مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز
۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

# شبیه‌سازی یک سیستم خلا برای کاربردهای صنعتی

محرابی، محمد[۱]؛میرجلیلی، غضنفر[۱]
[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، یزد

## چکیده:

*امروزه نیاز به تکنولوژی خلا بیش از پیش مطرح است. در این بررسی طرحی شبیه‌سازی شده برای صنعتی‌سازی مدل آزمایشگاهی بر پایه‌ی کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان کاری سیستم‌های مورد استفاده در خلا، ارائه می‌شود. با شبیه‌سازی یک سیستم آزمایشگاهی با نرم افزار متلب، سعی در بهینه‌سازی محفظه و اتصالات سیستم خلا (لوله‌ها) داریم. برای این کار، محاسبه‌ای برای بدست آوردن حجم محفظه‌ی ایده آل و بهترین ابعاد لوله‌های اتصال، برای بهینه‌سازی فرآیند خلا، انجام شده است. در مرحله‌ی آخر، زمان رسیدن به خلا مورد نظر را با به کاربردن آن لوله‌ی بهینه، بدست آورده‌ایم.*

# Simulation of a vacuum system for industrial applications

**Mehrabi, Mohammad[۱]; Mirjalili, Ghazanfar[۱]**
[۱]*Physics Department, Yazd University, Yazd*

## Abstract:

*Today, the necessity of vacuum technology is considered more than ever. In this study a simulated design is presented for industrializing the laboratory model based on reducing cost and increasing operational efficiency of systems used in vacuum. In this paper we try to optimize the chamber and vacuum system connections (pipes) by simulating a laboratory system using MATLAB software. In this regard calculations have been done in order to obtain the mass of the optimum chamber, and the best size of the connection pipes for optimizing the vacuum process. In the last phase, we obtained the time duration of reaching the desired vacuum using optimum pipes.*

*PACS No.*

Archive of SID

## مقدمه

واژه خلا برای مشخص کردن ناحیه‌ای از فضا که فشار آن کمتر از ۷۶۰ تور باشد، به کار می‌رود. به عبارت دیگر خلا حالتی است که فشار آن پایین‌تر از فشار اتمسفر می‌باشد. هر قدر فشار پایین‌تر باشد، اصطلاحاً از خلا بالاتری برخورداریم. سیستم خلا مجموعه‌ای متشکل از پمپ‌ها، فشارسنج‌ها، شیرها، اتصالات دائمی و غیردائمی (فلنج‌ها) و لوله‌های متصل‌کننده آن‌ها به یکدیگر است. خلا بسته به فشارآن به چند دسته تقسیم می‌شود: خلا پایین (فشار اتمسفر تا حدود۱ میلی‌بار)، خلا میانگین (۱ میلی‌بار تا حدود $10^{-3}$ میلی‌بار)، خلا بالا ($10^{-3}$ میلی‌بار تا حدود $10^{-6}$میلی‌بار)، خلا فوق العاده بالا ($10^{-6}$ میلی‌بار تا حدود $10^{-11}$ میلی‌بار)

کاربردهای بسیار گوناگونی برای خلا می‌توان نام برد، از جمله: تولید لامپ‌ها، لوله‌های تخلیه‌ی الکتریکی، شتاب‌دهنده‌ها، لامپ-های اشعه‌ی کاتدی، لامپ‌های رادیویی، رادیوایزوتروپ، شناخت خصوصیات پلاسما، تهیه‌ی لایه‌های نازک در صنعت میکروالکترونیک و نانو تکنولوژی، جوش اشعه‌ی الکترونی، گاز-زدایی فلزات در متالورژی، آبکاری، میکروسکوپ الکترونی،

www.SID.ir

استریلاسیون تجهیزات پزشکی، خشک کردن فرآورده‌های کشاورزی و... اشاره کرد. [۱]

با توجه به اهمیت و کارایی روزافزون و نیاز صنعت به تکنیک خلا، می‌خواهیم با شبیه‌سازی، یک نمونه‌ی آزمایشگاهی سیستم خلا را ارائه دهیم. به همین منظور روشی برای بهینه‌سازی فرآیند خلا و صنعتی‌سازی آن ارائه می‌دهیم.

## روش کار:

ابتدا محفظه‌ی آزمایشگاهی را طراحی می‌کنیم که شرایط بهینه‌ی مورد نظر برای اجرای فرآیند خلا را داشته باشد، [۲] به طوری که مقدار پویش آزاد میانگین مولکول‌های گاز $\lambda$ (cm) از ابعاد آن محفظه بیشتر باشد. حال با توجه به رابطه: [۲]

$$k = \frac{\lambda}{d} \qquad (۱)$$

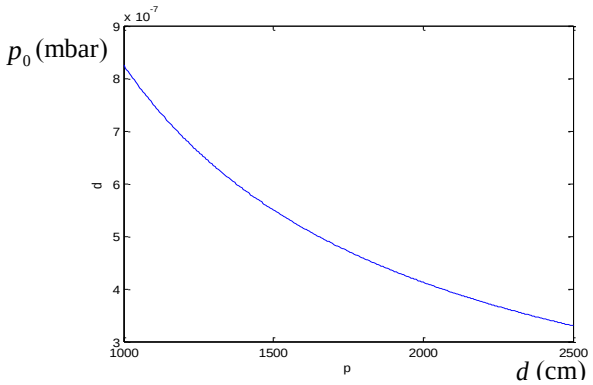
می‌توانیم عدد نادسن [۲] مربوط به این محفظه را محاسبه نماییم. پس از این که به فضای بهینه در محیط آزمایشگاهی خود رسیدیم، می‌توانیم آنرا در ابعاد دلخواه $d$ (cm) صنعتی‌سازی و با استفاده از رابطه‌ی: [۲]

$$p_0 = \frac{0.006}{\lambda} \qquad (۲)$$

و با جایگذاری رابطه (۱) در رابطه (۲)، عبارت زیر را برای فشار اولیه $P0$ (mbar) محاسبه کنیم: [۲]

$$p_0 = \frac{0.006}{kd} \qquad (۳)$$

و با توجه به اینکه عدد نادسن معیاری مناسب برای تعیین فضای بهینه است، [۲] فشار محفظه را برای داشتن عدد نادسن آزمایشگاهی مناسب، در مدل صنعتی با ابعاد دلخواه، محاسبه می‌کنیم.




نمودار (۱) : تغییرات فشار اولیه ( $p_0$ ) نسبت به ابعاد محفظه ( $d$ )

نمودار (۱) تغییرات فشار اولیه ( $p_0$ ) نسبت به ابعاد محفظه ( $d$ ) را نشان می‌دهد.

جدول (۱) نمایش دهنده‌ی برخی مقادیر $p_0$ (mbar) بر حسب $d$ (cm) می‌باشد که با توجه به برون‌یابی داده‌های نمودار (۱) حاصل شده است.

جدول (۱) : برخی مقادیر $p_0$ (mbar) بر حسب $d$ (cm) با توجه به برون‌یابی داده‌های نمودار (۱)

| نام گاز | $p_0$ (mbar) | $d$ (cm) |
|---|---|---|
| $N_2$ | ٤,٧٢٧٨*١٠$^{-٧}$ | ١٧٤٥ |
| | ٤,٢٤١٦*١٠$^{-٧}$ | ١٩٤٥ |
| | ٣,٩١٩٢*١٠$^{-٧}$ | ٢١٠٥ |
| | ٣,٤٢٣٢*١٠$^{-٧}$ | ٢٤١٠ |

با توجه به فشار اولیه‌ی محفظه و همچنین با در نظر گرفتن توان و تابع‌کاری پمپ‌های خلا، پمپ مناسب این فرآیند را انتخاب می‌کنیم. [۲] تا به حال، محفظه‌ی مورد نیاز برای انجام فرآیند بهینه‌ی خلا را طراحی کرده‌ایم.

حال با توجه به این که لوله‌های اتصال در قطرهای مختلف و مشخصی به بازار عرضه می‌شوند، لذا تنها پارامتر قابل تغییر و در دسترس، طول لوله‌های اتصال پمپ به محفظه‌ی خلا می‌باشد.

با ارائه برنامه‌ای تحت نرم افزار متلب، ابتدا محفظه‌ی آزمایشگاهی را به ابعاد صنعتی می‌بریم و سپس فشار را در آن ابعاد اندازه‌گیری می‌کنیم. بعد از اتصال پمپی که در دسترس است، بهترین طول را برای داشتن بیشترین راندمان محاسبه می‌کنیم. سعی ما در محاسبه‌ی طول لوله‌ای است، که حالت بهینه‌ی دبی (۵۰ درصد و بیشتر از آن) را ایجاد کند، همچنین حداکثر طولی را که برای رسیدن به این دبی مورد نیاز است، محاسبه نماید.

حال پمپی را که با توجه به فشار اولیه داخل محفظه ( $p_0$ )، و فشارنهایی ( $P$ ) انتخاب شده است، با لوله‌ای که قبلا با قطر دلخواه انتخاب شده بود، به محفظه متصل می‌کنیم. با توجه به در نظر گرفتن اثرات دهانه‌ی پمپ، محفظه و لوله‌های اتصال، فرمول زیر را داریم: [۲]

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S^*} \qquad (٤)$$

با قرار دادن مقدار: [۲]

Archive of SID
www.SID.ir

$$C=\frac{\frac{D^3}{6}\sqrt{\frac{2\Pi RT}{M}}}{L+\frac{4D}{3}} \quad (۵)$$

در رابطه (٤) برای این اتصالات بدست می‌آوریم:

$$\frac{1}{S}=\frac{L+\frac{4D}{3}}{\frac{D^3}{6}\sqrt{\frac{2\Pi RT}{M}}}+\frac{1}{S^*} \quad (٦)$$

که در این رابطه، همانطور که مشاهده شد، محفظه به صورت پیش‌فرض، حاوی گاز ($N_2$)، با جرم مولکولی ($M$)، در دمای دلخواه ($T$) می باشد.

همچنین در رابطه‌ی بالا مقادیر $R$ (ثابت جهانی گازها)، $M$ و $T$ برابرند با:

$R=$ ۸,۳۱٤ $(J\cdot K^{-1}\cdot mol^{-1})$
$T=$ ۲۹۵ (k)
$M=$ ۲۸ $(gr\cdot mol^{-1})$

حال با توجه به گازی که در محفظه قرار دارد ($N_2$) و با در نظر گرفتن رژیم مولکولی گاز [۲] و مشخص بودن $D$ (cm) به عنوان قطر لوله، تنها متغیر ما $L$ (cm) می‌باشد. به ازای مقادیر مختلف ($L$)، سرعت خروج ذرات از محفظه ($S$ $(\frac{lit}{s})$ مختلف خواهد بود. بایستی توجه کرد هنگامی طول انتخابی، بهترین طول خواهد بود که سرعت مکش پمپ ($S$) تا حدود ۵۰ درصدی یا بیشتر به سرعت خروج ذرات از محفظه ($S^*$ $(\frac{lit}{s})$ نزدیک شود، یعنی: [۲]

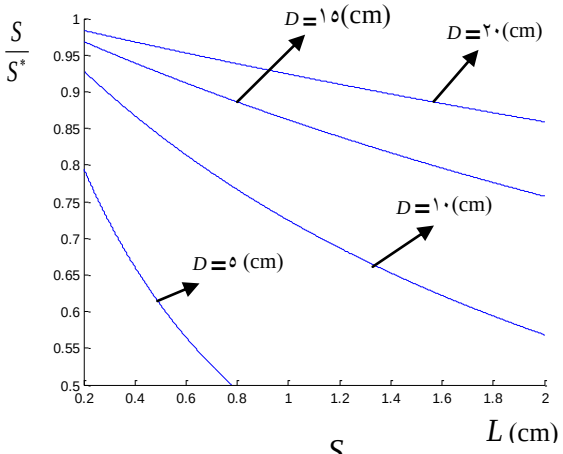
$$\frac{S}{S^*}\to 1 \quad (۷)$$

و

$$0.5\le\frac{S}{S^*}\prec 1 \quad (۸)$$

این در حقیقت همان حالت بهینه برای انجام فرایند خلا همراه با افزایش راندمان و کاهش هزینه‌هاست که جهت انجام محاسبات ذکر شده، سرعت خروج ذرات از محفظه $S^*(\frac{lit}{s})$ را برابر مقدار دلخواه $\frac{lit}{s}$ ۰,۵ در نظر می‌گیریم.

با توجه به نمودار (۲) می توان تغییرات $\frac{S}{S^*}$ را نسبت به تغییرات طول لوله ($L$) برای چهار قطر ($D$) مختلف مشاهده کرد.




نمودار (۲) : تغییرات $\frac{S}{S^*}$ نسبت به تغییرات طول لوله ($L$) برای چهار قطر ($D$) مختلف

جدول (۲) نمایش دهنده‌ی $\frac{S}{S^*}$ بر حسب $L$ (cm) برای چهار قطر ($D$) مختلف می باشد که با توجه به برون‌یابی داده‌های نمودار (۲) حاصل شده است.

جدول (۲) : برخی مقادیر $\frac{S}{S^*}$ بر حسب $L$ (cm) برای چهار قطر $D$ (cm) با توجه به برون‌یابی داده‌های نمودار (۲)

| نام گاز | $D$ (cm) | $\frac{S}{S^*}$ | $L$ (cm) |
|---|---|---|---|
| $N_2$ | ۵ | ۰,۷۸۹۹ | ۷۰۰۰ |
| | | ۰,٦۸۷۰۸ | ۱۲۰۰۰ |
| | | ۰,٥۹٤۲٦ | ۱۸۰۰۰ |
| | ۱۰ | ۰,۸۹۹۰۲ | ۷۰۰۰ |
| | | ۰,۸۳۸۷٦ | ۱۲۰۰۰ |
| | | ۰,۷۷٦۳۱ | ۱۸۰۰۰ |
| | ۱۵ | ۰,۹٤٥٥۷ | ۷۰۰۰ |
| | | ۰,۹۱۰۳٥ | ۱۲۰۰۰ |
| | | ۰,۸۷۱۳۹ | ۱۸۰۰۰ |
| | ۲۰ | ۰,۹٥٥۸۷ | ۷۰۰۰ |
| | | ۰,۹۲٥۲۱ | ۱۲۰۰۰ |
| | | ۰,۸۹۷۸٦ | ۱۸۰۰۰ |

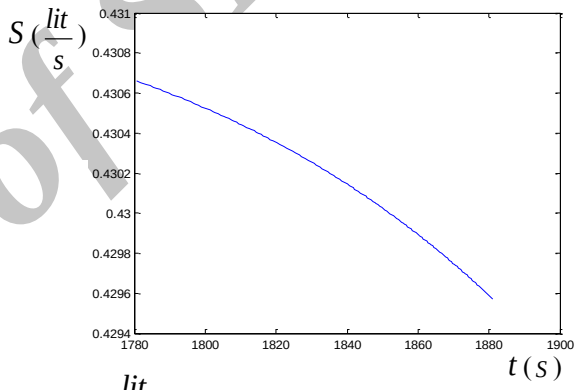
Archive of SID
www.SID.ir

در مرحله آخر با توجه به رابطه: [۲]

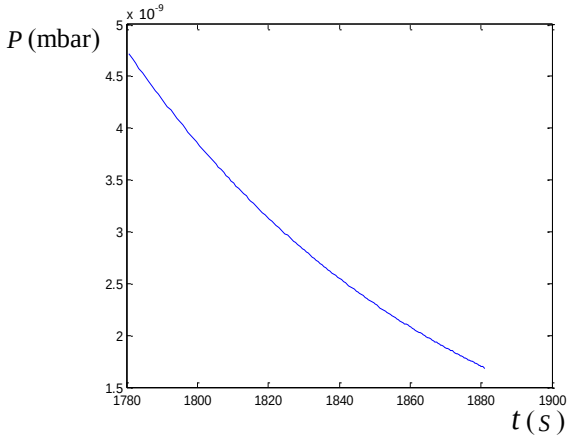
$$t = \frac{V}{S}\log\frac{p_0}{P} \qquad (۹)$$

که در این رابطه، حجم محفظه $V\,(lit)$ می باشد که به ازای ابعاد مختلف محفظه $d$ (cm)، مقادیر متفاوتی را خواهد داشت. در این محاسبات ما حجم دلخواه $lit$ ۴۰ را برای محفظه انتخاب کرده‌ایم. می‌توان زمان $t\ (s)$ رسیدن به فشار دلخواه (فشار نهایی) و یا به عبارتی زمان رسیدن به خلا مورد نظر را محاسبه کرد.

در پایان نیز نمودار (۳)، تغییرات سرعت خروج ذرات از محفظه $S\ (\frac{lit}{s})$ را نسبت به تغییرات زمان $t\ (s)$ و نمودار (٤)، تغییرات فشار نهایی $P$ (mbar) به زمان $t\ (s)$ را نشان می‌دهند.




نمودار (۳) : تغییرات سرعت خروج ذرات از محفظه $S\ (\frac{lit}{s})$ نسبت به تغییرات زمان $t\ (s)$




نمودار (٤) : تغییرات فشار نهایی $P$ (mbar) به زمان $t\ (s)$

## نتیجه‌گیری:

همانطور که گفته شد، تکنیک خلا، کابردهای فراوانی در زندگی انسان‌ها دارد و همواره راه برای استفاده‌ی بهینه از آن باز است. در این مقاله راهکار ما، ارائه‌ی مدلی مناسب بر پایه‌ی آزمایش و تعقل، جهت بهینه‌سازی فرایند خلا، کاهش هدر رفتن انرژی، افزایش راندمان سیستم خلا و کاهش هزینه‌ها، با تکیه بر شبیه‌سازی مدل بهینه‌ی آزمایشگاهی می‌باشد که با توجه به جدول‌ها و نمودارهای به دست آمده، می توانیم به منطقی بودن روند شبیه‌سازی سیستم خلا، طراحی محفظه و محاسبه‌ی مناسب‌ترین طول اتصالات، پی ببریم. باشد که توانسته باشیم گامی در راستای خدمت به همنوعان خود، در جهت نزدیک شدن به بازده حداکثری، برداشته باشیم.

## سپاسگزاری:

از همکاری آقای نوید یزدان‌پناه صمیمانه تشکر می‌کنیم. اینکار با پشتیبانی ایشان انجام شد.

## مرجع‌ها:

[۱] دکتر محمد اکتسابی ؛ «مقدمه‌ای برفیزیکو تکنولوژی خلا» نشر آهنگ؛ چاپ اول؛ ۱۳۶۹.

[۲] A. Chambers; B. S. Halliday and R. K. Fitch; "*Basic vacuum technology*" ; ۲th edition.

Archive of SID
www.SID.ir