



تعیین تعداد مراحل تعادلی و نسبت جریان برگشتی در راکتور تقطیر واکنشی تولید ایزوتوپ ^{10}B

علی اکبر نظری مقدم*^۱، رضا لشکر بلوکی^۲، احمد باقری^۳، امیر ابوالحسنی^۴

۱ - پاد شیمی نوین

Email: a.nazarimoghaddam@gmail.com

خلاصه:

جداسازی ^{10}B و ^{11}B تاکنون به روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیاری انجام گرفته است. از میان این روشها، تقطیر واکنشی در صنعت کاربرد گسترده‌تری دارد. در این روش، فرایند تبادل ایزوتوپی بین جریان‌های متقابل گاز BF_3 و کمپلکس مایع $\text{BF}_3\text{-Anisole}$ صورت گرفته و ایزوتوپ ^{10}B در کمپلکس مایع غنی می‌گردد. برای تعیین تعداد مراحل تعادلی مورد نیاز از روش ترسیمی مک کیب-تیل استفاده می‌گردد. فاکتور اساسی دیگر در محاسبات ستون‌های تقیر واکنشی، حداقل نسبت جریان برگشتی ستون (R_{\min}) می‌باشد. در این تحقیق مقدار حداقل نسبت برگشتی برای $\alpha=1/0.29$ حدود ۱۴۵ تعیین گردید و در نهایت تعداد مراحل تعادلی ۲۰۷/۷ تعیین گردید.

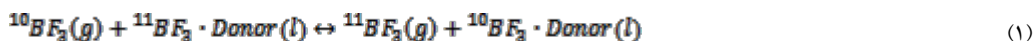
کلمات کلیدی: ^{10}B ، ایزوتوپ پایدار، تقطیر واکنشی، تبادل ایزوتوپی

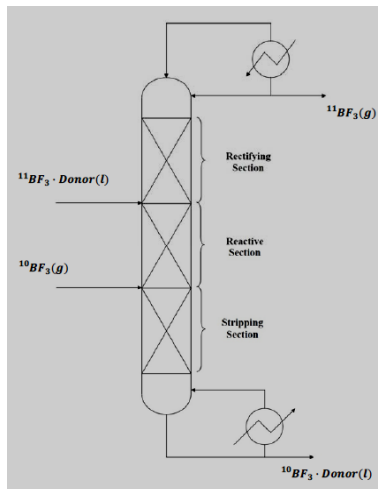
۱ - مقدمه

بور عنصری شبه فلزی است که به صورت پودر بی شکل، قهوه‌ای تیره تا سیاه و جامد بلورین سیاه براق تا خاکستری-نقره ای موجود است. این عنصر دارای دو ایزوتوپ پایدار ^{10}B و ^{11}B می‌باشد که فراوانی آنها در طبیعت به ترتیب ۱۹/۸٪ و ۸۰/۲٪ است. ایزوتوپ ^{10}B کاربردهای بسیار وسیعی در صنایع مختلف از جمله صنایع دارویی دارد. جداسازی ایزوتوپ پایدار ^{10}B تاکنون به روش‌های تقطیر جزء بجزء، کروماتوگرافی تعویض یونی، تبادل ایزوتوپی و لیزر انجام گرفته است. در سالهای گذشته در کشورهای امریکا، انگلیس و روسیه واحدهایی جهت جداسازی این ایزوتوپ با استفاده از روش تقطیر جزء بجزء راه‌اندازی شده است. اما در سال‌های اخیر روش‌های مختلف تبادل ایزوتوپی (تقطیر واکنشی) با توجه به هزینه‌های پایین تر عملیات در مقیاس صنعتی، بیش از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱ و ۲].

۲ - تئوری

فرایند تقطیر جزء بجزء دارای محدودیت‌هایی نظیر فاکتور جداسازی پایین و طولانی بودن زمان جداسازی می‌باشد. مطالعات انجام شده توسط محققان بیانگر کارایی بالاتر روش تبادل ایزوتوپی است. در سیستم‌های تبدلی ایزوتوپی همواره باید جریان‌های مواد در دو فاز گاز و مایع بصورت متقابل و در طول یک ستون با یکدیگر در تماس قرار گیرند (شکل ۱). گاز BF_3 با توجه به الکترون کشندگی بالای سه اتم فلئور در مولکول خود، تمایل زیادی به تشکیل کمپلکس از طریق اتم بور دارد و در فرایندهای تبادل ایزوتوپی، به عنوان اسید لوئیس عمل می‌نماید. لازمه فرایند واکنش تبدلی ایزوتوپی، وجود بور در هر دو فاز گاز و مایع می‌باشد، لذا در فاز گاز از BF_3 خالص و در فاز مایع از کمپلکس این گاز استفاده می‌گردد. کمپلکس مورد استفاده باید تمایل بیشتری به جذب ایزوتوپ ^{10}B نسبت به ایزوتوپ ^{11}B داشته باشد تا به این طریق ایزوتوپ ^{10}B در فاز مایع و ایزوتوپ ^{11}B در فاز گاز تغلیظ گردند. واکنش ۱ مکانیسم کلی فرایند تبادل ایزوتوپی را برای جداسازی ایزوتوپ‌های بور نشان می‌دهد [۳].





شکل ۱: نمایی کلی از فرایند جداسازی ایزوتوپ‌های عنصر بور به روش تبادل ایزوتوپی

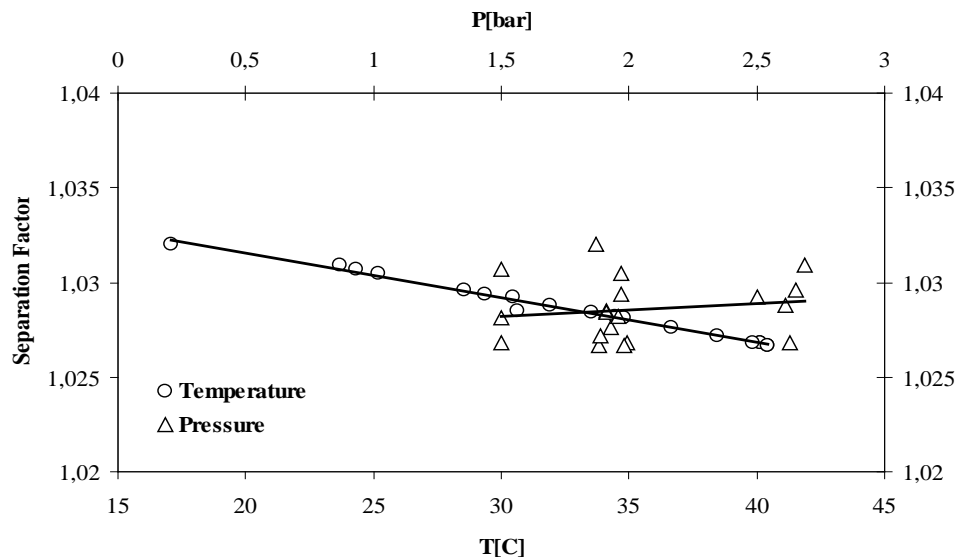
از میان روش‌های مختلف تبادل ایزوتوپی، تبادل ایزوتوپی با استفاده از کمپلکس $\text{BF}_3\text{-Anisole}$ به عنوان ماده واسطه، با توجه به خوردگی کمتر و غیر انفجاری بودن آنیسول و همچنین فاکتور جداسازی بالاتر، ارجح است. جدول ۱ فاکتور جداسازی چند روش تبادل ایزوتوپی را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. در این روش، فرایند تبادل ایزوتوپی در یک ستون آکنده میان جریان‌های متقابل گاز BF_3 و کمپلکس مایع $\text{BF}_3\text{-Anisole}$ صورت می‌گیرد [۱].

جدول ۱: مقایسه فاکتورهای جداسازی فرایندهای مختلف تبادل ایزوتوپی

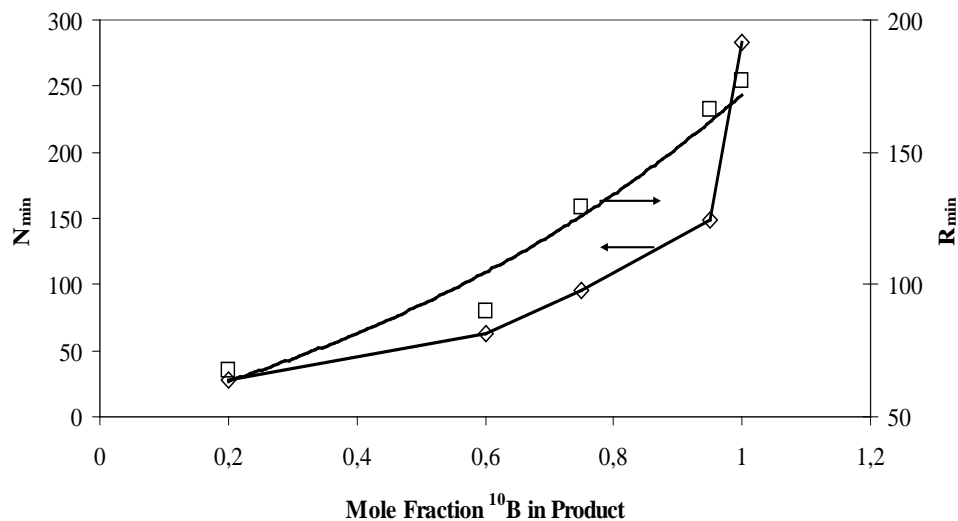
فاکتور جداسازی	فرایند تبادل ایزوتوپی
۱/۰۱۲	کمپلکس دی‌متیل‌اتر
۱/۰۱۶	کمپلکس دی‌اتیل‌اتر
۱/۰۰۴	کمپلکس متیل بورات
۱/۰۰۱	کمپلکس اتیل بورات
۱/۰۲۹	کمپلکس آنیزول

اولین گام در طراحی یک واحد صنعتی تبادل ایزوتوپ تعیین فاکتور جداسازی (α) آن فرایند با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات می باشد. فاکتور جداسازی ایزوتوپ پایدار ^{10}B در فرایند تبادل ایزوتوپی با استفاده از کمپلکس $\text{BF}_3\text{-Anisole}$ بصورت زیر تعریف می گردد. شکل ۲ تابعیت فاکتور جداسازی فرایند مذکور را با دما و فشار نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود فاکتور جداسازی با افزایش دما و فشار بترتیب کاهش و افزایش می یابد بطوریکه دمای 33°C و فشار $1/8\text{bar}$ به عنوان شرایط عملیاتی بهینه می باشد و فاکتور جداسازی در این شرایط برابر $1/029$ خواهد بود.

$$\alpha = \frac{\text{Anisole} \cdot {}^{10}\text{BF}_3(\text{l}) / \text{Anisole} \cdot {}^{11}\text{BF}_3(\text{l})}{{}^{10}\text{BF}_3(\text{g}) / {}^{11}\text{BF}_3(\text{g})} \quad (2)$$



در شرایط عملیاتی و فاکتور جداسازی بهینه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ و با در نظر گرفتن جزء مولی ۰/۹ برای محصول، حداقل تعداد مراحل تعادلی ۱۲۵ مرحله و حداقل نسبت برگشت ۱۴۵ خواهد بود [۵].



شکل ۳: حداقل تعداد مراحل تعادلی و حداقل نسبت جریان برگشتی مورد نیاز بر حسب غلظت ¹⁰B در محصول در فاکتور جداسازی ۱/۰۲۹

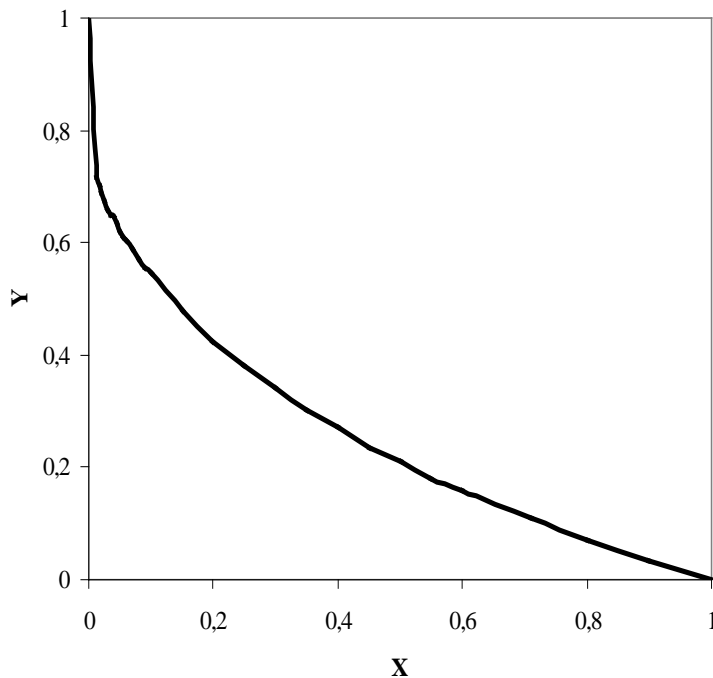
۳-۲- تعیین تعداد مراحل تعادلی و نسبت برگشت

حال با در اختیار داشتن مقادیر N_{min} و R_{min} می‌توان مقادیر N و R را تعیین نمود. مقدار R در استانداردهای طراحی ۱/۲ تا ۱/۵ برابر R_{min} فرض می‌گردد. اگر مقدار R را ۱/۳ برابر R_{min} در نظر بگیریم، مقدار آن برابر ۱۸۸/۵ خواهد بود. برای تعیین مقدار N لازم است تا از منحنی Gilliland استفاده گردد. در این نمودار محور افقی (X) تابعی از نسبت برگشت و محور عمودی (Y) تابعی از تعداد مراحل تعادلی می‌باشد. معادلات ۳ و ۴ پارامترهای X و Y را نشان می‌دهند.

$$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1} \quad (۳)$$

$$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1} \quad (۴)$$

اکنون با در اختیار داشتن مقادیر R و R_{min} می‌توان مقدار X را محاسبه نمود، که مقدار آن برابر ۰/۲۳ تعیین می‌گردد. حال اگر از X محاسبه شده، خطی عمود بر محور افقی تا منحنی Gilliland رسم شود و سپس بصورت افقی تا محور عمودی پیش برود، مقدار Y بدست آمده و می‌توان مقدار N را تعیین نمود. مقدار Y بدست آمده برابر ۰/۴ تعیین می‌شود. حال با داشتن مقادیر Y و N_{min} و به کمک معادله ۴ می‌توان مقدار N را تعیین نمود، که مقدار آن برابر ۲۰۷/۶۷ تعیین می‌گردد، لذا تعداد مراحل تعادلی لازم باید ۲۰۸ مرحله در نظر گرفته شود.



شکل ۴: نمودار Gilliland در تقطیر [۲]

۴- نتیجه گیری

در مقاله حاضر، ابتدا فاکتور جداسازی بهینه روش تبادل ایزوتوپی با کمپلکس $\text{BF}_3\text{-Anisole}$ جهت غنی‌سازی ایزوتوپ پایدار ^{10}B به همراه شرایط عملیاتی (دما و فشار) بهینه تعیین گردید. سپس حداقل تعداد مراحل تعادلی و حداقل نسبت برگشت در شرایط بهینه، تعیین شد و در نهایت تعداد کل مراحل تعادلی مورد نیاز با استفاده از تکنیک Gilliland محاسبه گردید.

۵- مراجع

[1]. J. R. Merriman, J. H. Pashley, N. W. Snowm (1966), **Engineering-scale studies of Boron isotope Separation**, Technical Report, Report Number K- 1653, UNION CARBID CORPORATION NUCLEAR DIVISION Oak Ridge Gasous Diffusion Plant, Oak Ridge, Tennessee.



-
- [2] S.G. Katalnikov (2001), **Physico-chemical and Engineering Principles of Boron Isotopes Separation by Using BF_3 -Anisole- BF_3 System**, Separation Science and Technology, 36(8&9), 1737-1768.
- [3] A.A. Palko (1959), **Separation of Boron Isotopes in the Bench-Scale Boron Fluoride-Anisole Unit**, Chemistry Division, Oak Ridge National Laboratory, 51(2), 121-124.
- [4] S.V. Ribnikar (1957), **Chemical Exchange Reactions with Boron and Laboratory Exchange Column for ^{10}B Enrichment**, Proceeding of the Symposium on Isotope Separation, Amsterdam, 204-209.
- [5] R.E. Treybal, **Mass Transfer Operations**, 1982, Mc GrawHill, New York.