



جدا سازی ایزوتوپ‌های سبک و سنگین عنصر تلوریم با استفاده از زنجیره‌های ناپایدار SW

مرتضی ایمانی^(۱)، علیرضا کشتکار^(۱)، عباس رشیدی^(۲)، سید جابر صفدری^(۱)، جواد کریمی

ثابت^(۱)، علی نوروزی*^(۲)

(۱): سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای

(۲): شرکت فناوری های پیشرفته ایران

چکیده:

جدا سازی ایزوتوپ‌های پایدار به منظور استفاده در پزشکی و سایر علوم مورد توجه می باشد. در این مقاله برای جدا سازی ایزوتوپ‌های سبک و سنگین عنصر تلوریم که شامل هشت ایزوتوپ پایدار می باشد از زنجیره ناپایدار SW^۱ استفاده شده است. در ابتدا معادلات بقای جرم برای این نوع از زنجیره‌ها بصورت گذرا ارائه شده و نحوه حل به کمک روش تفاضل محدود کرنک نیکلسون و روش تکرار q به منظور خطی سازی معادلات، بیان شده است. برای صحت گذاری کد نوشته شده از نتایج زنجیره ناپایدار SW موجود برای عنصر زینان استفاده شده و در انتها برای جدا سازی ایزوتوپ‌ها سنگین و سبک عنصر تلوریم، نتایج یک زنجیره ناپایدار با تعداد دوازده مرحله ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره ناپایدار SW، عنصر تلوریوم، حالت گذرا، ایزوتوپ‌های سبک و سنگین، روش تکرار q

Separation of light and heavy isotopes of tellurium element using unstable SW cascade

Imani, morteza⁽¹⁾; keshkar, alireza⁽¹⁾; rashidi, abbas⁽²⁾; safdari, seyed jaber⁽¹⁾; karimi sabet, javad⁽¹⁾; noroozi, ali*⁽²⁾

(1): Atomic Energy Organization, Nuclear Science and Technology Research Institute, Nuclear Materials and Fuel Research Institute

(2): Advanced Technology Company of Iran

The separation of stable isotopes is important for medical and other sciences. The unstable SW cascade is used to separate light and heavy isotopes of Tellurium element, which consists of eight stable isotopes. At first, the conservation of mass equation for these types of cascade are presented in transient condition, and the solution is arranged using the finite difference method of Crank Nicholson and the q iteration method, in order to linearize the equations. To validate the code, the results of the unstable SW cascade for the Xenon element were used, and finally, for the separation of heavy and light isotopes of tellurium element, the results of an unstable cascade with twelve stages are presented.

Key words: Unstable SW cascade, tellurium element, transient state, light and heavy isotopes, q iteration method

^۱ Single Withdrawal



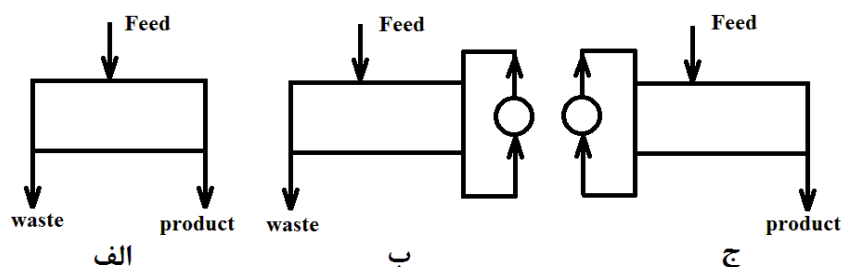
مقدمه:

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 عناصر چند جزئی با غلظت خوراک ورودی پایین برای ایزوتوپ هدف در این زنجیره‌ها، می‌بایست از چندین زنجیره بصورت متوالی استفاده کرد تا غلظت مورد نیاز برای ایزوتوپ هدف حاصل شود. استفاده از این زنجیره‌های متداول، نیازمند هزینه ساخت چندین زنجیره و تامین خوراک برای این زنجیره‌ها می‌باشد. همچنین مشکلات تنظیم ضریب برش بین مراحل و ضریب برش زنجیره وجود خواهد داشت. با توجه به وجود این مشکلات و هزینه‌های زیاد برای استفاده از زنجیره‌های متداول، در سال ۲۰۰۷ زنجیره‌های ناپایدار SW که شامل تنها یک خروجی می‌باشند برای اولین بار توسط زنگ برای عنصر زینان پیشنهاد شدند [۱]. این زنجیره‌ها با هدف جداسازی ایزوتوپ‌های سبک و سنگین عنصر زینان که میزان غلظت طبیعی این ایزوتوپ‌ها پایین می‌باشد، ارائه شدند. در این زنجیره‌ها براساس اینکه هدف جداسازی ایزوتوپ‌های سبک و یا سنگین می‌باشد یکی از این خروجی‌های زنجیره حذف می‌شود. جریان حذف شده پس از ورود به یک مخزن مجدد به همان مرحله باز می‌گردد. این زنجیره‌ها مربعی بوده و جریان ورودی به هر مرحله یکسان می‌باشد. جریان‌ها بصورت پایا و غلظت‌ها با گذر زمان تغییر می‌کنند. برای جداسازی ایزوتوپ‌های سبک با توجه به اینکه ایزوتوپ‌های سبک در سمت محصول یک زنجیره غنی می‌شود، مخزن در این سمت قرار داده شده و جریان محصول حذف می‌شود و غلظت ایزوتوپ محصول در مخزن تا رسیدن به حالت تعادل غلظت‌ها، افزایش پیدا می‌کند، و محصول نهایی این زنجیره‌ها یک مخزن با غلظت بالای ایزوتوپ سبک خواهد بود. بطور عکس نیز برای جداسازی ایزوتوپ‌های سنگین مخزن در سمت پسماند قرار گرفته و جریان پسماند حذف می‌شود و پس از رسیدن به حالت تعادل غلظت‌ها، یک مخزن با غلظت بالای ایزوتوپ سنگین حاصل می‌شود. در این مقاله در ابتدا معادلات این زنجیره‌ها نوشته شده سپس با روش تفاضل محدود کرنک نیکلسون گسسته‌سازی شده و با استفاده از روش تکرار q خطی می‌شوند. برای صحه گذاری کد نوشته شده از نتایج زنجیره ناپایدار SW موجود برای عنصر زینان استفاده شده و در انتها برای جداسازی ایزوتوپ‌ها سنگین و سبک عنصر تلوریم، نتایج یک زنجیره ناپایدار با تعداد دوازده مرحله با توجه

به محل قرارگیری مخزن ارائه شده است و مشاهده می شود با استفاده از یک زنجیره و تنها با تغییر محل مخزن می توان ایزوتوپ های سبک و سنگین را جداسازی نمود.

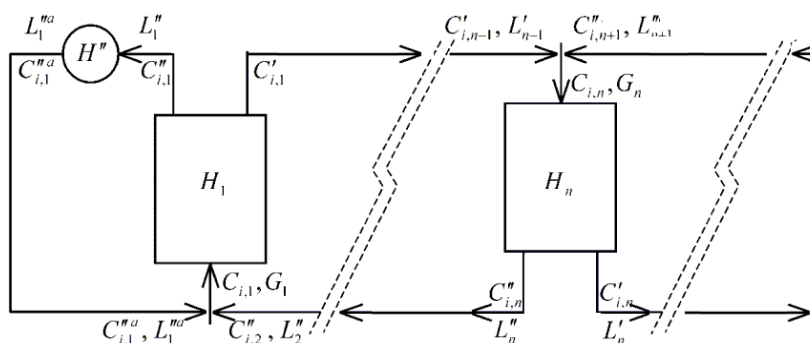
مواد و روش کار:

در شکل ۱ در قسمت الف شمای زنجیره های متداول نمایش داده شده است. این زنجیره ها شامل دو خروجی بوده و عملکرد آنها در شرایط پایای جریان ها و غلظت ها می باشد. در قسمت ب و ج شکل ۱ زنجیره ناپایدار SW با یک خروجی نمایش داده شده است در قسمت ب، مخزن در سمت محصول قرار گرفته بنابراین در این مخزن ایزوتوپ های سبک ذخیره می شوند و در قسمت ج، مخزن در سمت پسماند قرار گرفته و ایزوتوپ های سنگین در این مخزن ذخیره می شوند. در این زنجیره ها پس از اینکه غلظت مخزن پس از گذشت زمان به حالت اشباع و پایای خود رسید می توان مخزن را تعویض نمود و بصورت پیوسته از زنجیره ها استفاده کرد.



شکل ۱: نمایش جریان های ورودی و خروجی به مراحل

در زنجیره های ناپایدار SW جریان ورودی به هر مرحله یکسان می باشد و زنجیره ساختار مربعی خواهد داشت. جریان ها در این زنجیره بصورت پایا در نظر گرفته شده و تنها معادلات بقای جرم ایزوتوپ مطلوب در حالت گذرا حل می شوند.



شکل ۲: نمایش ساختار زنجیره SW با قرار گرفتن مخزن در سمت پسماند زنجیره



برای محاسبه غلظت‌ها، قانون بقای جرم برای ایزوتوپ i در مرحله شماره n در حالت گذرا بصورت زیر نوشته می‌شود [۲،۳].

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

در معادله (۱) H_n موجودی گاز مرحله، θ_n ضریب برش مرحله، $C'_{i,n}$ غلظت ایزوتوپ i در جریان غنی‌شده، $C''_{i,n}$ غلظت ایزوتوپ i در جریان تهی‌شده، L''_n نرخ جریان تهی‌شده و L'_n نرخ جریان غنی‌شده خروجی از مرحله شماره n می‌باشد. برای مخزن H'' در نظر گرفته شده نیز بقای جرم برای ایزوتوپ i بصورت زیر نوشته می‌شود [۴].

$$\frac{\partial H'' C''_{i,n}^a}{\partial t} = L''_1 C''_{i,1} - L''_1^a C''_{i,1}^a \quad (2)$$

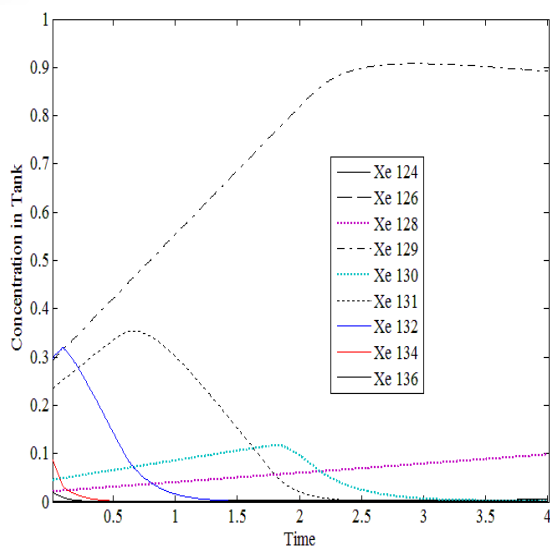
در معادله (۲) بالا نویسنده a نشان دهنده جریان و غلظت پس از مخزن می‌باشد. بطور مشابه معادله (۲) را می‌توان برای حالتی که مخزن در سمت محصول قرار دارد نوشت. با کمک رابطه فاکتور جداسازی مراحل و شرط اینکه مجموع غلظت ایزوتوپ‌ها در تمامی جریان‌ها برابر یک می‌باشد و با بکارگیری روش تفاضل محدود کرنک نیکلسون برای گسسته‌سازی معادلات و استفاده از روش تکرار q برای خطی‌سازی، معادلات (۱) و (۲) حل شده، و غلظت ایزوتوپ‌ها بر حسب زمان محاسبه می‌شود. نحوه گسسته‌سازی و الگوریتم حل معادلات در مراجع [۲،۳،۴] شرح داده شده است.

نتایج:

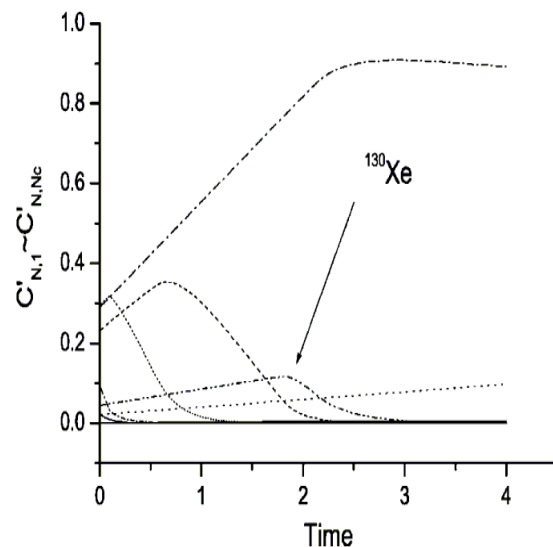
برای صحت‌گذاری روش و شبیه‌سازی انجام شده از نتایج موجود در مرجع ۱ برای جداسازی عنصر زینان با مشخصات زنجیره که در جدول ۱ ارائه شده، استفاده شده است [۱].

جدول ۱: مشخصات زنجیره مورد استفاده برای عنصر زینان [۱]

F=1		Nf=13			$\alpha_0=1.4$		N=21	
غلظت جریان خوراک								
Xe 124	Xe 126	Xe 128	Xe 129	Xe 130	Xe 131	Xe 132	Xe 134	Xe 136
9.3E-9	9E-4	1.91E-2	2.64E-1	4.08E-2	2.11E-1	2.68E-1	1.04E-1	8.87E-2



ب: نتایج حاصل از کد نوشته شده



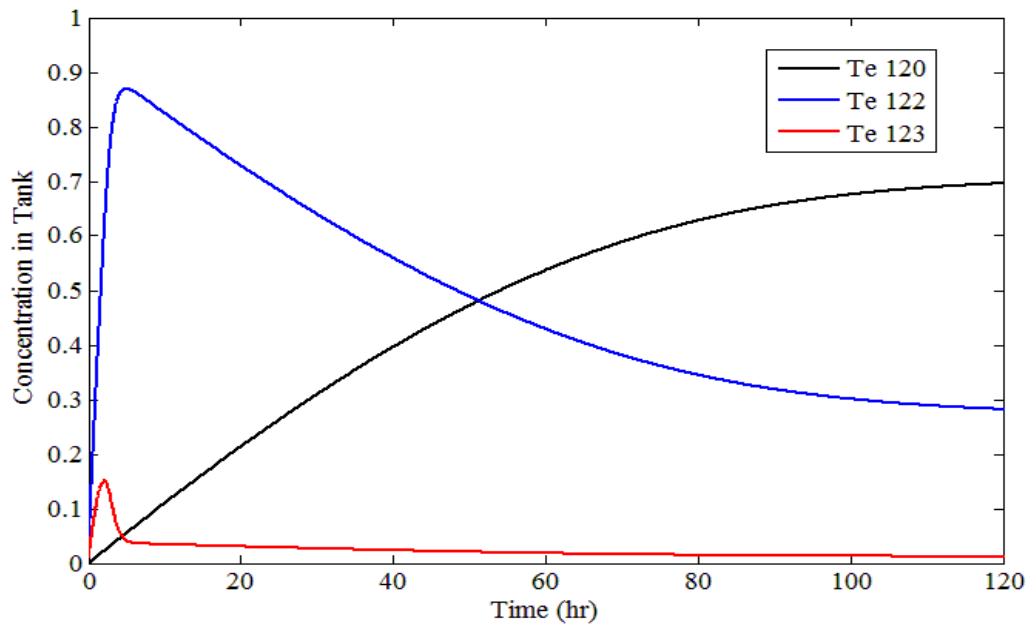
الف: نتایج مرجع ۱

شکل ۳: مقایسه نتایج غلظت ایزوتوپ‌های زینان در مخزن توسط کد و مرجع ۱

در جدول ۱، N تعداد مراحل Nf مرحله ورود خوراک، α_0 فاکتور جداسازی کلی و F دبی خوراک ورودی به صورت بی بعد می باشد. با مقایسه نتایج مشاهده می شود که نتایج یکسانی برای محاسبه غلظت ایزوتوپ‌های زینان در مخزن توسط کد و مرجع ۱ حاصل شده است، بنابراین از این کد برای جداسازی ایزوتوپ‌های تلوریوم استفاده می شود. برای جداسازی عناصر سبک ایزوتوپ تلوریم از زنجیره SW با مشخصات موجود در جدول ۲ استفاده می شود. H'_n در جدول ۲ ظرفیت مخزن می باشد. همانطور که طبق شکل ۴ مشاهده می شود غلظت ایزوتوپ‌های سبک تلوریوم در مخزن افزایش پیدا می کنند. برای ایزوتوپ تلوریوم 120 با افزایش زمان، غلظت این ایزوتوپ تا ۷۰ درصد افزایش پیدا می کند ولی ایزوتوپ‌های 122 و 123 در زمان خاصی به نقطه ماکسیمم خود رسیده و به مرور کاهش پیدا می کنند.

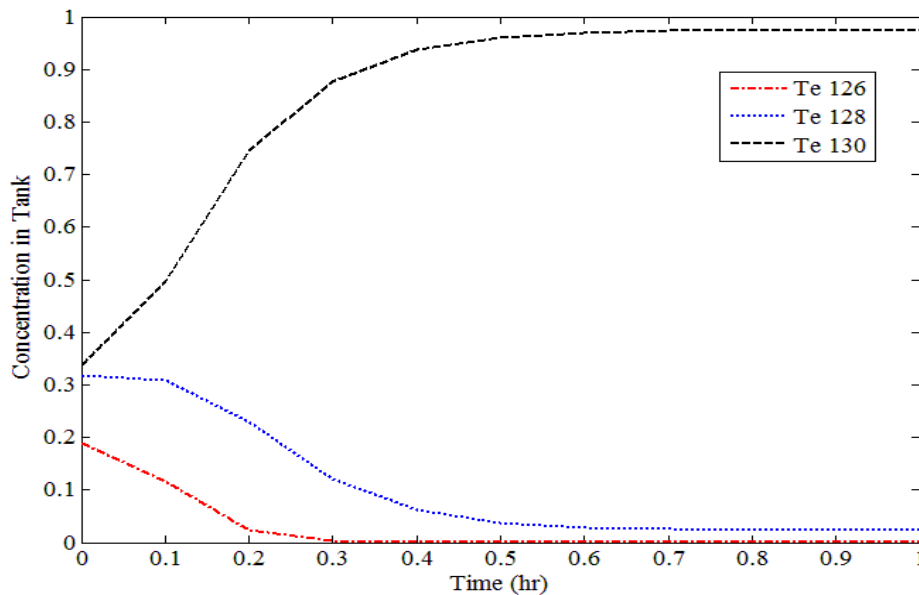
جدول ۲: مشخصات زنجیره مورد استفاده برای عنصر تلوریوم

H'_n		F		Nf		α_0		N			
1 gr		12 gr/hr		4		1.2		12			
غلظت جریان خوراک											
Te 120	Te 122	Te 123	Te 124	Te 125	Te 126	Te 128	Te 130				
9.6E-9	2.60E-2	9.08E-3	4.81E-2	7.13E-1	1.89E-1	3.16E-1	3.37E-1				
ضریب برش مراحل											
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
0.4167	0.5833	0.4167	0.5833	0.4167	0.5833	0.4167	0.5833	0.4167	0.4167	0.4167	0.4167



شکل ۴: نمایش غلظت سه ایزوتوپ سبک عنصر تلوریوم در مخزن

بطور مشابه با استفاده مجدد از زنجیره قبل و تنها با تغییر محل مخزن و قرار دادن آن در سمت پسماند زنجیره و تغییر محل ورود خوراک از مرحله ۴ به مرحله ۸ می‌توان از این زنجیره برای جداسازی ایزوتوپ-های سنگین عنصر تلوریم استفاده نمود.



شکل ۵: نمایش غلظت سه ایزوتوپ سنگین عنصر تلوریوم در مخزن



همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با تغییر محل مخزن و قرار دادن آن در سمت پسماند زنجیره، غلظت ایزوتوپ‌های سنگین در مخزن افزایش پیدا می‌کند و با توجه به اینکه غلظت خوراک ورودی ایزوتوپ‌های سنگین در عنصر تلوریوم خیلی بیشتر از غلظت ایزوتوپ‌های سبک می‌باشد، سرعت افزایش غلظت ایزوتوپ‌های سنگین در مخزن (۱ ساعت) در مقایسه با سرعت افزایش غلظت ایزوتوپ‌های سبک (۱۲۰ ساعت)، بسیار بیشتر خواهد بود و مخزن در مدت زمان بسیار کمتری از ایزوتوپ‌های سنگین غنی خواهد شد.

بحث و نتیجه گیری:

با استفاده از زنجیره‌های SW می‌توان ایزوتوپ‌های سبک و سنگین عنصر تلوریم را با کمترین تغییر در شکل یک زنجیره جداسازی نمود. با قرار دادن مخزن در سمت مناسب زنجیره و برداشت مخزن در زمان مناسب می‌توان یک مخزن با غلظت بالای ایزوتوپ‌های سبک و سنگین عنصر تلوریوم جداسازی نمود.

مراجع:

1. Zeng, S.; Ying, C. "Separating isotope components of small abundance". Sep. Sci. Technol. 2002, 37 (15), 3577-3598.
2. 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.
3. 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.
4. Zeng, S.; Ying, C. "Transient process in gas centrifuge cascades for separation of multicomponent isotope mixtures". Sep. Sci. Technol. 2001, 36 (15), 3439-3457.