

مطالعه استقلال از شبکه و بررسی اثر تغییرات پارامترهای هندسی در شبیه سازی عددی رفتار گاز

در ماشین سانتریفیوژ گازی با مدل متقارن محوری

رفیعی، وحید<sup>(۱)</sup> - عسکری، محمدحسین<sup>(۱)</sup> - صفدری، سیدجابر\*<sup>(۲)</sup> - ملاح، محمدحسن<sup>(۲)</sup>

(۱) سازمان انرژی اتمی، شرکت فناوری‌های پیشرفته ایران

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

### چکیده:

در این تحقیق ابتدا مطالعه استقلال از شبکه در مدل سازی و شبیه سازی عددی رفتار گاز درون روتور ماشین سانتریفیوژ با مدل متقارن محوری بررسی شده است. اولین مرحله حل عددی، شبکه بندی ناحیه حل است. تعداد شبکه ها به ترتیب برابر با ۳۸۹۱۲، ۷۸۷۴۸، ۱۹۰۹۱۶ و ۳۷۴۰۵۸ می باشد. نمودارهای جریان همانند کانتور فشار، دما، سرعت و شار جرمی در شبکه های دوم، سوم و چهارم انطباق بسیار بالایی با یکدیگر دارند. حداکثر اختلاف توان جداسازی در نیروی درگ یکسان بین شبکه های دوم تا چهارم ۳/۲۵ درصد می باشد. بنابراین شبکه دوم به دلیل زمان اجرای کمتر به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید. در ادامه به بررسی اثر تغییرات پارامترهای هندسی پرداخته شد. محدوده فاصله اسکوپ پسماند از دیواره از ۰/۰۴ تا ۰/۰۶، طول بغل محصول از ۰/۱۶ تا ۰/۲۳ و ارتفاع محل ورود خوراک از ۰/۵۲ تا ۰/۶۴ تغییر داده شد. نتایج نشان داد که بالاترین توان جداسازی و فاکتور جداسازی در فاصله اسکوپ پسماند از دیواره ۰/۰۴، طول بغل محصول ۰/۲۳ و ارتفاع محل ورود خوراک ۰/۶۴ به دست آمد.

**کلید واژه‌ها:** سانتریفیوژ گازی، حل عددی، مطالعه استقلال از شبکه، پارامترهای هندسی

## the Study of the grid study and the effect of the geometric parameters on the numerical simulation of the gas behavior in a gas centrifuge

Vahid Rafiei<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Askari<sup>1</sup>, Jaber Safdari<sup>2</sup>, mohammad hassan mallah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Advanced Technologies Company of Iran

<sup>2</sup>Materials and Nuclear Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute

### abstract

In this research, first, the study of grid independence in modeling and numerical simulation of gas behavior inside the rotor of a centrifuge has been investigated. The number of grids is 38912, 78748, 190916 and 374058, respectively. Flow diagrams such as pressure, temperature, velocity and axial mass flux in the second, third and fourth grids are highly compatible with each other. The maximum separation power difference in the same drag force between the second to fourth grids is 3.25 percent. Therefore, the second grid was selected as the optimal grid due to less execution time. Then the effect of changes in geometric parameters was investigated. The distance of the waste scope from the wall was changed from 0.04 to 0.06, the length of the product baffle was changed from 0.16 to 0.23 and the height of the feed was changed from 0.52 to 0.64. The results showed that the highest separative power and separation factor were obtained optimally at the distance of the waste scope from the wall of 0.04, the length of the product baffle of 0.23 and the height of the feed entry point of 0.64.

**Keyword:** gas centrifuge, numerical simulation, mesh independency, geometric parameters

Email: vahidrafiei8812@gmail.com

مقدمه:

ماشین سانتریفیوژ گازی بر اساس یک نیروی گریز از مرکز شدید، ایزوتوپ‌های مختلف یک گاز را از هم جدا می‌کند. این نیروی گریز از مرکز باعث ایجاد لایه‌بندی شعاعی ایزوتوپ‌ها شده به طوری که ایزوتوپ‌های سنگین‌تر در شعاع بیشتری نسبت به محور مرکزی ماشین (نزدیک‌تر به دیواره روتور) قرار می‌گیرند. برای افزایش فاکتور جداسازی نیاز است که گاز علاوه بر حرکت دورانی، حرکت محوری نیز داشته باشد. جهت ایجاد جریان محوری به منظور افزایش جدایش، از انواع مختلف محرک‌ها استفاده می‌شود [۱ و ۲].

یکی از عوامل ایجاد جریان محوری درون روتور ماشین سانتریفیوژ، وجود محرک‌های مکانیکی است که شامل اسکوپ و بفل می‌شود. نقش اولیه اسکوپ در ماشین سانتریفیوژ، جمع‌آوری محصول و پسماند است. نقش دیگر اسکوپ، ایجاد جریان محوری به عنوان محرک مکانیکی است. در رابطه با عملکرد بفل ۲ نقش کلی در نظر گرفته می‌شود. نقش اول بفل این است که یکی از اسکوپ‌ها را از محفظه اصلی جریان جدا می‌کند زیرا در صورتی که هر دو اسکوپ محصول و پسماند همزمان در جریان اصلی حضور داشته باشند، جریان‌های محوری که ایجاد می‌کنند در خلاف جهت همدیگر خواهد بود و عملاً اثر همدیگر را تضعیف و خنثی می‌کنند. حضور بفل باعث می‌شود که اسکوپ محصول به کلی از جریان اصلی جدایش خارج شود و بنابراین اثر مخالف در جریان محوری ایجاد شده، نداشته باشد. نقش دیگری که بفل می‌تواند داشته باشد، این است که به عنوان محرک مکانیکی عمل نماید و خود عامل ایجاد جریان محوری درون روتور باشد [۳ و ۴].

در این تحقیق مطالعه استقلال از شبکه و بررسی اثر تغییرات پارامترهای هندسی در شبیه‌سازی عددی رفتار گاز درون روتور ماشین سانتریفیوژ با نسب طول به شعاع ۶ با مدل متقارن محوری بررسی شده است. بدین منظور چهار شبکه متفاوت در نظر گرفته شده است. تعداد شبکه‌ها به ترتیب برابر با ۳۸۹۱۲، ۷۸۷۴۸، ۱۹۰۹۱۶ و ۳۷۴۰۵۸ می‌باشد.

نرم‌افزارهای حل، شبکه‌بندی و نسخه آن‌ها

ترسیم و شبکه‌بندی هندسه با استفاده از نرم‌افزار ICEM CFD نسخه ۱۹ و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار fluent<sup>۲</sup> نسخه ۱۹ انجام شده است.

مشخصات شبکه‌های استفاده شده

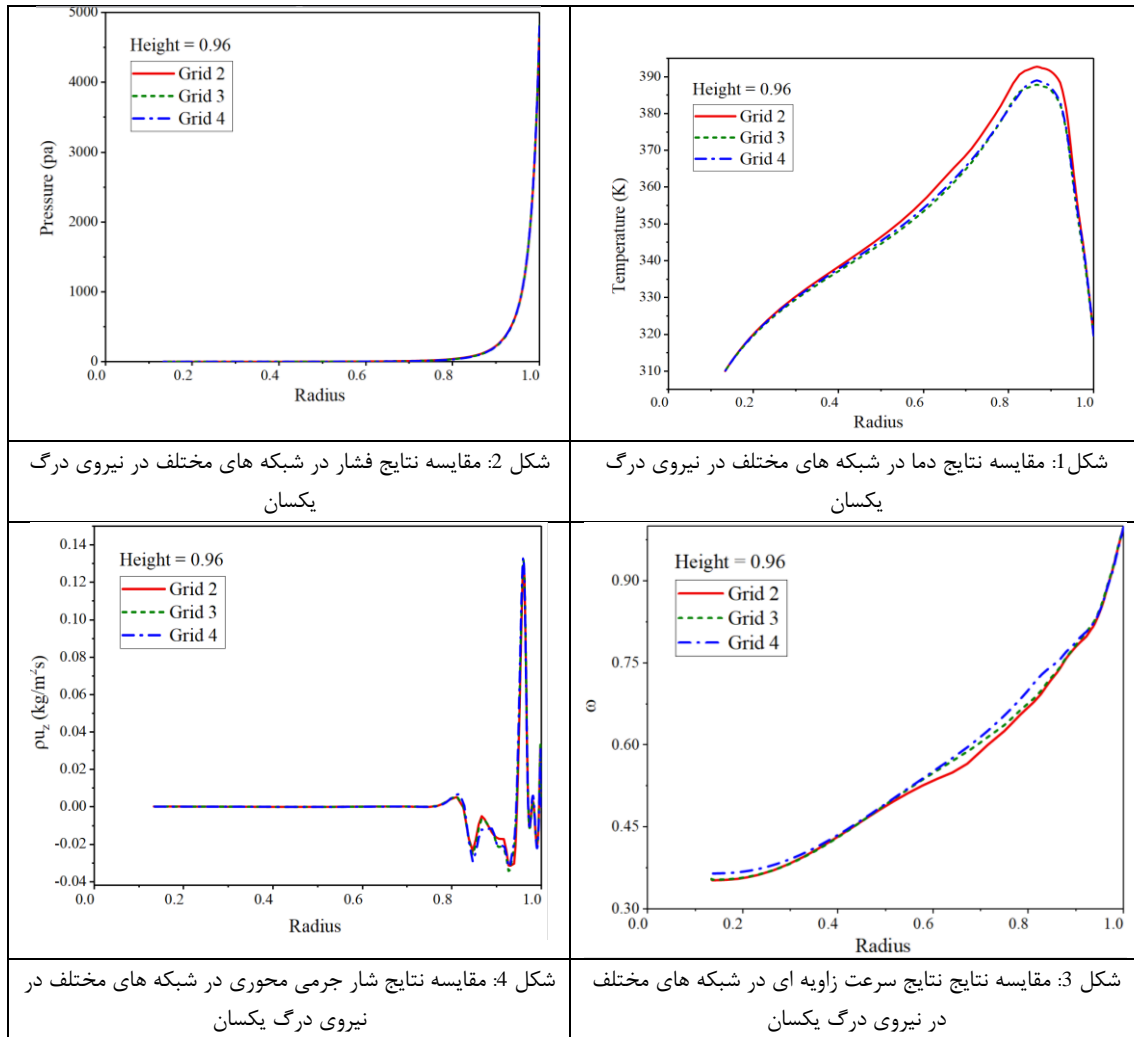
مشخصات شبکه مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

شبکه چهارم	شبکه سوم	شبکه دوم	شبکه اول				
2.00E-07	1.00E-06	5.00E-05	1.00E-05	اندازه	دیواره روتور	راستای شعاعی	
1.2	1.2	1.2	1.3	میزان رشد			
1.00E-04	2.00E-04	2.00E-04	3.00E-04	اندازه	محور روتور		
1.3	1.3	1.2	1.3	میزان رشد			
8.00E-07	3.00E-06	1.5E-05	3.00E-05	اندازه	سر اسکوپ پسماند		
1.5	1.4	1.4	1.4	میزان رشد			
8.00E-07	3.00E-06	1.5E-05	3.00E-05	اندازه	سر اسکوپ محصول		
1.25	1.25	1.25	1.25	میزان رشد			
4.00E-07	2.00E-06	1.00E-05	2.00E-05	اندازه	بالای اسکوپ پسماند		راستای محوری
1.15	1.15	1.15	1.15	میزان رشد			
4.00E-07	2.00E-06	1.00E-05	2.00E-05	اندازه	پایین اسکوپ پسماند		
1.15	1.15	1.15	1.15	میزان رشد			
4.00E-07	2.00E-06	1.00E-05	2.00E-05	اندازه	بالای اسکوپ محصول		
1.15	1.2	1.15	1.2	میزان رشد			
4.00E-07	2.00E-06	1.00E-05	2.00E-05	اندازه	پایین اسکوپ محصول		
1.15	1.2	1.15	1.2	میزان رشد			
2.857E-05	2.857E-05	2.857E-05	5.00E-05	اندازه	دهانه ورودی		
1	1	1	1	اندازه	خوراک		
374058	190916	78748	38912	تعداد شبکه			

جدول ۱: مشخصات شبکه مورد استفاده

#### مقایسه نتایج در نیروی درگ یکسان

در این بخش نمودارهای حل جریان شامل فشار، دما، سرعت، شار جرمی محوری و همچنین پارامترهای جداسازی در نیروی درگ یکسان با یکدیگر مقایسه شده است. در این حالت نیز همانطور که نتایج نشان می‌دهد نمودارهای جریان انطباق بسیار بالایی با یکدیگر دارند که نشان می‌دهد که استقلال از شبکه بین شبکه های دوم، سوم و چهارم با دقت بالایی به درستی انجام پذیرفته است.



محدوده پارامترهای هندسی

پارامترهای هندسی مورد بررسی شامل فاصله اسکوپ پسماند از دیواره ، طول بفل محصول و موقعیت خوراک ورودی می باشد.

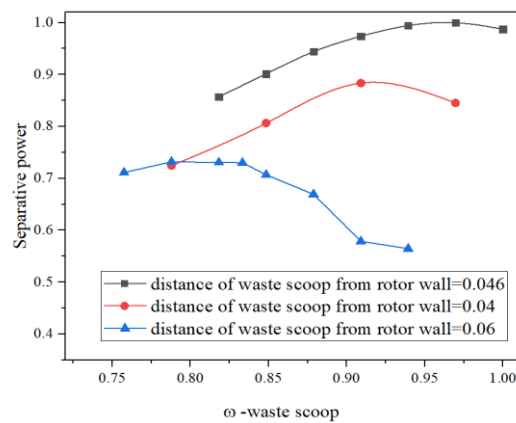
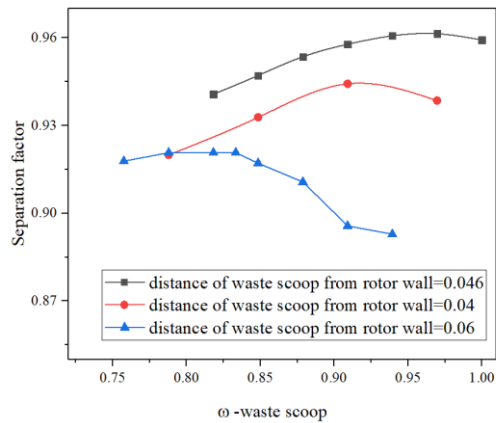
محدوده پارامترهای هندسی مورد بررسی مطابق جدول ذیل می باشد.

جدول 2: محدوده پارامترهای هندسی

مقدار	پارامترهای مورد مطالعه	
۰/۰۶ ، ۰/۰۴۶ ، ۰/۰۴	فاصله اسکوپ پسماند از دیواره (mm)	پارامترهای هندسی
۰/۲۳ ، ۰/۲ ، ۰/۱۶	طول بفل محصول (mm)	
۰/۶۴ و ۰/۵۲	ارتفاع محل ورود خوراک (mm)	

### اثر اسکوپ پسماند

در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، اسکوپ به صورت یک دیسک در فضای متقارن محوری در نظر گرفته شده است.

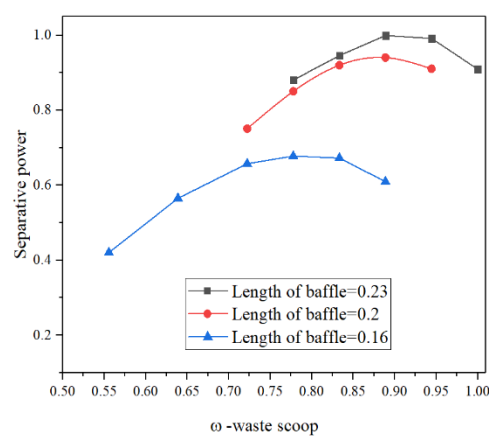
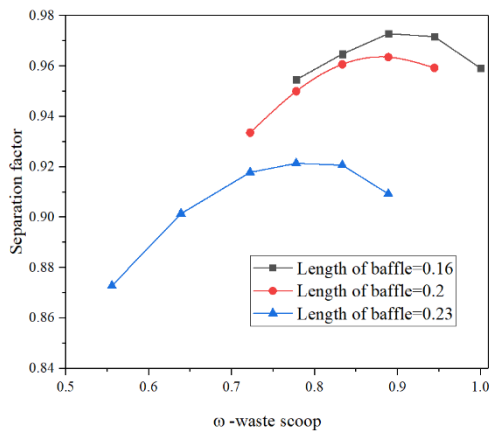


شکل 6: تاثیر موقعیت اسکوپ پسماند بر روی فاکتور جداسازی

شکل 5: تاثیر موقعیت اسکوپ پسماند بر روی توان جداسازی

### اثر طول بغل محصول

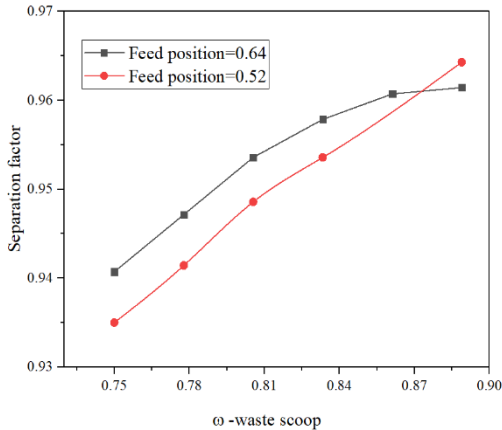
در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، طول عدم لغزش بغل محصول با توجه به عدد نادسن به دست آمده است.



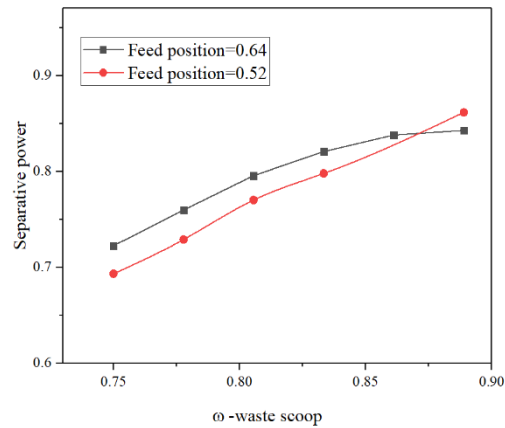
شکل 8: تاثیر طول بغل محصول بر روی فاکتور جداسازی

شکل 7: تاثیر طول بغل محصول بر روی توان جداسازی

### اثر محل ورود خوراک



شکل 10: تاثیر موقعیت خوراک بر روی فاکتور جداسازی



شکل 9: تاثیر موقعیت خوراک بر روی توان جداسازی

همانطور که نتایج نشان می‌دهد بالاترین توان جداسازی و فاکتور جداسازی مطابق با شرایط زیر به دست آمده است.

جدول 3: حالت بهینه اجزای مربوط به پارامترهای هندسی

مقدار	پارامترهای مورد مطالعه
۰/۰۴۶	فاصله اسکوپ پسماند از دیواره
۰/۲۳	طول بفل محصول
۰/۶۴	ارتفاع محل ورود خوراک

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق مطالعه استقلال از شبکه و بررسی اثر تغییرات پارامترهای هندسی در شبیه‌سازی عددی رفتار گاز درون روتور ماشین سانتریفیوژ با مدل متقارن محوری بررسی شده است. به منظور مطالعه استقلال از شبکه چهار شبکه متفاوت در نظر گرفته شد. تعداد شبکه‌ها به ترتیب برابر با ۳۸۹۱۲، ۷۸۷۴۸، ۱۹۰۹۱۶ و ۳۷۴۰۵۸ می‌باشد. نتایج نشان داد که نمودارهای جریان همانند کانتور فشار، دما، سرعت و شار جرمی در شبکه‌های دوم، سوم و چهارم انطباق بسیار بالایی با یکدیگر دارند. همچنین حداکثر اختلاف توان جداسازی در نیروی درگ یکسان بین شبکه‌های دوم تا چهارم ۳/۲۵ درصد می‌باشد. بنابراین شبکه دوم به دلیل زمان اجرای کمتر به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید. در ادامه به بررسی اثر تغییرات پارامترهای هندسی پرداخته شد. محدوده فاصله اسکوپ پسماند از دیواره از ۰/۰۴ تا ۰/۰۶، طول بفل محصول از ۰/۱۶ تا ۰/۲۳ و ارتفاع محل ورود خوراک از ۰/۵۲ تا ۰/۶۴ تغییر داده شد. نتایج نشان داد که بالاترین توان جداسازی و فاکتور جداسازی در فاصله اسکوپ پسماند از دیواره ۰/۰۴، طول بفل محصول ۰/۲۳ و ارتفاع محل ورود خوراک ۰/۶۴ به دست آمد.



## مراجع

- [1] Blazek, J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. ELSEVIER, 2001.
- [2] Patankar, Suhas V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. McGraw-Hill, 1980.
- [3] F. M. White, Fluid Mechanics, Mc-Graw-Hill, .1998.
- [4] ANSYS. FLUENT 012/ User's Guide. April 2009.