

بررسی شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری (برزویه) با استفاده از فناوری پینچ

نسیم طاهونی^{۱*}، مجید قاسمی کوزه‌کنان^۲، جلال صادقی اهری^۲

۱- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۲

پیام‌نگار: ntahuni@ut.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، قوانین و محدودیت‌های شدید اعمال شده به مراکز صنعتی جهت جلوگیری از ورود گازهای آلاینده به محیط زیست باعث شده است تا تمایل بازار به استفاده از سوخت‌های سبک و کم‌آلاینده افزایش یابد. بنابراین، واحدهای تولیدکننده سوخت‌های سبک در پالایشگاه‌ها و مراکز پتروشیمی، اهمیت خاصی یافته‌اند و با توجه به این‌که هیدروژن نقش اساسی در این واحدها دارد، مدیریت مصرف هیدروژن در این مراکز به امری غیر قابل اجتناب تبدیل شده است. به این منظور، در این مقاله، شبکه هیدروژن در مجتمع پتروشیمی نوری به صورت موردی، با استفاده از فناوری پینچ مطالعه شده است. نتایج مطالعه طراحی از پایه این مجتمع نشان داد که واحد یادشده در صورت طراحی صحیح باید با مقدار هیدروژن تازه‌ای به میزان ۱۶/۵ درصد کمتر از مقدار کنونی مصرفی آن راهبری شود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت مصرف هیدروژن، شبکه هیدروژن، فناوری پینچ، طراحی از پایه

۱. مقدمه

هیدروژن تأثیر چشمگیری بر هزینه‌های تولید و نیز سرمایه‌گذاری انجام‌شده به‌منظور افزایش ظرفیت واحدها دارد و این خود لزوم بکارگیری روش‌های مناسب برای بهینه‌سازی و بازیافت را نشان می‌دهد. تاکنون روش‌های متفاوتی برای بهینه‌سازی مصرف هیدروژن ارائه شده است که از جمله، فناوری پینچ مبتنی بر روش‌های گرافیکی [۱،۳]، روش‌های ریاضی (برنامه‌ریزی غیرخطی) [۲،۴] و ابرساختارها را [۶] می‌توان برشمرد. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند. روش گرافیکی روشی مفهومی است و

هیدروژن در صنعت نفت نقش مهمی ایفا می‌کند و در اکثر واحدهای پالایشگاهی به عنوان یک عنصر اصلی و تعیین‌کننده مطرح است؛ از سوی دیگر، ساخت واحدهای تولیدکننده هیدروژن نیازمند هزینه‌های ثابت و عملیاتی بالایی است. از این رو ترکیب این عوامل باعث شده است تا مدیریت مصرف هیدروژن به معضلی جدی و حائز اهمیت تبدیل شود، به‌طوری که بازیافت و مصرف بهینه

* تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی شیمی

واحد خالص‌سازی؛ و واحدهای مصرف‌کننده است. در پالایشگاه‌ها معمولاً واحد تبدیل کاتالیستی، هیدروژن مورد نیاز شبکه را تأمین می‌کند. این واحد، بنزین با عدد اکتان بالا تولید می‌کند و هیدروژن به عنوان یک محصول جانبی در آن تولید می‌شود. در صورت نیاز، به مقادیر بیشتر هیدروژن، واحدهای جانبی دیگری هم‌چون واحد تبدیل گاز طبیعی با بخار آب یا واحدهای اکسایش جزئی نفت سوخت در پالایشگاه احداث می‌شود [۳].

بخش دوم شبکه، واحد خالص‌سازی است. این واحد به منظور افزایش خلوص هیدروژن در جریان گازها به کار گرفته می‌شود. معمولاً از فناوری جذب سطحی با نوسانات فشار^۵ برای خالص‌سازی هیدروژن استفاده می‌کنند، زیرا خلوص هیدروژن خروجی از این واحدها بسیار بالاست و افت فشار کمتری در جریان گاز ایجاد می‌کنند. از فناوری‌های دیگری مانند فناوری‌های غشایی^۶ و روش‌های سرمازایی^۷ نیز برای خالص‌سازی هیدروژن استفاده می‌شود. فناوری‌های غشایی، افت فشار زیادی در جریان گاز ایجاد می‌کنند؛ خلوص هیدروژن خروجی از آنها نیز کمتر از روش جذب سطحی است، ولی میزان بازیافت بالایی نسبت به جذب سطحی دارند. در روش سرمازایی نیز، میزان بازیافت هیدروژن بالاست، ولی خلوص هیدروژن خروجی از آن‌ها از دو روش قبلی کمتر است [۳،۶].

بخش سوم شبکه هیدروژن، واحدهای مصرف‌کننده است. تعداد این واحدها در پالایشگاه‌ها و مراکز پتروشیمی زیاد است و می‌توان به واحدهایی چون هیدروکراکینگ، هیدروتزیتینگ و همپارش (ایزومری شدن) اشاره کرد [۷]. ارتباط بین این سه بخش در شبکه از این قرار است که ابتدا هیدروژن در واحد تولیدکننده با خلوص مشخصی تولید می‌شود؛ بخشی از این هیدروژن در واحدهایی که میزان خلوص مورد نیاز آن‌ها نسبتاً پایین است، به کار گرفته می‌شود و بخش دیگر آن نیز وارد واحد خالص‌سازی می‌شود. خروجی واحد خالص‌سازی یک جریان گاز محصول^۸ (با خلوص بالای هیدروژن) و یک جریان گاز پسماند^۹ (با خلوص پایین هیدروژن) است که جریان محصول در واحدهایی که به هیدروژن خالص نیاز دارند مصرف می‌شود و جریان پسماند همراه با جریان‌های خروجی از واحدهای دیگر به شبکه سوخت ارسال می‌شود. رابطه متقابل این

یک دید کلی از شبکه ایجاد می‌کند ولی محدودیت فشار گازها در این روش در نظر گرفته نمی‌شود. روش‌های ریاضی از نظر تابع هدف، بسیار جامع‌تر از روش گرافیکی است، ولی حل مسائل ریاضی غیرخطی دارای پیچیدگی‌های زیادی است. ابرساختارها نیز همه ساختارهای جریانی موجود در شبکه به‌شمار می‌آید که ساختار بهینه با توجه به تابع هدف از بین این ساختارها تعیین می‌شود؛ عیب ابرساختارها نیز این است که تعیین حالت بهینه کلی در آنها به راحتی امکان‌پذیر نیست (به خاطر وجود حالت‌های بهینه موضعی). بنابراین؛ به نظر می‌رسد روش گرافیکی با این‌که فشار جریان‌ها را در نظر نمی‌گیرد و محدودیت‌های خاص خود را دارد، ولی در عین حال روش ساده‌ای است که می‌تواند دید کلی از موازنه شبکه هیدروژن به وجود آورد. از این رو، در این مقاله به بررسی این روش و نحوه هدف‌گذاری با منحنی‌های مرکب پرداخته شده است و پتروشیمی نوری به عنوان یک مجتمع که در اکثر واحدهای آن هیدروژن مصرف می‌شود و دارای یک شبکه پیچیده هیدروژن است، بررسی شده است.

۲. پینچ هیدروژن

فناوری پینچ نخستین بار توسط لینهوف^۱ و ترنر^۲ برای تحلیل و بررسی شبکه‌های مبدل حرارتی به منظور کاهش مصرف انرژی به کار گرفته شد. به دنبال آنها، پژوهش‌های زیاد دیگری برای کمینه‌سازی تعداد مبدل‌های حرارتی و سطح مورد نیاز آنها انجام شد. فناوری پینچ تا امروز پیشرفت‌های زیادی کرده است و علاوه بر مبدل‌های حرارتی، برای بهینه‌سازی برج‌های تقطیر و کوره‌ها از آن استفاده می‌شود. به موازات پژوهش‌های انجام شده در مورد بهینه‌سازی شبکه‌های مبدل حرارتی، پژوهشی نیز در مورد استفاده از این روش به منظور بهینه‌سازی باز مصرف از منابع آب انجام شد. در سال ۱۹۹۹، آلوز^۳ و تولر^۴ [۳] روش پینچ هیدروژن را به منظور کاهش هیدروژن درخواستی، به ویژه در پالایشگاه‌ها، مورد توجه قرار دادند.

۲.۱ شبکه هیدروژن و واحدهای تشکیل‌دهنده آن

شبکه هیدروژن شامل سه بخش کلی: واحد تولیدکننده هیدروژن؛

5. Pressure Swing Adsorption (PSA)
6. Membrane
7. Cryogenic
8. Product
9. Residue

1. Linnhoff
2. Turner
3. Alvez
4. Towler

از این جداکننده، به صورت جریان تخلیه از واحد خارج می‌شود تا از تجمع مواد خنثی جلوگیری شود و بخش دیگر آن نیز به صورت جریان برگشتی با هیدروژن تازه مخلوط و وارد راکتور می‌شود. گاز ورودی به راکتور چاه هیدروژن و گاز خروجی از جداکننده چشمه هیدروژن است. برای بیان چشمه‌ها و چاه‌ها نیز از دبی مولی یا حجمی استاندارد گازها و خلوص هیدروژن در آنها استفاده می‌شود. در شکل (۲) نمایی کلی از یک واحد خالص‌سازی را مشاهده می‌کنید. با توجه به این شکل، واحد خالص‌سازی دارای یک جریان ورودی و دو جریان خروجی است که یکی از جریان‌های خروجی، محصول موردنظر و دیگری جریان پسماند است. جریان ورودی چاه و جریان‌های خروجی چشمه هیدروژن هستند [۳،۴].

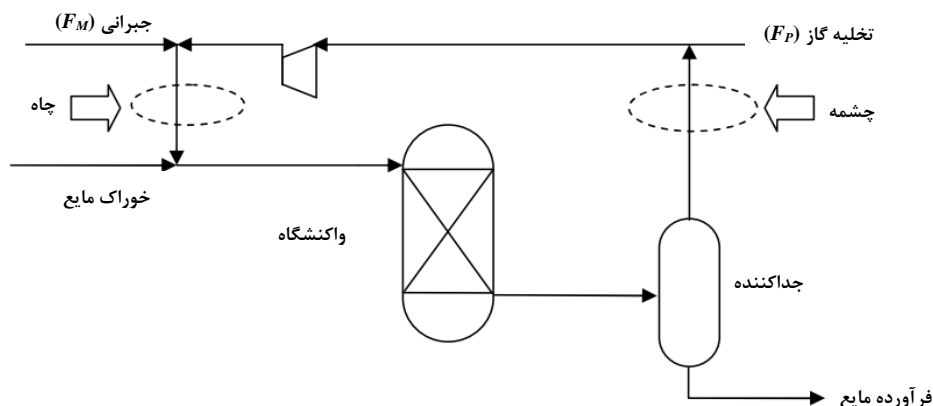
۳.۲. منحنی‌های مرکب

در پینچ هیدروژن از دو منحنی برای تحلیل شبکه استفاده می‌شود. منحنی اول که خلوص هیدروژن نام دارد، یک منحنی دوبعدی است که محور عمودی آن درصد خلوص هیدروژن و محور افقی آن دبی مولی یا حجمی گاز را نشان می‌دهد و در واقع نمایشی از دبی گازها و سطح خلوص هیدروژن در آنهاست. این منحنی شامل یک نمودار برای چاه‌ها و یک نمودار برای چشمه‌هاست. منحنی دوم، هیدروژن مازاد نام دارد؛ یک منحنی دوبعدی که محور عمودی آن خلوص هیدروژن و محور افقی آن دبی هیدروژن خالص را نشان می‌دهد، و با توجه به منحنی خلوص هیدروژن ترسیم می‌شود و در واقع نشانگر میزان هیدروژن خالص با درصد‌های خلوص متفاوت است. در شکل‌های (۳) و (۴) نمونه‌ای از این دو منحنی ترسیم شده‌اند.

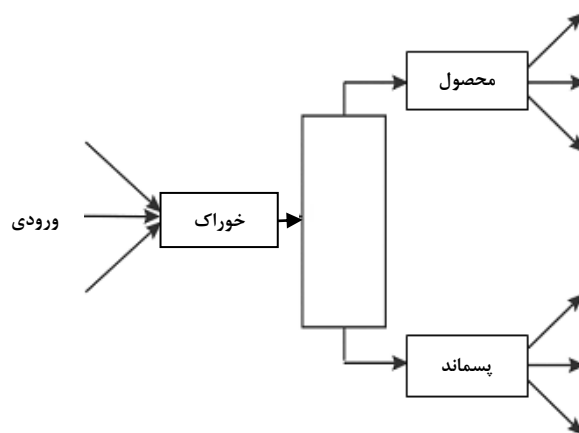
سه بخش رفتار شبکه را تعیین می‌کند و ترکیب مناسب جریان‌های بین آن‌ها و بازیافت هیدروژن از جریان‌های خروجی، مصرف هیدروژن تازه را کاهش می‌دهد.

۲.۲. تعیین چشمه‌ها و چاه‌های هیدروژن

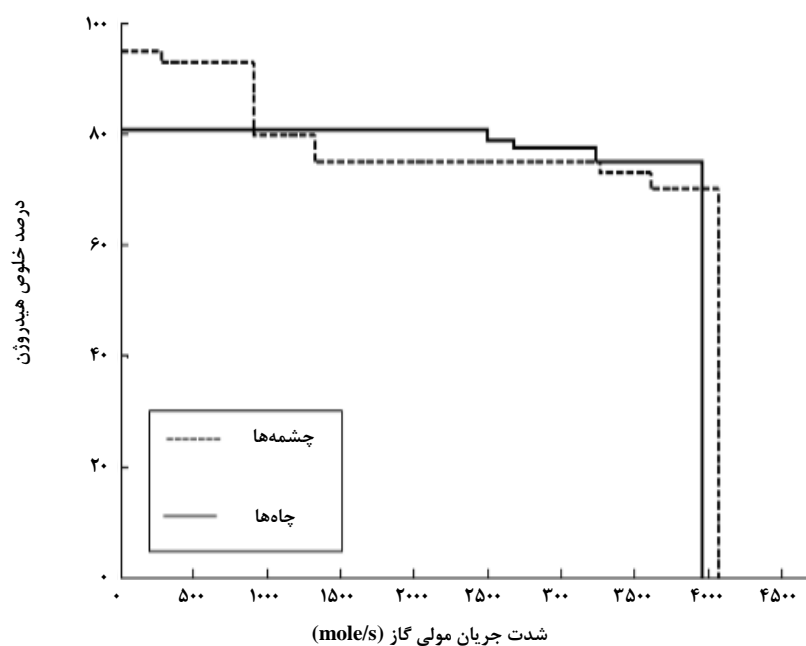
در پینچ هیدروژن، چشمه‌ها و چاه‌های هیدروژن با جریان‌های گرم و سرد در پینچ حرارت مشابه‌سازی شده‌اند و یک جریان با دبی مولی یا حجمی استاندارد گاز و درصد خلوص هیدروژن مشخص می‌شود که در پینچ حرارت به جای درصد خلوص، از دمای جریان استفاده می‌شود. در واقع، چشمه هیدروژن، جریانی است که هیدروژن را در اختیار شبکه می‌گذارد و چاه هیدروژن نیز هیدروژن را از شبکه خارج می‌کند. برای تعیین چاه‌ها و چشمه‌های هیدروژن سه بخش شبکه به طور مجزا بررسی می‌شوند. در شکل (۱)، نمایی کلی از یک واحد مصرف‌کننده هیدروژن را مشاهده می‌کنید؛ در این واحدها، خوراک مایع با جریان گاز ورودی حاوی هیدروژن، که بخشی از آن به صورت برگشتی و بخشی نیز به صورت تازه تأمین می‌شود، مخلوط و به راکتور وارد می‌شود. خوراک مایع با هیدروژن موجود در جریان گاز واکنش می‌دهد و به محصول مورد نظر تبدیل می‌شود. خروجی راکتور شامل محصول تولید شده، هیدروژنی که وارد واکنش نشده، و بخشی از خوراک است که وارد واکنش نشده است، از این رو به یک جداکننده با فشار بالا فرستاده می‌شود تا فاز مایع و گاز آن از هم جدا شوند. با توجه به این که فاز گاز خروجی دارای ترکیبات سمی گوگرددار است، به منظور حذف این ترکیبات، از یک ستون جذب استفاده می‌شود که ترکیبات گوگرددار با استفاده از آمین‌ها جذب و از ترکیب گاز حذف می‌شوند. بخشی از گاز خروجی



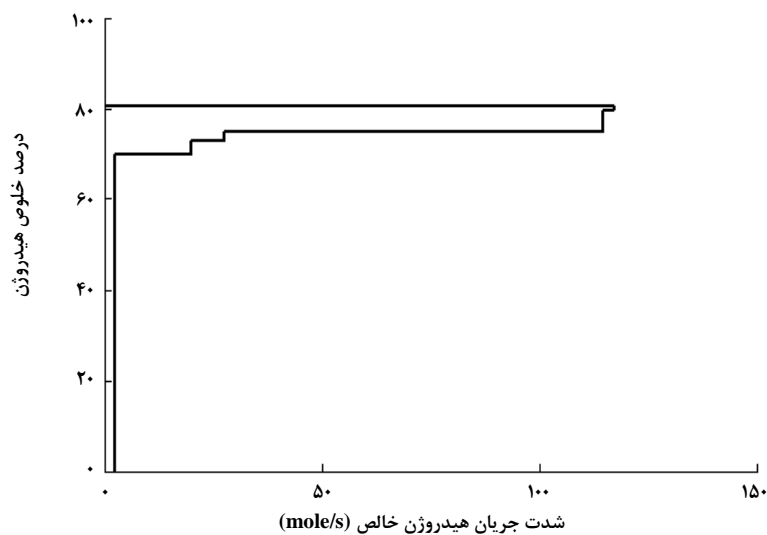
شکل ۱. نمای کلی یک واحد مصرف‌کننده هیدروژن.



شکل ۲. نمای کلی یک واحد خالص سازی هیدروژن.



شکل ۳. منحنی خلوص هیدروژن.



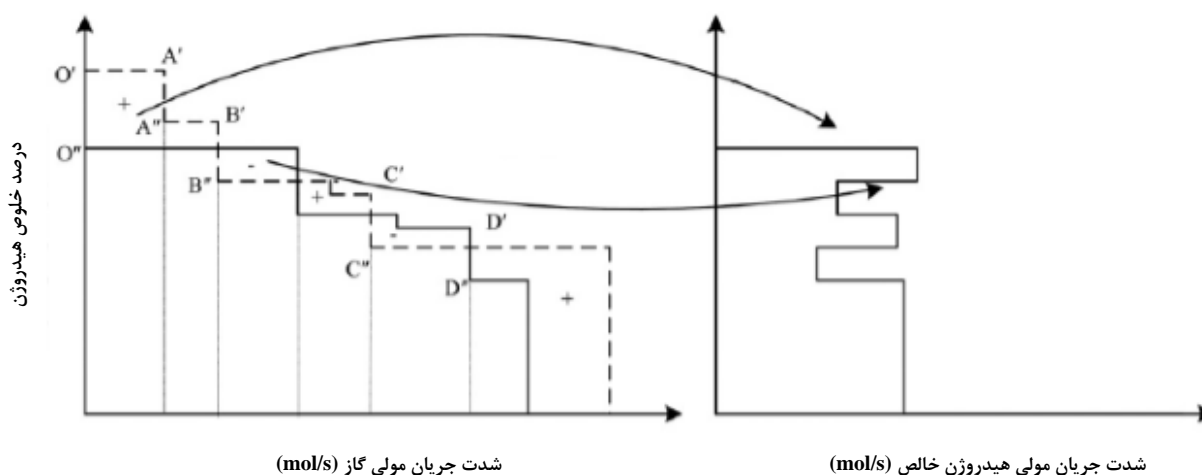
شکل ۴. منحنی هیدروژن مازاد.

منحنی خلوص هیدروژن کاهش می‌یابد و منحنی هیدروژن مازاد به سمت چپ حرکت می‌کند. این کار را تا زمانی می‌توان انجام داد که منحنی هیدروژن مازاد محور خلوص را قطع کند؛ در این صورت، نقطه تقاطع، نقطه‌ی پینچ و دبی به دست آمده، حداقل هیدروژن تازه مورد نیاز شبکه را نشان می‌دهد (شکل (۶)). بنابراین، با استفاده از فناوری پینچ و منحنی‌های مرکب، می‌توان نقطه پینچ و حداقل هیدروژن تازه مورد نیاز شبکه را به دست آورد. نقطه پینچ شبکه را به دو زیرسامانه بالای پینچ و پایین پینچ تقسیم می‌کند که بالای پینچ به صورت خالص یک چاه هیدروژن و پایین پینچ یک چشمه هیدروژن است. برای دستیابی به هدف‌گذاری مورد نظر باید هیدروژن از مرز پینچ عبور نکند، یعنی چاه‌های بالای پینچ با چشمه‌های بالای پینچ و چاه‌های پایین پینچ با چشمه‌های پایین پینچ تأمین شوند و نیز می‌توان از واحدهای خالص‌سازی استفاده کرد. این واحدها باید در مرز نقطه پینچ نصب شوند و هیدروژن را از پایین پینچ (چشمه هیدروژن) با خلوص پایین به بالای پینچ (چاه هیدروژن) با خلوص بالا انتقال دهند. به این ترتیب، می‌توان مقدار هیدروژن مصرفی را کاهش داد و به مقدار هدف‌گذاری شده دست یافت [۱۰].

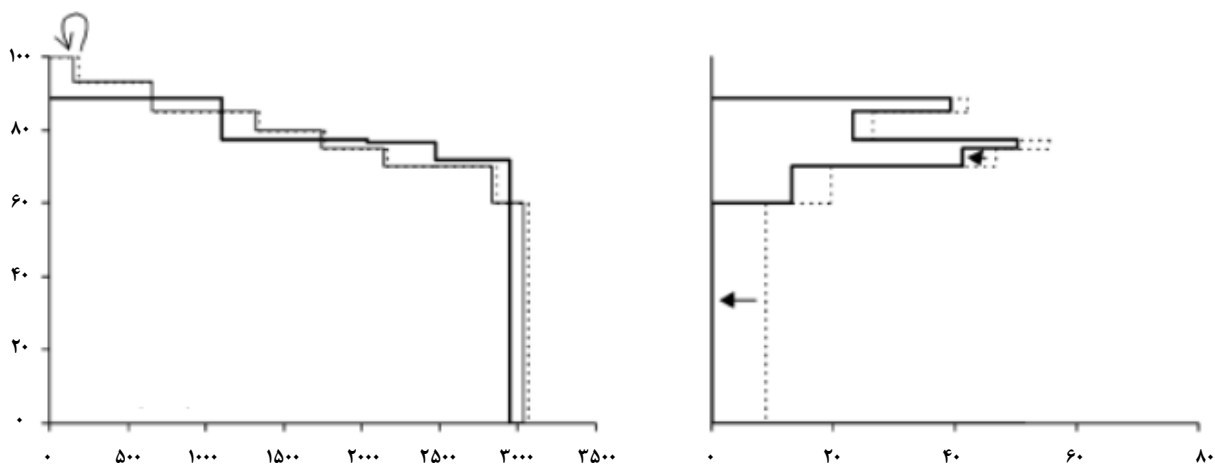
نحوه ترسیم منحنی خلوص هیدروژن از این قرار است که از درصد خلوص بالا شروع و به ازای هر چشمه یا چاه خطی افقی ترسیم می‌شود، به طوری که طول آن معادل دبی مولی گاز و عرض آن معادل درصد خلوص هیدروژن باشد. این کار برای تمامی چاه‌ها و چشمه‌ها انجام می‌شود. به این ترتیب، نمودار خلوص هیدروژن به دست می‌آید که شامل دو نمودار، یکی برای چاه‌ها و دیگری برای چشمه‌هاست. در نمودار خلوص هیدروژن (شکل (۳))، نمودار چشمه‌ها و چاه‌ها یکدیگر را در نقاطی قطع می‌کنند و بخش‌هایی محصور بین دو نمودار به وجود می‌آید. مساحت بین دو نمودار هیدروژن خالص آن بخش را نشان می‌دهد. در نمودار هیدروژن مازاد (شکل (۴))، هیدروژن خالص هر بخش بر حسب کمترین خلوص در آن بخش ترسیم می‌شود، به طوری که یک خط افقی رسم می‌کنند که عرض آن کمترین خلوص در آن بخش و طول آن مقدار هیدروژن خالص باشد. به ازای هیدروژن خالص مثبت، طول خط افزایش و به ازای هیدروژن خالص منفی، کاهش می‌یابد. نحوه ترسیم منحنی هیدروژن مازاد را در شکل (۵) مشاهده می‌کنید [۸،۹].

۴.۲ هدف‌گذاری و پیدا کردن نقطه پینچ

اگر دبی هیدروژن تازه ورودی کاهش یابد، طول نمودار چشمه‌ها در



شکل ۵. نحوه ترسیم منحنی هیدروژن مازاد از روی منحنی خلوص هیدروژن.

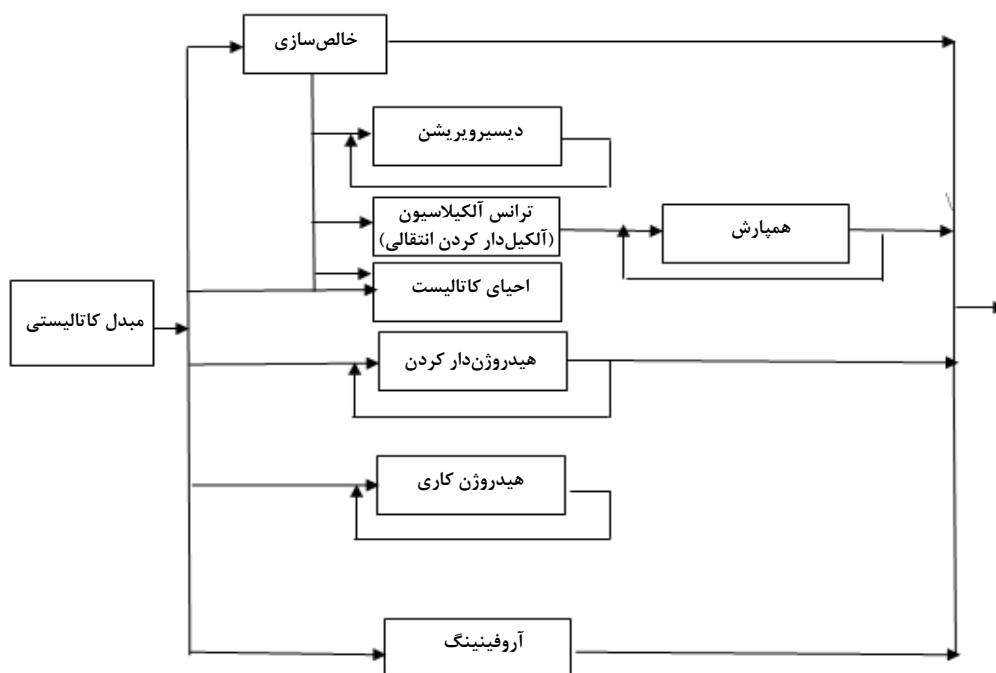


شکل ۶. نحوه هدف‌گذاری با استفاده از منحنی‌های مرکب.

۳. مورد پژوهی: شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری (برزویه)

می‌کند. شبکه هیدروژن در این مجتمع مطابق شکل (۷) است. داده‌های مربوط به واحدهای این شبکه که از نقشه‌های جریان واحد استخراج شده‌اند، در جدولهای (۱)، (۲) و (۳)، درج شده‌اند. با استفاده از این داده‌ها، می‌توان چشمه‌ها و چاه‌های هیدروژن را تعیین کرد.

شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری دارای هفت واحد مصرف‌کننده هیدروژن و یک واحد خالص‌سازی با جذب سطحی تناوب فشار است. هیدروژن مورد نیاز شبکه را واحد تبدیل کاتالیستی تأمین



شکل ۷. شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری.

جدول ۱. مشخصات واحد تولیدکننده هیدروژن در پتروشیمی نوری.

درصد خلوص مولی	دبی حداکثر (mol/s)	دبی حداقل (mol/s)	واحد مبدا کاتالیستی
۹۱/۴۵	۵۲۶/۴	۵۲۶/۴	

جدول ۲. مشخصات واحد خالص‌سازی هیدروژن در پتروشیمی نوری.

جریان پسماند		جریان محصول		جریان خوراک		واحد خالص‌سازی
درصد خلوص	شدت جریان (mol/s)	درصد خلوص	شدت جریان (mol/s)	درصد خلوص	شدت جریان (mol/s)	
۷۸	۱۳۸/۹	۹۹/۹	۲۳۱/۱	۹۱/۴۵	۳۷۰	

جدول ۳. مشخصات واحدهای مصرف‌کننده هیدروژن در پتروشیمی نوری.

جریان برگشتی	جریان تخلیه		جریان جبرانی		واحدهای مصرف‌کننده
	درصد خلوص	شدت جریان (mol/s)	درصد خلوص	شدت جریان (mol/s)	
۰	۶۰	۵۰	۹۱/۴۵	۴۰	آروفینینگ
۳۶۹/۷	۹۲/۴۲	۰	۹۱/۴۵	۳۶/۵	هیدروژن‌کاری
۱۵۷/۲	۸۵	۰/۳	۹۱/۴۵	۵۲	هیدروژن‌دار کردن
۰	۹۹/۹	۵۰	۹۶/۹۷	۸۱	احیای کاتالیست‌ها
۱۵۵۳/۳	۶۷	۷۳	۹۹/۹	۱۵۶/۵	ترانس آلکیلاسیون
۴۲۳۵/۵	۵۰/۳۱	۳۱/۲	۶۷	۷۳	همپارش
۱۳۹۹/۴	۷۹/۶۶	۰	۹۹/۹	۲۱/۶	دیسپروپریشن ^۱

با استفاده از داده‌های مندرج در جدولهای (۱)، (۲) و (۳)، و توضیحاتی که در بخش ۲-۴ ارائه شد، چاه‌ها و چشمه‌های هیدروژن در شبکه مورد مطالعه را به صورت مندرج در جدول (۴) به دست می‌آوریم.

جدول ۴. چاه‌ها و چشمه‌های هیدروژن در پتروشیمی نوری.

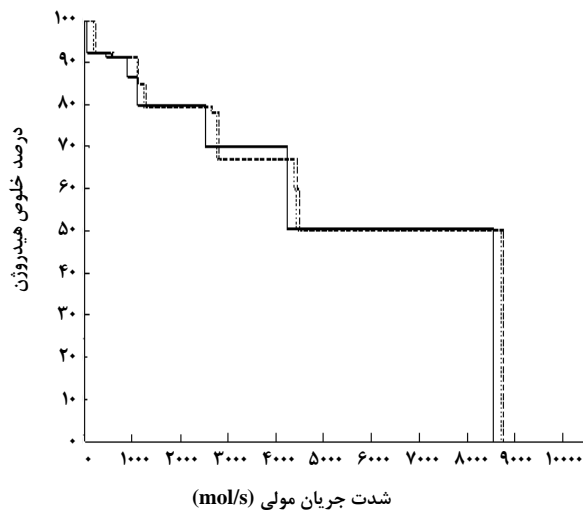
چاه‌های هیدروژن		چشمه‌های هیدروژن	
درصد خلوص	شدت جریان مولی (mol/s)	درصد خلوص	شدت جریان مولی (mol/s)
۹۲/۳۳	۴۰۶/۲	۹۱/۴۵	۵۲۴/۴
۹۹/۹	۵۳	۹۲/۴۲	۳۶۹/۷
۹۱/۴۵	۴۳۸	۷۹/۶۶	۱۳۹۹/۴
۸۶/۶۳	۲۰۹/۱	۸۵/۰۴	۱۵۷/۵
۸۰	۱۴۲۱	۶۷	۱۶۲۶/۳
۷۰	۱۷۰۹/۸	۶۰	۵۰
۵۶/۶	۴۳۰۸/۵	۵۰/۳۱	۴۲۶۶/۷
-	-	۹۹/۹	۲۳۱/۱
-	-	۷۱	۱۳۸/۹

بیشتر از آن نیز مرتبط شود؛ در حالی که این کار عملاً امکان پذیر نیست و مستلزم استفاده از کمپرسور برای تأمین فشار است. به بیانی دیگر، تعیین بهترین آرایش برای شبکه هیدروژن با کمینه‌سازی هزینه کل شبکه امکان‌پذیر است، که این امر در مطالعات بعدی بررسی خواهد شد.

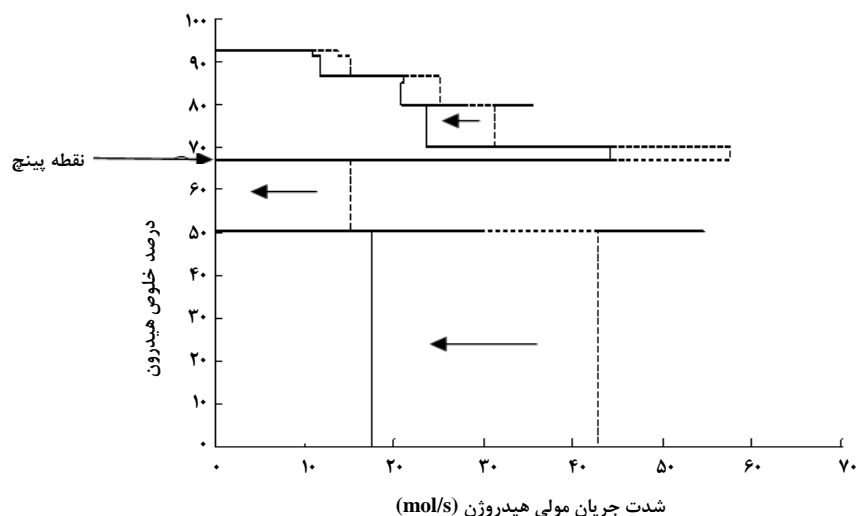
در شکل‌های (۸) و (۹)، منحنی‌های خلوص هیدروژن و هیدروژن مازاد را برای شبکه موجود در پتروشیمی نوری مشاهده می‌کنید. نتایج حاصل از هدف‌گذاری در جدول (۵) درج شده‌اند. درصد خلوص نقطه پینچ معادل ۰/۶۷ مولی و میزان هیدروژن تازه خروجی از واحد خالص‌سازی ۱۶/۵ درصد بیشتر از مقدار حداقل است.

۴. نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده از هدف‌گذاری شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری در حالت طراحی از پایه^۱، بیانگر این واقعیت است که هیدروژن ورودی تازه از طریق واحد خالص‌سازی به این شبکه، ۱۶/۵ درصد بیشتر از مقدار آرمانی است. می‌توان با کاهش دبی این جریان و خالص‌سازی جریان‌های خروجی از واحدهای مصرف‌کننده و استفاده دوباره از آن‌ها به این حالت آرمانی دست یافت. در این شبکه جریان پسماند خروجی از واحد خالص‌ساز دارای خلوص بالاتر از نقطه پینچ است و می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار گیرد. باید گفت که هدف از بهینه‌سازی شبکه هیدروژن لزوماً کمینه‌سازی هیدروژن مصرفی نیست، بلکه هدف جامع می‌تواند کمینه کردن هزینه‌های ثابت، عملیاتی و یا هزینه کل باشد. همان‌طور که گفته شد، در فناوری پینچ و منحنی‌های مرکب محدودیت‌های فشار در نظر گرفته نمی‌شود و هر چشمه می‌تواند به هر چاه با فشاری



شکل ۸. نمودار خلوص هیدروژن برای شبکه موجود در پتروشیمی نوری.



شکل ۹. نحوه هدف‌گذاری شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری.

جدول ۵. نتایج حاصل از هدف‌گذاری شبکه هیدروژن در پتروشیمی نوری.

شدت جریان گاز ارسالی به شبکه سوخت (mol/s)	شدت جریان پسماند (mol/s)	شدت جریان خالص ورودی (mol/s)	
۲۷۰/۴	۱۳۸/۹	۲۳۱/۱	شبکه موجود
۱۶۱/۱۳	۱۱۵/۹۶	۱۹۲/۹۳	هدف‌گذاری

مراجع

- [۱] ربیعی، ز. بازیافت و بهینه‌سازی هیدروژن در صنایع فرایندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۳).
- [۲] کاشی، ا. بهینه‌سازی مصرف هیدروژن در پالایشگاه‌ها به روش انتگرالیون فرایندها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، (۱۳۸۳).
- [3] Alves, J. J., Towler, G. P., "Analysis of refinery hydrogen distribution systems", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41, 5759–5769, (2002).
- [4] Hallale, N., Liu, F., "Refinery Hydrogen Management for Clean Fuels Production", *Advances in Environmental Research*, 6(1), 81-98, (2001).
- [5] Faraji, S., Sotudeh-Gharabagh, R., Mostoufi, N., "Hydrogen Recovery from Refinery Off-gases", *Journal of Applied Sciences*, 5(3), 459-464, (2005).
- [6] Khajehpour, M., Farhadi, F., Pishvaie, M. R., "Reduced superstructure solution of MINLP problem in refinery hydrogen management", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 9233–9238, (2009).
- [7] Abrardo, J. M., Khurana, V., "Hydrogen technologies to meet refiner's future needs", *Hydro carbon Process*, 74, 43-49, (2000).
- [8] Zhao, Z., Liu, G., and Feng, X., "New Graphical Method for the Integration of Hydrogen Distribution Systems", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 6512-6517, (2009).
- [9] Zhao, Z. H., Liu, G. L., Feng, X., "New graphical method for the integration of hydrogen distribution systems", *Ind. Eng. Chem. Res.* 45, 6512–6517, (2006).
- [10] Bandyopadhyay, S., "Source composite curve for waste reduction", *Chemical Engineering Journal*, 125, 99–110, (2006).