

## سیستم های خلاء

اجکتورهای بخار (Steam Ejector) از کارآمدترین، مطمئن ترین و کم هزینه ترین تجهیزات تولید خلاء محسوب می شوند. مجموع مزایا، توانایی ها و هم چنین وسعت محدوده کاربری آنها باعث استفاده گسترده از آنها در صنایع گوناگون گردیده و جایگاهی منحصر به فرد را برای آنها به همراه داشته است. هم چنین در مواردی که سیستم تولید خلاء بایستی به طور دائم و ۲۴ ساعت در حال کار باشد اجکتورهای بخار قطعاً بهترین انتخاب می باشند.

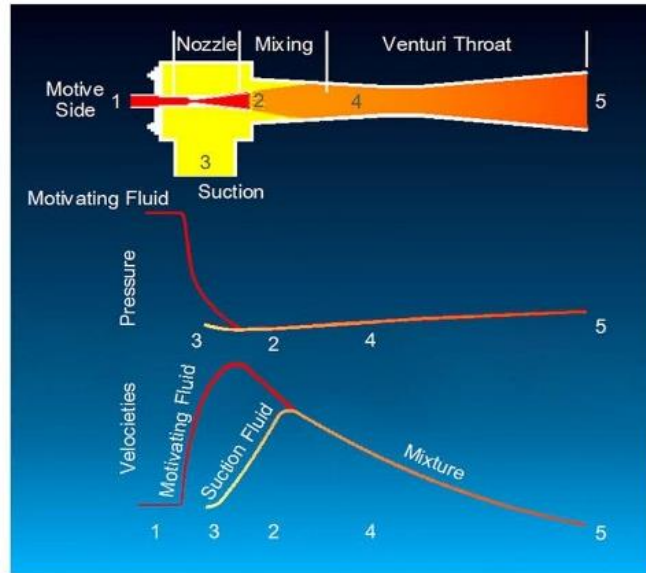
### مزایا

- ۱- ساده و کارآمد همراه با ضریب اطمینان بالا
- ۲- عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
- ۳- عدم وجود اجزاء متحرک و مستهلک شونده
- ۴- مقاومت در برابر خوردگی مواد شیمیایی در مقایسه با سایر انواع پمپها
- ۵- قیمت اولیه مناسب
- ۶- نصب و راه اندازی راحت و سریع
- ۷- عمر طولانی
- ۸- ابعاد کوچک، مناسب نصب در مکان های دور از دسترس
- ۹- ایده آل جهت کاربردهای خطرناک، سمی و مواد خورنده
- ۱۰- وجود تنوع در جنس و آلیاژهای مورد مصرف جهت ساخت مانند؛ انواع استنلس استیل، فولاد، تیتانیوم، چدن، برنج و برنز

### نحوه عملکرد

اجزاء تشکیل دهنده یک اجکتور بخار عبارتند از:

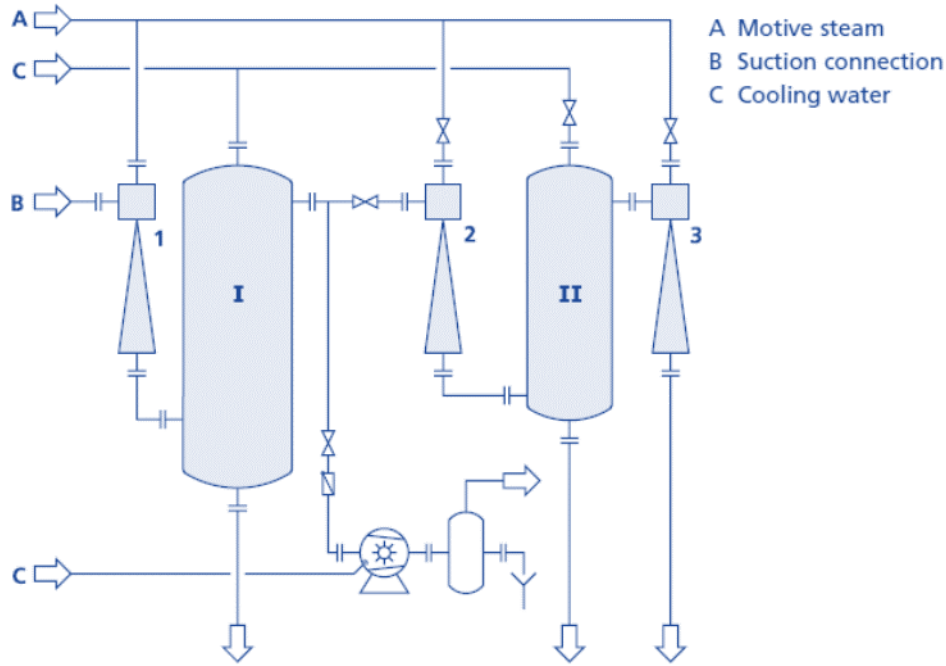
- ۱- نازل بخار.....( Steam Nozzle)
- ۲- محفظه اختلاط.....(Mixing Con)
- ۳- محفظه مکش .....(Suction Chamber)
- ۴- گلوگاه.....(Throat)
- ۵- شیپور تخلیه .....(Discharge Cone )



- ✚ بخار با فشار وارد نازل بخار شده و در اثر عبور از نازل، فشار بخار کاهش یافته و سرعت آن افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر فشار بخار تبدیل به سرعت می‌گردد (تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی).
- ✚ کاهش فشار بخار خروجی از نازل با ایجاد مکش در دهانه ورودی محفظه مکش و ورود سیال همراه می‌باشد.
- ✚ بخار خروجی از نازل که دارای سرعت بسیار بالایی می‌باشد در قسمت اختلاط با سیال مکیده شده مخلوط شده و مقداری از انرژی خود را به آن منتقل می‌نماید. در نتیجه مخلوط بخار و سیال مکیده شده با سرعتی یکسان به سمت گلویی حرکت می‌نماید.
- ✚ سرعت مخلوط فوق در قسمت گلویی در اثر ایجاد شوک کاهش یافته و مجدداً فشار آن افزایش می‌یابد به عبارت دیگر انرژی جنبشی مخلوط تبدیل به انرژی پتانسیل می‌گردد (عکس عمل نازل).
- ✚ در قسمت تخلیه جهت تطابق فشار بخارات خروجی از اجکتور با فشار پشت اجکتور، مجدداً مقداری از سرعت بخارات تبدیل به فشار شده به طوری که فشار خروجی کاملاً منطبق با فشار پشت اجکتور گردد.

## اجکتورهای چند مرحله

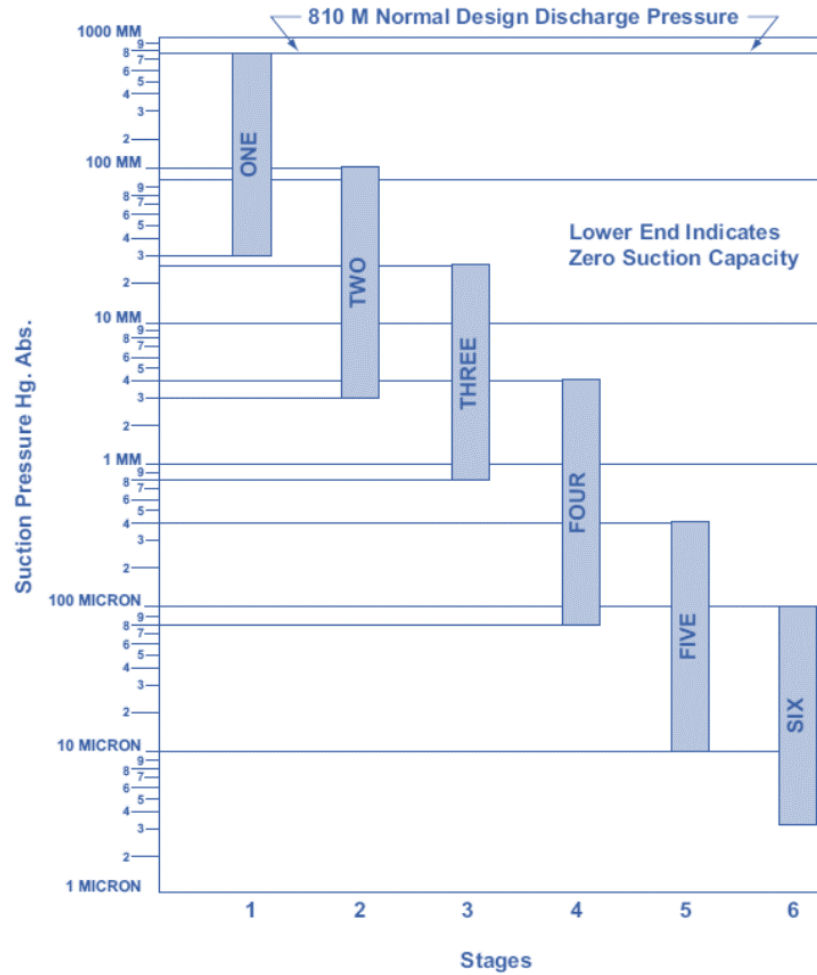
نسبت فشار تخلیه یک اجکتور به فشار مکش آن ( $P_c/P_e$ )، به طور معمول در محدوده (2-8) بوده و هر اجکتور برای نسبت ثابتی طراحی می‌گردد. در مواردی که نیاز به نسبتی بیش از محدوده فوق باشد، می‌توان با سری نمودن چند اجکتور نسبت لازم را ایجاد نمود. بطور مثال چنانچه بخواهیم هوای درون مخزن را از فشار ۲ کیلوپاسکال به فشار اتمسفر تخلیه نمایم بصورت ذیل از ۳ مرحله اجکتور استفاده نماییم:



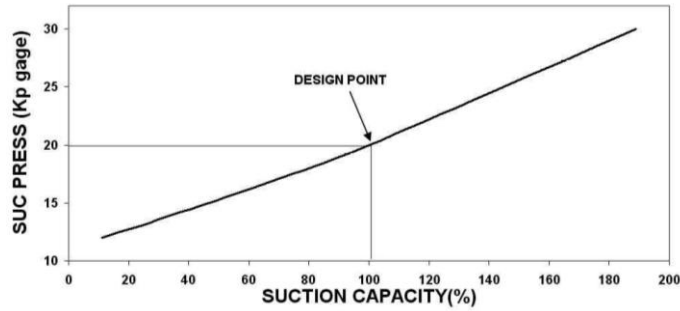
این شکل تعداد مراحل اجکتور موردنیاز را بر حسب میزان خلاء نشان می دهد:

اجکتور بخار یک مرحله‌ای توانایی ایجاد خلاء از 101 Kp (فشار اتمسفر) تا 4 kpl مطلق را دارا می‌باشند ولی به طور معمول حداکثر تا فشار 20kp مطلق مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جنس نازل بخار معمولاً استنلس استیل می‌باشد و سایر قسمت‌ها را با توجه به کاربرد می‌توان از آلیاژهای مانند انواع استنلس استیل، فولاد، تیتانیوم، چدن، برنج و برنز انتخاب نمود. در مکان‌هایی که بخار موجود می‌باشد اجکتورهای بخار را می‌توان به عنوان جایگزین مطمئن پمپ‌های وکیوم رینگ آب (Liquid Ring) استفاده نمود و مشکلات این سری پمپ‌ها نظیر نیاز دائم به نگهداری و تعمیر قسمت‌های دوار در اثر فرسودگی را به راحتی برطرف نمود. اجکتورهای بخار بر حسب شرایط مورد نیاز، طراحی و ساخته می‌شوند.



معمولاً در زمان کار فشار بخار محرک و فشار تخلیه تغییرات محسوسی ندارد ولی بر حسب شرایط کار میزان جرم سیال در قسمت مکش تغییر می نماید. به طور مثال در صورتی که اجکتور بخار بر روی کندانسور یک سیستم تغلیظ نصب شده باشد در اثر افزایش و یا کاهش دمای آب ورودی به کندانسور میزان بخارات خروجی از کندانسور که بایستی توسط اجکتور بخار کشیده شده و به اتمسفر تخلیه گردد نیز، زیاد و کم میگردد. افزایش و کاهش جرم سیال در قسمت مکش اجکتور، تأثیر مستقیم بر روی میزان خلاء دارد. شکل زیر تغییرات فشار مکش بر حسب مقدار دبی مکش را برای اجکتور بخار یک مرحله نشان می دهد:



از اجکتورهای بخار یک مرحله برای ایجاد خلاء اولیه در بعضی تجهیزات مانند کندانسور نیروگاه و یا موارد دیگر نیز استفاده می‌گردد. معمولاً اجکتورهایی را که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند را اجکتور راه انداز (Hogging) می‌نامند. در این موارد زمان رسیدن به خلاء موردنیاز، پارامتر اصلی طراحی اجکتور می‌باشد. ظرفیت مکش برحسب خلاء موردنیاز و زمان رسیدن به آن مشخص می‌شود.

## اجکتورهای چند مرحله

برای رسیدن به فشار مکش پایین بایستی از ۲ یا چند اجکتور که به صورت سری با یکدیگر مرتبط می‌باشند استفاده نمود. با سری نمودن دو مرحله اجکتور حداکثر تا 4mbar و با سری نمودن سه مرحله حداکثر تا 1mbar می‌توان خلاء ایجاد نمود. در سیستم های چند مرحله ای، بر حسب امکانات موجود و شرایط کار در بین مراحل مختلف، می‌توان از کندانسور استفاده نمود. هدف از تعبیه کندانسور کاهش مصرف به دو دلیل ایجاد می‌گردد:

۱- با کندانس نمودن بخارات خروجی از اجکتور مرحله اول، میزان مکش اجکتور دوم و در نتیجه میزان بخار مصرفی آن کاهش می‌یابد.

۲- هوا و سایر گازهای غیرقابل کندانس را سرد نموده و بار وارده بر اجکتور مرحله بعد را کاهش می‌دهد. معمولاً در ظرفیت‌های پایین که هزینه اولیه دستگاه مهم‌تر از هزینه جاری باشد یا امکان تهیه آب خنک کننده جهت کندانسور وجود نداشته باشد، کندانسور بین مراحل حذف می‌گردد. اما در حالت کلی استفاده از کندانسور بسیار مقرون به صرفه می‌باشد.

## انواع کندانسورهای مورد استفاده

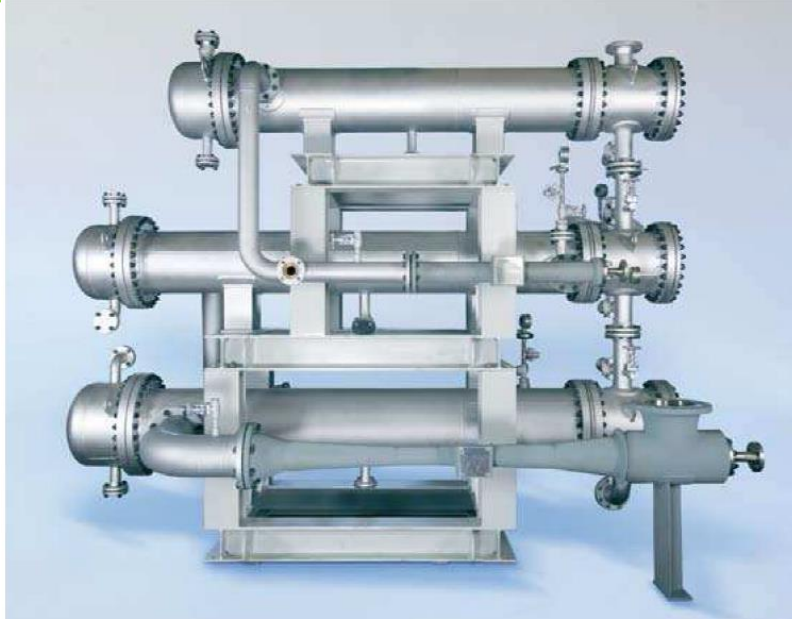
### ۱- کندانسور تماس مستقیم

در این نوع کندانسور بخار مستقیماً با آب سرد کننده (Cooling water) برخورد نموده و گرمای خود را به آب انتقال می دهد، این عمل سبب تقطیر بخار ( تبدیل بخار به مایع) شده و دمای آب را افزایش می دهد. مخلوط بخار تقطیر شده و آب گرم شده از انتهای کندانسور خارج می گردد و برای سرد شده به برج خنک کن منتقل می شود. این نوع کندانسور به سرویس و نگهداری نیازی ندارد، طول عمر آن زیاد می باشد و نسبت به سایر کندانسورها از راندمان بیش تر و قیمت اولیه کمتر برخوردار می باشد.



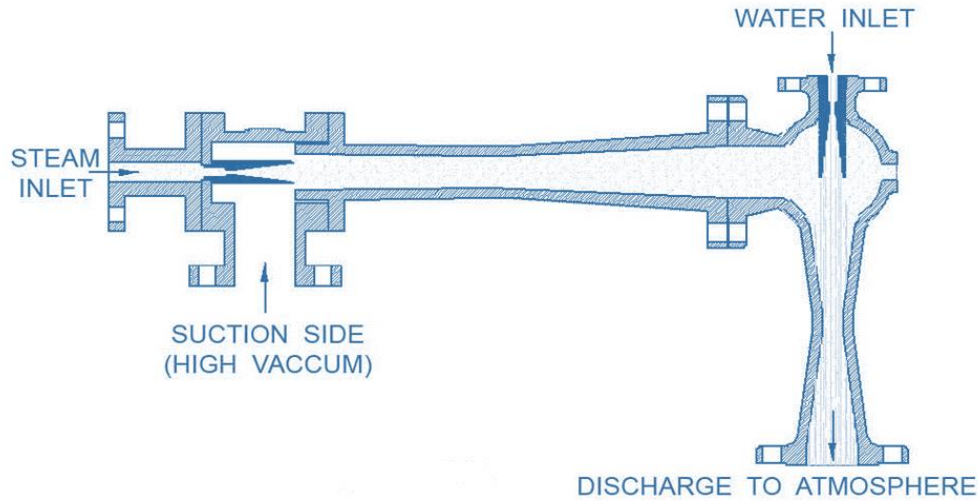
۲- کندانسور سطحی

این نوع کندانسور از نوع پوسته و لوله می باشد، آب درون لوله های مبدل جریان دارد و بخار نیز داخل پوسته و در پشت لوله ها می باشد. در اثر تماس بخار با سطح خارجی لوله ها، بخار گرمای خود را به آب درون لوله ها منتقل می کند و تبدیل به مایع می گردد. مهم ترین مزیت این مدل کندانسور، عدم ترکیب آب خنک کننده با مایع تقطیر شده می باشد.



### ۳- جت کندانسور

جت کندانسور در واقع ( Water Jet Vacuum Pump ) می باشد که اصول عملکرد آن دقیقاً شبیه اجکتورهای بخار است با این تفاوت که سیال محرک آن به جای بخار، آب تحت فشار می باشد.



کندانسور عموماً در سه موقعیت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

### ۱- کندانسور میانی یا اصلی



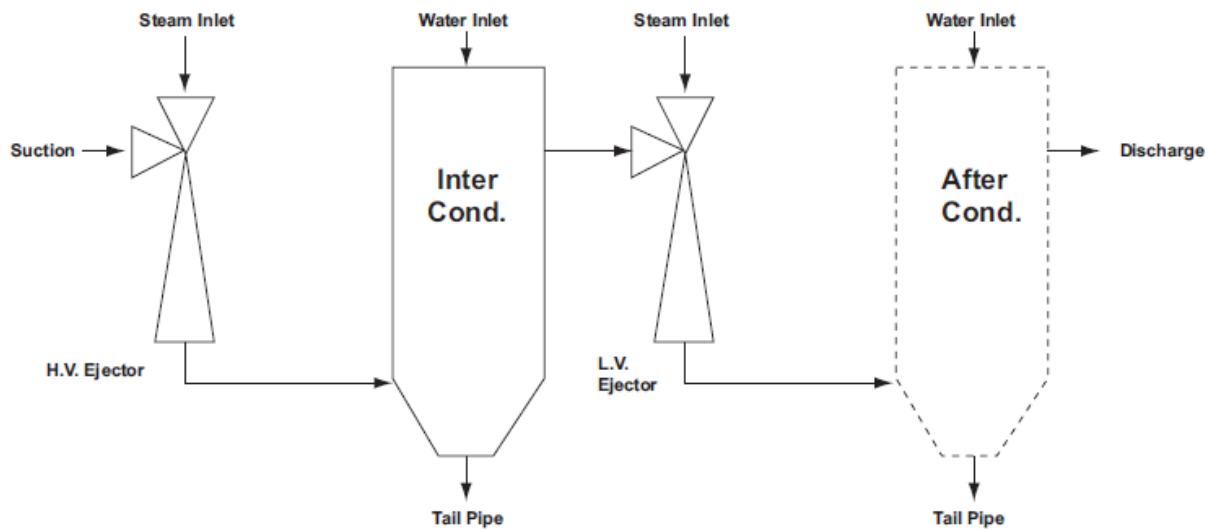
در بین مراحل مختلف اجکتور قرار گرفته و هدف از آن‌ها همان گونه که قبلاً ذکر شد کاهش بار وارده به اجکتورهای بعدی و در نتیجه کاهش مصرف بخار آن‌ها می باشد.

## ۲- پیش‌کندانسور

در مواردی که در مخلوط مکش شده اجکتورها، نسبت بخارات قابل‌کندانس به بخارات غیرقابل‌کندانس زیاد می باشد، برای کاهش مصرف بخار اجکتورها بهتر است یک کندانسور بارومتریک یا سطحی به عنوان پیش‌کندانسور، قبل از ورودی اجکتور تعبیه گردد.

## ۳- پس‌کندانسور

در قسمت تخلیه اجکتور مرحله آخر نصب می‌گردد و بخارات خروجی به دلیل بازیافت و تبدیل مجدد به آب و هم چنین کاهش صدا در آن تخلیه می‌گردد.



## نحوه نصب کندانسورها

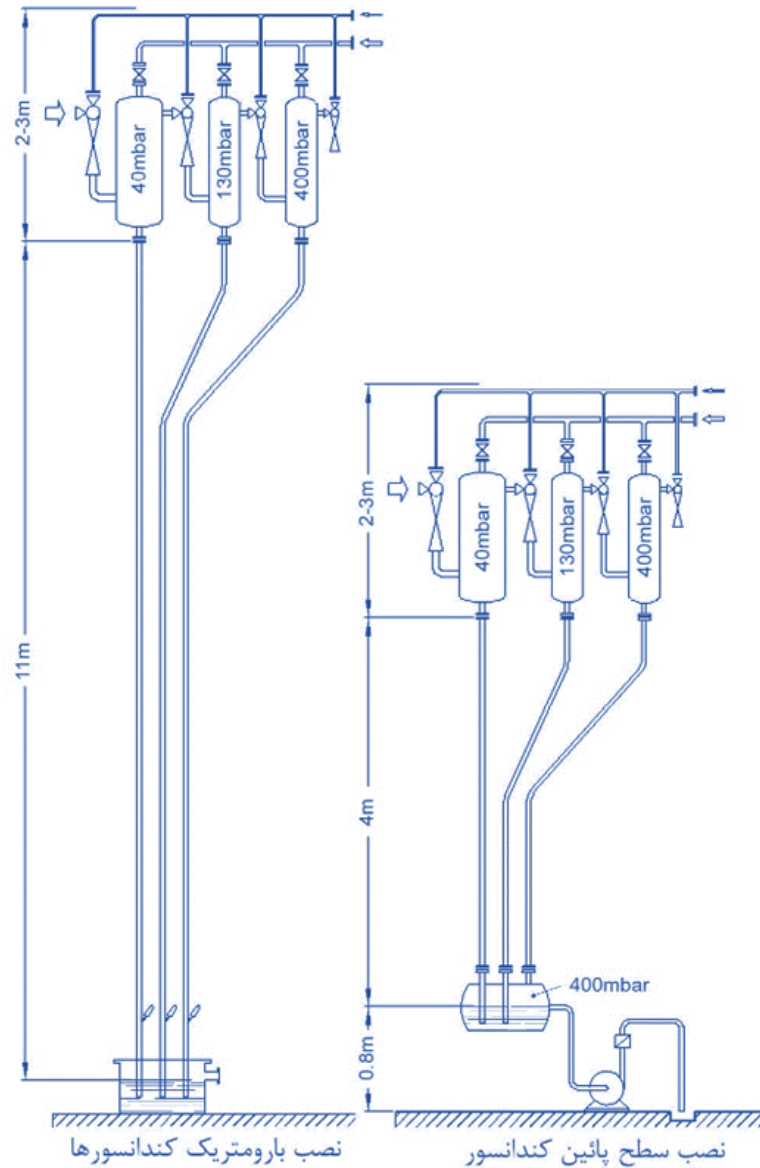
### ۱- بارومتریک

تا حد امکان بایستی کندانسورها به این سیستم نصب شوند چراکه آب‌کندانس شده در آنها توسط نیروی ثقل تخلیه شده و نیازی به پمپ ندارد. در این حالت فشار کندانسور بعلاوه فشار ارتفاع آب بایستی بیش از فشار اتمسفر شود تا آب در کندانسور جمع نشود.

### ۲- سطح پایین یا شبه بارومتریک



در حالیکه امکان تامین تمامی ارتفاع برای جبران خلاء (مثلا حدود ۱۱ متر) وجود نداشته باشد، قسمتی از اختلاف فشار کندانسور و اتمسفر توسط ستون آب و مابقی توسط پمپ تامین می شود.

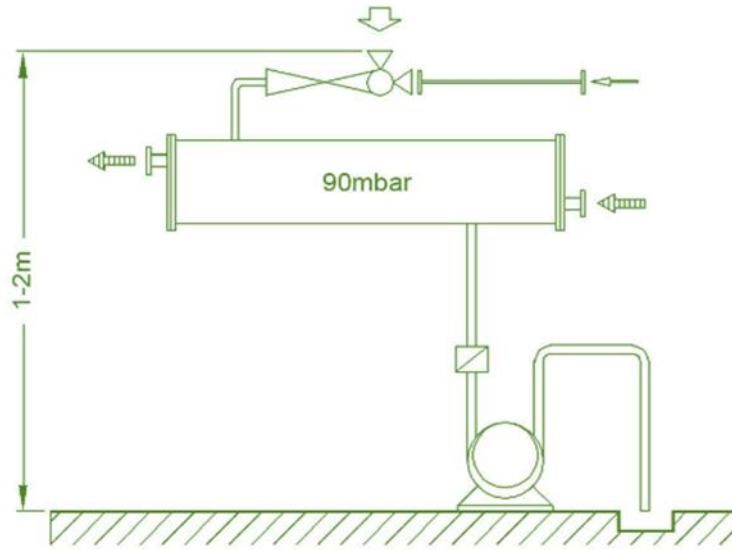


### ۳- نصب غیر بارومتریک

نصب غیر بارومتریک به سه صورت امکان پذیر است:

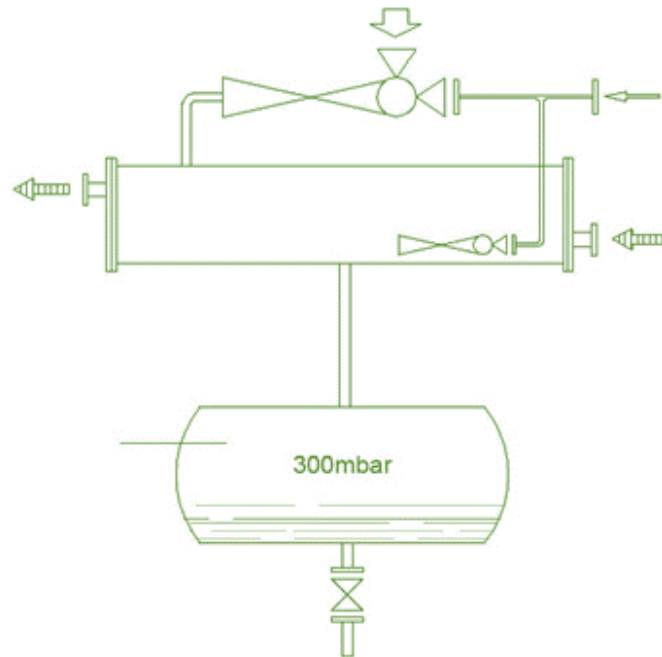
#### ۱- Steam Jet Water Ring

در این حالت کمینه ارتفاع نصب فقط به گونه‌ای در نظر گرفته می شود که از وقوع کاویتاسیون در پمپ جلوگیری کند.



۲- استفاده از تانک کندانس:

در حالتی که کارکرد دائم سیستم مدنظر نباشد می توان با تعبیه یک مخزن کندانس این کار را انجام داد. این حالت فقط برای کندانسور سطحی قابل استفاده است.

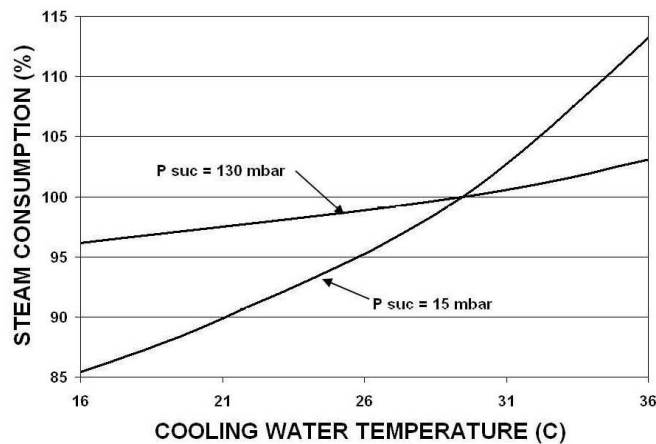


## ۳- استفاده از جت کندانسور:

در این حالت دیگر نیازی به نصب سیستم یا استفاده از پمپ نمی‌باشد.

### اثر دمای آب کندانسور بر عملکرد سیستم خلاء

بالفایز دمای آب سرد کننده (Cooling water) عمل کندانس در کندانسورها به خوبی انجام نمی‌شود و لذا فشار کندانسورها افزایش می‌یابد، این افزایش فشار روی عملکرد اجکتور تأثیر منفی می‌گذارد و سبب افت خلاء می‌گردد. در چنین شرایطی برای تأمین خلاء موردنیاز باید فشار بخار را افزایش داد که سبب افزایش مصرف بخار می‌گردد. هر چه خلاء نهایی ایجاد شده در سیستم بیشتر باشد این تأثیر بیش‌تر دیده می‌شود. در شکل زیر برای سیستم خلا دو مرحله با کندانسور بارومتریک و برای دو مقدار خلا ۱۵ میلی بار و ۱۳۰ میلی بار میزان افزایش مصرف بخار بر حسب دمای آب سرد کننده نشان داده شده است.

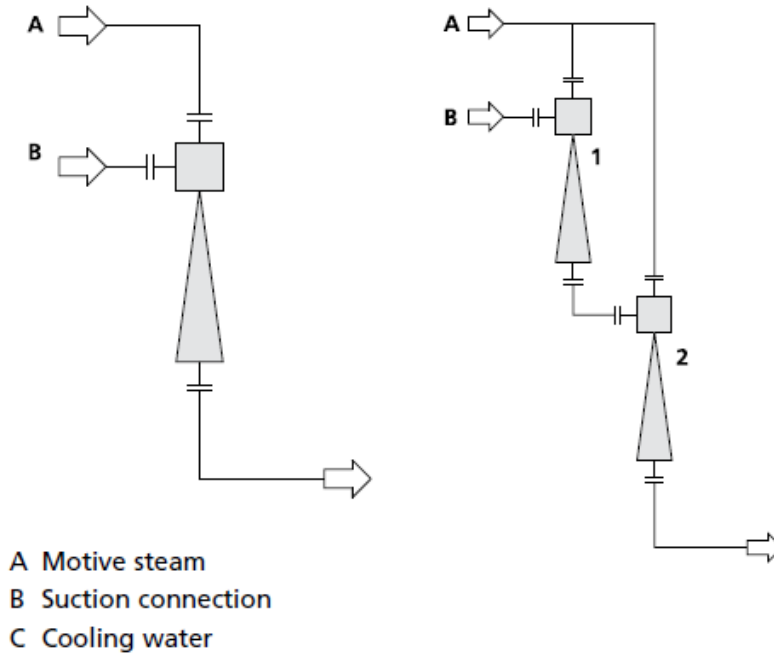


### اجکتورهای دو مرحله ای و سه مرحله ای

محدوده خلاء قابل دستیابی با دو مرحله بین 4mbar تا 167 mbar می‌باشد که بر حسب شرایط گاهی در محدوده 167 mbar استفاده از یک مرحله و در محدوده 4mbar استفاده از سه مرحله مقرون به صرفه است. هم چنین محدوده خلاء قابل دستیابی برای سه مرحله بین 1-34 mbar می‌باشد که در این حالت نیز در محدوده 34mbar استفاده از دو مرحله و در محدوده 1mbar استفاده از چهار مرحله از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است.

در سیستم دو مرحله ابتدا اجکتور مرحله اول (خلأ بالا) سیال مکش را فشرده کرده و به یک فشار میانی کمتر از فشار اتمسفر می‌رساند و سپس اجکتور دوم (خلأ پایین‌تر) آن را تا فشار اتمسفر فشرده می‌کند. در سیستم سه مرحله‌ای دو فشار میانگین وجود دارد. این فشارهای میانی بر حسب شرایط کارکرد متفاوت بوده و طراحی بر اساس بهینه‌ترین حالت انجام می‌شود. بر اساس

شرایط محیطی و شرایط کارکرد سیستم و امکانات موجود، کندانسور سطحی یا بارومتريک در موقعیت‌های کندانسور میانی یا پس کندانسور و پیش کندانسور و موقعیت‌های نصب گوناگون در نظر گرفته می‌شود.



## اجکتور یک مرحله و دو مرحله

### اجکتورهای چهار و پنج و شش مرحله‌ای

محدوده خلاءهای قابل دستیابی برای مراحل چهار و پنج و شش مرحله‌ای به شکل زیر است :

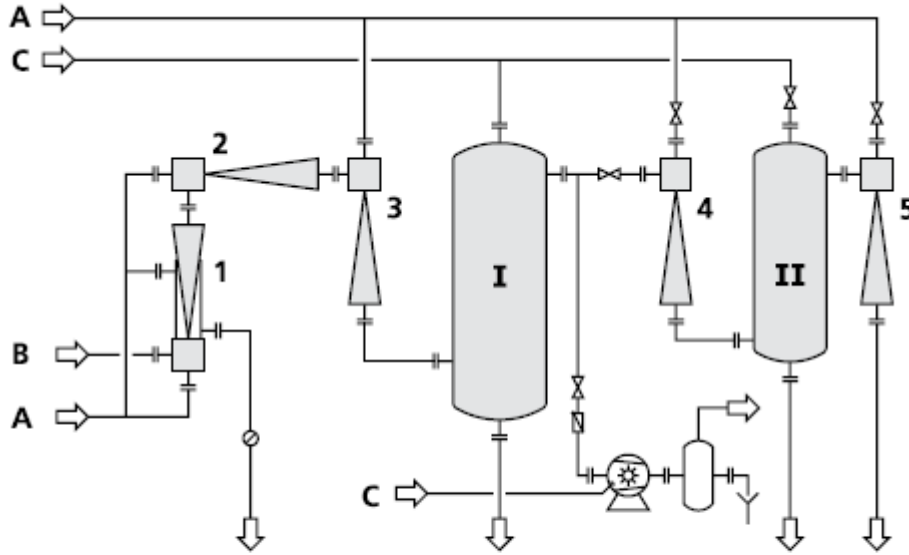
اجکتور چهار مرحله ای: 1-5.3mbar

اجکتور پنج مرحله ای: 0.013-0.5 mbar

اجکتور شش مرحله ای: 0.004-0.132 mbar

سیستم های چهار و پنج و شش مرحله ای معمولاً به ترتیب شامل ۲ و ۳ و ۴ بوستر، دو کندانسور تماس مستقیم یا سطحی و دو عدد اجکتور مرحله یک و دو می‌باشد. برای جلوگیری از تشکیل شدن یخ در گلوئی مراحل چهار به بالا لازم است خارج دیفیوز این اجکتورها یک Jacket گرمایی در نظر گرفته شود.

سیستم خلاء پنج مرحله‌ای همراه کندانسورهای بارومتريک ( اجکتور مرحله پنج دارای Jacket گرمایی می‌باشد)



- A Motive steam
- B Suction connection
- C Cooling water

سیستم خلاء ۵ مرحله ای همراه با کندانسورهای بارومتریک

اطلاعات لازم جهت سفارش

- ۱- دما و فشار بخار محرک
- ۲- دما، فشار، دبی، جرم مولکولی و جرم حجمی سیال در قسمت مکش
- ۳- فشار در قسمت تخلیه
- ۴- اطلاعاتی که برای سفارش دهنده اهمیت دارد مانند جنس بدنه و نازل، حجم سیستمی که بایستی خلاء شود و یا زمان رسیدن به خلاء موردنیاز.