

بررسی تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز و دمای دیواره روتور سانتریفوژ زیربحرانی

محمدحسن صادقی^۱، محمد اتوکش^{۲*}، جواد کریمی ثابت

۱. دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۲. پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران

چکیده

در تحقیق حاضر از مخلوط ۴۷-۵۳ درصد وزنی از گازهای فرئون-۱۲ و فرئون-۲۲ استفاده و به صورت تجربی تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر روی میزان انباشتگی گاز درون روتور و دمای دیواره روتور بررسی شده است. برای این منظور، چهار فاصله اسکوپ پسماند از دیواره (۶/۱۲ mm، ۵، ۴، و ۳) و پنج دبی جریان خوراک (۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵، و ۴۰) انتخاب و ۲۰ آزمایش طراحی شد. نتایج نشان داد که، توزیع طولی دمای دیواره روتور از بالا به پایین کاهش یافته و درپوش بالایی گرمتر است. با افزایش دبی جریان خوراک به علت افزایش یکنواخت تجمع گاز و تعداد برخوردها با نقاط مختلف روتور، دمای تک تک نقاط دیواره روتور به صورت یکنواخت افزایش یافت و اختلاف دمای بالا و پایین روتور ثابت ماند. با کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره و افزایش نیروی پسا وارد بر گاز بالای روتور، دما ناحیه بالایی روتور افزایش یافته و در نتیجه اختلاف دمای بالا و پایین روتور اندکی افزایش پیدا کرد. اختلاف دمای بالا و پایین روتور تنها تابع مشخصات فیزیکی سانتریفوژ از جمله موقعیت اسکوپ پسماند است. بالاترین دمای متوسط روتور ۳۱۶ k در فاصله اسکوپ ۳ mm و دبی ۴۰ g/h و کمترین دمای متوسط روتور ۳۰۵ k در فاصله اسکوپ ۶/۱۲ mm و دبی ۱۰ g/h اندازه‌گیری شد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۲۰ مرداد ۱۳۹۶
دریافت پس از اصلاح: ۹ شهریور ۱۳۹۷
پذیرش نهایی: ۳۱ شهریور ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:

سانتریفوژ زیر بحرانی
فرئون
اسکوپ پسماند
دمای دیواره روتور

۱- مقدمه

ملکولار، جریان گردابی ناشی از یاتاقان مغناطیسی و آهن‌ربای درپوش بالای روتور، برخورد گاز به اسکوپ بالا، و نیروی پسای حاصل از عبور گاز از اسکوپ اشاره کرد. از منابع حرارتی که درپوش پایین روتور را گرم می‌کنند می‌توان از تلفات هیستریزس، برخورد گاز با اسکوپ پایین، و گرمای استاتور ناشی از مقاومت سیم پیچ در برابر جریان نام برد [۱۱].

دانیسته برخورد ملکول‌های گاز با یکدیگر و با المان‌های سانتریفوژ گازی وابسته به انباشتگی گاز درون روتور است. با توجه به آنکه برخورد ملکول‌های گاز با یکدیگر و با دیواره روتور و اسکوپ‌های سانتریفوژ از جمله منابع حرارتی گرم-کننده روتور محسوب می‌شوند، بنابراین میزان انباشتگی گاز درون روتور بر دمای دیواره روتور تاثیرگذار خواهد بود و می‌توان برخی از رفتارهای توزیع طولی دمای روتور سانتریفوژ را براساس تغییرات مقدار انباشتگی گاز درون روتور توصیف کرد. پارامترهای تاثیرگذار بر میزان انباشتگی گاز داخل ماشین عبارتند از: قطر بافل، دبی خوراک، برش، سرعت خطی، فاصله اسکوپ‌های پسماند و محصول از دیواره روتور [۱۱].

در هیچ یک از مقالات منتشر شده توزیع دمای روتور سانتریفوژ زیربحرانی بررسی نشده است. در تحقیق حاضر روند اثرگذاری فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و مقدار دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز درون روتور و دمای دیواره روتور، با استفاده از مخلوط گازهای فرئون-۱۲ و فرئون-۲۲ بررسی شده است. بررسی توام اثرگذاری دبی جریان خوراک و فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور بر میزان انباشتگی گاز و دمای دیواره روتور سانتریفوژ زیربحرانی تاکنون بررسی نشده است.

۲- روش انجام آزمایش

ابتدا گازهای فرئون-۱۲ و فرئون-۲۲ با یکدیگر مخلوط و خوراک گازی حاوی ۵۳ درصد جرمی فرئون-۱۲ و ۴۷ درصد جرمی فرئون-۱۲ تهیه شد. به منظور بررسی نحوه اثرگذاری دبی جریان خوراک و فاصله اسکوپ پسماند از دیواره، ابتدا می‌بایست محدوده تغییرات این دو پارامتر در آزمایش‌ها مشخص می‌شد. نتایج اولیه نشان داد که به دلیل سبک بودن نسبی این گازها نمی‌توان از دبی‌های بیشتر از ۴۰ گرم بر ساعت استفاده کرد، زیرا در این دبی‌ها فشار سرماشین در محدوده بالاتر از ۰/۱ میلی بار قرار می‌گرفت. براساس تجربیات عملیاتی، در این محدوده از فشار سرماشین احتمال خرد شدن روتور سانتریفوژ زیاد است. در محدوده بین ۱۰ تا ۴۰ گرم بر

استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در پزشکی، صنعت، و تحقیقات به صورت قابل توجه افزایش یافته است. یکی از روش‌های مهم جداسازی ایزوتوپ‌های پایدار مانند زنون و کریپتون، روش سانتریفوژ گازی است. امروزه در دنیا سانتریفوژهایی با طول ۱۲ متر و قطر ۰/۶ متر طراحی و بهره‌برداری شده‌اند که سرعتی بیش از ۲۵۰۰۰ rpm دارند و ظرفیت آن‌ها بیش از ۱۰۰ واحد جداسازی است [۱]. وجود چنین ماشین‌هایی علاقه به جداسازی ایزوتوپ‌های پایدار با استفاده از سانتریفوژ را به صورت قابل توجه‌ای افزایش داده است.

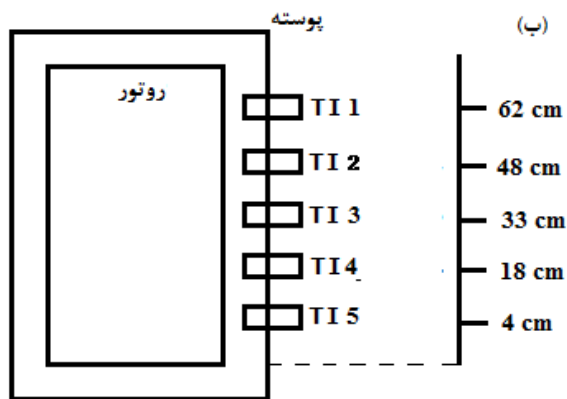
یکی از مسائل مورد توجه محققان در این زمینه، بهینه‌سازی فرآیند و مشخصات فیزیکی ماشین سانتریفوژ در جهت افزایش میزان جداسازی در هر سانتریفوژ است. جداسازی با استفاده از سانتریفوژ گازی یک فرآیند هیدرودینامیکی پیچیده است، از اینرو مطالعات تجربی یک قسمت حیاتی تمامی مطالعات بهینه‌سازی است. حتی دقیق‌ترین تئوری‌ها قبل از آنکه قابل استفاده در طراحی‌ها باشند، نیاز به تاییدیه تجربی دارند. تحلیل جداسازی سانتریفوژ گازی اولین بار توسط کوهن و همکارانش [۲] با استفاده از فرضیات ساده کننده بسیاری انجام و معادله کوهن-انساگر نامیده شد. از آن زمان مطالعات تجربی و تئوری بسیاری در راستای پیشرفت تکنولوژی سانتریفوژ گازی انجام گرفته است [۳، ۴، ۵]. از روش سانتریفوژ گازی برای جداسازی گازهای غیر ایزوتوپی [۶، ۷] به ویژه برای زدایش آلاینده‌های گاز طبیعی [۸، ۹] نیز استفاده شده است. میزان جداسازی مخلوط‌های ایزوتوپی در یک ماشین سانتریفوژ، به دلیل اختلاف اندک جرم ملکولی ایزوتوپ‌ها اغلب بسیار ناچیز است، از اینرو بررسی تجربی برخی از پارامترهای سانتریفوژ گازی با استفاده از مخلوط‌های ایزوتوپی بسیار دشوار است. استفاده از یک مخلوط غیر ایزوتوپی با اختلاف جرم ملکولی زیاد به منظور بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای ماشین سانتریفوژ، روش جایگزین بسیار مناسبی است [۱۰].

در مراجع قابل دسترس از جمله [۴، ۵، ۷] توزیع دمای روتور سانتریفوژ فوق‌بحرانی به صورت افزایشی-کاهشی نشان داده شده است. یعنی در سانتریفوژهای فوق‌بحرانی دمای روتور از درپوش بالا به طرف درپوش پایین ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. از منابع حرارتی که درپوش بالای روتور را گرم می‌کنند می‌توان به برخورد ملکول‌های گاز با پمپ

بررسی تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز و دمای دیواره روتور سانتریفوژ زیربحرانی

انحراف برای آن آزمایش حاصل شود. دور روتور سانتریفوژ در آزمایش‌ها ۹۰۰ Hz در نظر گرفته شد. شماتیک سانتریفوژ زیربحرانی مورد استفاده در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. ارتفاع و قطر روتور سانتریفوژ به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۲ متر است.

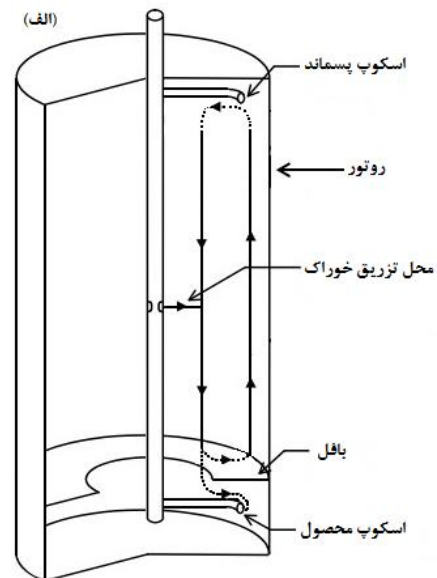
جهت اندازه‌گیری دمای روتور از دماسنج‌های مادون قرمز استفاده شد. این سنسورها برای اندازه‌گیری دما از راه دور مناسب هستند. محل استقرار سنسورهای دما (TI) در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. به دلیل قرار گرفتن دماسنج‌های ۱ و ۵ بر روی پمپ ملکولار و حلقه نگه‌دارنده ضربه سانتریفوژ، دمای دماسنج‌های ۱ و ۵ در واقع دمای پمپ ملکولار و حلقه نگه‌دارنده هستند.



ساعت، ۵ دبی جریان خوراک ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۵، و ۴۰ گرم بر ساعت برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شدند.

در فواصل اسکوپ پسماند از دیواره بیشتر از ۶/۱۲ میلی-متر، دهانه خروجی اسکوپ پسماند در ناحیه کم فشار قرار می‌گرفت و مقدار گاز خروجی از اسکوپ پسماند بسیار اندک بود. تنظیم فاصله اسکوپ پسماند از دیواره کمتر از ۳ میلی‌متر نیز امکان‌پذیر نبود. از اینرو فواصل ۶/۱۲، ۵، ۴، و ۳ میلی‌متر در آزمایش‌ها به عنوان فاصله اسکوپ پسماند از دیواره در نظر گرفته شدند.

۲۰ آزمایش در دبی‌های جریان خوراک و فواصل اسکوپ پسماند از دیواره در نظر گرفته شده، انجام شد. هر آزمایش سه مرتبه تکرار شد و در صورت مشاهده انحراف در نتایج هر آزمایش، تعداد تکرارها افزایش می‌یافت تا سه داده بدون



شکل (۱) الف- شماتیک سانتریفوژ گازی، ب- محل قرار گرفتن سنسورهای دما بر روی پوسته سانتریفوژ (با اقتباس از مرجع [۱۰])

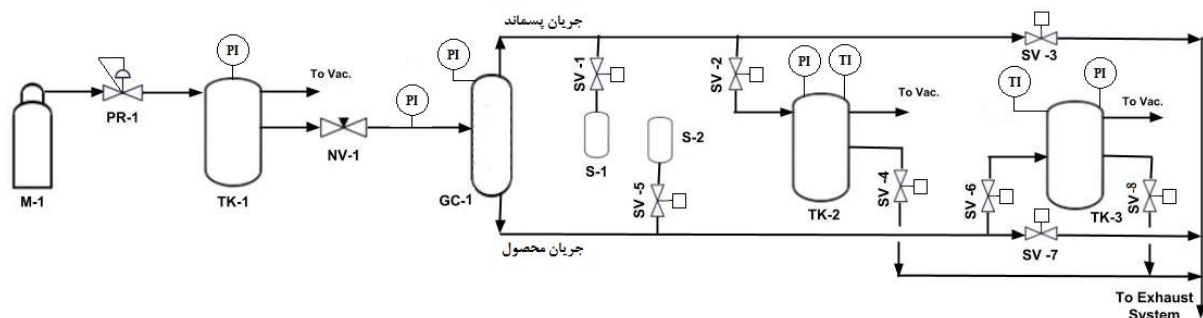
مخزن TK-2 قبل از شروع این فرایند می‌بایست خلا شده باشد. بعد از هدایت جریان پسماند به سمت مخزن TK-2، براساس افزایش فشار این مخزن در بازه‌های زمانی مشخص و استفاده از قانون گاز ایده‌ال، دبی جریان پسماند محاسبه می‌شد. اندازه‌گیری دبی جریان پسماند مرتب انجام شده تا پایا بودن فرایند مشخص گردد. دبی جریان محصول نیز براساس روش توصیف شده برای جریان پسماند و با استفاده از مخزن TK-3 اندازه‌گیری می‌شد. دبی خوراک برابر مجموع دبی‌های جریان پسماند و محصول است.

انباشتگی گاز درون روتور سانتریفوژ به صورت غیر مستقیم و براساس فشار یکی از جریان‌های محصول و پسماند

چیدمان تجهیزات در شکل (۲) نشان داده شده است. مخلوط گازهای فرئون درون کپسول M-1 بعد از عبور از ریگلاتور PR-1 وارد مخزن TK-1 شده به طوری که فشار گاز در ریگلاتور PR-1 تا ۰/۱ bar کم می‌شد. مخزن TK-1 و شیر سوزنی NV-1 به ترتیب نقش‌های تثبیت کننده فشار خوراک و تنظیم کننده دبی جریان خوراک را داشتند. بعد از عبور گاز از سانتریفوژ، جریان پسماند و محصول به ترتیب از بالا و پایین ماشین خارج می‌شد. ظروف نمونه‌گیری S-1 و S-2 برای نمونه‌گیری از جریان‌های خروجی از سانتریفوژ در نظر گرفته شده بود. برای تنظیم دبی پسماند، ابتدا شیرهای مغناطیسی SV-3 و SV-4 بسته و شیر مغناطیسی SV-2 باز می‌شد.

مخزن در واقع همان میزان انباشتگی گاز درون ماشین است. معیار رسیدن به حالت پایا، عدم تغییر دماهای دیواره روتور و فشار جریان‌های محصول و پسماند در نظر گرفته شده است. به منظور اطمینان از تخلیه کامل گاز از درون ماشین، بعد از اتمام اندازه‌گیری مقدار انباشتگی، تانک مورد استفاده تخلیه و مجدداً مراحل اندازه‌گیری مقدار انباشتگی تکرار می‌شد. زمانی که این تانک دیگر فشار نمی‌گرفت، مشخص بود که تمام گاز درون روتور تخلیه شده است

محاسبه می‌شود [۱۲]. در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری میزان انباشتگی گاز درون ماشین در حالت پایا، ابتدا هر سه مسیر خوراک، محصول، و پسماند ماشین همزمان بسته، سپس تمام گاز درون روتور از مسیر پسماند به داخل یک مخزن خالی با حجم مشخص تخلیه می‌شد. با فرض ایده‌آل بودن گاز و استفاده از قانون گاز ایده‌آل، جرم وارد شده به مخزن براساس حجم مخزن، دمای مخزن، و فشار ایجاد شده حاصل از گاز ورودی به آن محاسبه شد. جرم وارده شده به



شکل (۲) چیدمان تجهیزات فرایند جداسازی مخلوط گازهای فرئون بوسیله سانتریفوژ گازی (M): کیسول خوراک، PR: ریگلاتور فشار، TK: مخزن نگهدارنده، NV: شیر سوزنی، GC: سانتریفوژ گازی، SV: شیر مغناطیسی، S: ظرف نمونه‌گیری، PI: فشارسنج، TI: دماسنج

مستقیم گاز و هم‌چنین تلفات حرارتی موجود در یاتاقان مغناطیسی بالا، بیشتر از مجموع گرمای ایجاد شده توسط استاتور و اسکوپ محصول در قسمت پایینی روتور است. توزیع دمای روتور مربوط به آزمایش‌های ۱ تا ۵، ۶ تا ۱۰، ۱۱ تا ۱۵ و ۱۶ تا ۲۰ به ترتیب در در شکل‌های (۳)، (۴)، (۵)، و (۶) نشان داده شده‌اند. بالاترین دمای متوسط روتور ۳۱۶ درجه کلوین و مربوط به فاصله اسکوپ ۳ میلی‌متر و دبی ۴۰ گرم بر ساعت و کمترین دمای متوسط روتور ۳۰۵ درجه کلوین و مربوط به فاصله اسکوپ ۶/۱۲ میلی‌متر و دبی ۱۰ گرم بر ساعت است.

۳- یافته‌ها و بحث

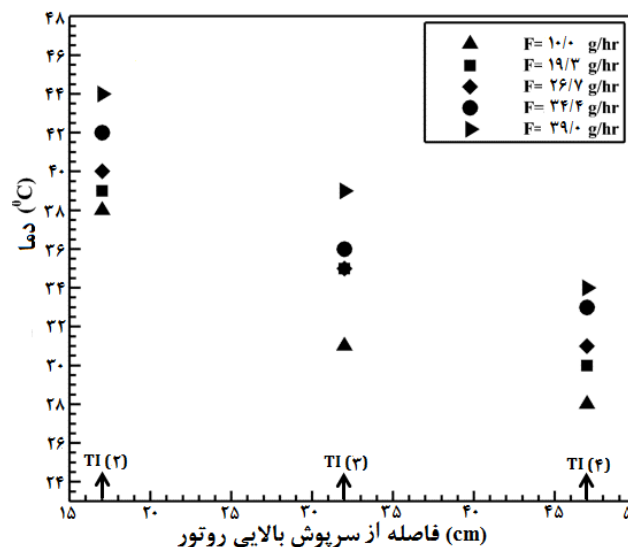
دماها و میزان انباشتگی گاز درون روتور مربوط به آزمایش‌های ۱ تا ۲۰ در جدول (۱) نشان داده شده است. در جدول (۱) دماهای T_2 ، T_3 ، T_4 ، T_{Ave} و ΔT به ترتیب بیانگر دمای سنسورهای TI_2 ، TI_3 ، TI_4 ، میانگین دمای سه سنسور، و اختلاف دمای بالای و پایین روتور هستند. برش نشان‌دهنده نسبت دبی جرمی محصول به دبی جرمی خوراک است.

در نتایج بدست آمده مشخص است که توزیع طولی دمای دیواره روتور از بالا به پایین کاهش یافته است و سرپوش بالایی گرم‌تر است. بنابراین گرمای ایجاد شده در قسمت بالایی روتور ناشی از قرارگیری اسکوپ پسماند در مسیر

بررسی تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز و دمای دیواره روتور ساترifoژ زیربحرانی

جدول (۱) دماها و میزان انباشتگی گاز درون روتور مربوط به آزمایش‌های ۱ تا ۲۰

شماره آزمایش	دبی خوراک (g/h)	فاصله اسکوپ پسماند از دیواره (mm)	برش	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{Ave} (°C)	ΔT (°C)	انباشتگی (mg)
۱	۱۰/۰۰	۶/۱۲	۰/۶۴	۳۸	۳۱	۲۸	۳۲/۳	۱۰	۲۵
۲	۱۹/۳۰	۶/۱۲	۰/۶۵	۳۹	۳۵	۳۰	۳۴/۷	۹	۳۲
۳	۲۶/۷۰	۶/۱۲	۰/۶۵	۴۰	۳۵	۳۱	۳۵/۳	۹	۳۸
۴	۳۴/۴۰	۶/۱۲	۰/۶۵	۴۲	۳۶	۳۳	۳۷/۰	۹	۴۳
۵	۳۹/۰۶	۶/۱۲	۰/۶۷	۴۴	۳۹	۳۴	۳۹/۰	۱۰	۴۸
۶	۹/۸۲	۵	۰/۵۲	۳۹	۳۳	۲۹	۳۳/۷	۱۰	۲۶
۷	۱۹/۹۱	۵	۰/۵۳	۴۰	۳۶	۳۰	۳۵/۳	۱۰	۳۴
۸	۲۴/۹۰	۵	۰/۵۳	۴۳	۳۹	۳۳	۳۸/۳	۱۰	۴۳
۹	۳۴/۶۳	۵	۰/۵۳	۴۴	۴۰	۳۴	۳۹/۳	۱۰	۵۰
۱۰	۴۰/۰۵	۵	۰/۵۵	۴۵	۴۲	۳۵	۴۰/۷	۱۰	۵۳
۱۱	۱۰/۲۳	۴	۰/۴۵	۳۹	۳۴	۲۸	۳۳/۷	۱۱	۲۶
۱۲	۱۹/۷۹	۴	۰/۴۴	۴۱	۳۶	۲۹	۳۵/۳	۱۲	۳۷
۱۳	۲۵/۵۰	۴	۰/۴۴	۴۴	۴۱	۳۲	۳۹/۰	۱۲	۴۸
۱۴	۳۴/۹۸	۴	۰/۴۴	۴۵	۴۲	۳۳	۴۰/۰	۱۲	۵۶
۱۵	۴۰/۵۳	۴	۰/۴۳	۴۷	۴۴	۳۵	۴۲/۰	۱۲	۶۲
۱۶	۱۰/۲۱	۳	۰/۳۶	۳۸	۳۶	۲۷	۳۳/۷	۱۱	۲۹
۱۷	۱۹/۴۲	۲	۰/۳۵	۴۳	۴۱	۳۱	۳۸/۳	۱۲	۳۹
۱۸	۲۴/۹۰	۳	۰/۳۵	۴۵	۴۳	۳۳	۴۰/۳	۱۲	۴۹
۱۹	۳۴/۶۹	۳	۰/۳۴	۴۷	۴۴	۳۵	۴۲/۰	۱۲	۵۸
۲۰	۳۹/۷۱	۳	۰/۳۴	۴۸	۴۵	۳۶	۴۳/۰	۱۲	۶۶



شکل (۳) تاثیر دبی جریان خوراک بر توزیع طولی دمای روتور در آزمایش‌های ۱ تا ۵ (فاصله اسکوپ پسماند از دیواره=۶/۱۲ میلی‌متر)

۳-۱- دبی جریان خوراک

در فاصله‌های معین اسکوپ پسماند از دیواره روتور، ΔT در تمامی دبی‌ها تقریباً ثابت و ΔT متوسط برای فواصل ۳، ۴، ۵، و ۶/۱۲ میلی‌متر به ترتیب برابر 12°C ، 12°C ، 10°C و 9°C است. این در حالی است که با افزایش دبی خوراک دمای تک تک نقاط دیواره روتور به صورت یکنواخت افزایش یافته است. افزایش دبی جریان خوراک سبب افزایش تجمع گاز درون روتور و متعاقباً افزایش تعداد برخوردهای ملکول‌های گاز با یکدیگر و با دیواره روتور خواهد شد. افزایش یکنواخت دمای نقاط مختلف روتور، بیانگر افزایش یکنواخت تجمع گاز و تعداد برخوردها در نقاط مختلف روتور است.

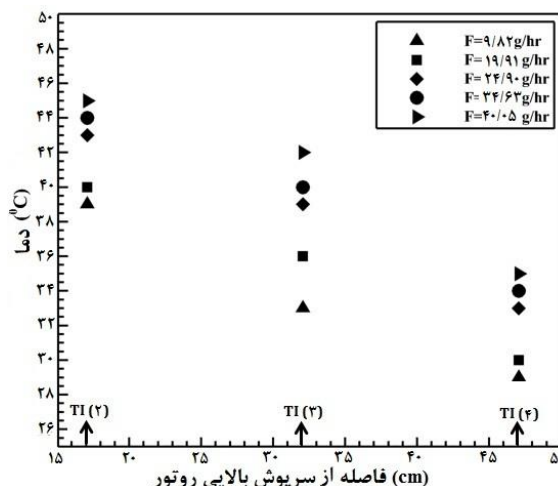
در شکل (۷) تغییرات میزان انباشتگی گاز درون روتور نسبت به تغییرات دبی جریان خوراک در هر چهار فاصله اسکوپ انتخاب شده، نشان داده شده است. در تمامی فواصل اسکوپ پسماند با افزایش دبی جریان خوراک، میزان انباشتگی گاز درون روتور افزایش یافته است.

مقدار افزایش انباشتگی گاز درون روتور با افزایش دبی جریان خوراک، در فواصل نزدیک‌تر اسکوپ پسماند به دیواره کمتر است. برای مثال، در فاصله اسکوپ پسماند از دیواره $6/12\text{mm}$ با تغییر دبی خوراک از 10 به 40 گرم بر ساعت، مقدار انباشتگی گاز 37mg افزایش یافته است در حالی که در فاصله اسکوپ پسماند از دیواره 3mm با تغییر دبی خوراک از 10 به 40 گرم بر ساعت، مقدار انباشتگی گاز 23mg افزایش یافته است.

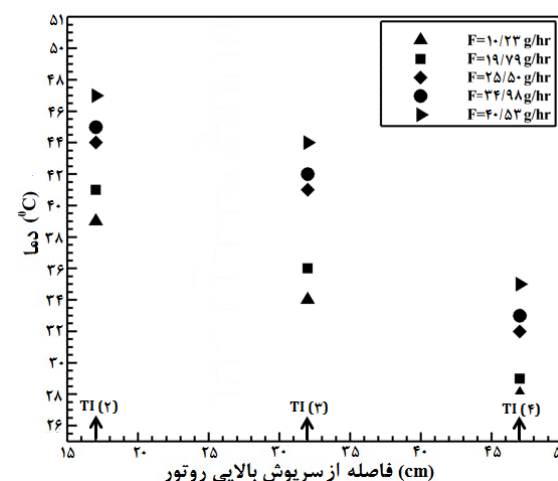
۳-۲- فاصله اسکوپ پسماند از دیواره

نتایج نشان می‌دهد که با کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور، ΔT اندکی افزایش پیدا کرده است. با کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور، اسکوپ پسماند در ناحیه پرفشارتر قرار گرفته و نیروی پسای وارده از طرف آن به گاز درون روتور افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی پسای وارد بر گاز بالای روتور، دمای ناحیه بالایی روتور افزایش یافته است. این امر نشان‌دهنده آن است که ΔT تنها تابع مشخصات فیزیکی سانتیفریوز از جمله موقعیت اسکوپ پسماند است.

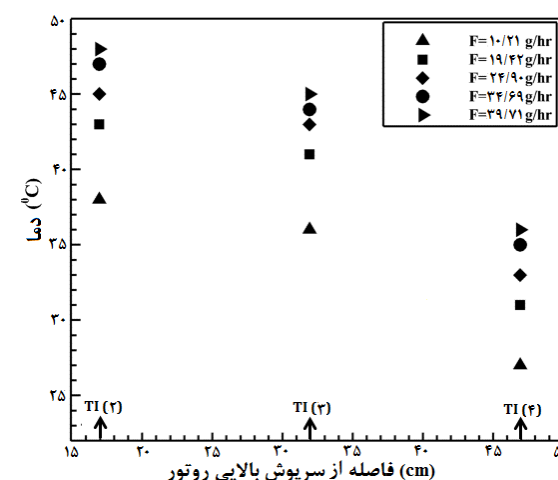
بر اساس نمودارهای شکل (۷) در تمامی دبی‌های جریان خوراک، کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره سبب افزایش



شکل (۴) تاثیر دبی جریان خوراک بر توزیع طولی دمای روتور در آزمایش‌های ۶ تا ۱۰ (فاصله اسکوپ پسماند از دیواره=۵ میلی‌متر)



شکل (۵) تاثیر دبی جریان خوراک بر توزیع طولی دمای روتور در آزمایش‌های ۱۱ تا ۱۵ (فاصله اسکوپ پسماند از دیواره=۴ میلی‌متر)

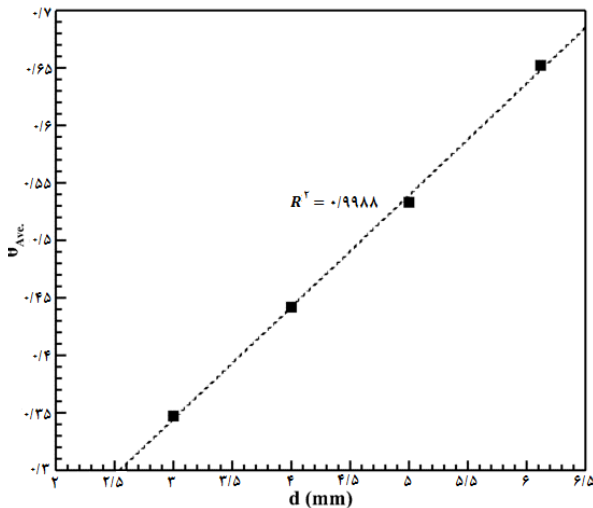


شکل (۶) تاثیر دبی جریان خوراک بر توزیع طولی دمای روتور در آزمایش‌های ۱۶ تا ۲۰ (فاصله اسکوپ پسماند از دیواره=۳ میلی‌متر)

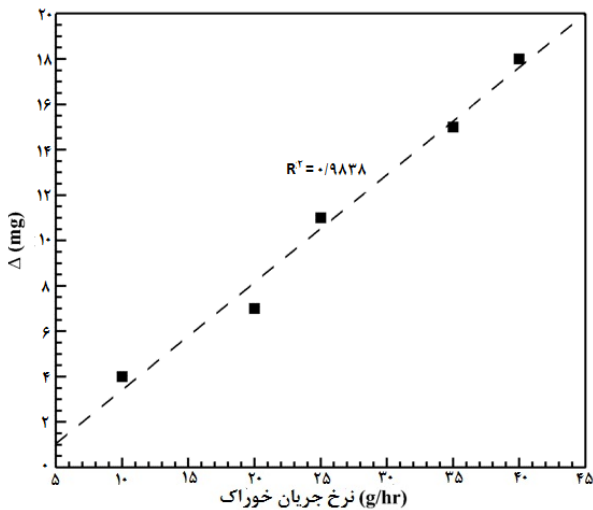
بررسی تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز و دمای دیواره روتور سانتریفوژ زیربحرانی

در مقادیر مختلف دبی خوراک) بین ۱۵ تا ۴۰ درصد است که افزایش چشمگیری نیست.

از ۶/۱۲ تا ۳ میلی متر، مقدار انباشتگی گاز ۱۸mg افزایش یافته است. در شکل (۹) به وضوح این نوع تغییر نشان داده شده است.

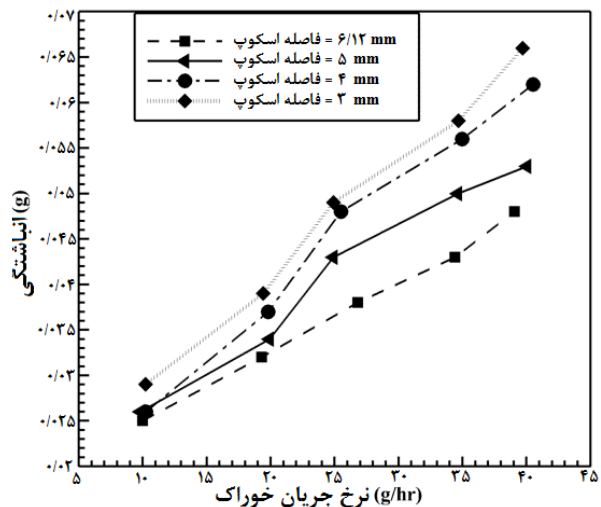


شکل (۸) تاثیر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره (d) بر برش متوسط $[10] (\theta_{Ave})$



شکل (۹) تاثیر دبی جریان خوراک بر مقدار افزایش انباشتگی گاز (Δ) با تغییر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره از ۶/۱۲mm تا ۳

میزان انباشتگی گاز درون روتور شده است. البته مقدار افزایش انباشتگی گاز با کاهش فاصله اسکوپ از ۶/۱۲ تا ۳ میلی متر



شکل (۷) تاثیر دبی جریان خوراک بر میزان انباشتگی گاز درون روتور در چهار فاصله اسکوپ انتخابی

میزان برش تابع فاصله اسکوپ پسماند از دیواره است. نمودار تغییرات برش به ازای فاصله اسکوپ پسماند از دیواره، شکل (۸)، خطی است و با فاصله گرفتن اسکوپ از دیواره، برش افزایش می یابد [۱۰]. با افزایش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره، دهانه خروجی آن در ناحیه کم فشارتر قرار گرفته و از این رو دبی پسماند خروجی از سانتریفوژ کاهش یافته است. کاهش دبی پسماند خروجی به معنای افزایش مقدار برش است. با بررسی داده های جدول (۱)، مشخص می شود که تغییرات دبی جریان پسماند نسبت به فاصله اسکوپ پسماند از دیواره نیز خطی است. این امر بیان کننده خطی بودن توزیع فشار شعاعی گاز درون روتور سانتریفوژ در مختصات قرارگیری اسکوپ پسماند است. بنابراین می توان بیان کرد که با کاهش برش، مقدار انباشتگی گاز درون روتور افزایش می یابد.

مقدار افزایش انباشتگی گاز درون روتور حین نزدیک تر شدن اسکوپ پسماند به دیواره، در دبی های بالاتر جریان خوراک بیشتر است. برای مثال، در دبی خوراک ۱۰ g/hr با تغییر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره از ۶/۱۲ تا ۳ میلی متر، مقدار انباشتگی گاز ۴mg افزایش یافته است در حالی که در دبی خوراک ۴۰ g/hr با تغییر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره

۴- نتیجه گیری

انباشتگی گاز درون روتور با افزایش دبی جریان خوراک، در فواصل نزدیکتر اسکوپ پسماند به دیواره روتور کمتر است. کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره سبب افزایش میزان انباشتگی گاز درون روتور شده است. با افزایش فاصله اسکوپ از دیواره، مقدار برش به صورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان بیان کرد که با کاهش برش، مقدار انباشتگی گاز درون روتور افزایش یافته است. با کاهش فاصله اسکوپ پسماند از دیواره و افزایش نیروی پسا وارد بر گاز بالای روتور، دمای ناحیه بالایی روتور افزایش یافته و در نتیجه اختلاف دمای بالا و پایین روتور اندکی افزایش پیدا کرده است. بنابراین اختلاف دمای بالا و پایین روتور تنها تابع مشخصات فیزیکی سانتریفوژ از جمله موقعیت اسکوپ پسماند است.

در این تحقیق اثر فاصله اسکوپ پسماند از دیواره روتور و دبی جریان خوراک بر دمای دیواره روتور و میزان انباشتگی گاز درون روتور، با استفاده از مخلوط گازهای فرئون-۱۲ و فرئون-۲۲ به صورت تجربی بررسی شده است. نتایج آزمایش-ها نشان داد که توزیع طولی دمای دیواره روتور از بالا به پایین کاهشی و درپوش بالایی گرم‌تر است.

با افزایش دبی خوراک، دمای نقاط دیواره روتور به صورت یکنواخت افزایش یافته و اختلاف دمای بالا و پایین روتور ثابت مانده است. همچنین با افزایش دبی خوراک، میزان انباشتگی گاز درون روتور افزایش یافته است. افزایش یکنواخت دمای نقاط مختلف روتور بیانگر افزایش یکنواخت تجمع گاز و تعداد برخوردها در نقاط مختلف روتور است. مقدار افزایش

مراجع

- [8] M. Golombok, and L. Chewter (2004) "Centrifugal Separation for Cleaning Well Gas Streams", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43, 1734-1739.
- [9] M. Golombok, and K. Bil (2005) "Removal of CO₂ from a Gas Stream Using an Experimental Centrifuge", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44, 4721-4725.
- [10] M. H. Sadeghi, M. Outokesh, and J. Karimi-Sabet (2016) "Experimental Investigation of Effects of The Feed Flow Rate and Tail Scoop-Wall Clearance on The Performance of a Gas Centrifuge by Feeding a Freon Mixture", *Separation Science and Technology*, 51 (7), 1259-1267.
- [11] D.R. Olander (1978) "The Gas Centrifuge", *Scientific American*, 27, 239-261.
- [12] M.C.V. Andrade, C.A.O. Nascimento, and S.C.P. Migliavacca (2005) "Detection of Outliers in a Gas Centrifuge Experimental Data", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22, 389-400.
- [1] A. Glaser (2008) "Characteristics of The Gas Centrifuge for Uranium Enrichment", *Science and Global Security*, 16, 1-25.
- [2] K. Cohen (1951) *The Theory of Isotope Separation*, McGraw-Hill, New York, USA.
- [3] T. Kai, and K. Hasegawa (2000) "Numerical Calculation of Flow and Isotope Separation for SF₆ Gas Centrifuge", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 37, 153-165.
- [4] S. C. P. Migliavacca, C. Rodrigues, and C. A. O. Nascimento (1999) "Use of Neural Network for the Simulation of a Gas Centrifuge", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 36, 364-370.
- [5] P. Omnes (2007) "Numerical and Physical Comparisons of Two Models of a Gas Centrifuge", *Computer & Fluids*, 36, 1028-1039.
- [6] S. R. Auvil, and B. W. Wilkinson (1976) "The Steady and Unsteady State Analysis of a Simple Gas Centrifuge", *AIChE Journal*, 22, 564-579.
- [7] R. Van Wissen, M. Golombok, and J. Brouwers (2005) "Separation of Carbon Dioxide and Methane in Continuous Countercurrent Gas Centrifuges", *Chemical Engineering Science*, 60, 4397-4407.

Study on the effect of tail scoop distance to rotor wall and feed flow rate on gas hold up and rotor wall temperature of sub-critical gas centrifuge

Mohammad Hasan Sadeghi ¹, Mohammad Outokesh ^{2,*}, Javad Karimi-Sabet ³

1. Department of Energy, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
2. Jaber Ebne Hayyan National Research Laboratory, NSTRI, Tehran, Iran

ABSTRACT

A sub-critical centrifuge was fed with a 53%-47% (w/o) mixture of “Freon-12- Freon-22” to survey tail scoop distance from rotor wall effect and feed flow rate effect on gas hold up and rotor wall temperature. In this case, 20 experiments in four tail scoop distances (6.12, 5, 4, and 3mm) and five feed flow rates (10, 15, 25, 35, and 40 g/h), were designed. The results showed that, rotor wall temperature distribution in vertical direction was decreasing from top cap to bottom cap. Temperature of all points of rotor wall increased monotonously with feed flow rate increment due to uniform raise of gas hold-up and number of gas molecule-rotor wall impacts, while temperature difference between top cap and bottom cap was invariant. Temperature of top of rotor wall raised with tail scoop distance decreasing, due to increasing of drag force exerted on the gas by tail scoop, which causer to increase temperature difference between top cap and bottom cap. Temperature difference between top cap and bottom cap was only dependent to physical characteristic of gas centrifuge like tail scoop position. Highest and lower rotor wall temperature was respectively 316 and 305 k at 3 and 6.12 mm tail scoop distance and 40 and 10 g/h feed flow rate.

All right reserved.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: August 11, 2017

Received in revised form: August 11, 2018

Accepted: September 22, 2018

Key words:

Sub-Critical Centrifuge

Freon

Tail Scoop

Rotor Wall Temperature

* Corresponding author
outokesh@sharif.edu