

بررسی اثر توان مصرفی و فشار بالای روتور روی تغییرات دما در طول ماشین سانتریفیوژ

مجید آقایی^{۱،۲*}، سید جابر صفدری^۱، محمدحسن ملاح^۱، جواد کریمی ثابت^۱، محمد اتوکش^۲

۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشگاه چرخه سوخت هسته ای

۲- دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده انرژی

چکیده

ماشین سانتریفیوژ یکی از مهمترین تجهیزات مکانیکی در غنی سازی اورانیوم به روش سانتریفیوژ گازی می باشد و عوامل مختلفی روی راندمان جداسازی آن تاثیرگذار خواهند بود. از جمله این عوامل می توان به توان مصرفی و فشار سر ماشین اشاره نمود. از آنجائیکه اختلاف دمای بالا و پایین روتور از عوامل موثر روی جداسازی می باشد در این مقاله با استفاده از گاز UF_6 و یک ماشین سانتریفیوژ با جریان ناهمسو، آزمایشات مختلفی به منظور بررسی اثر توان مصرفی (با تغییر ولتاژ) و فشار سر ماشین (بین پوسته و روتور) انجام پذیرفت. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می دهد:

- افزایش ولتاژ سبب افزایش دمای پایین روتور می گردد بطوریکه دمای بالای ماشین تقریباً تغییر نمی نماید.
- افزایش اختلاف دمای پایین و بالای روتور سبب افزایش کار جداسازی (SWU)، فاکتور جداسازی (α) و فاکتور تهی سازی (β) می گردد.
- افزایش فشار سر ماشین (بین پوسته و روتور) باعث افزایش دمای بالای روتور می شود. این افزایش فشار سر ماشین، اگر به روش نشت مصنوعی انجام پذیرد به علت وجود گازهای سبک سبب کاهش راندمان ماشین سانتریفیوژ می گردد.

کلید واژه: سانتریفیوژ گازی، گرادیان دمایی، توان مصرفی، فشار سر ماشین

مقدمه

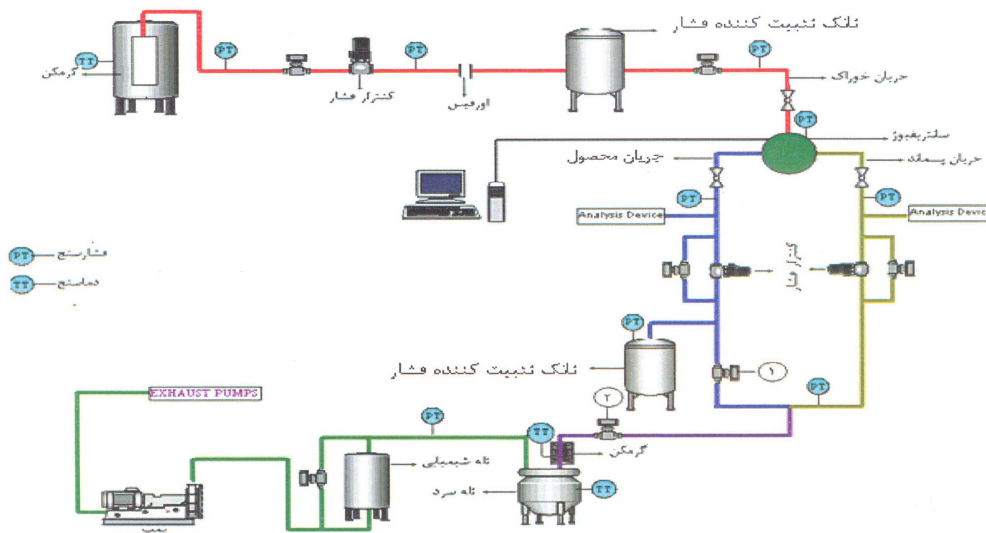
جدایش ایزوتوپ سبک از سنگین به وسیله یک میدان گریز از مرکز بدست می آید که این میدان یک گرادیان فشار را برای مخلوط گازی ایجاد می نماید. از آنجائیکه اثر گریز از مرکز به جرم ماده بستگی دارد، توزیع این گرادیان فشار برای دو ایزوتوپ متفاوت خواهد بود [1]. اما جداسازی که به این صورت انجام می شود بسیار محدود است. با ایجاد یک جریان اضافی درون روتور در راستای محوری، ظرفیت جدایش را می توان بالاتر برد [2]. ماشین سانتریفیوژ وسیله ای است که در آن از نیروهای شبه گرانشی برای جداسازی استفاده می گردد. ساده ترین روش برای غنی سازی ماشین سانتریفیوژ جریان همسو می باشد که در آن

جریان گاز از یک طرف روتور وارد و از طرف دیگر روتور، دو جریان در دو شعاع مختلف خارج خواهند شد، در این روش غنی سازی محدود به میزانی است که در یک مرحله بدست می آید. موثرترین روش برای افزایش غنی سازی، ایجاد جریان متقابل در درون ماشین سانتریفیوژ می باشد، توان مصرفی ماشین سانتریفیوژ یکی از پارامترهای فرآیندی است که بر روی کارایی آن تاثیر دارد به همین علت سعی می گردد روتورهای ساخته شده دارای کمترین توان ممکن باشند، یکی از عواملی که بر روی توان اثر می گذارد ولتاژ مصرفی ماشین است، بر همین اساس می توان با تغییر ولتاژ توان مصرفی ماشین را تغییر داد و بدین ترتیب می توان اثر توان بر روی توزیع دمای روتور و پارامترهای فرآیندی ماشین را بدست آورد [3].

افزایش فشار سر ماشین سانتریفیوژ (بین پوسته و روتور) سبب افزایش توان مصرفی ماشین و گرم شدن دمای بالای روتور می شود و به طبع آن سبب ایجاد اختلاف درجه حرارت زیاد بین بالا و پایین روتور می شود، به همین علت می توان با ایجاد فشار مصنوعی در سر ماشین اختلاف درجه حرارت بیشتری بین بالا و پایین ماشین ایجاد نمود [4]. در این پژوهش با نصب سنسورهای دمایی مناسب تاثیر توان (با تغییر ولتاژ مصرفی) و فشار سر ماشین (بین پوسته و روتور) بر روی تغییرات دمای روتور و پارامترهای فرآیندی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

روش کار

نمایی از سیستم مورد نظر برای انجام آزمایشات در شکل ذیل نشان داده می شود که از اجزای مختلفی تشکیل شده است:



شکل (۱): نمایی از سیستم استفاده شده برای انجام آزمایشات

کپسول UF₆ داخل یک گرمکن که در دمای ۴۰-۳۰ درجه سانتیگراد کار می کند قرار داده شده است که گاز در این دما دارای فشار ۱۵۰-۱۴۰ میلی بار می باشد. برای اینکه گاز با فشار یکنواخت وارد ماشین شود از یک تانک در مسیر جریان استفاده می شود. گاز UF₆ پس از عبور از تانک تثبیت کننده وارد ماشین شده و جریان های پسماند و محصول خروجی از ماشین پس از نمونه گیری با هم مخلوط شده و توسط تله سرد که در دمای ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتیگراد کار می کند جمع آوری می شود، جهت جلوگیری از انجماد گاز در قسمت ورودی از یک گرمکن الکتریکی اطراف شیر ورودی استفاده می شود. در ادامه از یک ستون جاذب NaF و پمپ استفاده می گردد. جهت اندازه گیری نسبت ایزوتوپی اورانیوم از دستگاه طیف سنج جرمی استفاده می شود. شیرهای کنترل فشار جریان های پسماند و محصول، برای اندازه گیری فشار مرتبط بکار گرفته می شوند. در این کار از دماسنج های نوع مادون قرمز (IR) و دماسنج های نوع مقاومتی (PT-100)، شیر نشستی (leak valve)، فشار شکن و برد اندازه گیری توان تحت عنوان تجهیزات جانبی استفاده گردیده است.

بحث و نتایج

الف) اثر توان مصرفی روی تغییرات دما در طول ماشین

در این مقاله برای نشان دادن تاثیر توان مصرفی روی تغییرات دما در طول پوسته و روتور بوسیله سیستم نشان داده شده در شکل (۱) آزمایشات تجربی مختلفی انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی (دمای آب در تمام حالات برابر ۹ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شد) و نتایج این آزمایشات به ترتیب در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱: شرایط آزمایش جهت بررسی اثر توان بر تغییرات دما و پارامترهای فرآیندی

توان مصرفی در حین گاز دهی	ولتاژ مصرفی در حین گاز دهی	ولتاژ اعمالی (ولت)	دبی آب خنک کننده بالا (liter/min)	دبی آب خنک کننده پایین (liter/min)	قطر اوریفیس جریان پسماند (mm)	دبی خوراک gr(UF ₆)/hr
۴۵/۵۴	۲۵۰/۱۱	۲۵۰	۰	۴	۱/۲	۷۶/۳۵
۴۷/۱۴	۲۸۷/۷۴	۳۳۰	۰	۴	۱/۲	۷۳/۶۱
۵۲/۷۶	۳۳۱/۸۶	۴۱۰	۰	۴	۱/۲	۷۵/۴۱

جدول ۲: نتایج آزمایش بررسی اثر توان بر توزیع دما و پارامترهای فرآیندی

دبی خوراک gr(UF ₆)/hr	ولتاژ اعمالی (ولت)	دمای روتور (درجه سانتیگراد)					دمای پوسته (درجه سانتیگراد)					ΔT بالا-پایین	α	β	SWU Kg(UF ₆)/year
		در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا	در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا				
۷۶	۲۵۰	۴۶/۲۳	۴۱/۹۴	۲۹/۸۳	۳۹/۴۱	۶۰/۸۷	۱۳/۶	۱۴/۱	۱۶/۱	۱۷/۱	۱۹	۱۸/۹۳	۱/۱۴۶	۱/۱۲۶	۵/۲۳۶
۷۳/۶۱	۳۳۰	۴۸/۹۹	۴۳/۶۶	۲۹/۹۲	۳۹/۲۷	۶۰/۰۹	۱۴/۱۵	۱۴/۹	۱۶/۳	۱۷/۵	۱۹/۳	۱۶/۴۳	۱/۱۴۰	۱/۱۲۲	۵/۰۰۵
۷۵/۴۱	۴۱۰	۵۱/۵۷	۴۳/۸۵	۲۹/۸۶	۳۹/۱۵	۶۰/۳۵	۱۵/۲	۱۵	۱۶/۹	۱۷/۸	۱۹/۹	۱۶/۱	۱/۱۳۸	۱/۱۲۶	۴/۸۹۵

همانطوریکه مشاهده می شود با افزایش توان فقط دمای درپوش پایینی و پایین روتور تغییر می نماید زیرا با افزایش ولتاژ توان زیاد می شود و به طبع آن تلفات هیستریزس در پایین روتور زیاد می گردد به همین علت دمای در پوش پایین روتور در توان های بالاتر بیشتر می شود. با افزایش ولتاژ اختلاف دمای بالا و پایین روتور بصورت ناچیزی کم می شوند و به دنبال آن کار جداسازی کمی تغییر می نماید.

ب) اثر فشار سر ماشین روی تغییرات دما در طول ماشین

در این بررسی برای نشان دادن تاثیرات فشار بالای ماشین روی تغییرات دما در طول روتور و پوسته آزمایشات مختلفی انجام پذیرفت. برای بررسی اثر تغییر فشار سر ماشین بر روی توزیع دما و پارامترهای فرآیندی از یک شیر نشستی استفاده گردید و بوسیله یک فشارسنج، فشار سر ماشین یعنی بین پوسته و روتور اندازه گیری شد. و به این ترتیب فشارهای مختلفی بر سر ماشین اعمال گردید. در این کار دما، فشار سر ماشین و ولتاژ مصرفی توسط نرم افزار Lab View ثبت گردیده است. نتایج این آزمایشات در جداول (۳) و (۴) نشان داده شده است.

جدول ۳: تغییرات دما و سایر پارامترهای اندازه گیری شده در فشار ۰/۰۱۲ میلی بار (فشار سر ماشین)

دبی خوراک gr(UF ₆)/hr	فشار سر ماشین (میلی بار)	دمای روتور (درجه سانتیگراد)					دمای پوسته (درجه سانتیگراد)					ΔT بالا-پایین	α	β	SWU Kg(UF ₆)/year
		در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا	در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا				
۵۴/۱۶	۰/۰۱۲	۴۲/۰۸	۴۰/۶۱	۲۷/۶۳	۳۳/۶۳	۵۴/۷۵	۱۴/۴	۱۴	۱۶/۳	۱۷/۷	۱۹/۹	۱۴/۰۵	۱/۱۶۹	۱/۱۱۱	۳/۸۸۱
۶۴/۰۸	۰/۰۱۲	۴۵/۵۵	۴۳/۸۶	۲۹/۹۹	۳۶/۲۰	۵۹/۰۷	۱۴/۲	۱۴	۱۶/۵	۱۸/۱	۲۰/۴	۱۵/۱۴	۱/۱۴۷	۱/۱۰۸	۳/۹۴
۷۴/۶۵	۰/۰۱۲	۴۶/۴۱	۴۴/۵۴	۳۰/۴۲	۳۷/۷۶	۶۲/۸۰	۱۴/۴	۱۴/۲	۱۶/۷	۱۸/۴	۲۰/۸	۱۸/۳	۱/۱۴۰	۱/۱۱۲	۴/۳۶۷

جدول ۴: تغییرات دما و سایر پارامترهای اندازه گیری شده در فشار ۰/۰۷۷ میلی بار (فشار سر ماشین)

دبی خوراک gr(UF ₆)/hr	فشار سر ماشین (میلی بار)	دمای روتور (درجه سانتیگراد)					دمای پوسته (درجه سانتیگراد)					ΔT بالا-پایین	α	β	SWU Kg(UF ₆)/year
		در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا	در پوش پایین	پایین	وسط (۱)	وسط (۲)	بالا				
۵۴/۲۵	۰/۰۷۷	۴۵/۷۷	۴۲/۹۱	۳۲/۳۰	۴۰/۱۵	۶۷/۰۱	۱۴/۱	۱۴	۱۵	۱۷/۹	۲۱/۷	۲۴/۱۰	--	۱/۰۹۶	--
۶۵/۸۰	۰/۰۷۷	۴۸/۵۶	۴۵/۷۶	۳۳/۹۱	۴۲/۲۹	۷۱/۴۹	۱۴/۳	۱۴/۱	۱۵/۱	۱۷/۹	۲۱/۹	۲۵/۷۳	--	۱/۰۸۹	--
۷۳/۵	۰/۰۷۷	۵۰/۴۵	۴۸/۰۷	۳۴/۸۸	۴۳/۵۳	۷۳/۳۰	۱۴/۴	۱۴	۱۵/۴	۱۸/۳	۲۲/۵	۲۵/۲۲	--	۱/۰۸۸	--

همانطوریکه انتظار می رفت با افزایش فشار سر ماشین، دمای بالای ماشین در اثر برخورد مولکول های گاز با پمپ مولکولار و روتور، زیاد شده است و به همین علت اختلاف درجه حرارت بالا و پایین ماشین زیاد شده است. گاز سبک وارد شده به ماشین از قسمت اسکوپ محصول خارج شده و به همین علت آنالیز محصول مقدور نبود ولی آنالیز قسمت پسماند همانطوریکه در جدول (۴) آورده شده است نشان دهنده کاهش شدید فاکتور تهی سازی نسبت به حالت قبل می باشد و به همین دلیل می توان گفت که کار جداسازی به شدت افت کرده است که علت آن را می توان در برهم خوردن جریان چرخشی داخل روتور دانست که در اثر ورود گاز سبک به داخل روتور اتفاق افتاده است.

نتیجه گیری

- ۱- افزایش ولتاژ سبب افزایش دمای پایین روتور می گردد بطوریکه دمای بالای ماشین تقریباً تغییر نمی نماید.
- ۲- افزایش اختلاف دمای پایین و بالای روتور سبب افزایش کار جداسازی (SWU) فاکتور جداسازی (α) و فاکتور تهی سازی (β) می گردد.
- ۳- افزایش فشار سر ماشین (بین پوسته و روتور) باعث افزایش دمای بالای روتور می شود. این افزایش فشار سر ماشین، اگر به روش نشئت مصنوعی انجام پذیرد به علت وجود گازهای سبک سبب کاهش راندمان ماشین سانتریفیوژ می گردد.

مراجع

1. D. A. D. Andrade and J. L. F. Bastos, "Thermal Hydrodynamical Analysis of a Countercurrent Gas Centrifuge", Ann. Nucl. Energy, Vol. 25, No.11, 859-888(1998).
2. D. R. Olander, "Technical basis of the gas centrifuge", Adv. Nucl. Sci. Tech, Vol. 6, 105-174 (1972).
3. K. Cohen, "The Theory of Isotope Separation", McGraw Hill Co., Inc, New York, 103-125 (1951).
4. S. Villani and et al., "Uranium enrichment topics in Applied Physics", Vol. 35, Springer-Verlag (1979).