

بهینه سازی شرایط دمایی گاز خروجی از ایستگاه تقلیل فشار نیروگاه سیکل ترکیبی شهید کاوه

پوریا بهارنژاد^۱، مجتبی شیخی ازقندی^{۲*}، سید احسان شکیب^۳

۱- دانشجو، مهندسی مکانیک، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن

۲-۳ استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن

* قائن، صندوق پستی ۹۷۶۱۹۸۶۸۴۴، mojtabasheikhi@buqaen.ac.ir

چکیده

فشار گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار به منظور رسیدن به فشار مطلوب برای مصرف در واحدهای دیگر نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد. پژوهش حاضر به منظور بهینه‌سازی شرایط دمایی گاز خروجی از ایستگاه تقلیل فشار نیروگاه سیکل ترکیبی شهید کاوه قاین انجام گرفته است. بهینه‌سازی بر مبنای جلوگیری از تشکیل هیدرات‌گازی و نیز دامنه دمایی که در آن مصرف انرژی بهینه و راندمان احتراق در محل مصرف گاز مناسب است، صورت پذیرفته است. هدف از این مقاله، بهینه‌سازی کاهش مصرف سوخت، کاهش استهلاک و بهبود کارکرد هیترهای گاز، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و همچنین کاهش صدمات و خسارات و دوره‌های تعمیراتی مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور ابتدا مدلسازی هندسی دستگاه رگولاتور نیروگاه انجام گرفته و سپس با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی، تجزیه و تحلیل‌های لازم بر روی هندسه مورد نظر اعمال شده است. در نهایت با مقایسه دمای گاز خروجی در محدوده‌ی دمای استاندارد گاز طبیعی که از هندبوک‌های مهندسی استخراج شده است، امکان تنظیم دمای گاز خروجی از گرمکن در محدوده‌ی دمایی استاندارد جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات‌گازی فراهم شده است.

کلیدواژگان: بهینه‌سازی، تقلیل فشار، نیروگاه سیکل ترکیبی، دما

Optimizing output gas temperature of the pressure reducing station in Shahid Kaveh combined cycle power

Pooria Baharnejad¹, Mojtaba Sheikhi Azqandi^{1*}, Seyyed Ehsan Shakib¹

1- Department of Mechanical Engineering, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaen, Iran

* P.O.B. 9761986844 Qaen, Iran, mojtabasheikhi@buqaen.ac.ir

Received: 30 November 2016 Accepted: 14 May 2017

Abstract

The pressure of natural gas in letdown station is reduced in order to reach the desired pressure for using the other units. The present work is done to optimize the output temperature of pressure regulating station at "Shahid Kaveh of Qaen" combined cycle power plant. The reported optimization is based on prevention of the clathrate hydrates formation, the temperature domain, in which the energy consumption is optimized and combustion efficiency at gas consumption post is appropriate. The purposes of this optimization are fuel consumption reduction, better operation of gas heaters, operating costs decrease, less damage in mechanisms and construction period reduction. In order that, at first the gas regulator geometry is modeled then with Computational fluid dynamics, the simulations and analysis are done. Finally, by comparing the output gas temperature with the standard temperature range of natural gas extracted from engineering handbooks, the adjustment of the heater output temperature is possible in order to prevent the formation of gas hydrates.

Keywords: Optimization, Pressure Reduction, Combined Cycle Power Plant, Temperature



۱- مقدمه

یکی از مشکلات تولید گاز طبیعی به وجود آمدن هیدرات‌های این گاز است. هیدرات گازی ترکیبی از گازهای سبک مثل متان، اتان یا دی اکسیدکربن است که تحت یک شرایط خاص دمایی و فشاری با مولکول‌های آب ترکیب شده و ماده‌ای شبیه به یخ را تشکیل می‌دهند، که حجم زیادی از گاز را در خود جای داده است [۶، ۸]. ته‌نشین شدن هیدرات‌های گاز طبیعی باعث انسداد خطوط انتقال این گاز می‌شود [۱۵]. روند تشخیص چگونگی تشکیل هیدرات گازی به این شکل بود که دیوی به هنگام مطالعه سیستم آب و کلرین مشاهده کرد هرگاه محلول آبی کلرین تا دمای ۹ درجه سانتیگراد سرد شود، بلورهای جامدی به وجود می‌آیند [۷]. فارادی با تایید نظریات دیوی، ساختاری را برای این مولکول جدید پیش بینی کرد که شامل یک مولکول کلرین و ده مولکول آب بود [۹]. دیوید سون برای اولین بار عنوان «هیدرات گازی» را برای این ترکیب جدید به کار برد تا اینکه هایمر اشمیت برای اولین بار به این حقیقت پی برد که این هیدرات‌ها هستند که موجب گرفتگی خطوط انتقال گاز می‌شوند و این گرفتگی‌ها به علت ایجاد یخ نیست. او همچنین به این نتیجه دست یافت که هیدرات در شرایط ترمودینامیکی دما پایین و فشار بالا امکان تشکیل می‌یابد [۱۰]. برای جلوگیری از تشکیل هیدرات چهار روش کنترل فشار، کنترل دما، حذف آب از گاز و تزریق بازدارنده‌های شیمیایی، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۴]. در روش اول هر چه فشار کم باشد، امکان تشکیل هیدرات کم می‌شود. در روش دوم با گرم کردن گاز توسط هیتر، از رسیدن به نقطه تشکیل هیدرات جلوگیری می‌شود. در روش سوم آب موجود در خطوط لوله را به وسیله آب زدایی حذف می‌کنند. و در نهایت در روش چهارم اضافه شدن بازدارنده‌ها به گاز مانع تشکیل هیدرات می‌شود [۱۶]. دو گروه مهم بازدارنده‌ها، بازدارنده‌های ترمودینامیکی و سینتیکی هستند. بازدارنده‌های ترمودینامیکی بر روی تعادل فاز آبی اثر می‌گذارند و باعث می‌شوند نمودار تعادل هیدرات به سمت دمای پایین و فشار بالا جابه‌جا شوند [۱۷، ۱۸]. بازدارنده‌های سینتیکی روی سرعت تشکیل هیدرات اثر می‌گذارند و زمان تشکیل هیدرات را به تاخیر می‌اندازند [۲].

تاکنون بیشتر محققین سعی کرده‌اند با استفاده از روش چهارم از تشکیل هیدرات جلوگیری نمایند. رستگار و سعد الدین یک مدل ترمودینامیکی جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات گازی در ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی ارائه داده‌اند [۳]. فیضی و همکارانش به بررسی تشکیل هیدرات در خطوط تازه احداث شده انتقال گاز در مناطق سردسیر کشور پرداخته و پیشگیری از تشکیل هیدرات در این خطوط را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۴]. حسینی نسب و همکارانش به اندازه‌گیری و پیش بینی شرایط تشکیل هیدرات برای متان و دی اکسید کربن در حضور بازدارنده‌های ترمودینامیکی پرداخته‌اند [۱].

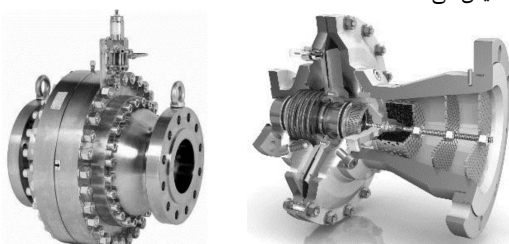
گاز طبیعی به عنوان سوختی پاک و ارزان در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سوخت با فشار حداکثر ۱۰۵۰ psi (فشار ورودی بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ psi در نوسان بوده است) و دمای ۱۰-۲۰ درجه سانتیگراد وارد ایستگاه تقلیل فشار^۱ نیروگاه شده و پس از کاهش فشار به ۳۰۰ psi و دمای بین صفر تا ۱۵ درجه سانتیگراد جهت مصرف توربین هدایت می‌گردد. در ایستگاه تقلیل فشار نیروگاه شهید کاوه، گاز با محدوده دمایی بین ۴ تا ۲۵ درجه سانتیگراد به ایستگاه وارد شده و با محدوده دمایی بین ۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد آن را ترک

می‌کند. البته این در حالی است که دمای گاز ورودی به واحد، بیشتر تابع دمای محیط بوده و در بعضی موارد مشاهده می‌شود گاز خروجی از ایستگاه گاز با دمای بالا (بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد) در ورودی واحد به زیر صفر درجه سانتیگراد نیز می‌رسد. در فرآیند تقلیل فشار در رگولاتورها و یا شیرهای فشارشکن^۲، دمای گاز افت خواهد کرد [۱۳-۱۴]. به علت این افت دما و البته فشار بالا احتمال هیدراته شدن گاز و به دنبال آن یخ زدن در منافذ و مبرهای رگولاتور وجود دارد. لذا جهت جلوگیری از این موضوع، می‌بایست گاز ورودی به رگولاتور در ابتدا (در حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد) پیش گرم شود؛ برای این منظور از مبدل حمام آب گرم^۳ یا حرارت غیر مستقیم^۴ استفاده می‌شود. این نوع مبدل‌ها معمولترین مبدل‌های گاز طبیعی در ایستگاه‌های تقلیل فشار هستند.

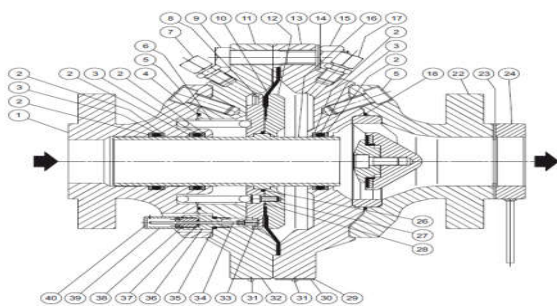
این پژوهش برای جلوگیری از هیدراته شدن گاز به بهینه‌سازی و بررسی شرایط حاکم بر دمای گاز خروجی از ایستگاه تقلیل فشار نیروگاه شهید کاوه پرداخته است.

۲- شرایط بررسی مسئله

برای بررسی مسئله مورد نظر ابتدا نمای دو بعدی از رگولاتور تقلیل فشار مدل FL را مدل کرده و محیط حل به صورت المان‌های مثلثی شبکه بندی می‌شود. پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز برای حل عددی و تحلیل مسئله [۵] پاسخ‌های مورد نیاز استخراج خواهد شد. برای اعمال شرایط مرزی در این مسئله مرز ورودی و خروجی به صورت فشار معلوم^۵ و برای دیواره خارجی لوله و هم چنین قطعات داخلی رگولاتور شرط دیواره در نظر گرفته شده است. شکل ۱ نمای بیرونی و شماتیک برش خورده رگولاتور FL را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز نمای برش خورده رگولاتور FL و اجزای داخلی آن را نمایش می‌دهد.



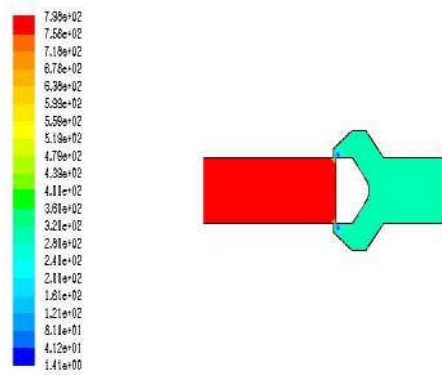
شکل ۱ نمای بیرونی و شماتیک برش خورده رگولاتور مدل FL



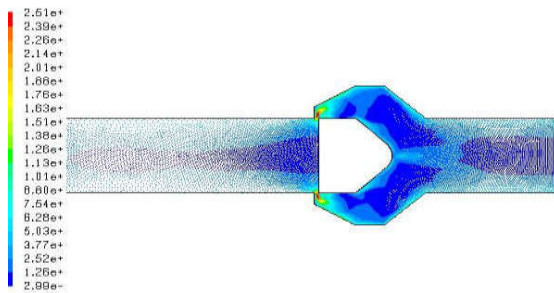
شکل ۲ نمای داخلی رگولاتور مدل FL

2 Throttle-Valve
3 Water-bath
4 Indirect fire
5 Pressure inlet & pressure outlet

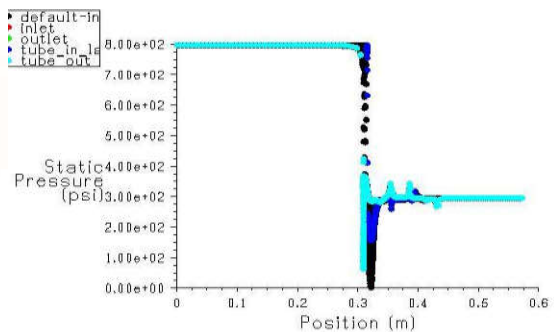
1 City Gate Station (C.G.S)



شکل ۴ نمودار کانتور فشار در دمای ورودی ۲۵ درجه سانتیگراد



شکل ۵ بردارهای سرعت سیال



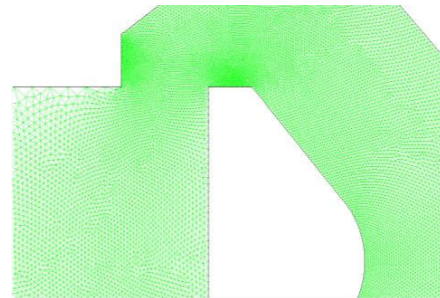
شکل ۶ نمودار خطی فشار سیال در طول مسیر رگولاتور

شکل ۷ نمودار خطی دما را در ورودی، خروجی و نیز دیواره‌های داخلی و خارجی محیط مورد بررسی، نشان می‌دهد. در این شکل نقاط سیاه رنگ دمای سیال را در نقاط مختلف محیط مورد بررسی، نشان می‌دهند و در این حالت دمای سیال تنها در حدود پنج درجه سانتیگراد کاهش یافته و از ۲۵ به حدود ۲۰ درجه سانتیگراد رسیده است.

۵- بررسی تاثیر تعیین دمای خروجی

در مرحله ی قبل برای تحلیل مسئله دمای خروجی ۲۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. هدف این بخش بررسی تاثیر تغییر دمای خروجی بر روی نتایج است. برای این منظور دمای خروجی از ۲۰ به صفر درجه تغییر داده شده است. در ادامه نتایج این تغییر نشان داده شده اند. شکل ۸ نمودار خطی

شکل ۳ مدل شبکه بندی شده رگولاتور مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به منحنی‌های موجود در شکل، شبکه بندی مثلثی به جای مربعی انتخاب شده است و همانطور که مشاهده می‌شود در این حالت قسمت‌های زاویه دار و خمیده شکل توسط المان‌های مثلثی به خوبی پوشش داده شده‌اند.



شکل ۳ مدل دو بعدی شبکه بندی شده رگولاتور

۳- بررسی استقلال از شبکه بندی

برای این منظور شبکه بندی های مثلثی به ترتیب جدول ۱ در نظر گرفته می‌شوند. پس از مدل سازی و حل مسئله برای شبکه بندی‌های مختلف دمای خروجی در حالت‌های مختلف استخراج شده و باهم مقایسه می‌شوند.

جدول ۱ یافتن شبکه بهینه

دمای خروجی سانتیگراد	۱۳/۲۳	۱۳/۲۳	۱۳/۲۳	۱۳/۲۳
تعداد المان‌های مثلثی	۵۶۲۰	۵۶۲۰	۵۶۲۰	۵۶۲۰

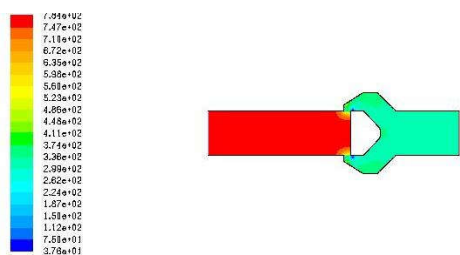
با توجه به داده‌های جدول ۱ با افزایش تعداد المان‌های مثلثی به مقادیری بیشتر از تعداد ۱۵۷۳۴ دمای خروجی تغییر نکرده و دمای خروجی همان مقدار قبلی یعنی ۱۵/۲۰ درجه سانتیگراد به دست می‌آید. بنابراین جهت صرفه جویی در زمان حل و هم چنین کاهش محاسبات، شبکه بندی با تعداد المان‌های مثلثی ۱۵۷۳۴ به عنوان شبکه بندی بهینه انتخاب می‌شود.

۴- تحلیل و بررسی ابعاد مختلف مسئله

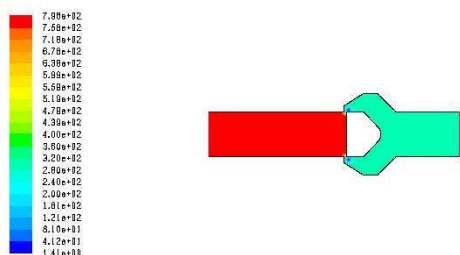
در این مسئله مقادیر ۸۰۰ psi و ۳۰۰ psi به ترتیب برای فشار ورودی و خروجی از رگولاتور و دمای محیط صفر درجه سانتیگراد فرض شده است. در ابتدا فرض می‌شود که دمای گاز ورودی به رگولاتور ۲۵ درجه سانتیگراد است. شکل ۴ نمودار فشار را برای این فرض نشان می‌دهد. در این شکل همانطور که انتظار می‌رفت، سیال از فشار ۸۰۰ psi پس از عبور از ناحیه باریک شدگی به علت افزایش سرعت، دچار افت فشار شدیدی شده و به مقدار ۳۰۰ psi کاهش یافته است. در این شکل خطوط قرمز رنگ ناحیه پر فشار و خطوط آبی رنگ ناحیه کم فشار را نشان می‌دهند. شکل ۵ بردارهای سرعت سیال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سرعت سیال بعد از ناحیه باریک شدگی به شدت افزایش یافته و به مقدار ماکزیمم خود یعنی ۲۵۰۰ m/s می‌رسد.

شکل ۶ نمودار فشار سیال را روی مرز ورودی، خروجی و دیواره‌های داخلی و خارجی نشان می‌دهد. در این شکل به وضوح مشاهده می‌شود که فشار سیال از مقدار ثابت ۸۰۰ psi پس از افت ناگهانی در موقعیت ۰/۳ m به فشار ثابت ۳۰۰ psi همان فشار مورد نظر برای خروجی رگولاتور می‌رسد.

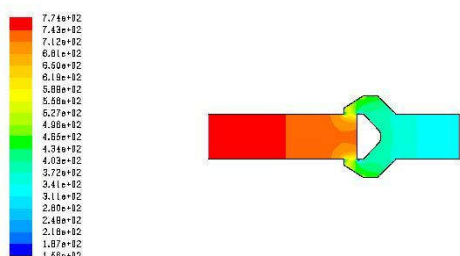




شکل ۹ نمودار کانتور فشار در حالت اول (۱۵mm)



شکل ۱۰ نمودار کانتور فشار در حالت دوم (۱۰mm)



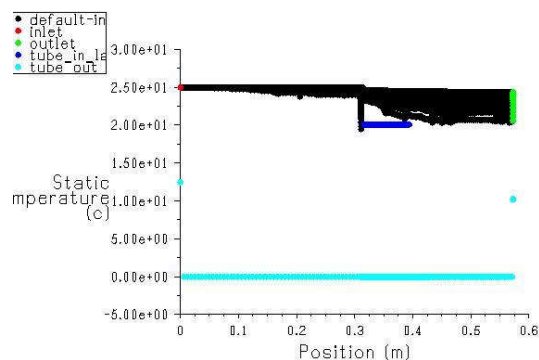
شکل ۱۱ نمودار کانتور فشار در حالت سوم (۳۰ mm)

با مقایسه شکل‌های ۹ تا ۱۱ که نشان دهنده‌ی مقادیر فشار برای حالت‌های مختلف دیواره متحرک بودند، استنباط می‌شود که با نزدیک‌تر شدن دیواره متحرک به دیواره ثابت یعنی حالتی که منفذ خروج گاز باریک می‌شود، افت فشار مورد نیاز و رسیدن به فشار مطلوب که همان ۳۰۰ psi است به خوبی فراهم می‌شود و نقاط مختلف سیال متحرک پس از عبور از ناحیه‌ی باریک شده، پس از نوسانات متعدد فشاری که در این ناحیه ایجاد می‌شود به مقدار مطلوب می‌رسد. این در حالی است که هر چه دو دیواره از هم فاصله می‌گیرند، تعداد نقاط کمتری از سیال به فشار مطلوب ۳۰۰ psi می‌رسند به این معنا که در این حالت رگولاتور افت فشار لازم را ایجاد نکرده است. البته باید در نظر داشت که تغییر فاصله دیواره متحرک توسط پیلوت که یک قطعه‌ی مکانیکی است به صورت خودکار انجام می‌پذیرد [۱۴]. نتایج فوق نیز لزوم استفاده از این قطعه و تاثیر آن در افت فشار و عملکرد صحیح رگولاتور را نشان می‌دهد. هر چه دیواره‌ها به هم نزدیکتر باشند، افت فشار بیشتر و در نتیجه افت دمای بیشتری حاصل خواهد شد [۵]. تاثیر این تغییر فاصله بر افت دما در حدود ۸-۷ درجه سانتیگراد می‌باشد یعنی در حالتی که فاصله دیواره‌ها کمتر است، دما از ۲۵ به حدود ۱۷ درجه سانتیگراد می‌رسد.

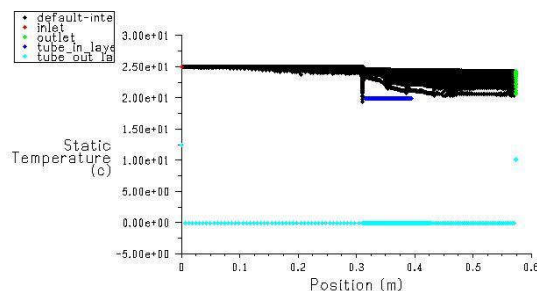
۷- تاثیر طول لوله

به منظور بررسی تاثیر طول لوله بر نتایج حاصله، طول لوله افزایش یافته و مقادیر دما و فشار برای این حالت ارائه شده است. در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ به

دما در وضعیتی که پیش فرض دمای خروجی تحلیل به صفر درجه سانتیگراد تغییر داده شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۷ نمودار خطی دما در دمای ورودی ۲۵ درجه سانتیگراد



شکل ۸ نمودار خطی دما در دمای خروجی صفر درجه سانتیگراد

با مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ و مشاهده تطابق کامل هر دو شکل اثبات می‌شود که نتایج تحلیل، کاملاً مستقل از دمای خروجی در نظر گرفته شده برای سیال می‌باشد. همانطور که مشاهده شد با در نظر گرفتن دمای خروجی صفر به جای ۲۰ درجه، دمای نقاط سیال، همان مقادیر قبلی را دارا می‌باشند. یعنی دما از ۲۵ به حدود ۲۰ درجه کاهش یافته است که دقیقاً همان نتایج حالت اول را نشان می‌دهد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که تعیین دمای خروجی تاثیری در نتایج به دست آمده از تحلیل ندارد.

۶- تحلیل فاصله منفذ خروج گاز بر افت دما و فشار

به منظور تحلیل تاثیر ناحیه باریک شدگی (فاصله دیواره متحرک تا بدنه لوله رگولاتور) که به منظور ایجاد افت فشار مورد نیاز تعبیه شده است، بر افت فشار و دما سه حالت زیر با هم مقایسه شده‌اند. در این حالت تنها فاصله بین دو دیواره تغییر می‌کند و سایر پارامترها ثابت باقی می‌مانند. برای این منظور در حالت اول فاصله ۱۵ mm، در حالت دوم ۱۰ mm و در حالت سوم ۳۰ mm در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نمودارهای کانتور فشار به ترتیب برای این سه حالت ارائه شده است.



$$(1) \quad \frac{(800-300)psi}{145psi} = 3.45$$

$$3.45 \times 5.6 \dot{c} = 19.31 \dot{c}$$

با عنایت به نتایج به دست آمده از محاسبات فوق، کاهش دما بر اثر افت فشار با نتایج پیش بینی شده از نمودار سرمایش ژول تامسون به خوبی تطابق دارد. این امر خود دلیلی بر درستی نتایج حاصله از تحلیل این مسئله می-باشد.

۸- تاثیر دمای محیط

به منظور یافتن تاثیر دمای محیط بر پاسخ مسئله، دمای محیط در بازه ۴۰ تا ۲۳- درجه سانتیگراد تغییر داده شده و نتایج این تغییرات با هم مقایسه می-شوند. در این حالت فشار ورودی ۸۰۰ psi، فشار خروجی ۳۰۰ psi و دمای ورودی سیال ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. در این وضعیت تنها پارامتری که تغییر می-کند، دمای محیط است. جهت یافتن نتیجه گیری بهتر و دقیق تر جدول دمایی به صورت جدول ۲ تشکیل شده است. این جدول مقادیر دما برای نقاطی از سیال که در نمودارهای خطی توزیع دما با رنگ سیاه مشخص شده‌اند، را نشان می-دهد. در این حالت دمای ورودی سیال ۲۵ درجه سانتیگراد فرض شده است.

طبق جدول ۲ به ازای هر ۱۰ درجه کاهش دمای محیط، نقاط سیال در حدود ۲ درجه سانتیگراد افت دما خواهند داشت. بنابراین در بررسی مسئله بهتر است حالت بحرانی دمای محیط یعنی ۲۳- درجه سانتیگراد در نظر گرفته شود.

جدول ۲ مقادیر دمای نقاط سیال در اثر تغییر دمای محیط بر حسب درجه سانتیگراد

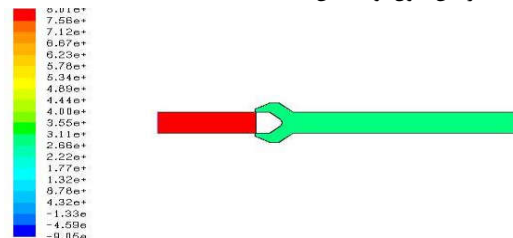
دمای نقاط سیال	دمای محیط
۲۳	۴۰
۲۲/۵	۳۰
۲۱	۲۰
۲۰	۱۰
۱۸	۰
۱۷	-۱۰
۱۵	-۲۳

۹- تاثیر دمای سیال ورودی

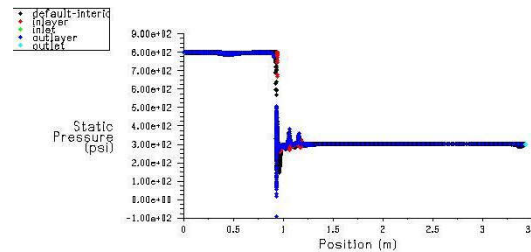
تاکنون در این مقاله تمامی نتایج به دست آمده از تحلیل مسئله، با فرض دمای سیال ورودی ۲۵ درجه سانتیگراد بوده است. در ادامه دمای ورودی سیال را در محدوده‌ی ۴۰ تا صفر درجه سانتیگراد تغییر داده و نتایج بررسی می-شوند. در این حالت دمای محیط ۲۳- درجه سانتیگراد، فشار ورودی ۸۰۰ psi، فشار خروجی ۳۰۰ psi و تنها دمای ورودی سیال تغییر می-کند. شکل-های ۱۶ تا ۱۹ به ترتیب نمودار خطی دما را برای سیال با دمای ورودی ۴۰، ۲۰، صفر و ۱۰- درجه سانتیگراد نشان می-دهند.

با مقایسه و تحلیل نمودارهای اشکال ۱۶ تا ۱۹ استنباط می-شود که با تغییر دمای ورودی از ۴۰ تا صفر درجه سانتیگراد دمای نقاط سیال مستقل از دمای ورودی رفتار کرده و در حدود ۱۰ درجه سانتیگراد افت می-کنند. اما هنگامی که دمای ورودی خیلی پایین یعنی در حدود صفر و یا پایین تر در نظر گرفته شود، میزان افت دمای سیال نیز کمتر می-شود. چرا که هر چه اختلاف دمای بین سیال و محیط بیرون کمتر باشد، انتقال حرارت نیز کمتر صورت می-گیرد [۱۱]. در این حالت با توجه به اینکه دمای محیط ۲۳- درجه

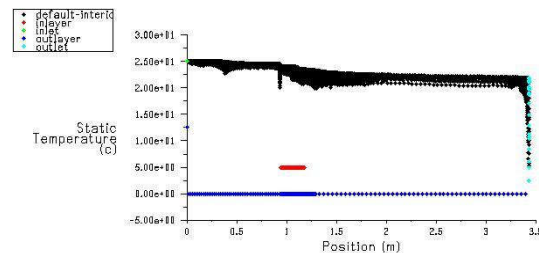
ترتیب کانتور فشار، نمودار خطی فشار، نمودار کانتور دما و نمودار خطی دما برای حالت افزایش طول لوله نشان داده شده است.



شکل ۱۲ نمودار کانتور فشار در حالت افزایش طول لوله



شکل ۱۳ نمودار خطی توزیع فشار در حالت افزایش طول لوله



شکل ۱۵ نمودار خطی توزیع دما در حالت افزایش طول لوله

شکل ۱۴ و ۱۵ به ترتیب نمودار کانتور دما و خطی توزیع دما را برای حالتی که طول لوله افزایش داده شده است، نشان می-دهند. با توجه به اطلاعات به دست آمده از نمودارهای ۱۲ تا ۱۵ می-توان دریافت که اگر در تحلیل مسئله، طول لوله در خروجی به اندازه‌ی کافی بلند در نظر گرفته شود، زمان لازم برای رسیدن به دمای پایدار که به اصطلاح توسعه یافتگی دمایی نامیده می-شود، فراهم می-گردد. این امر موجب رسیدن دمای سیال از ۲۵ درجه (که به عنوان پیش فرض در تحلیل در نظر گرفته شده است) به ۵ درجه سانتیگراد در مقطع خروجی خواهد رسید. در این حالت دمای نقاط سیال که در شکل با نقاط سیاه رنگ مشخص شده‌اند، در مقطع خروجی نسبت به مقطع ورودی در حدود ۲۰ درجه سانتیگراد افت کرده‌اند. طبق نمودار سرمایش ژول - تامسون حدود ۵/۶ درجه سانتیگراد کاهش دما در اثر هر ۱۴۵ psi کاهش فشار، در شرایط آدیاباتیک به وجود می-آید [۱۴]. با توجه به مطالب گفته شده، از آنجایی که فشار ورودی در این مسئله از ۸۰۰ psi به فشار ۳۰۰ psi افت کرده است، طبق سرمایش ژول - تامسون باید دما در حدود ۱۹ درجه سانتیگراد افت کند. به این ترتیب می-توان دریافت که بهترین مدل برای تحلیل مسئله مورد نظر حالتی است که فاصله بین دو دیواره (ناحیه باریک شدگی) کم و طول لوله در خروجی به اندازه‌ی کافی طویل باشد. طبق محاسبات، نتایج زیر به دست می-آید.



ورودی کمتر یعنی در حدود صفر و یا پایین تر وارد رگولاتور شود، در پایان فرآیند تقلیل فشار، دمای سیال در حدود پنج درجه سانتیگراد نسبت به دمای اولیه افت خواهد داشت. برای تعیین دامنه دمایی مطلوب در خروجی ایستگاه با مراجعه به هندبوک مهندسی گاز طبیعی استنباط می‌شود که علاوه بر اینکه جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات در ایستگاه درجه حرارت گاز می‌بایست همواره بالای (صفر درجه سانتیگراد) 32°F قرار داده شود، برای مصرف بهینه انرژی نیز دمای خروجی ایستگاه می‌بایست (۱۵ درجه سانتیگراد) 60°F در نظر گرفته شود. بنابراین همواره دمای خروجی از ایستگاه می‌بایست بین (صفر درجه سانتیگراد) 32°F تا (۱۵ درجه سانتیگراد) 60°F تنظیم گردد. بدیهی است که در این دامنه دمایی راندمان احتراق در محل مصرف گاز، راندمان مناسبی است [۱۲]. لازم به ذکر است که در این بررسی دمای سیال در طول محدوده‌ی کوتاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است که دمای گاز داخل لوله به شدت تابع دمای محیط بیرون بوده و مطمئناً با توجه به مسیر طولانی انتقال از ایستگاه تا واحد مصرف توربین دمای مخلوط گازی در اثر تبادل گرما با محیط به شدت افت خواهد کرد.

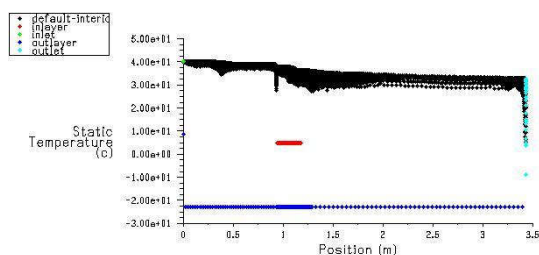
۱۱- تقدیر و تشکر

در پایان از مهندس علی پورانی و همچنین کارکنان محترم نیروگاه سیکل ترکیبی شهید کاوه قائمات به خصوص مهندسان، مهدی تقیان و حسین حسینی و تمام دوستانی که ما را در تهیه این مقاله یاری کردند، کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

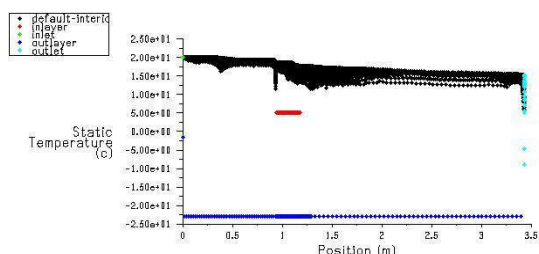
۱۲- مراجع

- [۱] حسینی نسب، مجتبی. وفایی سفتی، محسن. ایزدپناه، امیرعباس. اندازه گیری و پیش بینی شرایط تشکیل هیدرات برای متان و دی اکسید کربن در حضور بازدارنده های ترمودینامیکی، پژوهش نفت، سال ۲۱، شماره ۶۸، صفحه ۳۱-۱۹، ۱۳۹۰.
- [۲] خرسند، حمید. کیایی، نسیم. مروری بر شرایط هیدرات گازی در حضور بهبود دهنده ها و بازدارنده های ترمودینامیکی، دومین همایش ملی هیدرات گازی ایران، دانشگاه سمنان. سمنان، ۱۳۹۲.
- [۳] رستگار، سعید. سعدالدین سیف الله، ارائه یک مدل ترمودینامیکی جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات گازی در ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی، دومین همایش ملی هیدرات گازی ایران، دانشگاه سمنان. سمنان، ۱۳۹۲.
- [۴] فیضی، لیلیا. صادق مقدس، جعفر. توکلی، اکرم. تشکیل هیدرات‌های گازی در خطوط لوله انتقال گاز و پیشگیری از آنها با استفاده از بازدارنده‌های ترمودینامیکی، مجله مهندسی شیمی ایران، سال ۹، شماره ۵۳، صفحه ۶۰-۵۰، ۱۳۸۹.
- [5] Cengel, Y. A., and Boles, M. A., *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 5th ed, McGraw-Hill, 2006.
- [6] Davarnejad R., Azizi J., and Azizi J., Prediction of Gas Hydrate Formation using HYSYS Software, *International Journal of Engineerin, TRANSACTIONS C: Aspects*, Vol. 27, No. 9, pp.1325-1330, 2014.
- [7] Davy, H., The Bakeries Lecture, On Some Of the Combination of Ox muriatic Gas and Oxygen, and on the Chemical Reaction of these Principles to Inflammable Bodies, *Philosophical Transactions of the Royal Society (part I)*, Vol. 101, pp.1-35, 1811.
- [8] Dendy Sloan, E., and Carolyn Koh A., *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, third edition. CRC press, pp-156-162, 2007.
- [9] Faraday, R. A., On Fluid Chlorine, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. 113, pp. 160-165, 1823.
- [10] Hammerschmidt, E. G., Formation of Gas Hydrate in Natural Gas Transmission lines, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol.26 No.8, pp. 851-855, 1934.

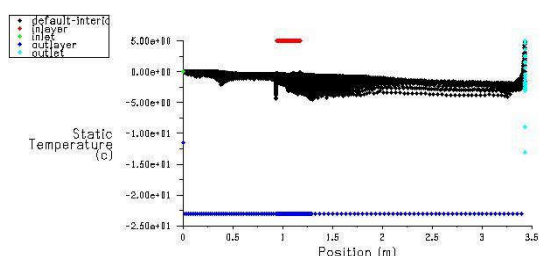
سانتیگراد در نظر گرفته شده است، لذا در دماهای پایین انتقال حرارت کمتری از سیال به محیط سرد انجام می‌گیرد، به این معنا که افت دمای سیال کمتر می‌شود.



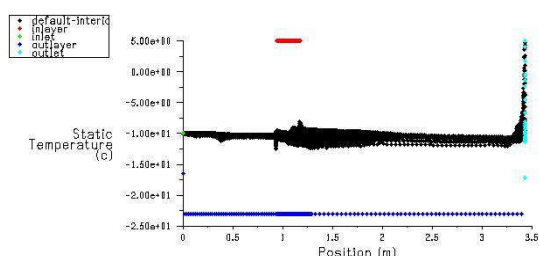
شکل ۱۶ نمودار خطی دمای سیال در دمای ورودی ۴۰ درجه سانتیگراد



شکل ۱۷ نمودار خطی دمای سیال در دمای ورودی ۲۰ درجه سانتیگراد



شکل ۱۸ نمودار خطی دمای سیال در دمای ورودی صفر درجه سانتیگراد



شکل ۱۹ نمودار خطی دمای سیال در دمای ورودی -۱۰ درجه سانتیگراد

۱۰- نتیجه گیری

طبق نتایج به دست آمده از تحلیل مسئله، در حالت نامساعد دمایی (دمای محیط 23°C - درجه سانتیگراد) در فرآیند تقلیل فشار سیال از ۸۰۰ psi به ۳۰۰ psi در حالی که سیال با دمای ورودی در محدوده‌ی ۱۰ تا 40°C درجه سانتیگراد وارد رگولاتور شود، پس از تقلیل فشار تنها در حدود ۱۰ درجه سانتیگراد از دمای اولیه آن کاسته می‌شود. اما در صورتی که سیال با دمای



- [15] Rojey, A., and Jaffret. C, *Natural gas: Production, processing, Transport*, Paris: Editions Technip, PP.321-348, 1997.
- [16] Samer, S., Belloum, M., Otmanine, Gh., Mimoun, H., and Khodja, M., Measurement and Prediction of Condensate Gas Hydrates Formation Conditions – A Study Case, *Journal of Materials Science and Engineering B*, Vol. 5, No.(1-2), pp.63-68, 2015.
- [17] Talaghat, M. R., and Esmailzadeh, F., Experimental and theoretical investigation of simple gas hydrate formation with or without presence of kinetic inhibitors in flow mini-loop apparatus. *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 279, pp.28-40, 2009.
- [18] Xiao, C., and Addharma, H., Dual function inhibitors for methane hydrate. *Chemical Engineering Science*, Vol. 86, pp.541-583, 2009.
- [11] Holman, J. P., *Heat transfer*, McGraw-Hill, New York, 10th Edition, 2009.
- [12] Katz, D. L., Kobayashi, D., Vary, J., Elenbaas, J. R., Pittman, F. H., Weinaug, Ch. F., *Handbook of Natural Gas Engineering*, pp.597-654, McGraw-Hill, 1956.
- [13] Kortekas, W.G., Peters, G.J, Joule Thomson Expansion of High Pressure-High Temperature Gas Condensate, *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 139, No. 1, pp. 205-218, 1997.
- [14] Moore, R. L., Hanlon, D. M., and Liptak B. G., *Process control*, Third edition, hand book, 1995.

