



## دانشکده مهندسی مکانیک

پروژه تخصصی دوره کارشناسی مهندسی  
مکانیک گرایش سیالات

عنوان:

آشنایی و تحلیل طراحی انواع اجکتور

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر جباری مقدم

تهیه و تنظیم:

ابوالحسن سیدآبادی

بهار ۹۸

## جناب آقای دکتر جبّاری مقدّم

دلسوزی، تلاش و کوشش حضرتعالی در تعلیم و تربیت و انتقال معلومات و تجربیات ارز شمند در کنار برقراری رابطه صمیمی و دو ستانه با دانشجویان و ایجاد فضائی دلنشین برای کسب علم و دانش و درک شرایط دانشجویان حقیقتاً قابل ستایش است. اینجانب بر خود وظیفه میدانم در کسوت شاگردی از زحمات و خدمات ارزشمند شما استاد گرانقدر تقدیر و تشکر نمایم. از خداوند متعال برایتان سلامتی، موفقیت و همواره یاد دادن را مسئلت دارم.

دانش آموز دیروز، امروز و فردا

### چکیده

اجکتورها تا حدودی دارای قیمت هایی کمتر و هزینه نگهداری کمی نسبت به پمپ ها دارند. معمولا اژکتورها دارای یک شیبوره همگرا- واگرای درونی دارند. که در آن سیال رانده شده برای تغذیه و یک شیبوره بزرگ تر بیرونی که در آن گازها تخلیه شده. ممنتم یا انرژی سیال خروجی از شیبوره راندنی دارای سرعت بالا می باشد. اما به میزان جزئی این سرعت به گازهای در حال تخلیه هم وارد می شود. پس در این صورت سرعت مخلوط ما کمتر از سرعت سیال وارد شده می باشد. ولی در هر صورت سرعت آن بیشتر از سرعت صوت می باشد. اجکتور نام عمومی جتی است که قادر به تخلیه محصولات مختلف گازی، محلول، و جامد (پودر، گرانول یا لجن) بوده که دارای اسامی مختلفی می باشد که اساس آن تابع بودن از : پمپ جت خلاء، ترمو کمپرسور، اسکرابر گاز و غیره می باشد. تئوری عملیاتی برای انواع آن مشابه می باشد.

در این مقاله به تشریح و آشنایی با انواع اجکتور، طراحی و اطلاعات مربوطه میپردازیم.

## فهرست مطالب

مقدمه .....	۱
فصل ۱ - آشنایی با اجکتور .....	۲
۱-۱ - تاریخچه .....	۲
۲-۱ - معرفی اجکتور .....	۲
۳-۱ - اساس عملکرد اجکتور .....	۳
۱-۳-۱ - تحلیل و مدلسازی .....	۴
۲-۳-۱ - معرفی انواع دیفیوزر .....	۶
۳-۳-۱ - نمودار عملکرد .....	۶
۴-۳-۱ - مقایسه اجکتور با پمپ های خلا .....	۷
فصل ۲ - طراحی اجکتور .....	۸
۱-۲ - پارامترهای مهم طراحی .....	۸
۱-۱-۲ - تعیین نسبت سطح مقطع گلوگاه دیفیوزر به گلوگاه نازل .....	۱۰
فصل ۳ - معرفی انواع اجکتور .....	۱۱
۱-۳ - انواع اجکتورها از نظر سیال محرک .....	۱۱
۲-۳ - انواع اجکتور از نظر کاربرد .....	۱۱
۱-۲-۳ - ایجاد خلأ .....	۱۱
۲-۲-۳ - سیفون و ادکتور .....	۱۲
۳-۲-۳ - ونتیلاتور و گاس اسکرابر .....	۱۳
۴-۲-۳ - اختلاط سیالات .....	۱۵
۵-۲-۳ - افزایش فشار .....	۱۶

- ۱۶ ..... ۳-۲-۶-جدول برخی کاربرد
- ۱۷ ..... ۳-۳-انواع چینش اجکتورها
- ۱۷ ..... ۳-۴-نحوه انتخاب اجکتور
- ۱۷ ..... ۳-۴-۱- قسمت اول: اطلاعات کلی مربوط به اجکتور و سیال محرک
- ۱۹ ..... ۳-۴-۲- قسمت دوم: شرایط عملیاتی
- ۲۰ ..... ۳-۴-۳- قسمت سوم: اطلاعات مربوط به ساختار اجکتور و کندانسورها
- ۲۱ ..... فصل ۴ نگهداری اجکتور
- ۲۱ ..... ۴-۱- عوامل ایجاد اختلال در عملکرد اجکتور
- ۲۱ ..... ۴-۱-۱- خواص ترمودینامیک
- ۲۱ ..... ۴-۱-۲- رطوبت
- ۲۲ ..... ۴-۱-۳- شرایط نامناسب کاری
- ۲۲ ..... ۴-۲- عیب یابی اجکتور
- ۲۳ ..... منابع و مراجع

## فهرست اشکال و جداول

- (شکل ۱-۱) نمونه اجکتور استیل ۵ اینچی..... ۲
- (شکل ۱-۲) برش خورده از جریان اختلاط..... ۵
- (شکل ۱-۳) نمودار تغییرات سرعت و فشار در طول اجکتور..... ۷
- (شکل ۱-۴) منحنی‌های طراحی برای اجکتورهای تک مرحله‌ای..... ۹
- (شکل ۱-۵) کاربرد کنترل میزان خلا نسبی سازی در محفظه های فرآیند های شیمیایی..... ۱۲
- (شکل ۲-۱) کاربرد در سیستم های تخلیه..... ۱۳
- (شکل ۳-۱) سیستم اجکتور در گاس اسکرابر ها..... ۱۴
- (شکل ۴-۱) سیستم اختلاط دوسیال..... ۱۵
- جدول (۱-۳) نمودار کاربرد های انواع اجکتور..... ۱۶-۱۷
- (شکل ۳-۵) نمودار تعیین تعداد اجکتورهای لازم برای ایجاد خلأ مورد..... ۱۸
- (شکل ۳-۶) نمودار تعیین پس فشار..... ۱۹
- جدول (۱-۴) عیب یابی اجکتور..... ۲۳

## مقدمه

اجکتور یا اینجکتور، تجهیزیه که قادر است با ایجاد خلا، جریان گاز، مایع و یا جامد مانند پودر، گرانول و لجن را انتقال دهد و اساس کار آن بر پایه تبدیل انرژی سرعتی و فشاری به یکدیگر است.

اجکتورها یکی از دستگاههای مهم مورد استفاده در صنایع می باشند. این دستگاهها دو وظیفه عمده بر عهده دارند که عبارت است از ایجاد خلا و تخلیه گازها و دیگر مخلوط کردن سیالات می باشد. در بکارگیری و طراحی اجکتور هر یک از وظایف فوق و یا هر دو با هم می تواند مد نظر قرار گیرد. به عنوان مثال در صنایع غذایی برای بهبود کیفیت کنسانتره میوه ها و همچنین افزایش ظرفیت واحد از شرایط تحت خلا استفاده می شود و همچنین در پالایشگاهها برای جدا کردن مواد نفتی سنگین که دمای جوش بالا دارند از تقطیر تحت خلا استفاده می کنند که برای ایجاد خلا می توان از اجکتور استفاده کرد. در بعضی موارد از اجکتور برای مخلوط مایعات و گازها و مایعات استفاده می شود و همچنین برای جدا کردن ذرات معلق در گازها آنها را با مایعات مخلوط می کنند که برای این کار از اجکتور استفاده می شود. اجکتور کاربردهای تازه ای نیز پیدا کرده که به عنوان نمونه می توان به جایگزینی اجکتور با کمپرسور در یک سیکل تبرید اشاره کرد.



اجکتور در کوره های خلا



صنعت و کیوم بسته بندی مواد غذایی



صنعت نفت و  
پالایشگاه



## فصل ۱ - آشنایی با اجکتور

### ۱-۱ - تاریخچه

منشاء پیدایش اجکتورهای بخار در قاره اروپا میباشد. اولین کارها در زمینه اجکتور توسط گیفارد در دهه ۱۸۵۰ انجام گرفت. ارنست کورتینگ والکساندر فریدمان در سال ۱۸۶۹ در شهر وین طراحی و ساخت انژکتور دیگ بخار را که بر مبنای ساختار اجکتور بود، انجام دادند. در سال ۱۸۷۱ ارنست کورتینگ و برادرش برتلد کارخانه کوچکی را در آلمان احداث کردند که تولیدات این کارخانه به ساخت انژکتور و جت پمپ اختصاص داشت. این کارخانه تا سال ۱۸۷۶ اجکتورهایی با نازل همگرا ساختند که سیال محرکشان آب بود. در همین سال اولین اجکتور بخار از نوع امروزی طراحی شد. دلاول اصول طراحی نازل‌های همگرا-واگرا مورد استفاده در اجکتورهای بخار را در سال ۱۸۹۰ گسترش داد. تکنولوژی ساخت اجکتورهای بخار بتدریج در امریکا گسترش یافت که کمپانی کرول-رینولدز مشهورترین این کمپانی‌ها است که در سال ۱۹۱۷ ساخته شد.

اولین کتاب روشهای استاندارد تست اجکتورهای بخار مربوط به سال ۱۹۳۸ توسط شرکت مبدل‌های حرارتی منتشر شد که به بررسی ساختارهای اجکتور جت بخار، استانداردهای ساخت و تست و غیره میپردازد.

### ۲-۱ - معرفی اجکتور

در یک اجکتور جهت ایجاد خلأ از یک سیال پر فشار (سیال محرک) استفاده می‌شود. این سیال که می‌تواند بخار، هوا و یا آب باشد از طریق نازل وارد اجکتور می‌شود و در حین عبور از نازل، انرژی فشاری آن به انرژی سرعتی



تبدیل می‌شود. این امر سبب می‌شود سرعت سیال افزایش یافته، فشار آن افت کند و در خروجی نازل اصطلاحاً ایجاد جت یا مکش نماید. به این ترتیب سیالی که قرار است مورد مکش قرار گیرد، از قسمت مکش به سمت محفظه اجکتور کشیده می‌شود و با سیال محرک مخلوط می‌گردد.

(شکل ۱-۱) نمونه اجکتور استیل ۵ اینچی



مخلوط سیال محرک و سیال مکش یافته پس از گذشتن از بخش دیفیوزر، در اثر تبدیل انرژی سرعتی به فشاری، با فشار زیاد از اجکتور خارج می‌گردد. چون اعمال تغییرات فشار و سرعت داخل این وسیله به خاطر حرکت سیال در داخل کانال های واگرا و همگراست. لذا آن را جزء دسته کمپرسورهای سیالی می‌دانند. گاهی اجکتور را جت اجکتور می‌نامند. دلیل این نامگذاری فوران یا حالت پرتاب سیال در قسمت ورودی و خروجی آن است.

### ۳-۱ - اساس عملکرد اجکتور

اساس کار اجکتور بر پایه اصل اولر می‌باشد. بر طبق اصل اولر، مقدار انرژی یک جریان پایدار و بدون لزجت، ثابت بوده و مقدار آن برابر است با مجموع انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی فشاری.

$$\frac{V^2}{2} + gz + \int \frac{dP}{\rho} = C \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

براساس قانون بقای انرژی، این مقدار انرژی در صورت عدم اتلاف در اثر اصطکاک همواره مقداری ثابت است. اگر در جایی بدلیل تغییر سطح مقطع، سرعت سیال کاهش یابد، این مقدار انرژی به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد و بالعکس با افزایش سرعت، فشار کاهش می‌یابد.

افزایش و کاهش سرعت سیال در تجهیزاتی که سطح مقطع عبور سیال در آنها تغییر می‌نماید، امکان‌پذیر می‌باشد. شکل هندسی این تجهیزات بصورت همگرا یا واگرا می‌باشد و وظیفه آنها تبدیل آنتالپی سیال به انرژی جنبشی و بالعکس است. برحسب اینکه سرعت سیال در ورودی این تجهیزات کمتر یا بیشتر از سرعت صوت باشد، دستگاه براساس شکل هندسی آن سبب افزایش یا کاهش سرعت سیال می‌شود.

در تجهیزات همگرا، سطح مقطع در امتداد جریان کم می‌شود. حال اگر سرعت سیال ورودی به این دستگاه کمتر از سرعت صوت باشد، سرعت سیال در امتداد جریان افزایش می‌یابد. در این حالت به دستگاه که سبب افزایش سرعت می‌شود نازل گفته می‌شود. در واقع نازل‌ها به دستگاه‌هایی گفته می‌شود که با تبدیل فشار سیال به سرعت

سبب افزایش سرعت سیال می‌شوند. هر چه نسبت فشار ورودی نازل به فشار خروجی بیشتر باشد، سرعت سیال در قسمت انتهایی نازل افزایش خواهد یافت، تا حدی که به سرعت صوت می‌رسد.

حال اگر سرعت سیال ورودی به تجهیز همگرا بیشتر از سرعت صوت باشد، سرعت آن در حین عبور از مسیر کاهش و فشار آن افزایش می‌یابد. در این حالت به دستگاه که سبب کاهش سرعت و افزایش فشار می‌شود دیفیوزر گفته می‌شود. در واقع دیفیوزرها به دستگاه‌هایی گفته می‌شود که با تبدیل سرعت سیال به فشار سبب افزایش فشار سیال می‌شوند.

در تجهیزات واگرا، سطح مقطع در امتداد جریان زیاد می‌شود. حال اگر سرعت سیال ورودی به این دستگاه کمتر از سرعت صوت باشد، سرعت سیال در امتداد جریان کاهش می‌یابد. بدین ترتیب چون دستگاه در جهت کاهش سرعت و افزایش فشار عمل کرده، لذا دیفیوزر می‌باشد.

حال اگر سرعت سیال ورودی به تجهیز واگرا بیشتر از سرعت صوت باشد، سرعت آن در حین عبور افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. در این حالت نیز، دستگاه سبب افزایش سرعت شده، بنابراین یک نازل می‌باشد.

بر اساس آنچه گفته شد، همواره باید توجه داشت که نازل‌ها سبب افزایش سرعت و دیفیوزرها سبب افزایش فشار می‌شوند. پدیده تبدیل انرژی فشاری به انرژی سرعتی و بالعکس، اساس طراحی اجکتورها می‌باشد که به منظور ایجاد خلأ و انتقال مواد در صنعت کاربرد فراوان دارد.

### ۱-۳-۱ - تحلیل و مدلسازی

طبق توضیحات بالا برای آنکه این پدیده را به صورت ساده، مدل و تحلیل نمود، لازم است برای جریانی از سیال که از یک مجرا عبور می‌کند، فرضیات زیر را در نظر گرفت: (فرضیات استفاده از معادله برنولی یا اولر)

۱- جریان یک بعدی و آدیاباتیک یعنی بدون انتقال حرارت باشد.

۲- کار محوری بر روی آن انجام نشود.

۳- تغییرات انرژی پتانسیل و اتلاف انرژی در طول جریان نیز ناچیز باشد.

در اینصورت می‌توان معادله مقابل را برای بیان رابطه بین تغییرات سطح مقطع و سرعت آن سیال بکار برد.

$$\text{رابطه (۱-۲)} \quad (M^2 - 1) \frac{du}{u} = \frac{dA}{A}$$

در اینجا  $M$ ، نسبت سرعت جریان به سرعت صوت بوده و عدد ماخ نام دارد. این معادله بیان می‌کند، در یک جریان مادون صوت که مقدار  $M$  کوچکتر از یک است، با کاهش سطح مقطع در یک نازل، سرعت جریان افزایش می‌یابد.

چنانچه مقدار  $M$  بزرگتر از یک و جریان ماورای صوت باشد، سرعت جریان با افزایش سطح مقطع در نازل افزایش می‌یابد. بدین ترتیب با استفاده از یک نازل همگرا-واگرا، می‌توان به سرعت‌های بالاتر از صوت رسید. این نوع نازل‌ها از سه بخش همگرا، گلوگاه و واگرا، تشکیل شده‌اند که بخش گلوگاه کمترین سطح مقطع را دارد.

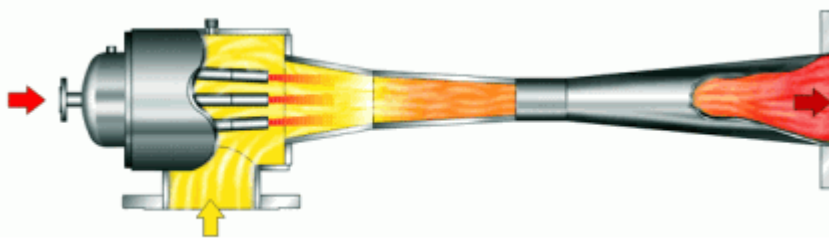
در یک جریان مادون صوت که مقدار  $M$  کوچکتر از یک است، با افزایش سطح مقطع، سرعت جریان کاهش می‌یابد و چنانچه مقدار  $M$  بزرگتر از یک و جریان ماورای صوت باشد، با کاهش سطح مقطع، سرعت جریان نیز کاهش می‌یابد.

بنابراین با استفاده از یک دیفیوزر همگرا-واگرا، می‌توان سیالی را با سرعت ماورای صوت به سرعت مادون صوت و فشار بالا رساند. این نوع دیفیوزرها از سه بخش همگرا، گلوگاه و واگرا، تشکیل شده‌اند که بخش گلوگاه کمترین سطح مقطع را دارد.

سیال محرک اجکتور که می‌تواند آب، بخار و یا هوا باشد، وارد نازل اجکتور می‌شود. در بخش همگرای نازل، با کاهش سطح مقطع، سرعت سیال افزایش می‌یابد. نازل می‌تواند از نوع همگرا یا همگرا-واگرا باشد. قطر قسمت انتهایی نازل همگرا بگونه‌ای طراحی می‌شود که با توجه به میزان فشار ورودی سیال و فشار پایین دست آن، سرعت خروجی سیال به بیشترین مقدار ممکن برسد. چنانچه نازل از نوع همگرا-واگرا باشد، سیال پس از گلوگاه وارد قسمت واگرای نازل می‌شود و چنانچه قبلاً گفته شد، اگر سرعت سیال به سرعت صوت برسد، با افزایش سطح مقطع، سرعت سیال افزایش می‌یابد. این امر باعث می‌شود فشار در بخش خروجی نازل به حداقل خود رسیده و ایجاد خلأ نسبی و در نتیجه ایجاد مکش کند.

در بخش محفظه اجکتور، بلافاصله پس از نازل، بخش مکش قرار دارد. سیالی که مورد مکش قرار می‌گیرد از بخش مکش به سمت اجکتور کشیده شده و با سیال محرک پر سرعت مخلوط می‌شود. پس از اختلاط سیال محرک با سیال مکش، سرعت سیال مخلوط همچنان بالا می‌رود و اگر سیال با همین سرعت بالا از اجکتور خارج گردد، موجب صدمه و آسیب به تجهیزاتی که بعد از اجکتور قرار گرفته است، می‌شود. بنابراین به نوعی باید این انرژی

سرعتی بالا را به انرژی فشاری تبدیل نمود. این عمل در بخش دیفیوزر اجکتورها انجام می‌شود.



(شکل ۱-۲) برش خورده از جریان اختلاط

### ۲-۳-۱- معرفی انواع دیفیوزر

دیفیوزر اجکتورها بنا به سیال اختلاط عبوری به دو صورت طراحی می‌شوند :

۱-۲-۳-۱ - در نوع اول، دیفیوزر تنها دارای یک بخش واگرا می‌باشد. این نوع دیفیوزرها هنگامی بکار

می‌روند که سرعت سیال اختلاط مادون صوت باشد. بدین ترتیب، سرعت سیال اختلاط هنگام عبور از بخش واگرای دیفیوزر، با افزایش سطح مقطع، کاهش یافته و فشار افزایش می‌یابد. در خروجی دیفیوزر بیشتر انرژی مخلوط سیال محرک و مکش یافته، بصورت انرژی فشاری می‌باشد.

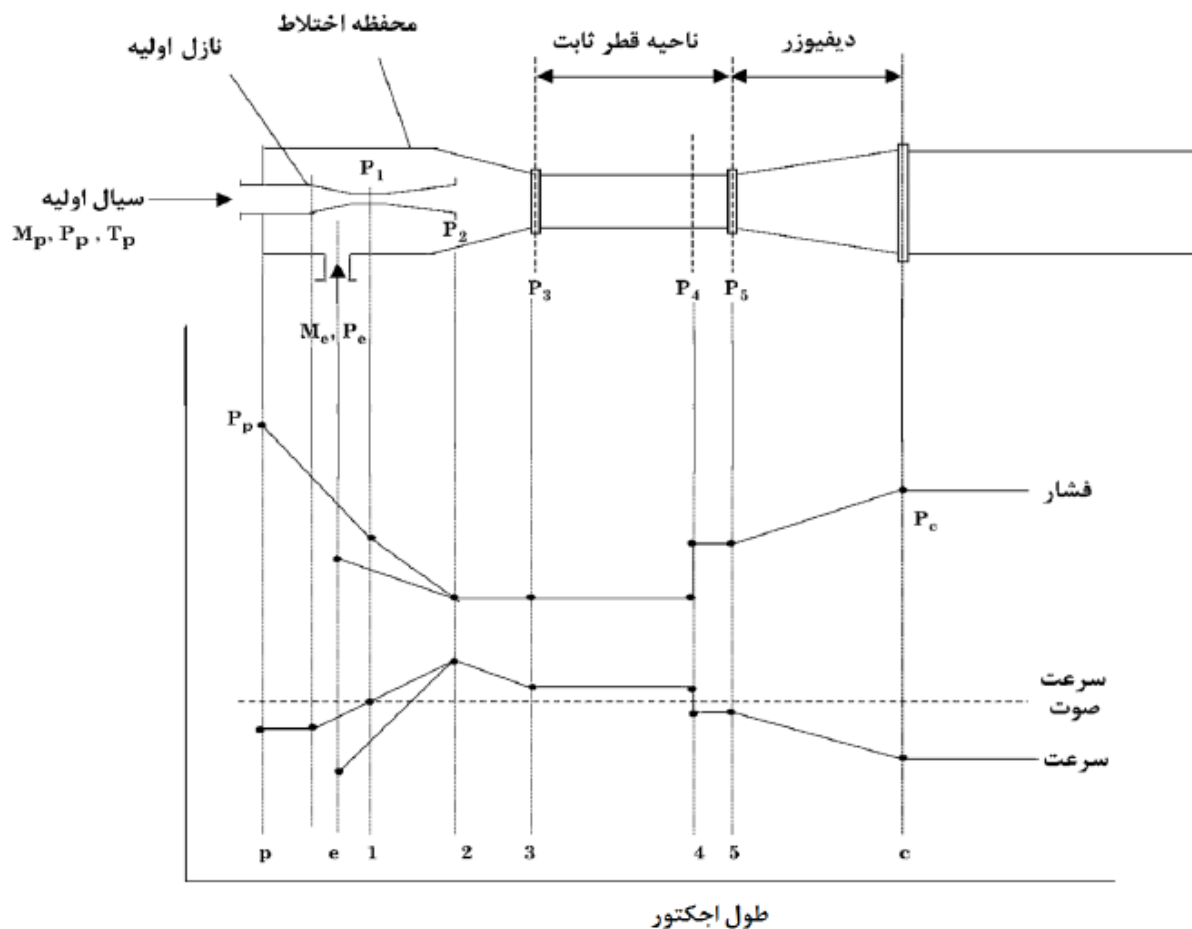
۲-۲-۳-۱ - در نوع دوم، دیفیوزر دارای سه بخش همگرا، گلوگاه یا بخش سطح مقطع ثابت و واگرا

می‌باشد. این نوع دیفیوزرها هنگامی بکار می‌روند که سرعت سیال اختلاط ( سیال مکش و سیال محرک) ماورای صوت باشد. بدین ترتیب، بدلیل خاصیت سیال ماورای صوت، سرعت سیال اختلاط، هنگام عبور از بخش همگرای دیفیوزر، با کاهش سطح مقطع، کاهش می‌یابد و انرژی سرعت آن به انرژی فشار تبدیل می‌گردد. بخش سطح مقطع ثابت دیفیوزر همواره به گونه‌ای طراحی می‌شود تا با ایجاد امواج شوک سرعت سیال را کاهش داده و فشار آن بطور ناگهانی افزایش یابد. در نتیجه سیال از حالت ماورای صوت، به مادون صوت می‌رسد. بدین ترتیب در قسمت واگرای دیفیوزر، با افزایش سطح مقطع، سرعت سیال کاهش یافته و فشار افزایش می‌یابد. در خروجی دیفیوزر بیشتر انرژی مخلوط سیال محرک و مکش یافته، بصورت انرژی فشاری بوده و در نتیجه از اجکتور خارج و وارد تجهیز بعدی می‌شوند. مقدار فشار سیال خروجی، بین فشار سیال محرک و فشار سیال مکش یافته می‌باشد.

### ۳-۳-۱- نمودار عملکرد

شکل زیر تغییرات سرعت و فشار استاتیک را در طول اجکتور نشان می‌دهد. سیال اولیه با فشار زیاد ( $P_p$ ) وارد نازل اولیه که یک نازل همگرا است می‌شود، و سپس در این نازل شتاب می‌گیرد تا در خروجی نازل، جریان به سرعت ما فوق صوت برسد. سیال اولیه در نازل اجکتور، تا فشار ( $P_2$ ) به صورت ایزنتروپیک منبسط می‌شود و با سیال ثانویه در فشار ثابت و در محفظه اختلاط، مخلوط می‌گردد. اختلاط تا قبل از ورود به ناحیه قطر ثابت کامل می‌شود و سیال مخلوط شده با همان فشار ( $P_3 = P_2$ ) با سرعت مافوق صوت به ناحیه قطر ثابت وارد می‌گردد.

در این ناحیه بواسطه حضور یک شوک قائم، که اثر تراکمی قوی بر سیال دارد، فشار تا  $(P_5)$  افزایش می یابد و سیال با سرعت مادون صوت به دیفیوزر وارد شده، تا  $(P_e)$  متراکم می گردد.



(شکل ۱-۳) نمودار تغییرات سرعت و فشار در طول اجکتور

### ۱-۳-۴- مقایسه اجکتور با پمپ های خلا

اجکتورها در مقایسه با پمپ های خلا دارای هزینه اولیه و تعمیر کمتر و نگهداری ساده تری می باشد و از آنجا که اجکتورها هیچ قسمت متحرکی ندارند، بنابراین در صورت عدم وجود خوردگی نیاز به تعمیر پیدا نمی کنند. نصب اجکتورها بسیار آسان است و کنترل عملیات نیز ساده می باشد. یکی از خصوصیات اجکتور، اختلاط سیال محرک با سیال فرایندی است که در طراحی فرایند اهمیت داشته و لازم است مورد توجه قرار گیرد. لازم به ذکر است اجکتورها قابلیت انتقال مواد جامد و دوفازی را نیز دارند و این در حالیست که پمپ های خلا قادر به انجام این کار نیستند. پمپ های خلا در مقایسه با اجکتورها دارای محاسن زیر هستند:

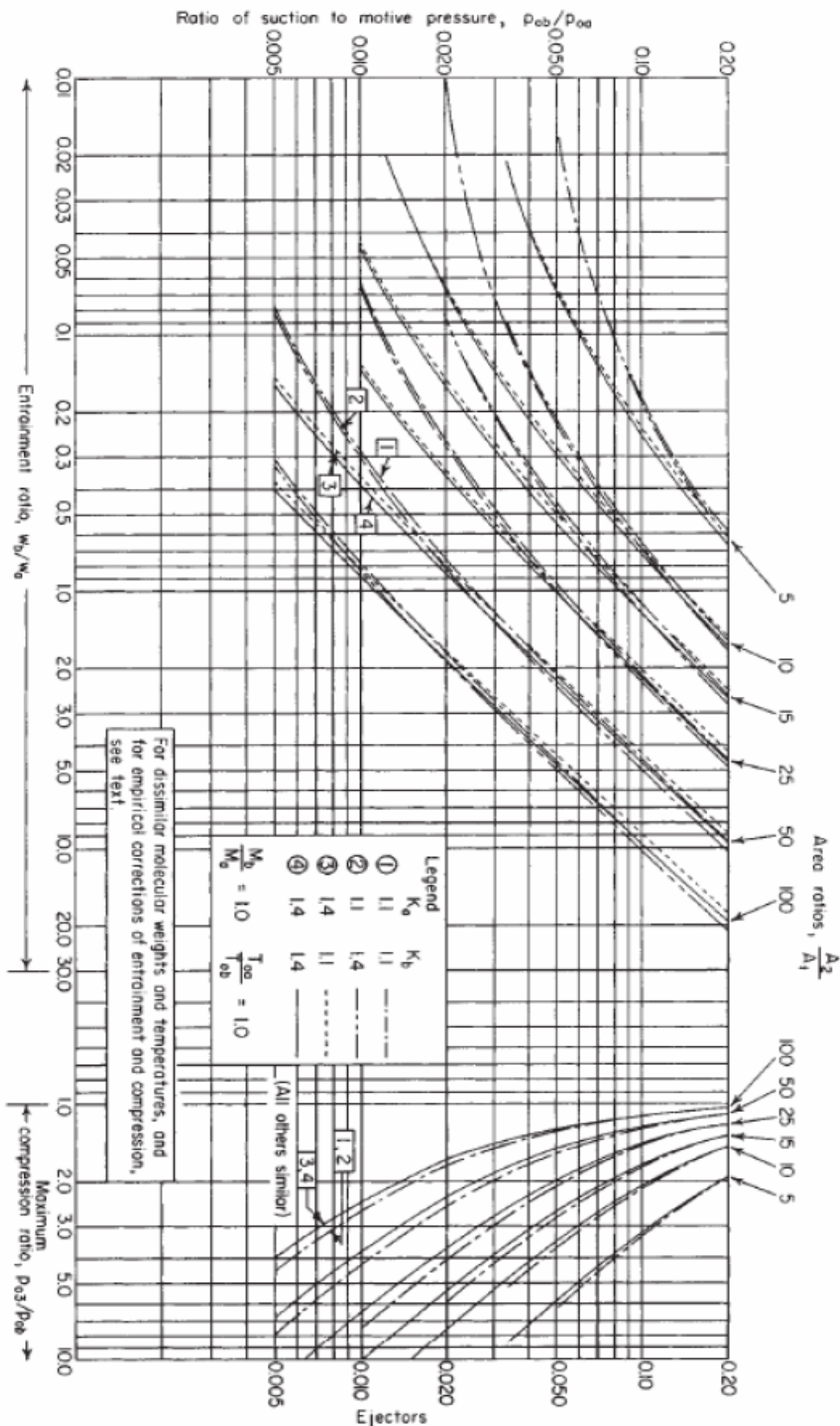
- شرایط بخار تغذیه هیچ تأثیری بر روی سیستم عملکرد پمپ ندارد.
- راه اندازی حتی در صورت نبود بخار نیز انجام پذیر است.
- سیستم پمپ خلأ قابلیت عملیات کاملاً اتوماتیک را دارد.
- سرعت عملیاتی پمپ خلأ بسیار بالاست.
- عدم اختلاط سیال فرایندی با بخار یا ناخالصی‌های دیگر.

## فصل ۲ - طراحی اجکتور

### ۱-۲- پارامترهای مهم طراحی

چنانچه قبلاً ذکر شده، اجکتورها بخش متحرکی نداشته و شامل دو قسمت مهم نازل و دیفیوزر می‌باشند. جهت طراحی اجکتور می‌بایست سائز نازل سیال محرک، طول دیفیوزر و قطر گلوگاه آن محاسبه گردد. تعیین دقیق این پارامترها با توجه به فشارهای ورودی سیال محرک و سیال مکش یافته، فشار خروجی سیال مخلوط و دبی جرمی سیال‌ها انجام می‌پذیرد. بطور مثال چنانچه طول دیفیوزر کمتر از مقدار صحیح آن محاسبه شود، در قسمت واگرای دیفیوزر و در نزدیک دیواره، پدیده جدایش ایجاد می‌شود. وجود پدیده جدایش که جدا شدن سیال از بدنه اجکتور می‌باشد، سبب می‌شود، مقدار کمتری از سیال مکش یافته، مکش شود و در نتیجه اجکتور، ظرفیتی کمتر از حالت عادی خود خواهد داشت.

از آنجا که عملکرد یک اجکتور به فاکتورهایی چون سطح مقطع نازل سیال محرک و گلوگاه ونتوری، فشار سیال محرک، فشار مکش، فشار خروجی، نسبت گرماهای ویژه، وزن‌های مولکولی و دمای سیال مکش یافته و سیال محرک بستگی دارد، لذا برای تعیین سائز اجکتور از نمودارها و شکل‌هایی استفاده می‌شود که با توجه به فشار مکش یا در واقع خلأ مورد نیاز، فشار خروجی و فشار سیال محرک، مقدار بهینه نسبت سطح مقطع دیفیوزر و نازل را جهت طراحی اولیه می‌دهد. یک نمونه از این نمودارها در شکل زیر مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱) منحنی‌های طراحی برای اجکتورهای

## ۲-۱-۱ - تعیین نسبت سطح مقطع گلوگاه دیفیوزر به گلوگاه نازل

برای تعیین نسبت سطح مقطع دیفیوزر و نازل اجکتور، تا نسبت‌های تراکم ۱۰ و تا نسبت سطوح ۱۰۰ بکار می‌رود. برای مثال فرض می‌کنیم می‌خواهیم هوایی با 0.2bar را با بخاری که دارای فشار 6.9bar است، بوسیله

یک اجکتور تخلیه کنیم طوری که در نهایت فشار خروجی به 1.02bar برسد. بدین ترتیب  $\frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{مکش}}} = 5$  (نسبت فشار

سیال خروجی به فشار مکش یا همان نسبت تراکم) و  $\frac{P_{\text{مکش}}}{P_{\text{محرك}}} = 0.0289$  (نسبت فشار سیال مکش یافته به فشار

سیال محرک) می‌باشد. از تقاطع این دو نقطه بر روی نمودار، مقدار بهینه نسبت سطح‌ها، بین منحنی‌های ۱۰ و ۱۵ بدست می‌آید که می‌توان مقدار تقریبی ۱۲ را برای آن ذکر کرد. بصورت افقی حرکت کرده تا به منحنی ۱۲ در سمت چپ شکل برسیم. با تقاطع این نقطه و محور افقی، مقدار  $\omega_b/\omega_a$  بصورت تقریبی ۰/۱۵ بدست می‌آید. بدین معنا که هر 1kg بخار قادر است، ۰/۱۵ kg هوای مکش یافته را مکش نماید.

(Entrainment Ratio)  $\omega$  یکی از پارامترهای مهم اجکتور بوده و بصورت نسبت دبی سیال مکش شده به دبی سیال محرک تعریف می‌شود. در واقع بهترین اجکتور، اجکتوریست که با توجه به نوع سیال‌های مورد استفاده و شرایط ترمودینامیکی آنها، بیشترین مقدار  $\omega$  را ایجاد کند و هدف اصلی در طراحی بهینه اجکتور، ماکزیمم کردن این مقدار به ازای ثابت ماندن سایر شرایط است.

البته عدد حاصل با فرض اینکه نسبت وزن مولکولی سیال محرک و مکش یافته برابر یک بوده و دمای این دو سیال نیز برابر باشد، بدست آمده است. لذا با استفاده از فرمول زیر، عدد بدست آمده را می‌بایست تصحیح نمود.

$$\frac{\omega}{\omega_a} = \frac{\omega}{\omega_b} \sqrt{\frac{T_{0a}M_b}{T_{0b}M_a}} \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

که در اینجا:

$M_b$ : وزن مولکولی سیال مکش یافته

$M_a$ : وزن مولکولی سیال محرک

$T_{0b}$ : دمای سیال مکش یافته

$T_{0a}$ : دمای سیال محرک

$\omega_b$ : دبی جرمی سیال مکش یافته

$\omega_a$ : دبی جرمی سیال محرک



## فصل ۳ - معرفی انواع اجکتور

### ۳-۱- انواع اجکتورها از نظر سیال محرک

اجکتورها بر اساس اینکه در آنها از چه سیالی بعنوان سیال محرک، استفاده می‌شود، به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- اجکتورهای بخار ۲- اجکتورهای آب یا سایر مایعات فرایندی ۳- اجکتورهای هوا

عموماً برای کاربردهایی که نیاز به خلأهای بالا می‌باشد و یا میزان بار ورودی به اجکتور زیاد است، از اجکتورهای بخار استفاده می‌شود. ترموکمپرسور، هیتر، دی سوپرهیتر و سیفون‌ها از جمله اجکتورهای بخار می‌باشند. در کاربردهایی که مواد خورنده وجود ندارند جنس این اجکتورها از فولاد ضد زنگ، فولاد کربن و یا چدن است. اما در مواردی که نیاز است اجکتور در مقابل مواد خورنده مقاوم باشد، از آلیاژهای مونل، هسنلوی، PVDF، PTFE، گرافیت و غیره در ساختار اجکتور استفاده می‌شود.

اجکتورهای هوا برای ایجاد خلأهای پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند و از آنجا که سیال محرک مورد استفاده در آنها هوا می‌باشد، لذا بیشتر در مواردی کاربرد دارند که نیاز به تهویه و یا تزریق هوا یا اکسیژن به یک محیط بسته مورد نظر است.

برای ایجاد خلأهای پایین و در کاربردهایی که نیاز است، ذرات آلودگی موجود در بخارات و یا گازها قبل از ورود به اتمسفر، حذف شوند، از اجکتورهای آب و مایعات فرایندی استفاده می‌شود. اجکتور کندانسور، گاس اسکرابر و ادکتور از جمله این نوع اجکتورها می‌باشند. این نوع اجکتورها معمولاً در ترکیب با یک پمپ جهت سیرکولاسیون آب یا مایع فرایندی اجکتور به کار می‌روند.

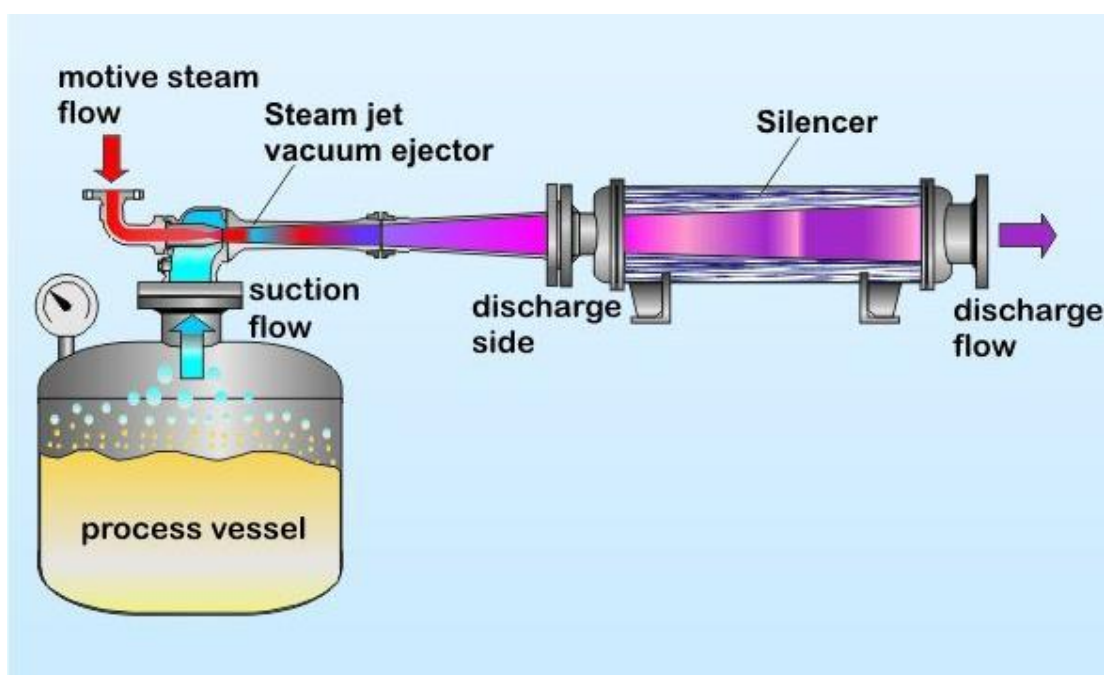
### ۳-۲- انواع اجکتور از نظر کاربرد

#### ۳-۲-۱- ایجاد خلأ

فرایندهایی چون تقطیر و تبخیر که می‌توانند تحت خلأ انجام شوند دارای کاربردهای زیادی در صنعت می‌باشند. زمانی که سیال فرایندی حاوی هیدروکربن‌های سنگین باشد، نقطه جوش ترکیب نسبتاً بالا می‌رود و لذا انرژی بیشتری برای تقطیر آن مورد نیاز می‌شود. از طرف دیگر، مقاومت مواد هیدروکربنی در مقابل حرارت‌های زیاد، کم بوده و مورد تجزیه شدن قرار می‌گیرند. برای رفع این مشکل فرایند تقطیر، در فشار خلأ نسبی انجام می‌شود. در

این صورت مواد در دمایی پایین تر از نقطه جوش معمولی خود به جوش آمده و علاوه بر اینکه به انرژی و دمای کمتر نیاز است، مولکولها نیز تجزیه نمی شوند. تبخیر تحت خلأ نیز دقیقاً مزایای تقطیر خلأ را دارد. بدین ترتیب که برای تغلیظ خوراکیهایی که مواد موجود در آنها نسبت به دمای بالا حساس هستند، عمل تبخیر در خلأ انجام می گیرد، تا مواد در دمایی پایین تر از نقطه جوش معمولی، به جوش آیند.

از جمله مهمترین کاربردهای اجکتور برای ایجاد خلأ می توان به ایجاد خلأ در برج خلأ واحد تقطیر پالایشگاه نفت اشاره نمود.



(شکل ۳-۱) کاربرد کنترل میزان خلا نسبی سازی در محفظه های فرآیند های شیمیایی

### ۳-۲-۲ - سیفون<sup>۱</sup> و ادکتور<sup>۲</sup>

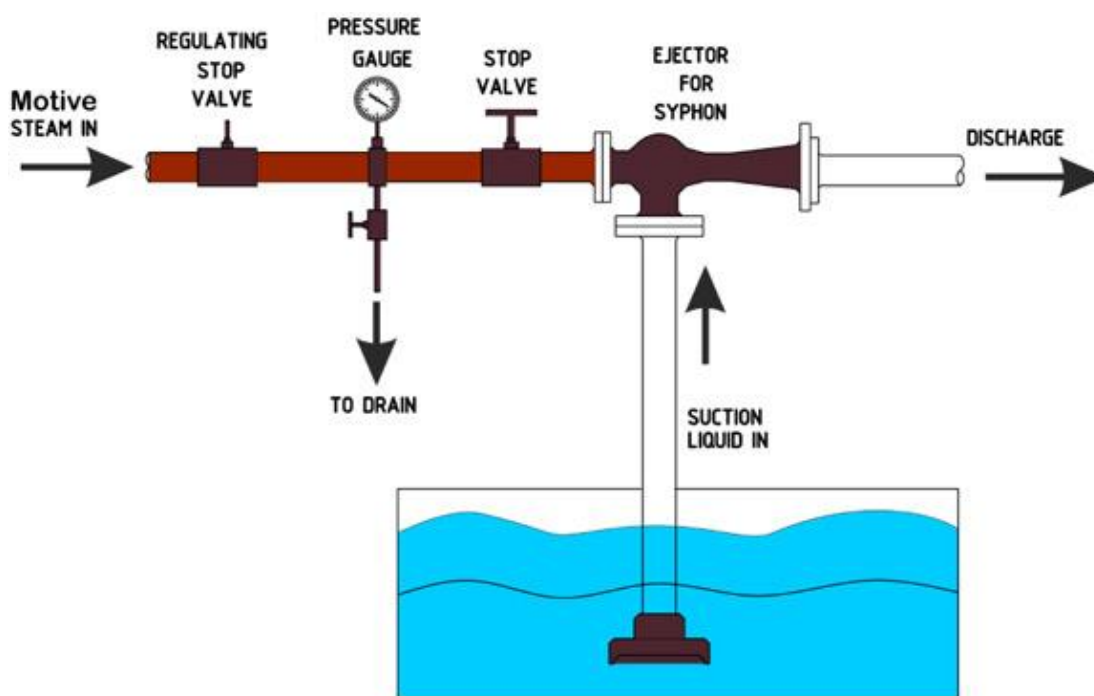
از آنجا که اجکتورها با ایجاد خلأ سبب مکش سیال می شوند، در برخی از موارد، می توان از این خصوصیت جهت انتقال سیالات استفاده نمود. اجکتورهایی که از بخار بعنوان سیال محرک جهت انتقال و پمپاژ آب یا مایعات دیگر

<sup>۱</sup> Sypohn

<sup>۲</sup> Eductor

استفاده می‌کنند، تحت عنوان سیفون شناخته می‌شوند. در اجکتورها اختلاط آب یا سیال مکش یافته با سیال محرک باعث کندانس بخار می‌شود.

ادکتورها نیز مانند سیفون‌ها برای پمپ، انتقال و تخلیه مایعاتی که در سطوح پایین‌تر قرار گرفته‌اند، بکار می‌روند با این تفاوت که سیال محرک مورد استفاده در ادکتورها بجای بخار، یک مایع پر فشار است. از اجکتورهای مایع، جهت انتقال مواد گرانولی یا پودری و یا اختلاط آنها با مایعات نیز استفاده می‌شود.



(شکل ۳-۲) کاربرد در سیستم های نخلیه

### ۳-۲-۳ - ونتیلاتور<sup>۳</sup> و گاس اسکرابر<sup>۴</sup>

همانطور که قبلاً ذکر شد، یکی از مهمترین موارد استفاده از اجکتورها، تهویه محیط و حذف ذرات آلوده موجود در سیالات می‌باشد. جهت تخلیه هوای آلوده از یک محیط بسته مانند تانک از یک دستگاه تهویه یا ونتیلاتور استفاده می‌شود. هوا و یا نیتروژن فشرده شده به عنوان سیال محرک وارد اجکتور می‌شوند و بدین ترتیب گازها و بخارات آلوده را از محیط، مکش نموده و خارج می‌نمایند.

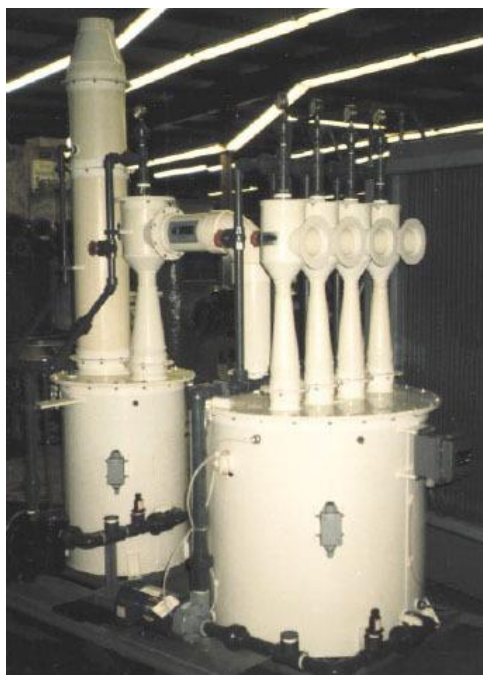
<sup>۳</sup> Ventilator

<sup>۴</sup> Gas scrubber

در بعضی از موارد نیز که هدف تزریق هوای تازه به یک محیط بسته می باشد، هوای پرفشار موجود یا ایجاد شده توسط یک کمپرسور کوچک، وارد ونتیلاتور شده و پس از اختلاط با هوای آزاد مکش شده، به محیط بسته وارد می شود. لازم به ذکر است اگر قرار بود حجم هوای مورد نیاز را توسط یک کمپرسور فشار پایین و با دبی بالا، فشرده ساخته تا به محیط مورد نظر انتقال یابد، هزینه بالاتری صرف می شد.

تزریق هوا یا اکسیژن در برخی از فرایندها نیز انجام می شود. فرایندهایی از قبیل اکسیداسیون، تخمیر و فرایندهای بیولوژیکی برای انجام واکنش، نیاز به اکسیژن دارند که در اینگونه موارد از اریتور استفاده می شود. سیال محرک مورد استفاده در اریتور، آبی است که توسط یک پمپ سیرکولاسیون، پرفشار شده و وارد اجکتور می شود و بدین ترتیب هوای آزاد محیط را مکش نموده و به فرایند تزریق می نماید.

برای حذف ذرات گرد و غبار، آلودگی، بخارات و بوی بد گازهای صنعتی از گاس اسکرابر استفاده می شود. این تجهیزات معمولاً بین مراحل فرایندی و یا قبل از اینکه گاز به اتمسفر تخلیه شود، آلودگی های مذکور را حذف می کنند. از اجکتورها می توان به منظور جداسازی ذرات موجود در گاز استفاده نمود. در این موارد سیال محرک مورد استفاده مایعی است که قادر است ذرات معلق موجود در گاز را در خود جذب نماید. مخلوط سیال محرک و گاز حاوی ذرات آلوده به یک درام منتقل شده و در آنجا مایع از گاز جدا می شود. مایع توسط یک پمپ، مجدداً به اجکتور منتقل می شود.



سیستم اجکتور در گاس اسکرابر ها (شکل ۳-۳)

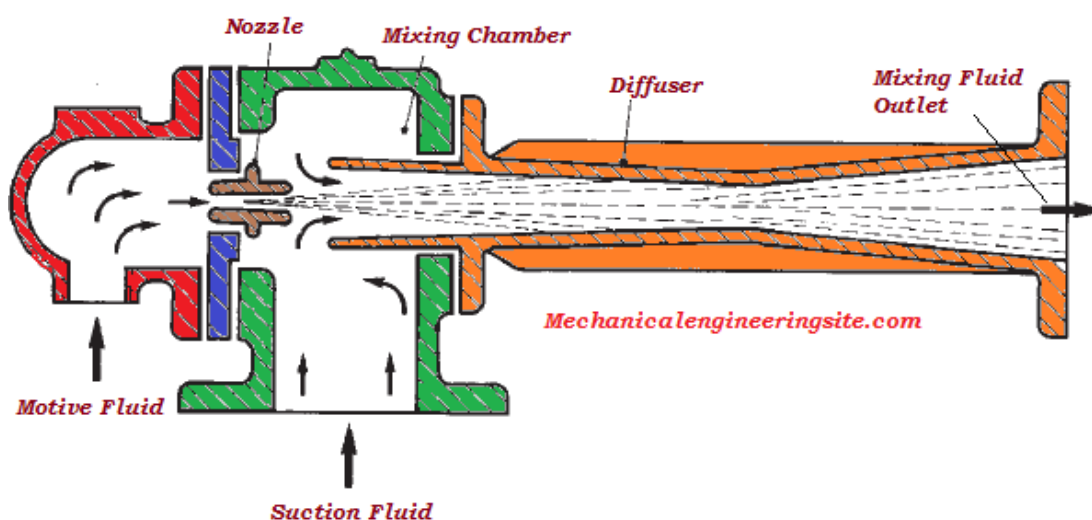
## ۴-۲-۳ - اختلاط سیالات

چنانچه قبلاً ذکر شد، سیال محرک مورد استفاده در بسیاری از اجکتورها، بخار می‌باشد. از آنجا که بخار دارای حرارت بالا بوده و اختلاط آن با آب بعنوان سیال مکشی، مشکلی ایجاد نمی‌نماید، لذا در بسیاری از موارد از اجکتورهای بخار جهت گرمایش آب یا سیالات فرایندی استفاده می‌شود. در این نوع اجکتورها، بخار بعنوان سیال محرک بطور مستقیم با آب یا هر مایع دیگر تماس پیدا کرده و پس از اختلاط کامل، آب گرم شده و بخار نیز کندانس می‌گردد.

در بعضی از موارد نیز از اجکتور جهت کاهش دمای بخار استفاده می‌شود. بخار مصرفی در واحدهای صنعتی توسط واحدهای تولید کننده بخار تولید می‌شود که می‌تواند به صورت اشباع و یا سوپرهیت باشد. بخار تولید شده که برای واحدهای مصرف کننده فرستاده می‌شود، معمولاً

سوپرهیت بوده و باید از نظر دما و فشار کنترل گردد. لذا کنترل دما در سوپرهیت کننده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. یکی از روش‌های کاهش دمای بخار سوپرهیت، استفاده از دی‌سوپرهیتر می‌باشد.

دی‌سوپرهیترها تجهیزاتی هستند که با تماس دادن مستقیم آب خنک و بخار سوپرهیت، باعث کاهش دمای بخار سوپرهیت می‌گردند. در برخی از دی‌سوپرهیترها از یک اجکتور جهت اختلاط آب با بخار سوپرهیت استفاده می‌شود. بخار سوپرهیت به عنوان سیال محرک عمل کرده و آب را مکش نموده و سبب اختلاط آن با بخار و لذا کاهش دمای آن می‌شود.



(شکل ۴-۳) سیستم اختلاط دوسیال

### ۳-۲-۵ - افزایش فشار

از آنجا که سیال منتقل شونده در اجکتور ضمن عبور از دیفیوزر، فشار آن نیز افزایش می‌یابد، لذا یکی از کاربردهای اجکتورها افزایش فشار سیالات است. از جمله این نوع اجکتورهای بخار می‌توان به ترموکمپرسور و یا بخار اشاره نمود. ترموکمپرسورها اغلب جهت کاهش انرژی مصرفی در تبخیر کننده‌ها استفاده می‌شوند

### ۳-۲-۶ - جدول برخی کاربردها

کاربرد	سیال محرک	نمونه
پمپاژ و انتقال مایعات	بخار	سیفون‌های جت بخار مکنده‌های (exhauster) جت بخار پمپ‌های خلأ تک مرحله‌ای
	هوا	سیفون‌های جت هوا مکنده‌های جت هوا
	مایع	اجکتورهای جت آب مکنده‌های جت آب
انتقال هوا و گازها (priming و pump)	بخار	بلورهای جت بخار مکنده‌های (exhauster) جت بخار ترموکمپرسورهای جت steam پمپ‌های خلأ یک مرحله‌ای پمپ‌های خلأ چند مرحله‌ای
	هوا	بلورهای جت بخار مکنده‌های (exhauster) جت بخار پمپ‌های خلأ یک مرحله‌ای کمپرسورهای جت هوا
	گاز	کمپرسورهای جت گاز
	مایع	مکنده‌های (exhauster) جت مایع کندانسورهای بارومتریک کندانسورهای low level ادکتورهای جت آب (ظرفیت پایین)
	مایع	سیفون‌های جت بخار هیترهای جت slurry بخار پمپ‌های خلأ یک مرحله‌ای
انتقال slurryها و گرانول‌های جامد	هوا	مکنده‌های (exhauster) جت هوا
	مایع	ادکتورهای جت آب
	بخار	هیترهای نوع خط لوله‌ای هیترهای جت بخار هیترهای جت بخار (ظرفیت بالا) سیفون‌های جت بخار هیترهای نوع باز هیترهای نوع بخار (ظرفیت بالا)

هیترهای نوع تانک	مایع	
هیترهای جت آب		

جدول (۳-۱) نمودار کاربرد های انواع اجکتور

### ۳-۳- انواع چینش اجکتورها

برای ایجاد خلأهای نسبتاً بالا و یا زمانی که میزان بار مکش یافته زیاد و متغیر است از چندین اجکتور با آرایش سری یا موازی استفاده می‌شود. آرایش موازی برای مواقعی که میزان بار مکش یافته زیاد و متغیر است، بکار می‌رود. بدین منظور، سیال مکش یافته به چند قسمت تقسیم شده و هر قسمت وارد یک اجکتور می‌گردد. استفاده از آرایش موازی امکان تعمیرات در خط اجکتورها را نیز فراهم می‌نماید.

آرایش سری، برای مواقعی که خلأ بالایی مورد نیاز است، بکار می‌رود. بدین منظور، سیال خروجی از اجکتور اول، سیال مکش یافته اجکتور دوم و سیال خروجی از اجکتور دوم نیز سیال مکش یافته اجکتور سوم می‌باشد و به همین ترتیب اجکتورها به هم ارتباط دارند.

### ۳-۴- نحوه انتخاب اجکتور

بطور کلی اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب یک اجکتور به سه دسته تقسیم می‌شود. دسته اول اطلاعات کلی مربوط به اجکتور، دسته دوم، شرایط عملیاتی و دسته سوم اطلاعات مربوط به ساختار اجکتور و کندانسورهاست.

#### ۳-۴-۱- قسمت اول: اطلاعات کلی مربوط به اجکتور و سیال محرک

این قسمت، در برگزیده موارد زیر می‌باشد:

#### ۳-۴-۱-۱- نوع و کاربرد اجکتور

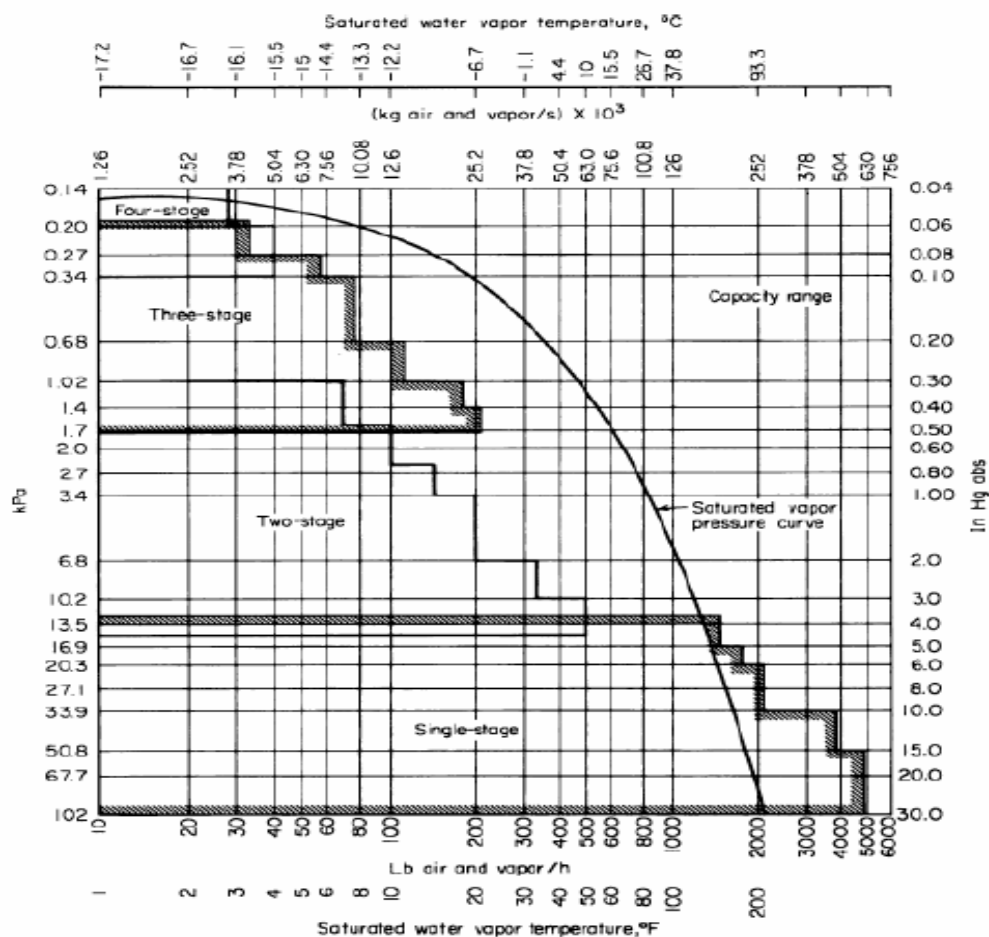
در این قسمت باید ذکر شود که از اجکتور در کدامیک از کاربردهای زیر استفاده می‌شود:

- ۱- ایجاد خلأ، ۲- انتقال مواد (تهویه و حذف ذرات گرد و غبار و آلودگی، تزریق هوای تازه به یک محیط بسته، پمپ و انتقال سیالات) ۳- اختلاط سیالات (کاهش دمای بخار در سوپرهیتر، بالا بردن فشار گاز، گرمایش آب یا سیالات فرایندی)

### ۳-۴-۱-۲ - تعداد مراحل لازم:

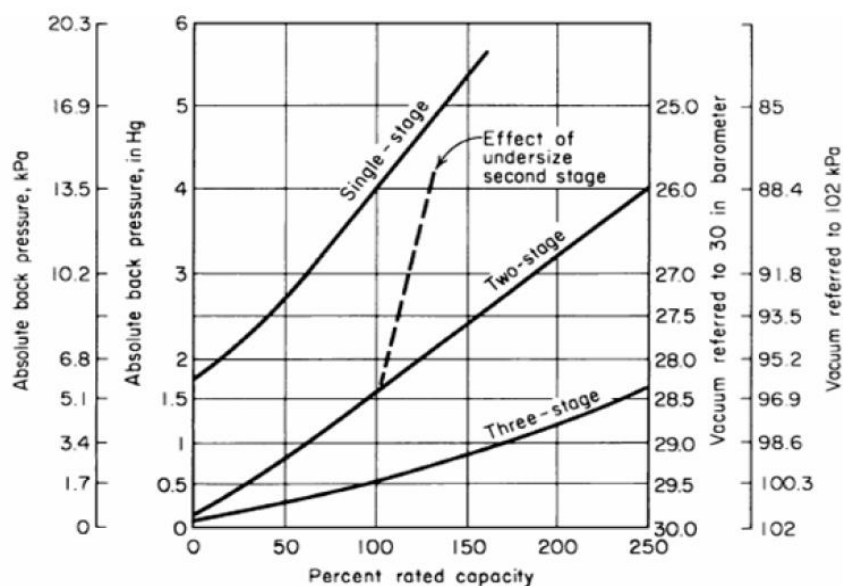
جهت تعیین تعداد اجکتورهای لازم برای ایجاد خلأ مورد نیاز از شکل (۳-۵) استفاده می‌گردد. نحوه استفاده از این شکل بدین صورت است که، میزان فشار مورد نیاز در بخش مکش اجکتور بر روی محور عمودی مشخص می‌شود و با توجه به اینکه فشار مورد نظر در چه ناحیه‌ای قرار می‌گیرد، تعداد مراحل تعیین می‌گردد. بطور مثال برای ایجاد فشار مطلق در حدود  $5/5 \text{ kPa}$  در بخش مکش، ۲ مرحله مناسب خواهد بود.

تقاطع منحنی دو مرحله‌ای و فشار مطلق  $5/5 \text{ kPa}$  عدد ۱۲۰ را روی محور افقی شکل (۳-۶) حاصل خواهد کرد و این بدین معنی است که برای فشار مطلق  $5/5 \text{ kPa}$ ، یک اجکتور ۲ مرحله‌ای می‌تواند ۲۰ درصد بیشتر از بار ورودی را نیز تحمل کند.



شکل (۳-۵) تعیین تعداد اجکتورهای لازم برای ایجاد خلأ مورد





شکل (۳-۶) نمودار تعیین پس فشار

### ۳-۱-۴-۳ - قسمت کندانس

تعداد پیش کندانسور، کندانسورهای میانی و کندانسور انتهایی و ذکر نوع آنها (بارومتریک و یا سطحی) و با توجه به میزان خلأ مورد نیاز در بخش مکش و دبی سیال محرک مورد استفاده، می‌توان تعداد و نوع چیدمان اجکتورها و کندانسورها را تعیین نمود.

### ۲-۴-۳ - قسمت دوم: شرایط عملیاتی

۱-۲-۴-۳ - خصوصیات سیال محرک شامل: نوع سیال، فشار، دما، دبی سیال و در صورت نیاز، ذکر چگالی ویژه، گرمای ویژه و سرعت جریان.

۲-۲-۴-۳ - دمای ورودی سیال مکش یافته، دمای خروجی، فشار سیال مکش یافته، فشار مورد نیاز در بخش مکش، دبی کل، وزن مولکولی سیال مکش یافته و مقدار گازهای قابل کندانس و غیرقابل کندانس موجود در آن و وزن مولکولی آنها.

برای تعیین میزان ظرفیت یک اجکتور می‌بایست مجموع همه جریانهای قابل کندانس و غیرقابل کندانس را که به قسمت مکش اجکتور وارد می‌گردد محاسبه نمود. گازهای غیرقابل کندانس اغلب شامل موارد زیر هستند:

- هوایی که از اتمسفر اطراف به اجکتور نفوذ می‌کند.
  - گازهای غیرقابل کندانس که از فرایند و واکنش محصولات آزاد می‌شوند.
  - گازهای غیرقابل کندانس که معمولاً هوا بوده و از تزریق مستقیم آب آزاد می‌گردد.
  - گازهای غیر قابل کندانس حل شده.
- موارد ۲، ۳ و ۴ با استفاده از نمونه‌گیری جریان ورودی به اجکتور و تعیین مقادیر هریک از ترکیبات تعیین می‌شود.

### ۳-۴-۳ - قسمت سوم: اطلاعات مربوط به ساختار اجکتور و کندانسورها

این قسمت شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱- سایز اجکتور و نازل سیال محرک که عموماً توسط شرکت سازنده تعیین می‌شود.
  - ۲- جنس بخشهای مختلف اجکتور شامل: نازل سیال محرک، محفظه مکش و دیفیوزر
  - ۳- سایز پیش کندانسور، کندانسورهای میانی و کندانسور انتهایی که عموماً توسط شرکت سازنده تعیین می‌شود.
  - ۴- میزان افزایش دمای آب خنک کننده کندانسورها
  - ۵- دبی آب خنک کننده مورد استفاده در هریک از کندانسورها
- جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز در کندانسورها از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$m = W_s L / (\Delta t_w) \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

- که در اینجا  $W_s$ ، مجموع دبی بخار محرک و بخارات قابل کندانس موجود در بار مکش که به کندانسور وارد می‌شوند.  $L$  گرمای نهان است که معمولاً مقدار آن بین ۹۵۰ تا ۱۰۰۰ BTU/lb بوده و  $\Delta t_w$ ، نیز میزان اختلاف دمای آب خروجی و ورودی به کندانسور می‌باشد. برای تعیین میزان  $\Delta t_w$  به روش زیر عمل می‌کنیم:
- دمای اشباع بخار ورودی به کندانسور را در فشار موجود پیدا می‌کنیم. برای کندانسور بارومتريک، ۵ درجه و برای کندانسور پوسته لوله‌ای ۷ درجه فارنهایت از دمای اشباع کم می‌کنیم. این دما، همان دمای آب خنک کننده خروجی از کندانسور می‌باشد. با داشتن دمای آب خنک کننده ورودی، اختلاف دمای  $\Delta t_w$  بدست می‌آید.
- ۶- تعیین جنس پوسته و سینی‌ها و نازل اسپری برای کندانسورهای بارومتريک

۷- تعیین نوع ماده گرم کننده موجود در ژاکت حرارتی اجکتور و دما و فشار آن

## فصل ۴ نگهداری اجکتور

### ۴-۱ - عوامل ایجاد اختلال در عملکرد اجکتور

#### ۴-۱-۱ - خواص ترمودینامیک

دما و فشار سیال محرک یکی از مهمترین فاکتورهایی است که بر روی عملکرد اجکتور تأثیر می‌گذارد. هم فشار کمتر از فشار طراحی و هم دمای بیشتر از دمای طراحی، حجم ویژه سیال محرک را افزایش داده و در نتیجه مقدار کمتری از سیال محرک، از نازل عبور کرده و سبب می‌شود مقدار خلأ ایجاد شده کاهش یابد. افزایش فشار سیال محرک نیز باعث ایجاد مشکل می‌شود. در صورتیکه فشار سیال محرک به بیش از ۲۰ درصد فشار طراحی برسد، در قسمت نازل، بخار به مقدار زیادی انبساط یافته و گلوگاه دیفیوزر را دچار خفگی می‌کند، و بدین ترتیب به دلیل تجمع بخار در دیفیوزر، بار کمتری از سیال مکش توسط اجکتور منتقل می‌گردد. از آنجا که همیشه احتمال دارد خطوط لوله بخار، دچار نوسانات فشار شوند، لذا هنگام طراحی اجکتور، فشار سیال محرک همواره کمتر و بعنوان مثال در حدود ۱۰ psi پایین‌تر از فشار خطوط بخار در نظر گرفته می‌شود.

#### ۴-۱-۲ - رطوبت

وجود رطوبت در بخار محرک، به اجکتور آسیب رسانده و سرعت بالای قطرات رطوبت باعث فرسایش و خوردگی نازل و سطوح داخلی اجکتور و حتی سوراخ شدگی آنها می‌گردد. وجود رطوبت در بخار بر روی عملکرد اجکتور نیز تأثیر گذاشته و باعث ایجاد نوسان در تولید خلأ می‌شود. از آنجا که فشار مکش اجکتور کمتر از فشار اتماسفر می‌باشد، در نتیجه قطرات رطوبت تبخیر شده و حجم آنها افزایش می‌یابد و سبب می‌شود مقدار کمتری از بار مکش انتقال یابد.

برای جلوگیری از بوجود آمدن این مشکل، قبل از ورودی سیال محرک به اجکتور، تله بخار نصب می‌شود تا کندانسهای بوجود آمده را خارج نماید. در بعضی موارد نیز ممکن است از سوپرهیتر استفاده شود تا بخار اشباع را تبدیل به بخار داغ و خشک کند.

#### ۴-۱-۳- شرایط نامناسب کاری

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر روی عملکرد اجکتورها، عدم کارکرد صحیح کندانسورها می باشد. افزایش دمای آب خنک کننده و یا کاهش سرعت جریان آن، اختلاف دمای میانگین لگاریتمی (LMTD) را کاهش می دهد و کندانسور دیگر قادر نخواهد بود بخار و هیدروکربنهای قابل کندانس را کندانس نماید و به همین دلیل بار ورودی به اجکتور بعدی افزایش می یابد. این مشکلات اغلب در فصول گرم سال که آب گرم تر است، بوجود می آید. جرم گرفتگی لوله های کندانسور بر اثر وجود ناخالصی های آب خنک کننده نیز مشکل مشابهی را بوجود می آورد.

#### ۴-۲- عیب یابی اجکتور

برای پیدا کردن عیب اجکتور از جدول زیر می توانیم استفاده نماییم.

عیب	اثر	راه حل
کمتر بودن فشار سیال محرک از فشار طراحی	عملکرد ضعیف اجکتور	افزایش فشار بخار
بیشتر بودن فشار سیال محرک از فشار طراحی	کاهش ظرفیت اجکتور و یا اتلاف بخار	کاهش فشار سیال محرک و یا استفاده از نازل هایی که برای فشارهای بالا طراحی شده
بالا تر بودن دمای سیال محرک از دمای طراحی	عملکرد ضعیف اجکتور	افزایش فشار بخار و یا بزرگتر کردن خروجی های نازل بخار.
بالا تر بودن فشار خروجی از فشار طراحی	عملکرد ضعیف اجکتور	بررسی جریان پایین دست برای عیب یابی: ۱- کندانسور ۲- اجکتور پایین دستی ۳- گرفتگی لوله های خروجی

کاهش دمای خروجی اجکتور (دمای خروجی باید ۵۰ درجه فارنهایت بالاتر از دمای اشباع باشد چون در غیر اینصورت رطوبت بخار بالا خواهد بود)	کاهش ظرفیت اجکتور و یا عملکرد ضعیف	۱-عایق بندی لوله های بخار ۲-خارج کردن کندانس های موجود در لوله های بخار
بالاتر بودن فشار مکش از فشار طراحی (با فرض اینکه کیفیت و فشار سیال محرک نرمال بوده و فشار خروجی مساوی یا کمتر از فشار طراحی باشد)	بارگذاری بیشتر از مقدار طراحی و یا مشکل مکانیکی. فرسودگی اجزای داخلی و یا نشت هوا از اطراف گلوله نازل بخار.	بررسی اجزای داخلی و تعویض آنها در صورت لزوم

جدول (۴-۱) عیب یابی اجکتور

## منابع و مراجع

۱- عبدی فتح آبادی، ابوطالب و سعید کاوس فر، ۱۳۹۴، مطالعه کاربردهای صنعتی اجکتور، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین و کاربردی در مهندسی مکانیک، بناب، گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب

[https://www.civilica.com/Paper-NAAME01-NAAME01\\_141.html](https://www.civilica.com/Paper-NAAME01-NAAME01_141.html)

۲-مهرداد دادخواه، ۱۳۹۳، آشنایی و تحلیل انواع اجکتور، پایان نامه تخصصی مقطع کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر  
[http://thesis.iaukhsh.ac.ir/Images/ThesisFiles/Bs/890995335\\_a.pdf](http://thesis.iaukhsh.ac.ir/Images/ThesisFiles/Bs/890995335_a.pdf)

۳- طاهریان, محسن؛ سیف اله سعدالدین و محمد صادق ولی پور، ۱۳۹۵، شبیه سازی

عددی جت اجکتور مادون صوت، فصلنامه مدل سازی در مهندسی ۱۴ (۴۵)

[https://www.civilica.com/Paper-JR\\_JME-JR\\_JME-14-45\\_005.html](https://www.civilica.com/Paper-JR_JME-JR_JME-14-45_005.html)

۴- امیدوار امیر، قاضی خانی محسن، مدرس رضوی سید محمد رضا. بررسی اجکتور

هندسه متغیر در چرخه تبرید اجکتوری با سیال عامل R ۶۰۰ به منظور تعیین هندسه

بهینه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی. مهندسی مکانیک مدرس. ۱۳۹۴؛ ۱۵

(۵): ۲۲۷-۲۳۷

<http://journals.modares.ac.ir/article-15-7914-fa.html>

۵- سایت های معرفی و فروش اجکتور:

- <http://irnpc.mihanblog.com/post/23>
- <http://www.mechanism.ir/rotary-equipment/pump/dynamic-pump/33-ejectors>
- [https://kargosha.com/fa/content/id/2719/%D8%A7%D8%AC%DA%A9%D8%AA%D9%88%D8%B1-%DA%86%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D8%9F-\(%D9%85%D8%B2%D8%A7%DB%8C%D8%A7-%D9%88-%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF-%D9%87%D8%A7\)](https://kargosha.com/fa/content/id/2719/%D8%A7%D8%AC%DA%A9%D8%AA%D9%88%D8%B1-%DA%86%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D8%9F-(%D9%85%D8%B2%D8%A7%DB%8C%D8%A7-%D9%88-%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF-%D9%87%D8%A7))
- <http://aradjet.com/%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF%D9%87%D8%A7/>

۶-مراجع مربوط به برخی مقالات بالا:

[1] E. E. Ludwig, "Applied Process Design for Chemical And Petrochemical", Volume 1, 3rd Edition, 1994.

[2] Walas, M. Stanley "Chemical Process Equipment Selection And Design", 1988.

- [3] T.G. Hicks “*Standard Handbook Of Engineering Calculations*”, 4th Edition, 1972.
- [4] D.W.Green, R.H.Perry. “*Perry’s Chemical Engineers’ Handbook*”, 8rd Edition, 2007.
- [5] C. Branan “*Rules of Thumb for Chemical Engineers*”, 3rd Edition, 2002.
- [6] Y. Riquipos, Equirpsa Company, Tecnologia De Vacio-Ingenieria,
- [7] <http://www.transvac.co.uk/oilandgas.php>.
- [8] J.R. Lines Graham Corp. Batavia, NY, “*Undrestanding ejector systems necessary to troubleshoot vacuum distillation*”, 1997.
- [9] <http://www.stress.com/servicetier3.php?pid=284>.
- [10] E. A. Avallone & Th. Baumeister “*Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers*”, 10th Edition, 1996.
- [11] [www.setprocess.com](http://www.setprocess.com).
- [12] M. Mohitpour & H. Golshan & A. Murray “*Pipeline Design & Construction: A Practical Approach*”, 2nd Edition, 2000.
- [13] <http://www.wikipedia.org>.
- [14] J. T. Munday, D. F. Bagster, A new ejector theory applied to steam jet refrigeration, *Industrial Engineering Chemistry*, Vol. 16, No. 4, 1977.
- [15] B. J. Huang, J. M. Chang, C. P. Wang, V. A. Petrenko, A 1-D analysis of ejector performance, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 22, No. 5, pp. 354-364, 1999.
- [16] E. D. Rogdakis, G. K. Alexis, Investigation of ejector design at optimum operating condition, *Energy Conversion and Management*, Vol. 41, pp. 1841-1849, 2000.
- [17] A. Dahmani, Z. Aidoun, N. Galanis, Optimum design of ejector refrigeration systems with environmentally benign fluids, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 50, pp. 1562-1572, 2011.
- [18] D.W. Sun, Variable geometry ejectors and their applications in ejector refrigeration systems, *Energy*, Vol. 21, No. 10, pp. 11, 1996.

- [19] A. Selvaraju, A. Mani, Analysis of an ejector with environment friendly refrigerants, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, No. 5–6, pp. 827-838, 2004.
- [20] D.W. Sun, I. W. Eames, Performance characteristics of HCFC-123 ejector refrigeration cycles, *International Journal of Energy Research*, Vol. 20, pp. 871-885, 1996.
- [21] A. Selvaraju, A. Mani, Analysis of a vapour ejector refrigeration system with environment friendly refrigerants, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 43, No. 9, pp. 915-921, 2004.
- [22] A. Sorouradin, A. S. Mehr, S. M. S. Mahmoudi, Development of new model for prediction the performance of ejector refrigeration cycle, *MME Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 133-147, 2012.
- [23] S. B. Riffat, S. A. Omer, CFD modelling and experimental investigation of an ejector refrigeration system using methanol as the working fluid, *International Journal of Energy Research*, Vol. 25, pp. 14, 2001.
- [24] P. Desevaux, A. Mellal, Y. Alves de Sousa, Visualization of secondary flow choking phenomena in a supersonic air ejector, *Journal of Visualization*, Vol. 7, No. 3, pp. 249-256, 2004.
- [25] E. Rusly, L. Aye, W. W. S. Charters, A. Ooi, CFD analysis of ejector in a combined ejector cooling system, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 10, 2005.
- [26] Y. Bartosiewicz, Z. Aidoun, Y. Mercadier, Numerical assessment of ejector operation for refrigeration applications based on CFD, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, pp. 9, 2006.
- [27] A. Hemidi, F. Henry, S. Leclaire, J.M. Seynhaeve, Y. Bartosiewicz, CFD analysis of a supersonic air ejector. Part I: Experimental validation of single-phase and two-phase operation, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, No. 8–9, pp. 1523-1531, 2009.
- [28] T. Sriveerakul, S. Aphornratana, K. Chunnanond, Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 1. Validation of the CFD results, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46, pp. 11-18, 2007.
- [29] K. Pianthong, W. Seehanam, M. Behnia, T. Sriveerakul, S. Aphornratana, Investigation and improvement of ejector refrigeration system using computational fluid dynamics technique, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 2556-2564, 2007.
- [30] S. Balamurugan, V. G. Gaikar, A. W. Patwardhan, Effect of ejector configuration on hydrodynamic characteristics of gas–liquid ejectors, *Chemical Engineering Science*, Vol. 63, pp. 11, 2008.



- [31] T. Sriveerakul, S. Aphornratana, K. Chunnanond, Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 2. Flow structure of a steam ejector influenced by operating pressures and geometries, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46, pp. 11-19, 2007.
- [32] E.S. R. Negeed, Enhancement of ejector performance for a desalination system, *International Journal of Nuclear Desalination*, Vol. 3, pp. 13, 2009.
- [33] X. Li, T. Wang, B. Day, Numerical analysis of the performance of a thermal ejector in a steam evaporator, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, pp. 2708-2707, 2010.
- [34] V. Kumar, G. Singhal, P.M.V. Subbarao, "Study of supersonic flow in a constant rate of momentum change (CRMC) ejector with frictional effects", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 60, pp. 61-71, 2013.
- [35] R. B. Power, *steam Jet Ejectors For the Process Industries*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [36] L.H. Keenan, E.P. Neumann, F. Lustwerk, An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment. *J. Appl. Mech. Trans. ASME* 72: 299–309. 1950
- [37] H. El-Dessouky, H. Ettouney, I. Alatiqi, G. Al-Nuwalbit, Evaluation of steam jet ejectors, *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 41, pp. 551- 561, 2002.
- [38] FLUENT 6.3 User's guide, FLUENT INC, Lebanon, NH, USA.