بهينه‌سازي مصرف بخار در اجكتورهاي سه مرحله‌اي با استفاده از پمپ خلاء

فريبرز كريمي، بهروز اسلامي، ملك ارسلان صدري، احمد پسنديده فرد
كميتة تخصصي انرژي شهرك علمي و تحقيقاتي اصفهان

خلاصه

در اين مقاله امكان استفاده از يك پمپ خلاء به جاي مرحله سوم اجكتور واحد تقطير پالايشگاه اصفهان به منظور كاهش مصرف بخار مورد بررسي و ارزيابي قرار مي‌گيرد. با توجه به اين امر كه توليد بخار براي واحدهاي صنعتي بسيار پر هزينه و مستلزم مصرف انرژي نسبتاً بالايي است، ارائه راهكارهايي جهت كاهش مصرف بخار در اين واحدها مي‌تواند كمك مؤثري به صرفه‌جويي در مصرف انرژي بنمايد.

برج خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان داراي يك اجكتور سه مرحله‌اي جهت توليد خلاء مطلقي‌برابر با mm Hg ۳۰ مي‌باشد. بخار ورودي به اجكتور در هر سه مرحله داراي فشار ۲۰ بار بوده و مصرف بخار تنها در مرحله سوم آن kg/hr ۱۶۸۰ مي‌باشد.

با توجه به مقدار خلاء مورد نياز در مرحله سوم اين اجكتور و همچنين مقدار دبي گازهاي ورودي به اين مرحله، پمپ خلاء متناسب با اين شرايط انتخاب مي‌گردد و سپس طرح پيشنهادي از نظر اقتصادي با طرح موجود مورد مقايسه قرار مي‌گيرد. برآورد اقتصادي صورت گرفته نشان مي‌دهد كه مدت بازگشت سرمايه جهت نصب و راه‌اندازي طرح جديد حدود سه و نيم سال مي‌باشد.

واژه‌هاي كليدي: اجكتور، خلاء، تقطير، پمپ خلاء

BSHE.ir

۱ـ مقدمه

به طور كلي اجكتورها وسايلي هستند كه براي ايجاد خلاء در محفظه‌هاي بسته مورد استفاده قرار مي‌گيرند. اجكتورها نوعي پمپ خلاء يا كمپرسور خلاء هستند، ليكن در ساختمان آنها هيچگونه قطعه متحرك مكانيكي وجود ندارد. لذا تعميرات و نگهداري آنها ساده و كم هزينه است. بنابراين از لحاظ اقتصادي، اجكتورها در مقايسه با انواع پمپهاي خلاء وسيله‌اي مناسب و با صرفه براي توليد خلاء مي‌باشند.

از آنجا كه توليد بخار در كليه مراكز صنعتي از جمله پالايشگاهها پرهزينه و گران است و همچنين يكي از تجهيزات مهم در شبكه توزيع بخار پالايشگاهها كه حجم بالايي از بخار را به طور پيوسته مصرف مي‌كنند اجكتورها هستند، بررسي عملكرد آنها و راههاي كاهش مصرف بخار در آنها نقش مؤثري در بهينه‌سازي و صرفه‌جويي در مصرف انرژي خواهد داشت. يكي از اين راهها، جايگزيني يك پمپ خلاء مناسب به جاي مرحله آخر اجكتور سه مرحله‌اي واقع در بالاي برج خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان مي‌باشد.

اجكتورهاي تك مرحله‌اي براي محدودة خلاء بين فشار اتمسفر تا حدود ۷۰ mm Hg abs مورد استفاده قرار مي‌گيرند. براي دستيابي به فشارهاي مكش پايين‌تر از ۷۰ mm Hg abs از اجكتورهاي چند مرحله‌اي استفاده مي‌شود [۱]. يك پمپ خلاء از نوع Liquid Ring Vacuum Pump در محدودة خلاء بين فشار اتمسفر تا ۵۰ mm Hg كار مي‌كند، در حاليكه اجكتورهاي چند مرحله‌اي تا فشار ۰/۰۲ mm Hg را نيز مي‌توانند ايجاد كنند. بعضي از انواع ديگر پمپهاي خلاء مانند انواع Rotary Vein Pump و Piston Pump ها براي ايجاد خلاءهاي بالاتر نيز طراحي شده‌اند [۲].

اجكتورها با توجه به خلاء مورد نياز هر سيستم و ظرفيت مكش مورد نياز آن قابل طراحي هستند، در حاليكه پمپهاي مكانيكي توليد خلاء به صورت استاندارد و براي محدودة خاصي از خلاء و ظرفيت مكش ساخته مي‌شوند. همچنين اجكتورها با گازهاي مكشي مرطوب مشكل خاصي پيدا نمي‌كنند، در صورتيكه پمپهاي خلاء اغلب با ورود رطوبت يا ذره سيال، به شدت صدمه مي‌بينند. در پمپهاي خلا يا بطور كلي در سيستم‌هاي مكانيكي توليد خلأ، به علت كوچكي تولرانس قطعات آنها، مواد و گازهاي خورنده ورودي به درون آنها ايجاد مشكل مي‌كند. به طور كلي براي توليد خلاء در يك محفظه نمي‌توان اظهار داشت كه پمپهاي خلاء يا اجكتورها بر ديگري ارجحيت دارند. در جدول (۱) با توجه به پارامترهاي احتمالي مورد توجه براي توليد خلاء در يك سيستم صنعتي، مقايسه‌اي بين انواع پمپهاي توليد خلاء،

BSFI.ir

اجكتورها و سيستم‌هاي توليد خلاء تركيبي صورت گرفته است [۲].

هم‌اكنون سيستم‌هاي خلاء مركب از اجكتورهاي چند مرحله‌اي و پمپ خلاء كه به سيستم‌هاي هيبريد معروفند، در بيشتر پالايشگاههاي جهان به كار برده شده و يا در حال نصب مي‌باشند. البته استفاده از سيستم خلاء هيبريد منحصر به پالايشگاهها نمي‌باشد، بلكه در كليه صنايعي كه به نوعي از اجكتورهاي چند مرحله‌اي استفاده مي‌كنند، مي‌توان از اين سيستم بهره برد. جايگزيني اين سيستم با سيستم خلاء فعلي پالايشگاه اصفهان، در نهايت ذخيره و بهينه‌سازي مصرف انرژي را در بر خواهد داشت.

جدول ۱ـ مقايسه بين انواع سيستم‌هاي توليد خلاء برحسب پارامترهاي مختلف [۲]

پمپ خلاء نوع oil seal and vane pump	پمپ خلاء نوع liquid ring vacuum pump	اجكتور ـ پمپ خلاء نوع liquid ring vacuum pump	اجكتور	نحوه تغييرات
قيمت اوليه زمان تعميرات دوره‌اي قيمت نگهداري	پايداري		پايداري تنوع سادگي طراحي زمان تعميرات دوره‌اي قيمت جاري عملكرد	بالا
سادگي طراحي تنوع	قيمت جاري عملكرد قيمت نگهداري	پايداري تنوع زمان تعميرات دوره‌اي قيمت جاري عملكرد قيمت نگهداري		متوسط
قيمت عملكرد	قيمت اوليه زمان تعميرات دوره‌اي	قيمت اوليه	قيمت نگهداري قيمت اوليه	پايين

در اين مقاله ابتدا به معرفي اجكتورهاي پالايشگاه اصفهان و سپس به اهميت بررسي اجكتور سه مرحله‌اي واحد تقطير خواهيم پرداخت. در ادامه به تحليل و بحث در مورد جايگزيني يك پمپ خلاء به جاي مرحله سوم اجكتور مذكور پرداخته و محاسبات مربوطه ارائه خواهد شد.

BSFE.ir

۲ـ اهميت بهينه‌سازي مصرف بخار در اجكتور سه مرحله‌اي برج خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان

اجكتورهاي موجود در پالايشگاه اصفهان ۱۳ مورد بوده كه تعدادي از آنها به منظور راه‌اندازي قسمتهاي مختلف سيستم پالايشگاه و برخي ديگر جهت ايجاد خلاء در كندانسورها و بقيه جهت مصارف متفرقه مورد استفاده قرار مي‌گيرند. يكي از موارد استفاده عمده اجكتورها در پالايشگاه ايجاد خلاء لازم در بالاي برج خلاء واحد تقطير به منظور انجام فرآيند تقطير نفتخام مي‌باشد.

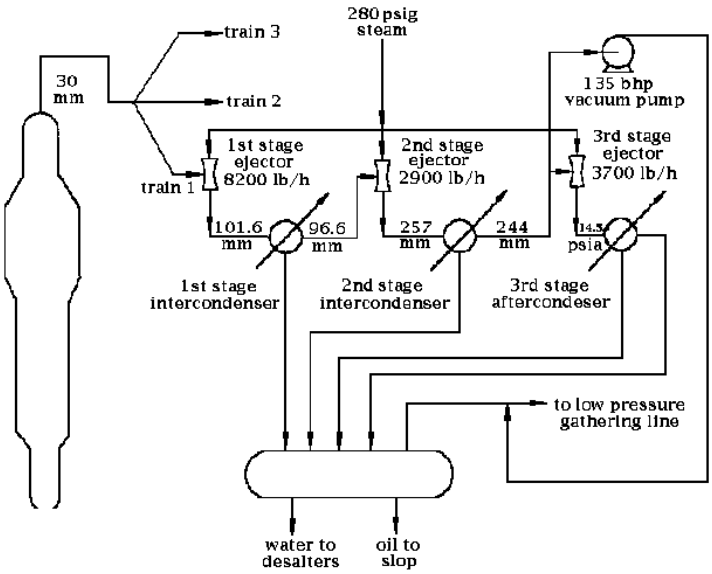
اغلب اجكتورهاي موجود در پالايشگاه اصفهان با بخار (۳۰۰ psi) ۲۰ bar كار مي‌كنند. به طور كلي مصرف بخار در كليه اجكتورهاي پالايشگاه اصفهان در حالت طراحي آن حدود (۳٤۰۰۰ Ib/hr) ۱٥٤٤۰ kg/hr مي‌باشد كه اين مقدار نزديك به ٦ درصد كل بخار ۲۰ bar توليدي را به خود اختصاص مي‌دهد [۳].

در بيشتر پالايشگاهها، اجكتورهاي بالاي برج خلاء واحد تقطير نفتخام در مقايسه با اجكتورهاي ديگر، بيشترين مصرف بخار را دارا مي‌باشند. اين موضوع اهميت بررسي و ارائه راهكارهايي جهت بهبود و بهينه‌سازي مصرف بخار را در اين اجكتورها نشان مي‌دهد. اجكتور سه مرحله‌اي واحد تقطير پالايشگاه اصفهان، به منظور ايجاد خلايي برابر ۳۰ mm Hg abs بالاي برج خلاء اين واحدتعبيه شده است. در جدول (۲) مقادير طراحي مربوط به اجكتور مذكور آورده شده است. اجكتور فوق شامل سه مرحله به طور سري بوده و هر مرحله شامل سه اجكتور به صورت موازي مي‌باشد. در ميان مراحلي كه به طور سري نصب شده‌اند، دو كندانسور مياني و در انتهاي خط يك كندانسور نهايي موجود است. كندانسورهاي مياني و نهايي از نوع لوله پوسته‌اي بوده كه آب خنك كننده در سمت لوله‌ها و گازهاي مكيده شده توسط اجكتور در سمت پوسته قرار دارد. در شكل (۱) شماتيك سيستم خلاء واحد تقطير نفتخام پالايشگاه اصفهان نمايش داده شده است.

جدول ۲ـ مقاديرطراحي مربوط به اجكتور سه مرحله‌اي بالاي برج خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان [٤]

علامت	شرح	مقدار (واحد)	
P_1	فشار بخار ورودي به اجكتور	۲۰ (bar)	
P_2	فشار مكش	۳۰ (mm Hg abs)	
P_3	فشار تخليه	مرحله اول	۱۰۲ (mm Hg abs)
		مرحله دوم	۲٥۷ (mm Hg abs)
		مرحله سوم	۹۰٦ (mm Hg abs)

T_1	دماي بخار ورودي	۲٦۰ (C°)	
T_2	دماي مخلوط گازها در ورود به اجكتور	٥۷ (C°)	
T_3	دماي مخلوط گازها و بخار در خروج از اجكتور	۲۷٥ (C°)	
M_1	دبي بخار ورودي به نازل	مرحله اول	۳۷۲۰ (kg/hr)
		مرحله دوم	۱۳۲۰ (kg/hr)
		مرحله سوم	۱٦۸۰ (kg/hr)
M_2	دبي مخلوط گازهاي ورودي به اجكتور	۷٥۰۰ (kg/hr)	
M_3	دبي آب خنك كننده ورودي به كندانسورها	٥۲۰ (M^3/hr)	
T_4	دماي آب خنك كننده ورودي به كندانسورها	۳۰ (C°)	



شكل ۱ـ شماتيك سيستم خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان [٤]

۳ـ محاسبات مربوط به جايگزيني يك پمپ خلاء با مرحله سوم اجكتور سه مرحلهاي واحد تقطير پالايشگاه اصفهان

مطابق جدول (۲)، سيستم خلاء واحد تقطير، يك اجكتور سه مرحلهاي است كه ميزان بخار مصرفي در مرحله سوم آن (۳۷۰۰ Ib/hr) ۱٦۸۰ kg/hr ميباشد. اين مقدار بخار بايستي گازهاي خروجي از دومين كندانسور ميانی را در فشار ۲٤٤ mm Hg abs مكش كرده و تا فشار

mm Hg abs ۹۰۶ آنها را منبسط کند. نظربه اينکه خلاء ايجاد شده توسط مرحله سوم اجکتور مقدار قابل توجهي نمي‌باشد و همچنين اين مرحله نسبتاً بخار زيادي مصرف مي‌کند، لذا اگر اين مرحله با يك پمپ خلاء مناسب که بتواند همان مقدار خلاء را ايجاد کند جايگزين شود، در مصرف بخار به ميزان قابل توجهي صرفه‌جويي خواهد شد. براي اين کار ابتدا با داشتن مقدار خلايي که مرحله سوم اجکتور مذکور بايد ايجاد کند وهمچنين دبي گازهاي مکيده شده توسط اين مرحله پمپ خلاء را انتخاب کرده و هزينه جايگزيني آنرا با مرحله سوم اجکتور بررسي خواهيم کرد. اگر پمپ خلايي که جايگزين اين مرحله مي‌شود (با توجه به مورد مشابه در پالايشگاه هوستون با ظرفيت ۱۴۰ هزار بشکه در روز که سيستم خلاء آن در شکل (۲) نمايش داده شده است)، داراي توان ۱۳۵ اسب بخار باشد و قيمت هر صد کيلووات ساعت برق را ۵ دلار در نظر بگيريم [۶]، داريم:

$$\text{هزينه انرژي مصرفي پمپ خلاء} = 135\text{hp}\times\frac{0/746\text{KW}}{1\text{hp}}\times\frac{5\$}{100\text{KWh}}\times\frac{360\times24\text{hr}}{1\text{year}}=43,510\frac{\$}{\text{year}}$$

اگر قيمت هر ۱۰۰۰ پوند بخار را با توجه به سوخت نفتخام (API = ۳۳/۳) حدود ۶ دلار در نظر بگيريم [۶]، خواهيم داشت:

$$\text{قيمت بخار مصرفي در مرحله سوم اجکتور} = 3700\frac{\text{Ib}}{\text{hr}}\times\frac{6\$}{1000\text{Ib}}\times8640\frac{\text{hr}}{\text{year}}=191,810\frac{\$}{\text{year}}$$

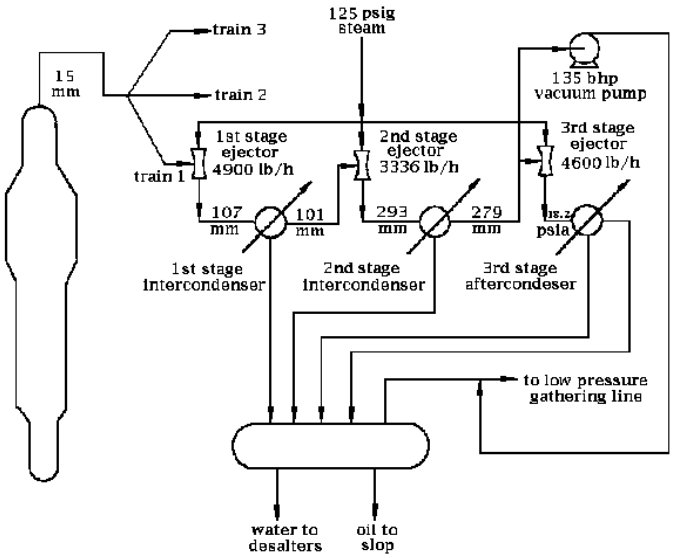
با توجه به قيمت بخار مصرفي در مرحله سوم اجکتور و هزينه انرژي مصرفي پمپ خلاء محاسبه شده، صرفه‌جويي درهر خط برابر ۳۰۰ و ۱۴۸ دلار در سال خواهد بود. چون در حال حاضر در هر واحد تقطير پالايشگاه دو خط اجکتور مشغول به کار است، صرفه‌جويي ارزي در مجموع دو خط برابر ۲۹۶،۶۰۰ دلار در سال خواهد شد. قيمت يك پمپ خلاء با مشخصات مطلوب در سال ۱۹۸۲ برابر ۶۵۰،۰۰۰ دلار بوده است که شامل سرويس، نصب وراه‌اندازي مي‌باشد [۵]. با رجوع به جداول Cost Index [۷]، قيمت جديد پمپ خلاء به همراه سرويس، نصب وراه‌اندازي آن به شرح زير خواهد بود:

$$\text{قيمت جديد} = \frac{\text{Cost Index (1999)}}{\text{Cost Index (1982)}}\times\text{قيمت سال }1982$$

$$\text{قيمت جديد پمپ خلاء} = \frac{663/7}{410}\times650,000=1,052,210$$

با توجه به قميت به دست آمده براي پمپ خلاء وميزان صرفه‌جويي ارزي دو خط اجکتور در سال، زمان بازپرداخت اين جايگزيني حدود سه و نيم سال به دست مي‌آيد. لذا جايگزيني پمپ خلاء مذکور به جاي مرحله سوم اجکتور واقع در بالاي برج خلاء واحد تقطير

پالايشگاه اصفهان، مناسب به نظر رسيده و در نهايت موجب كاهش مصرف انرژی خواهد شد.



شكل ۲ـ شماتيك سيستم خلاء واحد تقطير پالايشگاه هوستون آمريكا [۵]

٤ـ نتيجه‌گيري

بخار به عنوان حامل انرژي در بيشتر مراكز صنعتي از جمله پالايشگاهها به كار مي‌رود. از آنجائيكه توليد بخار براي اين مراكز بسيار پرهزينه مي‌باشد، ليكن بررسي و ارائه راههاي كاهش مصرف بخار را در آن مراكز دارند، مورد توجه بسياري از صنايع مي‌باشد يكي از اين راهكارها، جايگزيني يك پمپ خلاء مناسب به جاي مرحله سوم اجكتور سه مرحله‌اي واقع در بالاي برج خلاء واحد تقطير پالايشگاه اصفهان مي‌باشد.

براساس محاسبات انجام گرفته در بخش سوم پيشنهاد جايگزيني يكي پمپ خلاء با توان ۱۳۵ اسب بخار به جاي مرحله سوم اجكتور مورد بحث در راستاي صرفه‌جويي و بهينه‌سازي در مصرف بخار، مناسب به نظر مي‌رسد. اين كار حدود ۳۰ درصد مصرف بخار را در اجكتور نام برده كاهش داده و در نهايت باعث صرفه‌جويي ارزي در حدود ۳۰۰،۰۰۰ دلار در سال خواهد شد. زمان بازگشت سرمايه پروژة نصب و راه‌اندازي سيستم جديد حدود سه و نيم سال پيش‌بيني مي‌شود.

مراجع

1- Ojala, R., “Keep Ejectors Online”, Chem. Eng. J., Vol. 99, No. 5, pp. 114-118, 120, May 1992.

2- Steuber, A., "Consider These Factors for Optimum Vacuum System Selection" Hyd. Process. J., pp. 267-269, Sep 1982.
3- Flour, Co., "Operating Manual", Plant 21, Isfahan Refinery.
4- Flour, Co., "Plant Technical Manual", Vol 16, Isfahan Refinery.
5- Nelson, R. E., "Vaccum Pump Aids Ejectors", Hyd. Process. J., pp. 95-96, Dec 1982.
6- Barnwell, J., "Heat Pump Cuts Energy Use", Hyd. Process, J., pp. 117-119, July 1982.
7- Chem. Eng. J., P. 146, July 2000.

BSFE.ir