این فرآیند را به خوبی نشان می دهد. در شکل 3 شمایی از یک آبشار غنی سازی آورده شده است.



شکل 2- فرآیند الکترولیز

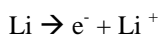
در تحقیق حاضر، با استفاده از روش الکترولیز آمالگام و استفاده از محلول الکترولیت لیتیم هیدروکسید و زمان الکترولیز کوتاه (چند ساعت) تغییر ایجاد شده در ترکیب ایزوتوپی الکترولیت ناچیز بوده، که می توان آن را توسط فرمول (1) بیان کرد.

واکنش کلی در حین فرآیند به صورت زیر است:



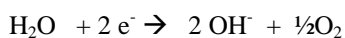
(3)

واکنش در کاتد



(4)

واکنش در آنود

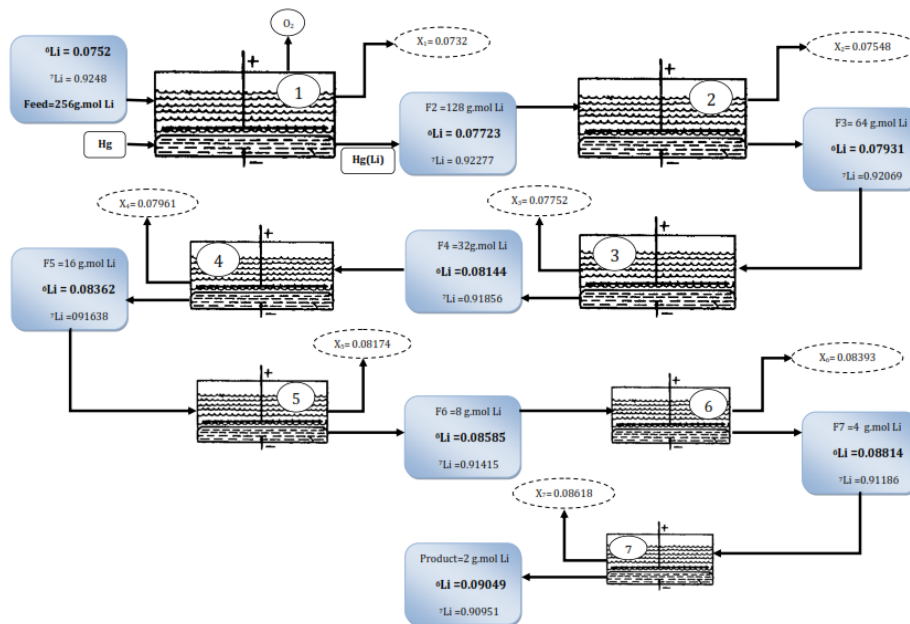


(5)

واکنش در دکامپوزر



(6)



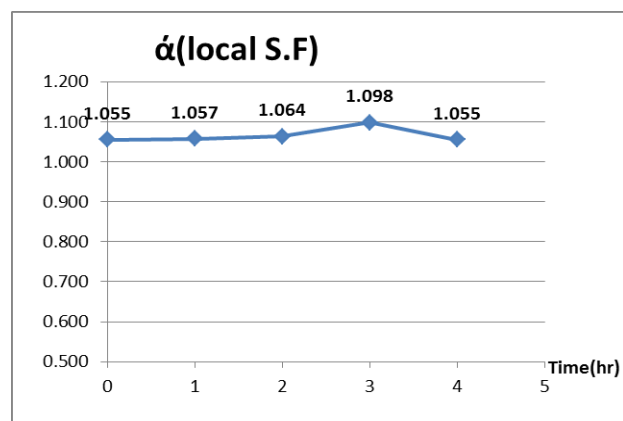
شکل 3- شمای کلی یک آبشار جداسازی ساده از فرآیند الکترولیز برای جداسازی ایزوتوپی لیتیم

در این آزمایش فقط یک مرحله از این آبشار مورد بررسی قرار گرفته است.

### 5. بحث

فاکتور جداسازی. هر چند که فاکتور جداسازی برای جداسازی ایزوتوپی لیتیم دارای یک مقدار ماگزیمم ( $1 < \alpha$ ) می باشد و به طراحی دستگاه بستگی دارد، اگر بتوان با تغییر پارامترهای آزمایش این فاکتور را بهینه کرد و در مقدار ماگزیمم نگه داشت می توان انرژی مصرفی یک آبشار غنی سازی را بهینه کرد. برای یک مرحله جداسازی 3 فاکتور جداسازی تعریف می شود: فاکتور جداسازی ( $\alpha$ )، فاکتور جداسازی بالادست ( $\beta$ ) و فاکتور جداسازی پایین دست ( $\gamma$ ).

در شکل 4 میزان فاکتور جداسازی ( $\alpha$ ) به صورت تابعی از زمان رسم شده است.

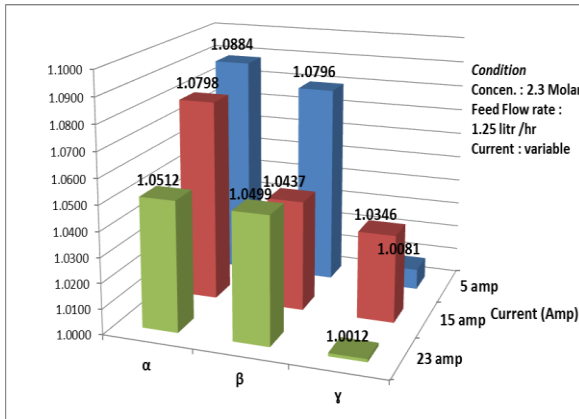


شکل 4.

فاکتور جداسازی محلی بر حسب زمان  
شرایط: دبی خوراک: 1.25 لیتر بر ساعت،  
آمپر جریان: 15، غلظت خوراک: 2.3 مولار

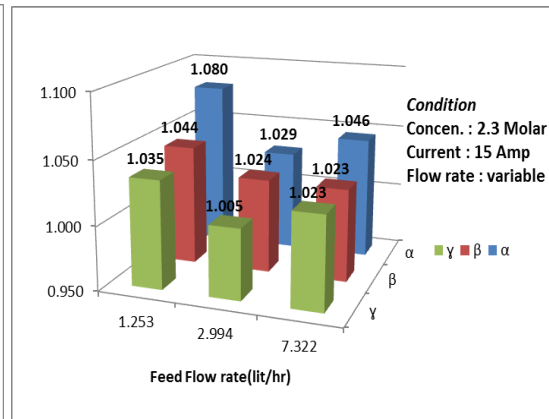


شکل های 5، 6 و 7 میزان فاکتور جداسازی را نسبت به آمپر جریان، دبی خوراک و غلظت خوراک نشان می دهد.



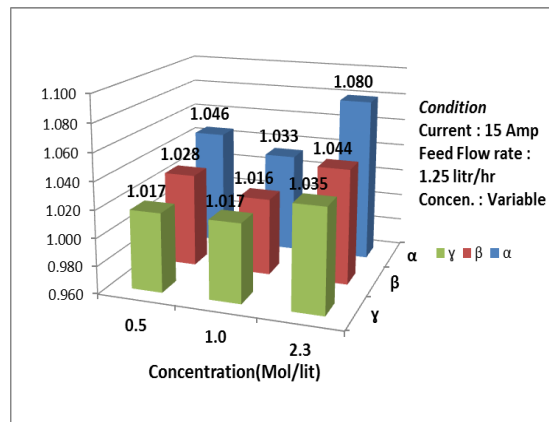
شکل 5.

غلظت خوراک: 2.3 مولار-دبی خوراک: 1.25 لیتر بر ساعت - آمپر جریان: متغیر



شکل 6

غلظت خوراک: 2.3 مولار-دبی خوراک: متغیر - آمپر جریان: 15 آمپر



شکل 7.

غلظت خوراک: متغیر-دبی خوراک: 1.25 لیتر بر ساعت - آمپر جریان: 15 آمپر

### 6. نتیجه گیری

با توجه به دلایل ذکر شده، ایزوتوپهای لیتیم خصوصاً ایزوتوپ سبک تر آن، در صنعت هسته ای دارای اهمیت بسزایی هستند. به هر حال کاربرد اصلی  ${}^6\text{Li}$  به عنوان منبع اصلی تولید تریتم و استفاده در راکتور گداخت هسته ای می باشد. انرژی آزاد شده در فرآیند گداخت هسته ای  $2.69 \times 10^{14}$  ژول به ازای هر کیلوگرم  ${}^6\text{Li}$  مصرفی است. این مقدار 3 برابر انرژی آزاد شده در فرآیند شکافت هسته ای در شرایط یکسان است. استفاده از این نوع انرژی مقرون به صرفه تر خواهد بود زیرا اولاً مقادیر سوختی که در راکتور گداخت استفاده می شود در مقایسه با مقدار سوخت در راکتور های شکافت ناچیز است، ثانیاً محصولات حاصل از گداخت هسته ای رادیو اکتیو نبوده و میزان زباله های هسته ای به میزان قابل توجهی در مقایسه با راکتور های شکافت کاهش می یابد و ثالثاً منابع سوخت آن شامل دوتریوم و لیتیم می باشد که به وفور در طبیعت یافت می شوند.



در آزمایشات میزان فاکتور جداسازی از 1.029 تا 1.0884 متغیر بود که نشان دهنده وابستگی فاکتور جداسازی به پارامترهایی نظیر غلظت خوراک، دبی جریان خوراک و آمپر جریان الکتریسیته می باشد. روش صنعتی مورد استفاده برای تولید این ایزوتوپ استراتژیک الکترولیز می باشد. زیرا به دلیل وجود محدودیت ها در ساخت و تهیه لیزر با پهنای باریک، پایین بودن فاکتور جداسازی در روش دیفیوژن حرارتی و اکثر روش های تبادل شیمیایی، مقرون به صرفه نبودن روش تقطیر و از آنجایی که جداکننده های الکترومغناطیسی جرمی برای جداسازی تنها در مقیاس کم مناسبند، از این روش الکترولیز برای جداسازی ایزوتوپ های لیتیم مقرون به صرفه خواهد بود.

## 7. مراجع

- [1] Symons. E. A.(1985). Lithium isotope Separation: A Review of Possible Techniques. Separation Science and Technology, 20(9 & 10), pp. 633-651.
- [2] Garrett. D.,(2004). Handbook of Lithium and Natural Calcium, Academic Press.
- [3] James. R.H., et al.(2000). The lithium isotope composition of international rock standards, *Chemical Geology* 166, 319–326.
- [4] T.I. Platzner, et al., Selected isotope ratio measurements of light metallic element (Li, Mg, Ca and Cu) by multiple collector ICP-MS, Analytical and Bioanalytical
- [5] Benedict. M.,& Pigford. T. H.,& Wolfgang. L.(1981). Nuclear Chemical Engineering . McGraw-Hill, Second Edition, p.628.
- [6] Hinterman, K. O.,& Wideroe. R.(1958). Tritium Production and Cycling in a Fusion Reactor with Lithium Blanket." *Proceedings of the Second United Nations Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva*. Vol. 32.
- [7]. Benedict. M.,& Pigford. T. H.,& Wolfgang. L.(1981). Nuclear Chemical Engineering . McGraw-Hill, Second Edition, p.634.
- [8]. Betts. R. H.,& Born. J.(1977). A Discussion of Partial Isotope Separation by Means of Solvent Extraction. *Sep. Sci*, 12,635.
- [9]. Fujine. S.,& Saito. K.,& Naruse. Y.,& Shiba. K.,& Kosuge. M.,& Itoi. T.,& Kitsukawa. T.(1981). The Outline of the Processes for Lithium Isotopes Separation by Ion Exchange Method. *Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment*, Report no.JAERIM-9735. (body of report in Japanese)
- [10]. Cremaschi. P.(1984). A Theoretical Study of the isotope Separation of Liz Using Different Laser Wavelengths for the Excitation and Ionization Processes. *Ibid.*, 106,286.
- [11]. Arisawa. T.,& Maruyama. Y.,& Suzuki. Y.,& Shiba. K.(1982). Lithium Isotope Separation by Laser. *Appl. Phys. B*,28,73.
- [12]. Kistemaker. J.,& Bigeleisen. J.,& Nier. A. O. C.(eds.)(1958). Proceeding of the (first) International Symposium on Isotope Separation. *Interscience*, NewYork.
- [13]. London. H.(ed).(1961). Separation of Isotopes. Newne, Londone.
- [14]. Jackson. D. P. et al (1984). Fusion Breeding Blanket Study. Pan I, CFFTP Report F84033, AECL-8631. *Atomic Energy of Canada*, Chalk River, Ontario.
- [15]. Rutherford. W. M.(1982). Separation of Stable Isotopes of Chlorine,Sulfur. and Calcium. in Stable Isotopes. *Elsevier*. Amsterdam.
- [16]. Vasaru. G.(1972). Separation of Isotopes by Thermal Diffusion. Report ERDA-tr-32.Translation of Romanian Report.Technical Information Center,US. Energy Research and Development Administration.
- [17]. Pederson.C. J.(1967). Cyclic Poly Ethers and Their Complexes with Metal Salts. *J. Am. Chem. Soc.*#Y,7017.
- [18]. Melson. G. A.(ed)(1979). Coordination Chemistry of Macrocyclic Compound. V. Plenum,NewYork.
- [19]. Cooper. F. J., & Valley. C., & Krikorian. H. O., & Danville., & Homysy. V. R., (1978). Electrolytic Method For the Production of Lithium Using a Lithium- Amalgam Electrode . *United States Department of Energy*. United States Patent.
- [20]. Thomas. R.(2001). A Beginner's Guide to ICP-MS, Part I. *Spectroscopy TUTORIAL*.