



جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ با استفاده از زنجیره گذرای تک خروجی

ایمانی، مرتضی^{۱*} - کشتکار، علیرضا^۱ - رشیدی، عباس^۲ - کریمی ثابت، جواد^۱ - نوروزی، علی^۳ - فرزانه اعزازی^۱

۱: سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای، تهران - ایران

۲: دانشگاه مازندران، دانشکده مهندسی، بابلسر - ایران

۳: سازمان انرژی اتمی، شرکت فناوری‌های پیشرفته ایران، تهران - ایران

چکیده: جداسازی ایزوتوپ‌های پایدار به منظور استفاده در پزشکی و سایر علوم مورد توجه می‌باشد. در این مقاله جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ که جهت تولید رادیوایزوتوپ ید ۱۲۰ کاربرد دارد، توسط زنجیره گذرای تک خروجی ارائه شده است. برای شبیه‌سازی زنجیره معادلات بقای جرم در حالت گذرا ارائه می‌شوند. با شبیه‌سازی زنجیره مربعی تک خروجی با ۱۲ مرحله و فاکتور جداسازی کلی ۱/۴ مشاهده می‌شود برای تولید ۱ گرم ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ تا غنای ۹۹ درصد نیاز به یک بار استفاده از زنجیره تک خروجی و ۲۰۰ ساعت گاز دهی با نرخ خوراک ۸۰ گرم بر ساعت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره غیر متداول، ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰، حالت گذرا، زمان تعادل، سیستم‌های چند جزئی

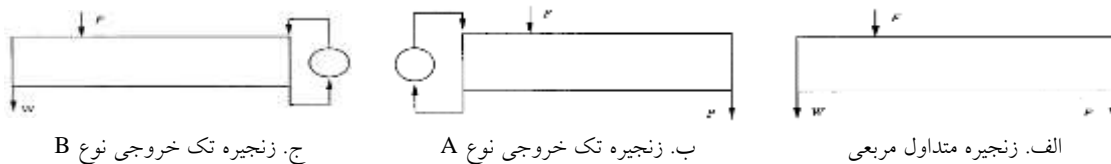
مقدمه: جداسازی ایزوتوپ‌های پایدار به منظور استفاده در پزشکی، صنایع و کشاورزی مورد اهمیت می‌باشد، که جداسازی ایزوتوپی عناصر چند جزئی به تازگی در کشور مورد توجه قرار گرفته است. جداسازی ایزوتوپی عناصر در زنجیره‌هایی از ماشین‌های جداساز صورت می‌پذیرد که پرکاربردترین این زنجیره‌ها، زنجیره‌های غنی‌سازی با استفاده از ماشین سانتریفیوژ گازی می‌باشد. این زنجیره‌ها بصورت متداول شامل یک جریان ورودی و دو جریان خروجی (یک جریان محصول و یک جریان پسماند) بوده و در شرایط پایا کار می‌کنند. به منظور جداسازی ایزوتوپ هدف در مخلوط چند جزئی با غنای پایین در خوراک طبیعی با استفاده از زنجیره‌های متداول نیاز به استفاده چندین زنجیره بصورت متوالی می‌باشد تا غلظت مورد نیاز از ایزوتوپ هدف حاصل شود. استفاده از زنجیره‌های متداول در این شرایط، نیازمند هزینه ساخت چندین زنجیره و تامین خوراک برای این زنجیره‌ها می‌باشد. با توجه به وجود این مشکلات و هزینه‌ها در سال ۲۰۰۲ زنجیره‌های غیر متداول گذرا ارائه شدند [۱]. که با توجه به هدف جداسازی به دو دسته تک خروجی و تک خروجی بدون جریان خوراک تقسیم بندی می‌شوند مقایسه بین زنجیره‌های متداول و زنجیره‌های گذرا توسط یانفنگ



و همکاران در سال ۲۰۰۴ صورت پذیرفت و نتایج نشان دهنده برتری این زنجیره‌ها بود [۲]. زنجیره های تک خروجی برای جداسازی ایزوتوپ های سبک و سنگین بکار می روند و زنجیره های تک خروجی بدون جریان خوراک عمدتاً برای جداسازی ایزوتوپ های میانی بکار می روند. در این مقاله هدف جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ می باشد. عنصر تلوریم شامل ۸ ایزوتوپ بوده و سبک ترین ایزوتوپ آن تلوریم ۱۲۰ می باشد. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده از زنجیره گذاری تک خروجی برای جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ در این مقاله استفاده می شود. مهم ترین کاربرد ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ تولید رادیو ایزوتوپ ید ۱۲۰ می باشد که این رادیو ایزوتوپ در پزشکی کاربرد دارد.

با حل معادلات بقا در حالت گذرا شبیه سازی زنجیره های غیر متداول انجام شده و نتایج برای تولید ۱ گرم تلوریم ۱۲۰ با غنای ۹۹ درصد ارائه می گردد.

مواد و روش کار: زنجیره های گذاری تک خروجی عمدتاً ساختار مربعی دارند. در این زنجیره ها بر حسب اینکه هدف جداسازی ایزوتوپ های سبک و یا ایزوتوپ های سنگین باشد، یکی از جریان های خروجی زنجیره قطع می شود. به عنوان مثال در شکل ۱ در زنجیره های تک خروجی نوع A با توجه به قطع جریان پسماند و قرار گیری مخزن در این سمت، ایزوتوپ های سنگین در این زنجیره در مخزن جمع آوری می شوند. در زنجیره های تک خروجی نوع B با توجه به قطع جریان محصول و قرارگیری مخزن در سمت محصول زنجیره ایزوتوپ های سبک در مخزن جمع آوری می شوند.

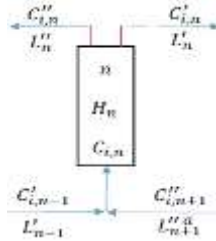


شکل ۱: مقایسه شماتیک زنجیره های متداول مربعی و زنجیره های غیر متداول تک خروجی

برای شبیه سازی زنجیره های تک خروجی، جریان ها در طول زنجیره در حالت پایا در نظر گرفته می شود و با

توجه به اینکه یک جریان ورودی و یک جریان خروجی از زنجیره وجود دارد غلظت ها در طول زنجیره با گذشت

زمان تغییر کرده و پس از گذشت یک مدت زمان طولانی به حالت پایا می رسند.



شکل ۲: نمایش جریان‌های ورودی و خروجی به مراحل

برای محاسبه غلظت‌ها، قانون بقای جرم در حالت گذرا بصورت زیر نوشته می‌شود [۲، ۴].

$$\frac{\partial H_n \hat{C}_{i,n}}{\partial t} = L''_{n+1} C'_{i,n+1} + L'_{n-1} C'_{i,n-1} - (L''_n) C''_{i,n} - (L'_n) C'_{i,n} \quad (1)$$

در معادله (۱) H_n موجودی گاز مرحله، $\hat{C}_{i,n}$ متوسط غلظت گاز عبوری از مرحله، $C'_{i,n}$ غلظت ایزوتوپ‌ها

در جریان غنی شده، $C''_{i,n}$ غلظت ایزوتوپ‌ها در جریان تهی شده، L''_n نرخ جریان تهی شده و L'_n نرخ جریان غنی

شده خروجی از مرحله شماره n می‌باشد. پس از گسسته سازی معادله (۱) به روش کرنک نیکلسون و استفاده از

رابطه فاکتور جداسازی معادله زیر حاصل می‌شود [۵].

$$\begin{aligned} -\frac{M_{n-1}}{2} y_{n-1}^{m+1} + \left(\frac{H_n}{\Delta t} \frac{M_n}{M_n + N_n} + \frac{M_n}{2} \right) y_n^{m+1} + \left(\frac{H_n}{\Delta t} \frac{N_n}{M_n + N_n} + \frac{N_n}{2} \right) x_n^{m+1} - \frac{N_{n+1}}{2} x_{n+1}^{m+1} \\ = \frac{M_{n-1}}{2} y_{n-1}^m + \left(\frac{H_n}{\Delta t} \frac{M_n}{M_n + N_n} - \frac{M_n}{2} \right) y_n^m + \left(\frac{H_n}{\Delta t} \frac{N_n}{M_n + N_n} - \frac{N_n}{2} \right) x_n^m + \frac{N_{n+1}}{2} x_{n+1}^m \end{aligned} \quad (2)$$

در رابطه (۲) بالانویس m نشان‌دهنده بازه زمانی می‌باشد. برای محاسبه غلظت مراحل می‌بایست رابطه (۲)

را برای هر بازه زمانی حل نمود. در این رابطه با استفاده از روش تکرار q می‌توان غلظت جریان غنی شده را بر

حسب غلظت جریان تهی شده جایگذاری نمود و رابطه خطی بدست آمده را در یک دستگاه معادلات خطی حل

کرد. فرآیند ذکر شده در هر بازه زمانی برای شبیه‌سازی در حالت گذرا تکرار می‌شود.



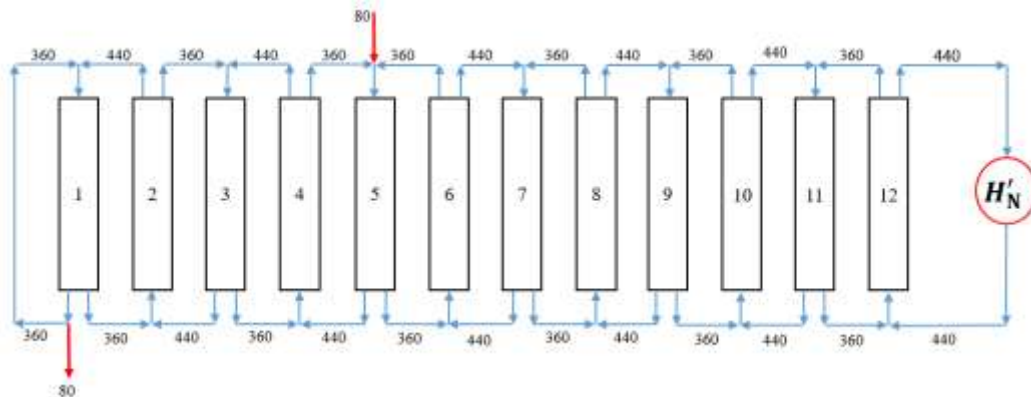
نتایج: برای جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ که سبک‌ترین ایزوتوپ از ۸ ایزوتوپ پایدار عنصر تلوریم می‌باشد، یک زنجیره تک خروجی نوع B با مشخصات موجود در جدول ۱ در نظر گرفته می‌شود. گاز هگزا فلوراید تلوریم که به عنوان خوراک زنجیره در نظر گرفته شده است دارای غلظت طبیعی می‌باشد که غلظت طبیعی ایزوتوپ‌ها در جدول ۲ ذکر شده است. در شکل ۳ ساختار این زنجیره و مقادیر جریان‌های بین مراحل‌های این زنجیره نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات زنجیره تک خروجی

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
5	مرحله ورود خوراک	1 gr	$H_{n=1, \dots, N}$	12	N
10	تعداد ماشین مراحل	0.05 gr	$H''_{n=1, \dots, N}$	1.4	α_0
120	تعداد کل ماشین	0.05 gr	$H'_{n=1, \dots, N-1}$	80 gr/hr	F_4
0	ضریب برش زنجیره	1 gr	H'_N	80 gr/hr	W_1
10	نسبت خوراک ورودی به مرحله به خوراک زنجیره (G/F)	0.1 gr	موجودی گاز ماشین	80 gr/hr	نرخ دبی خوراک بهینه به ماشین

جدول ۲: غلظت خوراک طبیعی گاز هگزا فلوراید تلوریم

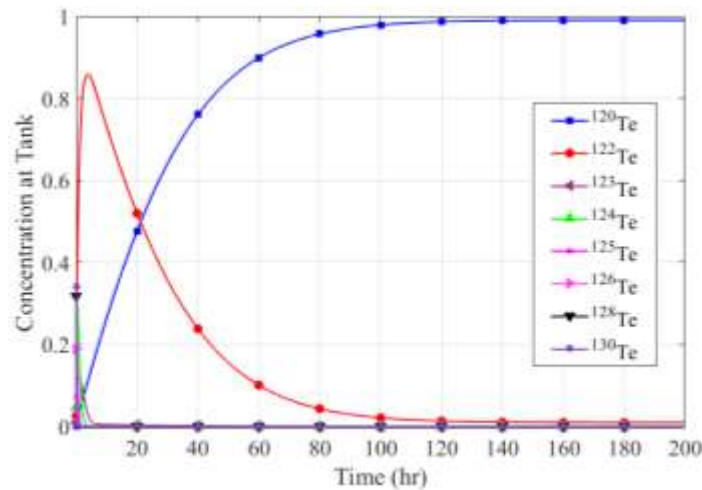
Te 120	Te 122	Te 123	Te 124	Te 125	Te 126	Te 128	Te 130
0.0009	0.0255	0.0089	0.0474	0.0707	0.1884	0.3174	0.3408



شکل ۳: شماتیک زنجیره و نمایش جریان‌های بین مراحل (واحد مقادیر جریان گرم بر ساعت می‌باشد)



در شکل ۴ غلظت مخزن برحسب زمان ترسیم شده است همانطور که مشاهده می‌شود غلظت ایزوتوپ سبک تلوریم ۱۲۰ به مرور زمان افزایش می‌یابد و پس از گذشت ۲۰۰ ساعت به مقدار ۹۹ درصد می‌رسد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود غلظت ایزوتوپ‌های سنگین در مخزن با گذشت زمان کاهش می‌یابد و ایزوتوپ‌های میانی در ابتدا با توجه به کم بودن غلظت ایزوتوپ‌های سبک در مخزن جمع‌آوری می‌شوند و افزایش غلظت برای این ایزوتوپ‌ها رخ خواهد داد، به عنوان مثال ایزوتوپ تلوریم ۱۲۲ در یک زمان خاص به مقدار بیشینه خود در مخزن می‌رسد و سپس از مخزن خارج می‌شود و به مرور غلظت آن کاهش می‌یابد. در ساعت ۳ غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۲ در مخزن بیشینه خواهد بود.

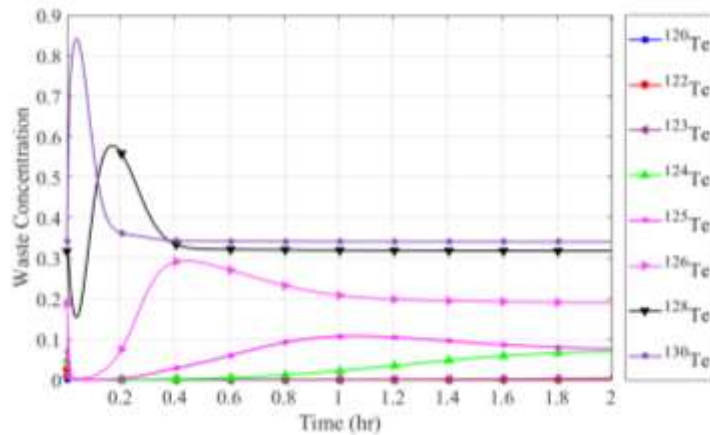


شکل ۴: غلظت ایزوتوپ‌ها در مخزن بر حسب زمان

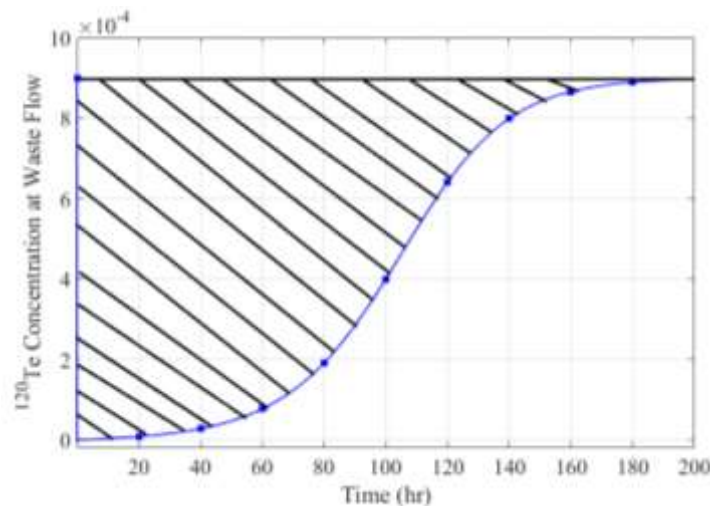
جدول ۳: غلظت ایزوتوپ‌های تلوریم در مخزن در ساعت ۲۰۰

Te 120	Te 122	Te 123	Te 124	Te 125	Te 126	Te 128	Te 130
0.99096	0.00925	0.00006	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

در شکل ۵ غلظت ایزوتوپ‌ها در ۱۰ ساعت اول در جریان خروجی زنجیره نمایش داده شده است، به علت آنکه تغییرات غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ در جریان خروجی در این شکل قابل رویت نمی‌باشد در شکل ۶ تنها غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ بر حسب زمان نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان و به اشباع رسیدن غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ در مخزن، غلظت جریان خروجی به غلظت جریان خوراک ورودی نزدیک خواهد شد و پس از گذشت یک زمان طولانی و رسیدن به حالت پایا مقدار غلظت جریان خروجی برابر غلظت جریان خوراک ورودی خواهد شد.



شکل ۵: غلظت جریان خروجی زنجیره (پسماند) بر حسب زمان



شکل ۶: غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ در جریان خروجی زنجیره و نمایش ناحیه تجمع جرم در زنجیره

در شکل ۶ ناحیه هاشور خورده اختلاف غلظت جریان خروجی با غلظت جریان خوراک ورودی را نمایش می‌دهد. مساحت سطح هاشور خورده نشان‌دهنده جرم تجمع یافته از ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ در طول مراحل زنجیره و مخزن می‌باشد با مشاهده شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت در ساعات ابتدایی جداسازی زنجیره با توجه به اینکه غلظت ایزوتوپ سبک در مخزن پایین می‌باشد. جداسازی ایزوتوپ سبک سریع‌تر صورت گرفته و شیب افزایش غلظت ایزوتوپ سبک زیاد می‌باشد. با گذشت زمان و به اشباع رسیدن مخزن از ایزوتوپ سبک به تدریج شیب افزایش غلظت ایزوتوپ سبک در مخزن کاهش می‌یابد تا به حالت پایدار خود برسد بنابراین در لحظات ابتدایی به عنوان مثال در ۶۰ ساعت اول غلظت ایزوتوپ اول ۹۰ درصد افزایش پیدا می‌کند ولی در ۱۴۰ ساعت دوم تنها ۹ درصد غلظت ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ افزایش می‌یابد از همین رو میزان ادامه دادن به فرایند جداسازی نیازمند بهینه سازی می‌باشد.



بحث و نتیجه گیری: در این مقاله برای جداسازی ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ که غلظت آن در خوراک طبیعی بسیار پایین می باشد از زنجیره گذرای تک خروجی استفاده گردید. معادلات توزیع غلظت برای شبیه سازی این زنجیره ها بیان شده و شبیه سازی یک زنجیره با ۱۲ مرحله صورت گرفت. با استفاده از این شبیه سازی مشاهده می شود برای تولید ۱ گرم ایزوتوپ تلوریم ۱۲۰ تا غنای ۹۹ درصد نیاز به یک بار استفاده از زنجیره تک خروجی و ۲۰۰ ساعت گاز دهی با نرخ خوراک ۸۰ گرم بر ساعت می باشد.

مراجع:

1. Zeng, S.; Ying, C. "Separating isotope components of small abundance". Sep. Sci. Technol. 2002, 37 (15), 3577-3598.
2. Yanfeng Cao, Shi Zeng, Zengguang Lei & Chuntong Ying (2004) "Study of a Nonstationary Separation Method with Gas Centrifuge Cascade", Sep. Sci. Technol., 39:14, 3405-3429
3. Zeng, S.; Ying, C. "A robust and efficient calculation procedure for determining concentration distribution of multicomponent mixture". Sep. Sci. Technol. 2000, 35 (4), 613-622.
4. Zeng, S.; Ying, C. "A second-order time-accurate method for determining the distribution of concentration distribution of multicomponent mixtures in separation cascades". Sep. Sci. Technol. 2000, 35 (5), 729-741.
5. Zeng, S.; Ying, C. "Transient process in gas centrifuge cascades for separation of multicomponent isotope mixtures". Sep. Sci. Technol. 2001, 36 (15), 3439-3457.