# مدیریت و بهینه سازی سیستم خدمات جانبی یک مجتمع پتروشیمی

داوود رشتچیان*[1]، رویا مظفری[1]
*۱. دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران*
rashtchian@sharif.edu

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران
دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

## چکیده

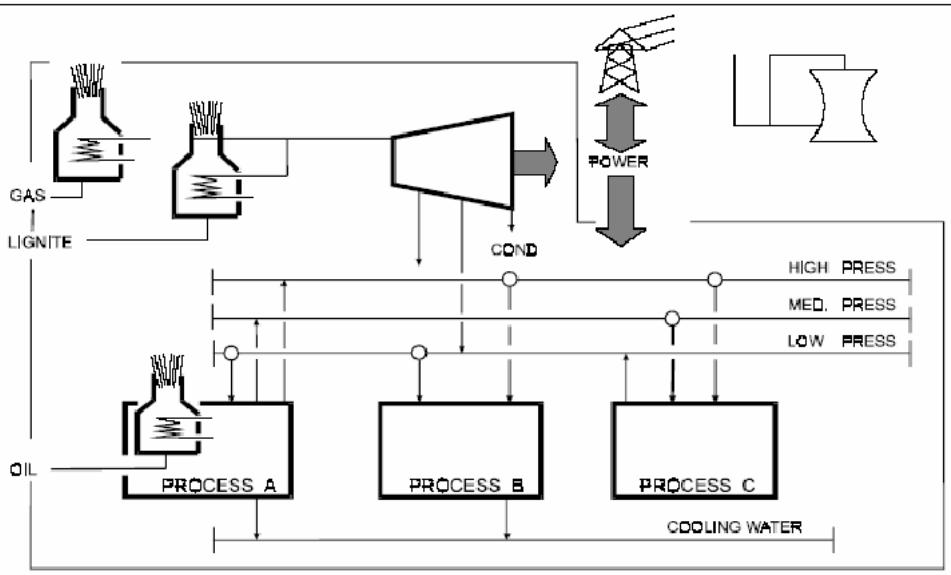
**از بهینه سازی همزمان فرایندهای تولیدی و سیستم خدمات جانبی مجتمع قبل از طراحی با استفاده از روش گرافیکی آنالیز مجتمع، می توان میزان تقاضای انرژی و انتشار آلاینده ها در یک مجتمع را کاهش داد و همزمان از اتلاف پتانسیل تولید همزمان(توان و حرارت) جلوگیری به عمل آید. این روش بر مبنای ترسیم پروفایلهای مجتمع که در واقع بیانگر چاهها و چشمه های حرارتی موجود در مجتمع است، می باشد و برای مینیمم مصرف سوخت، ماکزیمم تولید توان، یا مینیمم هزینهٔ سوخت و توان هدف گذاری انجام می دهد.**

**در این مقاله، روش ذکر شده را بر روی یک مجتمع پتروشیمی که در حال حاضر در آن فرایندهای آمونیاک و اوره مشغول به کار هستند و قرار است واحد ملامین نیز اضافه شود پیاده شده است. از مقایسهٔ مقادیر هدف گذاری شده با استفاده از این روش برای مجتمع موجود و توسعه یافته با مقادیر موجود مجتمع فعلی در می یابیم که برای مجتمع فعلی با ایجاد یک سری تغییرات و تصحیحاتی در فرایندها و یا سیستم خدمات جانبی آن، پتانسیل افزایش تولید همزمان توان توسط فرایند ها وجود دارد. همچنین با اضافه کردن یک فرایند جدید به مجتمع با افزایش میزان سوخت مصرفی فرایندها به میزان تقریباً ۶/۶ ٪ ، پتانسیل افزایش میزان تولید همزمان توان به اندازهٔ ۵۰/۷ ٪ وجود دارد.**

**کلمات کلیدی:** مجتمع، سیستم خدمات جانبی، پروفایل چاه و چشمهٔ مجتمع، تولید همزمان توان

## مقدمه

فرآیندهای پتروشیمی و پالایشگاهی معمولاً به عنوان مجموعه ای از چندین فرایند عمل می کنند که به این مجموعه ها، مجتمع[1] اطلاق می شود. شکل ۱ شمایی از یک مجتمع را نشان می دهد. این فرایندها توسط سیستم خدمات جانبی مرکزی[2] مشترک، سرویس دهی می شوند. البته بعضی از فرایندها، خدمات جانبی مربوط به آنها جدا می باشد. در کارخانه های شیمیایی برای تأمین نیازهای فرایندها به توان و حرارت، انرژی اساساً به دو شکل توان و بخار توسط سیستم خدمات جانبی مرکزی تأمین و تولید می شود. یک سیستم خدمات جانبی که بخار و توان مورد نیاز فرایندها را تولید می کند شامل چندین دیگ بخار، توربینهای گازی و توربینهای بخار برای تولید توان می باشد. این سیستم سوختهایی چون نفت کوره، گاز و ذغال سنگ مصرف می کند، توان تولید می کند و بخار مورد نیاز را در چندین سطح تولید می کند. بعضی از فرایندها تولید کننده و بعضی دیگر مصرف کنندهٔ بخار در سطوح مختلف هستند. بخار تولید شده توسط فرایندها می توانند به خطوط اصلی بخاراضافه شوند و نهایتاً در سایر فرایندها مصرف می شوند. مشعلها و کوره های خود فرایندها هم سوخت مصرف می کنند. مجتمع برای توازن تولید توان در مجتمع، توان را صادر یا وارد می کند. میزان نیازمندیهای گرمایشی بخار فرایندها، نیازمندی سرمایشی آنها و پتانسیل تولید همزمان میزان نیازمندی سیستم خدمات جانبی به سوخت را دیکته می کند.[1,2]



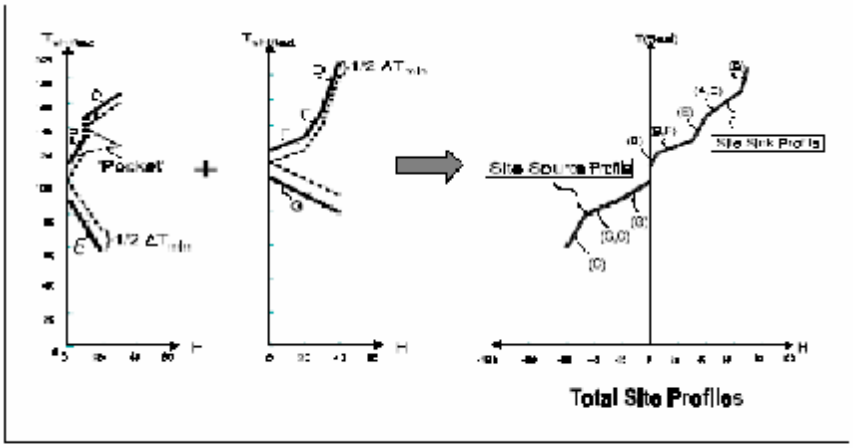

شکل ۱- شمایی از یک مجتمع شامل فرایندهای تولیدی مستقل از هم که به طور غیر مستقیم توسط سیستم خدمات جانبی مرکزی به هم مربوطند [7]

[1] - Total Site
[2] - Central Utility System

همانگونه که دریافتیم صنایع شیمیـایی مصرف کنندگان عمدهٔ انرژی هستند و همچنین تولید کنندگان عمدهٔ آلاینده ها می باشند. افزایش چشمگیر میزان استفاده از انرژی الکتریکی و نیاز به تولید بیشتر آن، به همراه مشکلات موجود در مورد سوخت های فسیلی، از جمله محدودیت و تجدید ناپذیری آنها و همچنین مصرف بسیار زیاد آنها در تأسیسات تولید نیرو وآلودگیهای مربوط به احتراق آنها (اعم ازNOx، SOx و ذرات معلق) در جوش آورها وکوره ها ، اهمیت هر گونه تلاشی را در جهت بهینه سازی مصرف انرژی مشخص می سازد، به طوریکه به حد اکثر رساندن بازدهی مصرف انرژی یکی از هدفهای اصلی در طراحی واحدهای صنایع فرایندی است. برای بررسی سیستمهای انرژی، روشهای چندی وجود دارند. در این مقاله با استفاده از پروفایل مجتمع[۳]، به هدف گذاری برای مصرف سوخت، میزان تولید همزمان[۴] و میزان سـرمایش با هدف بهینه سازی سیستم انرژی می پردازیم. درحالت کلی این مقادیر ایده آل به طراح کمک می کنند تا بتواند یک طرح کلی برای کاهش مصرف انرژی و همچنین آلاینده ها در یک سرمایه گذاری معین ارائه بدهد و همچنین در مورد پروژه هایی که قرار است بازسازی شوند، امکان تصحیح و توسعهٔ فرایندها و سیستم خدمات جانبی آن را بوجود آورد.

## پروفایل مجتمع

برای داشتن درک خوبی از سناریوی انرژی مجتمعها، یک روش گرافیکی برای انتگراسیون انرژی مجتمعها ابتدا توسط Dhole و Linnhoff (۱۹۹۲) ارائه شد و بعداً توسط Raissi (۱۹۹۴) مورد بررسی قرار گرفت[2,3]. سرچشمهٔ این روش، تکنولوژی گلوگاهی[۵] [4,5] است که در ابتدا برای فرایندهای منفرد و بهینه سازی آنها از نظر مصرف انرژی به کار می رفت. با استفاده از این روش می توان مجتمعها را به منظور کاهش در مصرف انرژی و انتشارات مربوطه بهبود بخشید. هدف گذاری برای سوخت مجتمع، تولید همزمان، انتشارات مربوط به سوخت و بار سرمایشی کل، به طراح کمک می کند تا قبل از طراحی، مناسب ترین تغییرات در فرایند و/ یا خدمات جانبی را به آسانی و به طور قابل قبول تعیین کند.




شکل ۲- ساخت پروفایلهای مجتمع از منحنیهای ترکیبی جامع فرایند [۳]

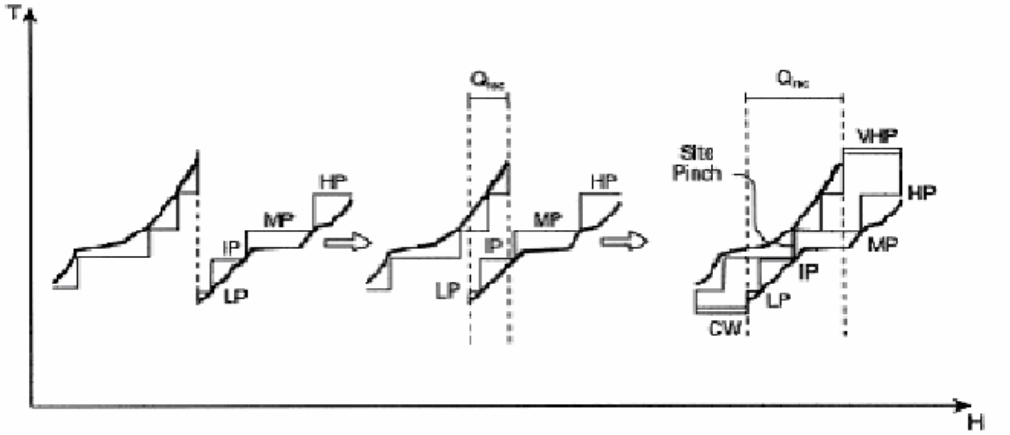
[3] - Total Site Profile
[4] - Cogeneration Power
[5] - Pinch Technology

اساس این روش ترسیم پروفایلهای مجتمع که در واقع بیانگر چاهها[۶] و چشمه های[۷] موجود در مجتمع است می باشد. این پروفایلها از منحنیهای آمیختهٔ جامع[۸] [6,7,8] فرایندهای موجود در مجتمع ساخته می شوند. شکل ۲ نحوهٔ ساخت پروفایلهای مجتمع را با استفاده از دو فرایند موجود نشان می دهد.این روش از دو قسمت مجزا تشکیل شده است:

۱. تهیهٔ داده ها
۲. هدف گذاری کردن[۹]

## تهیهٔ داده ها

تهیهٔ داده ها برای روش ذکر شده شامل مراحل زیر می باشد :




شکل ۲ - هدف گذاری مجتمع بر اساس ماکزیمم میزان همپوشانی [2]

- جمع آوری اطلاعات مورد نیاز جریانهای فرایندی.
- تعیین $DT_{MIN}$ برای داده های فرایند.
- ساخت منحنی ترکیبی جامع اولیه (GCC).
- ایجاد تغییرات در منحنی ترکیبی جامع (GCC) به منظور حذف کردن انتقال حرارت فرایند- فرایند.
- یافتن نیازمندیهای حرارتی باقیمانده که بایستی توسط مجتمع تأمین شوند.
- تکرار کردن مراحل فوق برای سایر فرایندهای مجتمع.

[6] - Sinks
[7] - Sources
[8] - Grand Composite Curve
[9]- Targeting

## فاز هدف گذاری

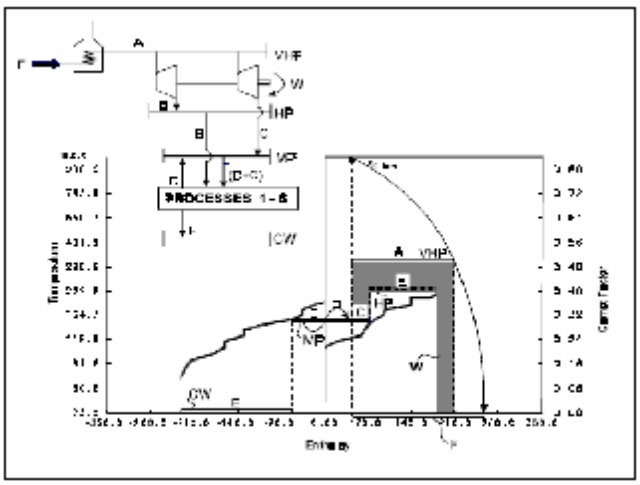
این فاز شامل تولید ابزار زیر می باشد :

- ایجاد منحنیهای ترکیبی[10] [6,7,8] از مولفه های چاه و چشمهٔ جابجا شده به اندازه $DT_{min}$ ۱/۲.
- اضافه کردن مصرف کننده های بخار که در داده های جریان فرایند احتساب نشده اند.
- تولید پروفایلهای موازنه شدهٔ مجتمع که از پروفایلهای چاه و چشمه ساخته می شوند (کل چاهها و چشمه های حرارتی از فرایندها ). این پروفایلها به صورت نمودار دما / آنتالپی و یا ضریب کارنو[3,9]/ آنتالپی رسم می شوند.

با استفاده از پروفایلهای مجتمع، می توان برای تولید همزمان ( گرما و توان ) و مصرف سوخت برای دو سناریوی مختلف زیر هدف گذاری کرد[2]:

۱. ماکزیمم بازیافت حرارتی
۲. مینیمم هزینه های خدمات جانبی

در نمونهٔ اول همان گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، به دلیل ماکزیمم بازیافت حرارتی میزان نیازمندی به بخار VHP مینیمم می شود که در این صورت میزان تولید توان در مجتمع کمترین مقدار خود را خواهد داشت. این سناریو می تواند توسط پروفایل های مجتمع با ماکزیمم میزان




شکل ۳ هدف گذاری مجتمع برای سوخت، تولید همزمان، نشتارات و میزان سرمایش [7]

همپوشانی میان پروفایلهای چاه و چشمه نشان داده شود. نمونهٔ آخری مقایسهٔ اقتصادی[11] بهینه میان بازیافت بخار و تولید توان را تعیین می کند که به طرحی متفاوت با نمونهٔ اول منجر می شود.

شکل ۴ هدف گذاری برای خدمات جانبی بر اساس پروفایلهای مجتمع و شبیه سازی سیستم بخار نشان می دهد. در شکل شمایی از خدمات جانبی مربوطه و پروفایلهای مجتمع که بر روی آن خدمات جانبی قرار گرفته اند را نشان می دهد. پروفایل چاه – چشمهٔ مجتمع، میزان تولید حرارت و میزان استفاده از بخار در سطوح مختلف را هدف گذاری می کند.

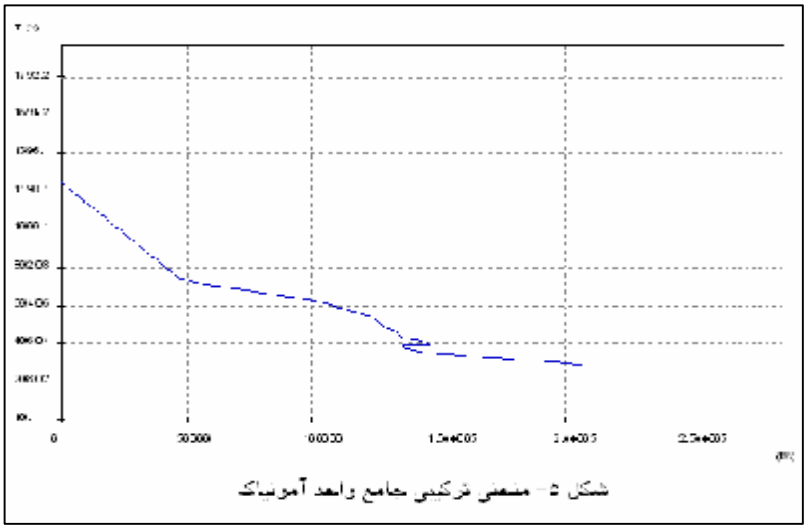
[10] -Composite Curves
[11] - Trade-off

## کاربرد و محاسبات

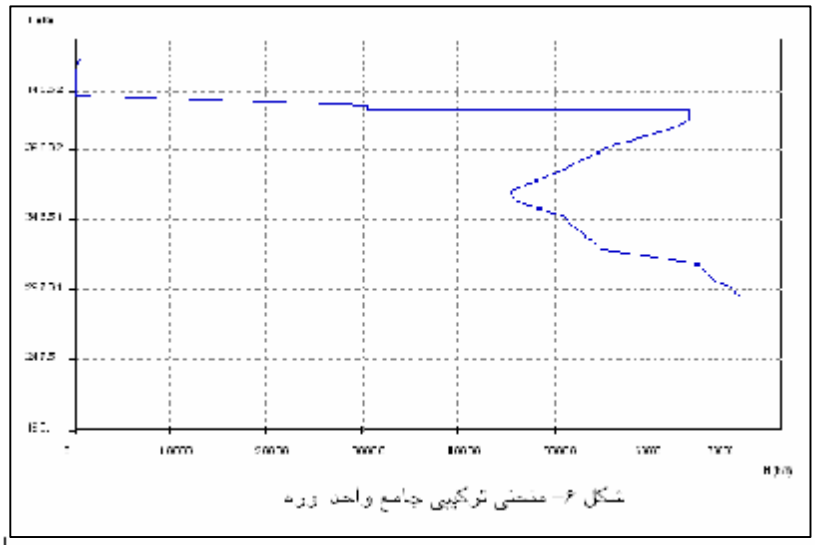
مجتمع پتروشیمی مورد نظر شامل ۳ فرایند آمونیاک، اوره و ملامین می باشد که در حال حاضر تنها دو واحد آمونیاک و اوره کار می کنند و قرار است که در آینده ای نزدیک واحد ملامین نیز وارد خط تولید شود. به منظور بررسی سیستم انرژی این مجتمع پتروشیمی، روش آنالیز مجتمع با استفاده از پروفایل مجتمع به کار برده شده است.

با استفاده از موازنهٔ جرم و انرژی موجود فرایندها [۱۰] و محاسبات لازم، اطلاعات اولیه لازم استخراج شده اند. روند کار طبق روشی که ذکر شد دنبال شده است. با استفاده از اطلاعات استخراج شده و به کمک نرم افزار Hint، منحنیهای جامع ترکیبی برای سه فرایند مذکور رسم شده اند. شکلهای ۵، ۶ و ۷ این منحنیها را نشان می دهند.

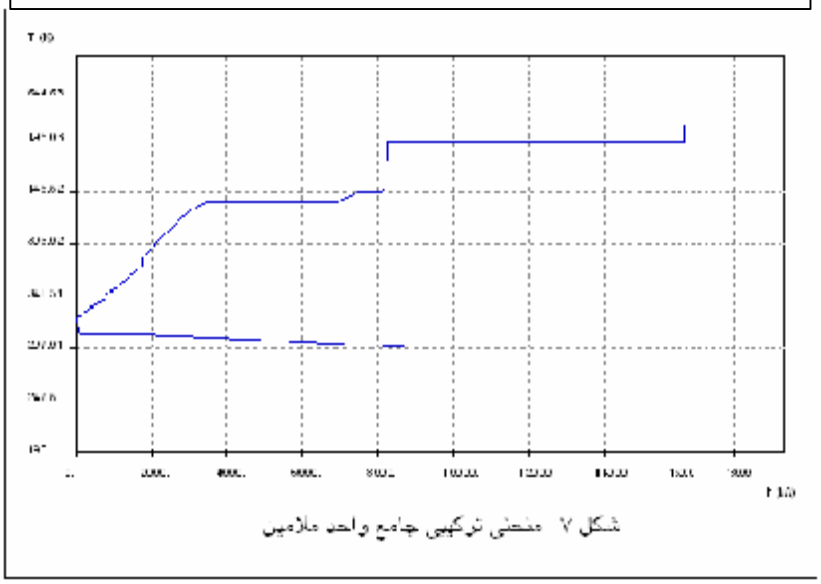
به منظور بازیافت حرارتی، در منحنی ترکیبی جامع هر فرایند پاکتهای انرژی (انتقال حرارت فرایند- فرایند) را حذف می کنیم و دمای مؤلفه های چاه و چشمهٔ باقیمانده را به اندازهٔ $1/2DT_{MIN}$ جابجا می کنیم. مؤلفه های چشمه را به اندازهٔ $1/2DT_{MIN}$ در امتداد محور دما به سمت بالا جابجا




شکل ۵- منحنی ترکیبی جامع واحد آمونیاک



شکل ۶- منحنی ترکیبی جامع واحد زرد

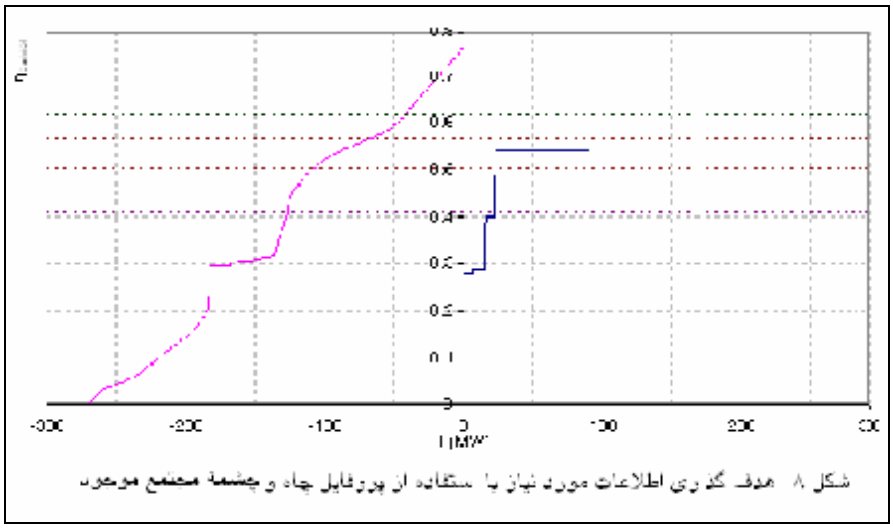


شکل ۷- منحنی ترکیبی جامع واحد ملامین

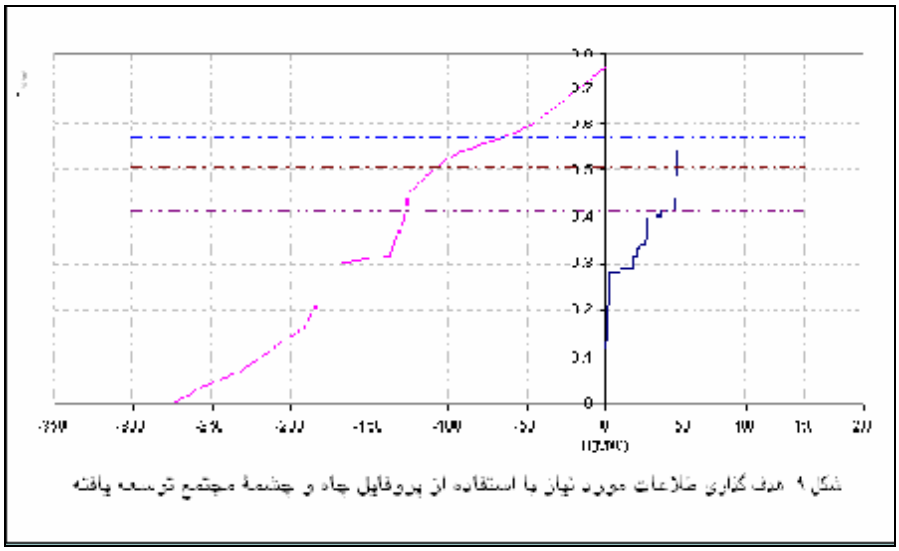
می کنیم و مؤلفه های چاه را به اندازهٔ $1/2DT_{MIN}$ به سمت پایین جابجا می کنیم. با استفاده از مؤلفه های چاه فرایندها و ترکیب آنها، پروفایل چاه مجتمع و با استفاده از مؤلفه های چشمهٔ فرایندها و ترکیب آنها، پروفایل چشمهٔ مجتمع حاصل می شوند. پروفایلهای چاه و چشمهٔ مجتمع اساساً از منحنیهای ترکیبی جامع فرایندها حاصل می شوند. از آنجا که یک سری نیازمندیهای بخار هستند که در منحنیهای ترکیبی جامع احتساب نمی شوند، نیاز است که این موارد در تعیین صحیح سیستم خدمات جانبی برای مجتمع لحاظ شوند. لذا این نیازمندیها به صورت مؤلفه های چاه به پروفایل چاه مجتمع اضافه می شوند.

بر اساس هدرهای موجود در مجتمع سطوح بخار موجود در مجتمع معلوم می شوند.

شکلهای ۸ و ۹ پروفایلهای چاه و چشمه حاصله برای مجتمع موجود و توسعه یافته را نمایش می دهند. با استفاده از این پروفایلها و محاسبات لازم هدف گذاریهای مربوطه انجام می شود. جداول ۱ و ۲ این مقادیر را نشان می دهند.



شکل ۸ هدف گذاری اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پروفایل جاه و چشمه مجتمع موجود



شکل ۹ هدف گذاری اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پروفایل جاه و چشمه مجتمع توسعه یافته

**جدول ۱- مقادیر هدف گذاری شده و موجود برای مجتمع موجود (آمونیاک و اوره)**

| میزان سرمایش مورد نیاز | میزان تولید همزمان توان | میزان سوخت مصرفی | کمیت |
|---|---|---|---|
| ۱۴۴،۷۴ | ۳۸،۴۵ | ۱۷۲،۴۷ | مقدار هدف گذاری شده(MW) |
| --- | ۳۳،۶۳ | ۱۷۲،۴۷ | مقدار موجود(MW) |

**جدول ۲- مقادیر هدف گذاری شده برای مجتمع توسعه یافته (آمونیاک، اوره و ملامین)**

| میزان سرمایش مورد نیاز | میزان تولید همزمان توان | میزان سوخت مصرفی | کمیت |
|---|---|---|---|
| ۱۳۸،۲۳ | ۵۰،۶۹ | ۱۸۳،۹۲ | مقدار هدف گذاری شده(MW) |

با مقایسهٔ مقادیر موجود و مقادیر هدف گذاری شده برای مجتمع فعلی با دو فرایند در می یابیم که سیستم انرژی مجتمع موجود می تواند با یک آرایش بهتر یا ایجاد تصحیح و توسعه هایی در فرایندها و یا سیستم خدمات جانبی آن با مصرف سوخت یکسان به میزان تولید همزمان توان بیشتری دست یابد. از مقایسهٔ مقادیر هدف گذاری شده برای مجتمع توسعه یافته و مقادیر موجود برای مجتمع فعلی خواهیم داشت:

درصد افزایش سوخت مصرفی)] = ۱۷۲/۴۷-۱۸۳/۹۲ /( ۱۷۲/۴۷ [× ۱۰۰ = ۶/۶ ٪

درصد افزایش تولید همزمان توان)] = ۳۳/۶۳- ۵۰/۶۹ /( ۳۳/۶۳ [× ۱۰۰ = ۵۰/۷ ٪

با ارزیابی و مقایسهٔ این اعداد در می یابیم که با اضافه کردن یک فرایند جدید به مجتمع با افزایش میزان سوخت مصرفی فرایندها به میزان تقریباً ۶/۶ ٪ می توان میزان تولید همزمان توان را به اندازهٔ ۵۰/۷ ٪ افزایش داد، بدون اینکه فرایندهای مجتمع نیاز به سرویس دهی مستقیم توسط سیستم خدمات جانبی مرکزی داشته باشند.

## نتیجه گیری

۱. برای مجتمع فعلی با ایجاد یک سری تغییرات و تصحیحاتی در فرایندها و یا سیستم خدمات جانبی آن، پتانسیل افزایش تولید همزمان توان توسط فرایند ها وجود دارد.

۲. با اضافه کردن یک فرایند جدید به مجتمع با افزایش میزان سوخت مصرفی فرایندها به میزان تقریباً ۶/۶ ٪ ، پتانسیل افزایش میزان تولید همزمان توان به اندازهٔ ۵۰/۷ ٪ وجود دارد.

۳. این مطالعه را در واقع می توان فاز صفر مطالعه سیستم انرژی مجتمع پتروشیمی مورد نظر ذکر کرد و این مطالعه نشان می دهد که پتانسیل صرفه جویی انرژی در این مجتمع وجود دارد و برای رسیدن به آن احتیاج به کار مطالعاتی دقیق تر توسط یک گروه مشاور می باشد.

## منابع و مراجع

1. Y. Makwana, R. Smith, and X. X. Zhu, a Novel Approach for Retrofit and Operations Management of Existing Total Sites, Computers Chem. Engng Vol. 22, Suppl., PP. S793-S796, 1998

2. Frank X. X. Zhu, Lakshmi Vaideeswaran, Recent research development of process integration in analysis and optimization of energy systems, Applied Thermal Engineering 20(2000)1381-1392

3. V. R. Dhole, B. Linnhoff, Total Site Targets for Fuel, Co-Generation, Emissions, and Cooling, in: ESCAPE-II Conference, Toulose, France, Octobr, 1992

4. Douglas, J. M., Conceptual Design of Chemical Processes, McGraw-Hill, New York, 1998

5. Smith, R., Chemical Process Design, McGraw-Hill, New York,1995

6. Pinch Technology: Basics for the Beginners, www.eng.auburn.edu/users/edenmar/6460/6460_Pinch_Technology_-_Basics.pdf

7. Linnhoff, March, Introduction to Pinch Technology, Targeting House, www.linnhoffmarch.com/pdfs/PinchIntro.pdf

8. J. Klemes, V. R. Dhole, K. Raissi, S.J. Perry and L. Puigjaner, Targeting And Design Methodology For Reduction Of Fuel, Power And CO2 on Total Sites, Applied Thermal Engineering Vol. 17, Nos. 8-10, pp.993-1003, 1997.

9. S. P. Mavromatis, A. C. Kokossis, Conceptual optimisation of utility networks for operational variations—I. Targets and level optimisation, Chemical Engineering Science, Vol. 53, No. 8, pp. 1585-1608, 1998

۱۰. مظفری، رویا، مدیریت و بهینه سازی سیستم خدمات جانبی یک مجتمع پتروشیمی ، پروژه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۲