

شبیه سازی عددی انتقال گرمای مازوت در سیستم گرم کن باردیاب بخاربرای حفظ دمای عملکرد مناسب لوله های انتقال مازوت

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

استاد دیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

وحیده وکیلی پور

* یاسر ملایی برزی

چکیده

مازوت دارای لزجت بالایی است به طوری که در دمای محیط جاری نشده و برای جاری شدن بایستی گرم شود. یکی از راه های گرم کردن استفاده از ردیاب بخار است. در این روش لوله های بخار به قطر ۳/۴ یا یک اینچ به موزات لوله اصلی مازوت با باندهای مخصوص به لوله مازوت متصل می شود. به کمک تله های بخار نصب شده در فواصل مناسب، آب بخار کدانا شده جمع آوری و به مخزن کدانا شده باز می گردد تا بدین وسیله همواره بخار خشک در سیستم جاری باشد. در این مقاله شبیه سازی و تحلیل عددی انتقال گرمای مازوت در یک سیستم ردیاب بخار نصب شده روی خطوط انتقال مازوت با نرم افزار Ansys-Fluent انجام شده است. لوله مازوت در حالهای بدون عایق، عایقدار و عایق دار با سیستم ردیاب بخار مدل سازی و نتایج تحلیل عددی با هم مقایسه می گردد. اثر دمای های مختلف بخار عبوری از لوله ردیاب بر روی لزجت مازوت نیز بررسی می شود. با بررسی های انجام شده روی مدل های مورد مطالعه استنباط می شود در طول های کوتاه نیازی به اجرای ردیاب نیست. در ضمن استفاده از سیستم ردیاب به همراه عایق باعث ثابت ماندن دمای مازوت می شود این موضوع در مناطق سردسیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است، افزایش دمای بخار اثر چندان مؤثری روی عملکرد سیستم ردیاب بخار ندارد و با افزایش دمای بخار بیش از حد مقدار موردنیاز باعث افزایش میزان اتلاف حرارتی می گردد و راندمان کل سیستم بخار کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: انتقال گرمای مازوت، ردیاب بخار، لزجت، دما، فشار.

Numerical heat transfer simulation in steam tracing systems aiming to maintain the operating temperature of the Mazut supply network

V. Vakilipour

Department of Mechanical Engineering, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran

Y. Mollaei Barzi

Department of Mechanical Engineering, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran

Abstract

Heavy fuel oil (Mazut) has high viscosity that doesn't flow at the ambient temperature and should be warmed up to flow. One of the fuel warming up solutions is the steam tracing system. In this method, a steam pipe with 3/4 or 1 inch diameter is installed in parallel with Mazut pipe connected with specific bounds. The condensate is collected using steam traps installed in a proper distances and returns to the condensate tank. In this paper, the heat transfer process is simulated numerically in the steam tracing system installed on the Mazut pile lines using Ansys-Fluent commercial software. Mazut pipes are simulated in different conditions including the pipes without insulation, with insulation and with steam tracing & insulation, and then numerical results are compared to each other. In addition, the effects of different steam temperature on the Mazut viscosity are investigated. It is concluded that steam tracing system is not needed essentially for the short length pipes. Besides, using the steam tracing with the insulation will cause constant fuel oil temperature and this will be critical in cold ambient temperature. Moreover, increasing the steam temperature has little effect on the steam tracing system efficiency so that the higher steam temperature just leads to higher heat loss and reduces the overall efficiency of the system.

Keywords: Heat transfer, Mazut, Steam tracing, Viscosity, temperature, pressure.

استفاده از ردیاب ها و وجود سرما سوخت غلیظ و غلیظتر شده تا جایی که حالت روان بودن خود را از دست داده و پمپ نمودن آن غیر ممکن می شود. سیستم گرمکن به کار گرفته شده که برای کاهش غلظت مازوت به کار می رود بخار یا جریان الکتریکی می باشد که در این مقاله ردیاب به روش بخار بررسی می شود:
به دو دلیل مازوت مورد استفاده بایستی گرم شود:
(۱) افزایش قابلیت جاری شدن بخصوص در فصل زمستان (مازوت سیال با لزجت بالا می باشد).
(۲) نزدیک کردن دمای مازوت به نقطه اشتعال برای سوختن در مشعل نیروگاه

۱- مقدمه

به علت ارزانی و درسترس بودن مازوت، در بیشتر نیروگاهها در فصل زمستان سوخت مازوت جایگزین سوخت گاز مشعل ها می شود ولی استفاده از مازوت دارای محدودیت می باشد با توجه به غلظت و جستنده گی زیاد مازوت در دمای محیط، لازم است دمای آن را به میزان مشخص افزایش داده و در آن دما ثابت نگه داشت تا جریان یافتن آن امکان پذیر باشد. به این ترتیب در طول مسیر از ردیاب و عایق های مناسبی استفاده می شود تا با گرمایی که از طریق آنها حاصل می شود سوخت حالت رقیق تری پیدا کرده و قابل انتقال باشد در صورت عدم

دمای مازوت در یک یا چند مرحله توسط مکانیزم‌های مختلف به اندازه مورد نظر می‌رسد.

چون عملیات عایقکاری لوله‌ها به تنها بیان ثابت نگه داشتن دما نمی‌شود با استی شار گرمایی به لوله‌ها داد و سپس لوله‌ها را عایق نمود بنابراین جهت حفظ دمای مازوت داخل لوله‌ها در طول مسیر انتقال، از مخزن ذخیره تا محل مصرف کنده، سیستم گرمکن روی لوله‌های مازوت نصب و سپس مجموعه لوله و سیستم گرمایشی عایقکاری می‌گردد.

در این مطالعه ابتدا روش‌ها و روابط به کار برده شده در صنعت جهت طراحی حرارتی ریدیاب‌های بخار به منظور تعیین تعداد، قطر و عملکرد حرارتی آنها ارائه می‌گردد. سپس انتقال گرما و جریان سیال در یک گرم کن بخار برای یک مسیر لوله سوخت با دبی معین و دمای اولیه مشخص از طریق شیوه سازی عددی نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه تاکنون کلیه محاسبات صنعتی و علمی مربوط به ریدیاب بخار از روابط تجربی و تقریبی انتقال گرما (به کمک جداول استاندارد) انجام می‌شده است، این مطالعه برای اولین بار به شبیه سازی عددی با جزئیات کامل پرداخته و هدف دست یافتن به توزیع دقیق متغیرهای حالت می‌باشد که در محاسبات بر اساس روابط تجربی قابل دسترسی نمی‌باشد. نتایج تحلیل حاضر با توجه به دسترسی به جزئیات توزیع سرعت، فشار و دما می‌تواند جهت بهینه سازی و کاهش هزینه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۲- تاریخچه سیستم ریدیاب بخار

با توجه به افزایش روزافزون هزینه‌های ناشی از تولید و انتقال حامل‌های انرژی، طراحی و ساخت، تعییرات و نگهداری... و مقایسه انواع سیستم‌های ریدیاب، سیستم ریدیاب بخار به سیستمی کارآمد و مؤثر نسبت به انواع دیگر تبدیل شده است [۱، ۱۱]. جدول ۱ مزایا و معایب انواع سیستم‌های ریدیاب را از لحاظ هزینه و عملکرد نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه سیستم‌های ریدیاب بخار با روش‌های دیگر

ردیف	شرح	حرارتی سیال	بخار
۱	هزینه اولیه تولید سیال	زیاد	کم
۲	هزینه نصب و اجراء	زیاد	کم
۳	هزینه تعییرات و نگهداری	کم	متوجه با نوع تعییرات
۴	قابلیت کنترل دما	زیاد	متوجه
۵	محبوده دمای	متوجه	زیاد
۶	طول ریدیاب	زیاد	متوجه
۷	ایمنی و ضدانفجار بودن	خوب	بله
۸	راندمان	کم	زیاد
۹	سرعت گرمایش	کم	زیاد
۱۰	نیاز به پمپ	خوب	بله

مطالعات مختلفی در سال‌های اخیر روی عملکرد و بهینه سازی سیستم‌های ریدیاب لوله‌های سوخت انجام شده است. اریکسون و

همکاران ایشان در سال ۱۹۹۰ عملکرد ریدیاب‌های بخار و ریدیاب‌های الکترونیکی را از لحاظ فنی و هزینه بررسی کردند [۱۱]. نتیجه مطالعه آنها همان طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود برتری نسبی ریدیاب‌های بخار را نشان می‌دهد. همچنین هالت و همکارانش در سال ۲۰۱۵ عملکرد حرارتی و ضمناً قابلیت اطمینان ریدیاب‌ها را بررسی کردند [۱۲]. در سال ۲۰۱۶ نیز ترات و همکارانش تکنولوژی‌های مختلف جهت کنترل و مونیتورینگ سیستم‌های ریدیاب با هدف بهبود عملکرد، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند [۱۳]. کنترل دمای لوله و تجهیزات انتقال سوخت پالایشگاهی و نیروگاهی با استفاده از سیستم ریدیاب بخار توسط جانسون و همکاران نیز انجام شده است [۱۴].

وظایف اصلی یک سیستم ریدیاب بخار به دو بخش تقسیم می‌شود [۲]:

- (۱) جایگزین کردن انرژی حرارتی انتلاقی از سیالات فرآیندی ناشی از طولانی بودن مسیر انتقال و یا عایقکاری ضعیف لوله‌ها
- (۲) جلوگیری از توقف جریان سیالات در طول مسیر فرآیند، ناشی از انجام آنها در اقلیم‌های با دمای‌های محیطی پائین بنابراین می‌توان گفت که سیستم‌های ریدیاب بخار از عناصر کلیدی و مؤثر در سیاری از سایت‌های صنعتی جهت اطمینان از انتقال صحیح سیالات حاوی انرژی با شرایط مطلوب و موردنیاز فرآیند، به شمار می‌روند. از این‌رو باید توجه داشت که طراحی و نصب نادرست این‌گونه سیستم‌ها علاوه بر ایجاد اثرات مغرب در فرآیندهای تولیدی، می‌تواند هزینه‌های نگهداری را به مجموعه‌های صنعتی تحمیل کند. تعییرات و نگهداری را به مجموعه‌های ریدیاب بخار می‌تواند امروزه با استفاده از آخرین استانداردهای روز دنیا و المان‌های پیشرفت‌های در طراحی و ساخت، سیستم‌های ریدیاب بخار به سیستم‌هایی بهینه، قابل اطمینان و با راندمان بالا مبدل گردیده‌اند [۱۲، ۳].

انواع سیستم‌های ریدیاب بخار:

- سیستم ریدیاب بخار شکمی (داخلی)
- سیستم ریدیاب بخار ژاکتی
- سیستم ریدیاب بخار جداری

۱-۱- کلیات طراحی ریدیاب

تعداد ریدیاب به موارد زیر بستگی دارد:

- دمای سیال
- اندازه لوله

جدول ۲ قطر ریدیاب مورد نیاز را با توجه به قطر لوله اصلی فرآورده مشخص می‌کند.

جدول ۲- تعیین قطر لوله ریدیاب طبق قطر لوله فرآورده

قطر ریدیاب (اینج)	قطر لوله اصلی (اینج)
تیوب ۳/۸	۱-۱ ۱/۲ و کوچکتر
۱/۲ (لوله یا تیوب)	۴ و ۳
۱/۲ یا ۳/۴	۱۲ تا ۶
۱/۲ یا ۳/۴	۱۴ و بالاتر

$$Q_{ta} + Q_{tl} = Q_{al} + Q_{pl} \quad (1)$$

$$Q_{ta} = Q_{al} + Q_{pl} \quad (2)$$

۱-۳- محاسبه مساحت ها

ناحیه اطراف لوله فرآورده و ردیاب را نمی‌توان به صورت یک استوانه کامل در نظر گرفت محاسبه طبق هندسه واقعی مساحت اطراف لوله به صورت زیر انجام می‌گیرد [۴، ۵، ۶].

$$\infty = \cos^{-1} \left(\frac{r_1 - r_2}{r_1 + r_2} \right) \quad (3)$$

$$L_{ai} = (r_2 - r_1) \cdot \tan \infty \quad (4)$$

مساحت واقعی مورد نیاز انتقال گرما فاصله بین دو لوله فرآورده، ردیاب و عایق در طول L متر می‌باشد [۴، ۵، ۶].

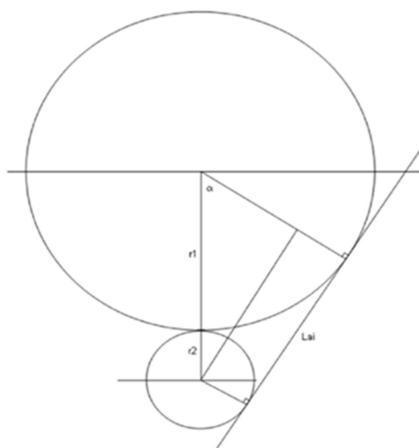
$$A_{ta} = (2\pi - 2\alpha) \times r_2 \times L \times n \quad (5)$$

$$A_{ta} = 2(\pi - \alpha) \times r_2 \times L \times n \quad (6)$$

L : طول لوله

N : تعداد ردیاب

r_i : شعاع ردیاب



شکل ۲- طرحواره برای محاسبه Lai

مساحت تماس ردیاب با عایق از رابطه زیر بدست می‌آید [۴، ۵]:

$$A_{al} = 2n \times L \times L_{ai} \quad (7)$$

سطح بیرونی عایق از رابطه (۸) بدست می‌آید:

طول ردیاب با فشار بخار ۴/۲ بار به شرح جدول ۳ می‌باشد اگر فشار افزایش یابد طول نیز بیشتر و اگر فشار کاهش یابد طول نیز کمتر می‌گردد [۱۴، ۳]. سایز هیدر مربوط به ردیاب‌ها طبق جدول ۴ مشخص می‌گردد [۳].

جدول ۳- بیشینه طول ردیاب

ردیاب	ماکریم طول
۱/۲ اینچ و یا کمتر	۵۰ متر
۱۲/۴ اینچ و بالاتر	۱۰۰ متر

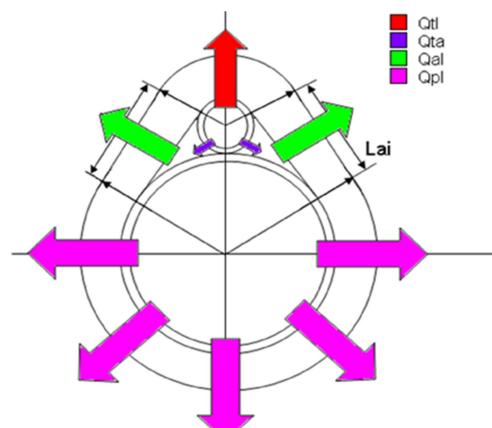
جدول ۴- اندازه

ردیاب	تعداد اتصالات یدکی برای ردیاب	تعداد ردیاب		اندازه بخار Header بخار
		۱۲ اینچ	۳/۴ اینچ	
--	۱	۲-۱	۱	۱
۱	۳	۵-۳	۱ ۱/۲	
۱	۶-۴	۱۵-۶	۲	
۲	۱۲-۷	۳۰-۱۶	۳	

۳- معادلات و روابط تجربی برای محاسبه ردیاب بخار

مسیرهای و خلاف انتقال گرما در سیستم گرم کن لوله مازوت طبق شکل ۱ به شرح زیر می‌باشد:

- مجموع انتقال گرما از لوله مازوت و عایق به محیط (Q_{pl})
- مجموع انتقال گرما از هوای محبوس (مابین عایق و لوله-های مازوت و بخار و عایق به محیط) (Q_{al})
- انتقال گرما از لوله بخار به لوله مازوت (Q_{ta})
- مجموع انتقال گرما از لوله مازوت و عایق به محیط (Q_{ll})



شکل ۱- انتقال گرما سیستم ردیاب بخار جداری

مقدار انتقال گرما ردیاب‌ها معادل اتلاف گرمائی از لوله مازوت، لوله بخار و عایق می‌باشد [۴، ۵، ۶].

$$A_{pl} = (2\pi - (1.25 + 0.75n)\alpha) \times L \times \left(\frac{r_{ins} - r_1}{\ln\left(\frac{r_{ins}}{r_1}\right)} \right) \quad (8)$$

ضریب اصلاح زاویه متناظر لوله فرآورده و هوای محیط وقتی که بیشتر از یک ردیاب استفاده شود. از سویی دیگر وقتی تعداد ردیابها بیشتر از سه شود مساحت حدود صفر کاهش می‌یابد.

مجموع انتقال گرما از هوای محبوس (مابین عایق و لوله های مازوت و بخار) و عایق به محیط از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱، ۴، ۵] :

$$Q_{al} = \frac{A_{al}(T_{ann} - T_{surf})}{\left[\frac{t_{ins}}{k_{ins}} + \frac{1}{h_0} \right]} \quad (15)$$

$$A_{al} = 2n \times L \times L_{ai} \quad (16)$$

$$h_0 = \frac{q}{A_{log\ mean}(T_{surf} - T_{amb})} \quad (17)$$

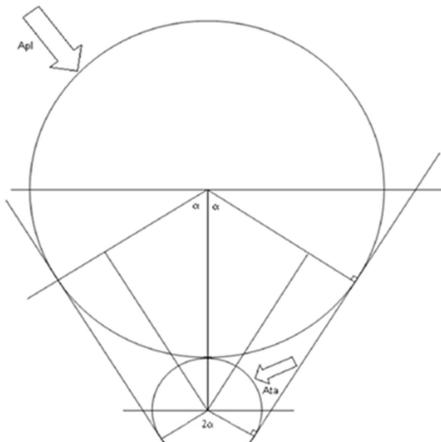
$$q = \left[\begin{array}{l} \left(0.548 \varepsilon \left[\left(\frac{T_{surf}}{55.55} \right)^4 - \left(\frac{T_{amb.}}{55.55} \right)^4 \right] \right) + \\ \left[\left(1.957 \left(|T_{surf} - T_{amb.}| \right)^{\frac{5}{4}} \right) \times \left(\sqrt{2.85 V_m + 1} \right) \right] \end{array} \right] \quad (18)$$

$$T_{surf_low} = T_p - q \left[\frac{r_{ins} \ln\left(\frac{r_{ins}}{r_1}\right)}{k_{ins}} \right] \quad (19)$$

$$T_{surf_hottest} = T_{st} - q \left[\frac{(r_2 + t_{ins}) \ln\left(\frac{r_2 + t_{ins}}{r_2}\right)}{k_{ins}} \right] \quad (20)$$

وات بر متر مربع

فرض می‌شود ۸۰ درصد دمای سطح Tsurf-low (سمت لوله مازوت) و ۲۰ درصد باقیمانده Tsurf-hottest (سمت لوله بخار) می‌باشد. مجموع انتقال گرما از لوله مازوت و عایق به محیط از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود [۱۱، ۶، ۵، ۴] :



شکل ۳- طرحواره هندسه مدل

۲-۳- محاسبه انتقال گرما

انتقال گرما اطراف یک سطح طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (9)$$

انتقال گرما از لوله بخار به لوله مازوت از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱، ۶، ۵، ۴] :

$$Q_{ta} = h_c \times A_{ta} \times (T_s - T_{ann}) \quad (10)$$

$$A_{ta} = 2(\pi - \alpha) \times r_2 \times L \times n \quad (11)$$

$$h_c = 1.18 \left(\frac{T_s - T_{ann}}{2r_2} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

$$T_{ann} = \frac{T_s + T_p + T_{ins}}{3} \quad (13)$$

$$T_{ins} = 0.5 T_{Surf} + 0.5 T_p + 0.05 T_s \quad (14)$$

۲-۴- خواص مواد

یکی از مهم ترین مراحل مدل سازی، تعریف مواد و خواص فیزیکی می باشد. خصوصیات مواد در قسمت Material تعريف می گردد. این خواص عبارتند از: چگالی، لزجت، ظرفیت گرمائی، رسانایی الکتریکی و خواص ممکن است به دما وابسته گردد. این وابستگی به صورت یکتابع می باشد که ممکن است به صورت چند جمله ای و یا خطی تعريف شده باشد.

در این مطالعه مازوت به عنوان سیال داخل لوله سوخت، بخار آب به عنوان سیال در لوله ردیاب و هوا به صورت ساکن در فاصله بین عایق و لوله سوخت در نظر گرفته شد. ضمنا خواص مازوت از جمله لزجت آن متغیر با دما با یکتابع مشخص اعمال شد. عایق حرارتی دور لوله از جنس پشم سنگ و جنس لوله ها فولادی با خواص پیش فرض در نظر گرفته شد.
ضمنا با توجه به سرعت پایین و لزجت بالای مازوت رژیم جريان در مدل عددی لایه ای فرض شد.

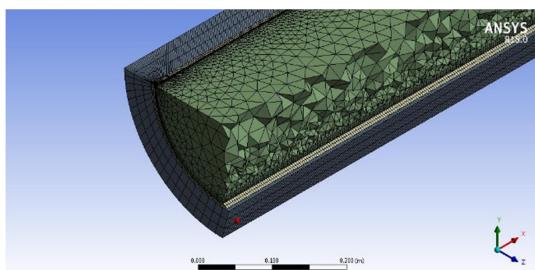
۳-۴- شبکه بندی

تمام اطلاعات مربوط به شبکه در فایل شبکه ذخیره می شود. این اطلاعات عبارت است از مختصات گرهها، اتصالات و تعريف نواحي داخل لوله مازوت و بخار سیال عبوری با دیواره لوله (جامد) در تماس است. جایی که سیال با جامد در تماس است دستور Inflation انتخاب می شود. در این صورت دو نوع شبکه تولید می گردد:

- (۱) شبکه لایه مرزی
- (۲) شبکه داخلی مدل

شبکه های لایه مرزی بصورت مستطیل شکل و بقیه شبکه ها چهار وجهی تثرا می باشد.
هوای محبوس بین لوله های بخار مازوت و عایق چون در جريان نیست دستور Edge sizing به کار برده می شود. بخش های جامد جداگارهای لوله ها و عایق نیز دستور Edge sizing به کار برده می شود.
برای بخش های جامد که فقط انتقال گرمای رسانشی در آن حل می شود انتخاب سه المان دقت کافی دارد.

در انتهای اينکه مدل به صورت مرتب و منظم شبکه بندی گردد دستور Mapped face machine استفاده می گردد. از طرفی شبکه از نوع Conformal می باشد. گره ها در محل اتصال روی هم قرار می گیرد. گره از جسم جامد روی گره جسم سیال قرار می گیرد. در نهایت شبکه بندی انجام می شود.



شکل ۵- شبکه بندی بخش مازوت

$$Q_{pl} = \frac{L(T_p - T_{amb})(2\pi - (1.25 + 0.75n)\alpha)}{\left[\frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_{1(inner)}}\right)}{k_w} + \frac{\ln\left(\frac{r_{ins}}{r_1}\right)}{k_{ins}} + \frac{1}{h_0 r_{ins}} \right]} \quad (21)$$

۴- مدل سازی جريان مازوت و بخار در سیستم

ردیاب

فرآیند شبیه سازی جريان و انتقال گرما شامل سه مرحله است [۸]:

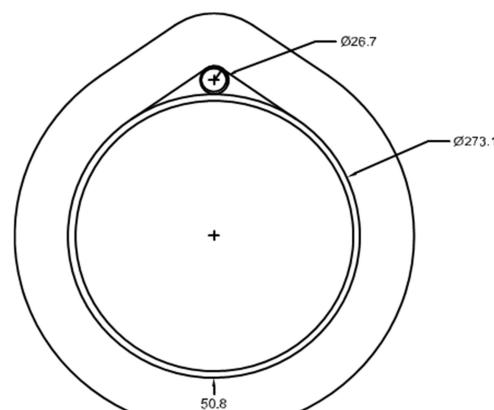
- (۱) آماده سازی جهت پردازش
- (۲) پردازش
- (۳) نتایج

همچنین آماده سازی جهت پردازش شامل بخش های زیر می باشد:

- (۱) مدل هندسی
- (۲) شبکه بندی
- (۳) نام گذاری

۱-۴- مدل هندسی و ابعاد

مدل هندسی مورد بررسی در این مطالعه شامل لوله ۱۰ اینچ به قطر خارجی ۲۷۳.۱ میلیمتر و ضخامت لوله ۶.۳۵ میلیمتر برای عبور مازوت، لوله ۳/۴ اینچ به قطر خارجی ۲۶.۷ میلیمتر و ضخامت ۳.۹ میلیمتر برای عبور بخار و عایق پشم سنگ به ضخامت ۵۰.۸ میلیمتر به صورت نشان داده شده در شکل ۴ می باشد. طول مدل ۱۰ متر در نظر گرفته شده است.



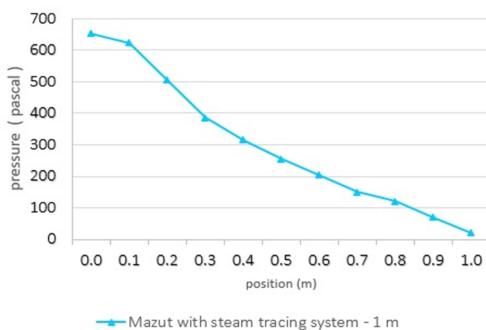
شکل ۴- مدل هندسی پروژه

ابتدا مدل سه بعدی مسئله با نرم افزار CATIA تهیه می گردد. چون شکل متقابن می باشد می توان از صفحه تقارن شکل را نصف کرد.

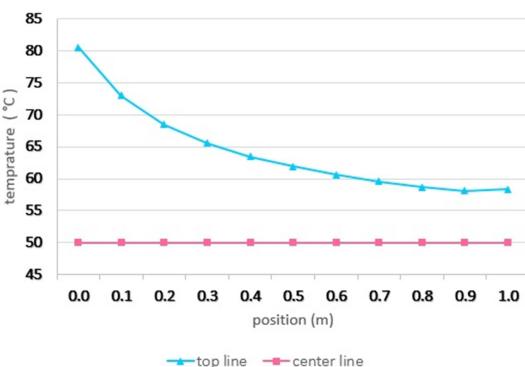
- ۲) بررسی نتایج لوله مازوت عایقدار به همراه ریدیاب بخار به طول ۵۰ متری
- ۳) بررسی اثرات وجود سیستم ریدیاب نسبت به حالت بدون ریدیاب
- ۴) بررسی تأثیر دمای بخار بر عملکرد سیستم ریدیاب

۱-۵- سیستم گرمایش بخار و مازوت به طول ۱ متر

با توجه به محدودیت زمان و حجم محاسبات عددی ابتداء از این بخش نتایج مدلسازی برای لوله مازوت به طول ۱ متر همراه با ریدیاب بخار و عایق بررسی و ارائه شده است. شکل ۷ تغییرات فشار در طول مسیر لوله مازوت را نشان می‌دهد. بر اساس آنچه در شکل مشاهده شود، با توجه به لزجت بالای مازوت، افت فشار زیادی در حدود ۰/۷ کیلوپاسکال در طول ۱ متر محاسبه شده است. بدیهی است با افزایش طول لوله افت فشار به صورت تقریباً خطی افزایش خواهد یافت. همچنین شکل ۸ تغییرات دما در خط بالای لوله مازوت (محل تماس با لوله بخار) با طی مسیر را که نحوه تاثیر گرمایش بخار است را نمایش می‌دهد. نتایج به دست آمده کاهش دمای حدود ۳۵ درجه ای را در طول ۱ متر نسبت به دمای ورودی مازوت نشان می‌دهد که پس از طی طول لوله دما به مقدار تعادل حدود ۶۰ درجه رسیده و روند کاهش دما به دلیل گرمایش بخار ادامه پیدا نکرده است.

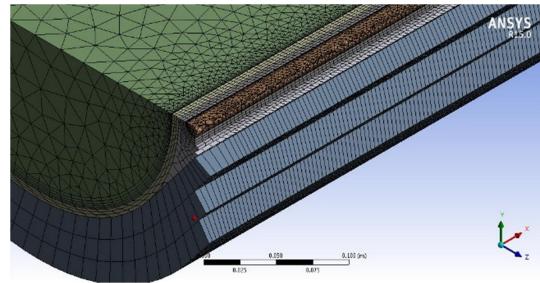


شکل ۷- نمودار فشار- مکان در خط مرکزی مازوت



شکل ۸- نمودار دما- مکان در خط مرکزی و خط بالای لوله مازوت

- ۲-۵- سیستم گرمایش بخار و مازوت به طول ۱۰ متر
- با توجه به نتایج به دست آمده از لوله سوخت به طول ۱ متر، در این بخش طول بیشتری از لوله مازوت به همراه ریدیاب بخار به طول یک متری



شکل ۶- شبکه بندی بخش بخار

۴-۴- شرایط مرزی

برای تعیین شرایط مرزی باید جایی که سیال دامنه حل را ترک یا به آن وارد می‌شود، تعیین گردد. در مرزهای ورودی باید مقادیر سرعت، فشار یا دما تعیین گردد.

در این مقاله شرایط مرزی به شرح زیر می‌باشد:

- (۱) شرایط محیطی بیرون عایق:
 - ضریب انتقال حرارتی (10) (h) وات بر مترمربع کلوین
 - دمای محیط : ۲ درجه سلسیوس (۲۷۵/۱۵ کلوین)
 - سیال مازوت- ورودی :
 - سرعت ورودی : ۱.۵۷ متربرثانیه
 - دمای کاری : ۵۰ درجه سلسیوس (۳۲۵/۱۵ کلوین) - سیال مازوت- خروجی :
 - فشار خروجی : اتمسفر
 - سیال بخار- ورودی :
 - سرعت ورودی : ۱/۱ متربرثانیه
 - دمای کاری : ۲۵۰ درجه سلسیوس (۵۲۵/۱۵ کلوین) - سیال بخار- خروجی :
 - فشار خروجی : اتمسفر

۵- نتایج و بحث

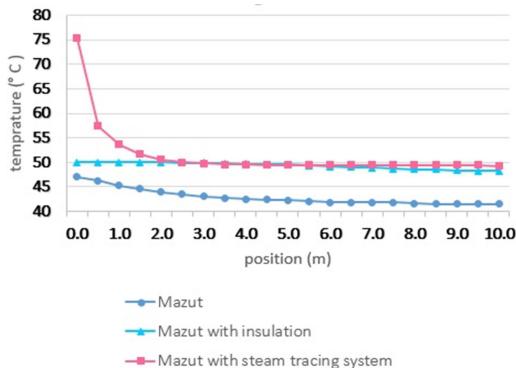
با استفاده از مدل توضیح داده شده در بخش های قبل و با شرایط فیزیکی و مرزی مشخص شده مسأله در نرم افزار Ansys شبیه سازی شد. جهت بررسی صحت نتایج و تطابق آن با روابط تجربی (که در صنعت برای طراحی ریدیابها به کار می‌رود، روابط ۱۵ و ۲۱) افت حرارتی مدل شبیه سازی با روابط تجربی مقایسه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده برای طول ۱ متر از لوله، افت حرارتی به محیط با استفاده از رابطه ۱۵ روابط تجربی ۱۶۶ وات و در مدل شبیه سازی حدود ۱۸ وات می‌باشد. بر این اساس، حدود ۸ درصد اختلاف مشاهده می‌گردد که به نظر می‌رسد مربوط به ساده سازی ها و تقریب های انجام شده در روابط تجربی می‌باشد. در شبیه سازی با توجه به لحاظ شدن جزئیات جريان و انتقال گرمایش، محاسبات با خطای کمتری نسبت به روابط تجربی صورت می‌گیرند.

با توجه به مطالعه فوق، در این مطالعه نتایج تحلیل سیستم ریدیاب در حالت های زیر ارائه می‌شود:

- (۱) بررسی نتایج لوله مازوت عایقدار به همراه ریدیاب بخار به طول یک متری

لوله مازوت شامل ردیاب، لوله مازوت و عایق مدل شده است. دمای مازوت ۵۰ درجه سلسیوس و دمای بخار ۲۵۰ درجه سلسیوس و دمای محیط بیرون عایق ۲ درجه سلسیوس مدل شده است.

بازنگشته به شکل ۱۱ مشخص می‌گردد لوله در حالت بدون عایق حرارت زیادی از دست داده و دمای آن از دما ۵۰ درجه سلسیوس به حدود ۴۱/۵ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد.



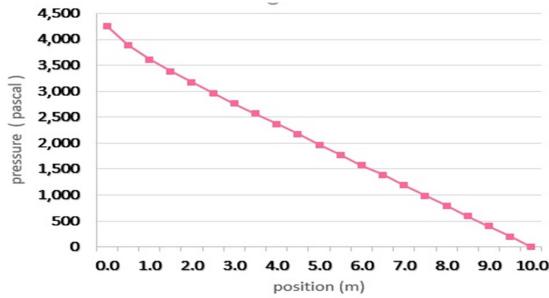
شکل ۱۱- نمودار مقایسه ای مکان - دما خط بالایی لوله مازوت بدون عایق، با عایق و با عایق و ردیاب

در حالت عایقدار میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد ولی دمای مازوت به کمتر از میزان قابل قبول (۴۸ درجه) می‌رسد. حداقل دما ۵ درجه سلسیوس و حداقل دما در ۴۸ درجه سلسیوس می‌باشد. در حالت سوم لوله مازوت با عایق و ردیاب دما در ۵۰ درجه ثابت مانده و میزان انتقال حرارت نسبت به حالت بدون عایق کمتر است. بیشینه دما به دلیل وجود بخار ابتدا به ۷۵ درجه سلسیوس رسیده و نهایتاً در ۴۹/۳ درجه سلسیوس ثابت می‌ماند.

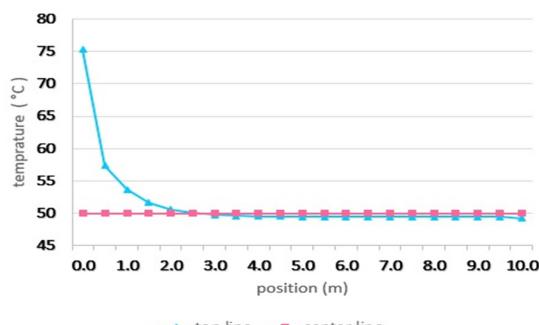
۴-۵- بررسی تأثیر دمای بخار بر عملکرد سیستم ردیاب
در این مرحله حل مدل بر مبنای دمایهای مختلف بخار شامل ۱۵۰، ۱۵۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس صورت گرفت. نمودار تغییر دما در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. در هر ۵ مدل، روند کاهشی دما مشابه هم می‌باشد. در بخار با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس، بیشترین دمای مازوت ۵۵ درجه سلسیوس می‌باشد در سایر مدل‌های بخار بیشترین دمای مازوت از ۷۰ تا ۸۵ درجه سلسیوس متغیر می‌باشد و در طول لوله دمای مازوت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس ثابت می‌ماند. با افزایش دمای بخار تنها اثرافزاری بخار افزایش می‌یابد و روی عملکرد سیستم تغییر مؤثری ایجاد نمی‌کند.

شرایط ذکر شده قبل بررسی شده است. شکل ۹ تغییرات فشار در طول مسیر لوله مازوت در خط مرکزی آن را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۹ فشار در طول مسیر لوله در حال کاهش می‌باشد. همانطور که قبل اشاره شد، چون سیال مازوت دارای لزجت بالا می‌باشد، افت فشار زیادی در حدود ۴ کیلوپاسکال دارا است. ضمناً نتایج بدست آمده افت فشار حدود ۷ کیلوپاسکال در شکل ۷ را نیز تایید می‌کند.

شکل ۱۰ تغییرات دما در خط بالایی لوله مازوت (محل تماس با لوله بخار) در طول لوله را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده ثابتیت دمای مازوت را پس از طول حدود ۱ متر تصریح می‌کند. این ثابتیت دما به خاطر تاثیر گرمایش مسیر بخار می‌باشد که از سرمایش بیشتر مازوت جلوگیری کرده و تعادل حرارتی بعد از حدود ۱ متری ورودی برقرار می‌شود.



شکل ۹- نمودار فشار - مکان در خط مرکزی مازوت



شکل ۱۰- نمودار دما-مکان در خط مرکزی و خط بالایی لوله مازوت

۳-۵- بررسی اثرات وجود سیستم ردیاب نسبت به حالت بدون ردیاب

برای بررسی اثرات وجود سیستم ردیاب نسبت به حالت بدون وجود آن، در این بخش لوله ده اینچ مازوت به طول ده متر در سه حالت مدل شده و نتایج آن ارائه شده است.

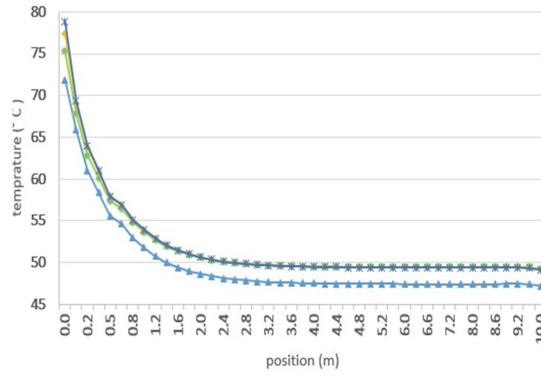
(۱) مدل لوله مازوت بدون عایق و ردیاب: لوله مازوت به تنها بیانی با

دمای سیال ۵۰ درجه سلسیوس، دمای هوای بیرون لوله ۲ درجه سلسیوس مدل شده است.

(۲) مدل لوله مازوت با عایق و بدون ردیاب: لوله مازوت به همراه عایق پشم سنگ با دمای سیال ۵۰ درجه سلسیوس، دمای هوای بیرون لوله ۲ درجه سلسیوس مدل شده است.

(۳) مدل لوله مازوت با عایق و به همراه ردیاب: سیستم ردیاب

- [6] Fisch E., Winterizing process plants. *Chemical Engineering*, pp. 128-143, 1984.
- [7] Kenny T. M., Steam tracing: do it right. *Chemical Engineering Progress*, Vol. 13, pp. 40-44, 1992.
- [8] توحیدی ا., غفاری قهروندی ه., راهنمای جامع ANSYS FLUENT مؤسسه فرهنگی هنری دبیاگران تهران، تهران، ۱۳۹۴.
- [9] قهربانی ع., مهندسی سیستم بخار. انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.
- [10] قهربانی ع., بخار سوپرھیت یا بخار اشتعال. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش. ۱۳۹۰، ۳۸-۳۳، ۱۳۷.
- [11] Erickson C. J., Lyons J. D., A study of steam vs. electrical pipeline heating costs on a typical petro-chemical plant project. In *IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC)*, Calgary, Alberta, Canada, 1990.
- [12] Hulett R. H., Johnson B. C., Heat tracing performance and reliability, the rest of the story. In *44th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Banff, Alta., Canada, 2015.
- [13] Thorat S., Thibodeau C., Leveraging control and monitoring technologies to improve reliability and reduce total installed costs (TIC) of electrical trace heating systems in petrochemical facilities. In *IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference (PCIC)*, Houston, TX, USA, 2016.
- [14] Johnson B., Barth R., House P., Controlling pipe and equipment operating temperatures with trace heating systems. In *PCIC Europe Conference*, Istanbul, Turkey, 2013.



شکل ۱۲- نمودار مکان - دما خط بالایی لوله مازوت در دماهای مختلف بخار

۶- نتیجه گیری

با بررسی های انجام شده روی مدل های مورد مطالعه موارد زیر قابل استنباط می باشد:

- ۱) با مقایسه روند کاهش دما در لوله مازوت در طول های یک متری و ده متری می توان متوجه شد در لوله ای به طول ۵۰ متر دمای مازوت کمتر از دمای ثابت موردنظر می شود. کنترل عملکرد سیستم ردیاب بخار و تله های بخار در کل مجموعه لوله های فرآیندی، بخار و آب کنترل از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
- ۲) استفاده از سیستم ردیاب بخار به همراه عایق باعث ثابت ماندن دمای مازوت در مقدار مشخص می شود که این موضوع در شرایط آب و هوایی سردسیر کاربری بیشتری دارد. شرایط کنترل عملکرد سیستم بخار و ردیاب و مجموعه فرآیندی بایستی دقیق تر انجام شود.
- ۳) افزایش دمای بخار اثر چندان مؤثری روی عملکرد سیستم ردیاب بخار ندارد با افزایش دمای بخار بیش از حد مقدار موردنیاز باعث افزایش میزان اتلاف حرارتی می گردد و راندمان کل سیستم بخار کاهش می یابد.

۷- مراجع

- [۱] فرخنده ع., سیستم های ردیاب بخار. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش. ۱۳۹۲، ۳۶-۳۳، ۱۶۰.
- [۲] لاه پرور س., مزایای ردیاب بخار نسبت به ردیاب الکترونیکی. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش. ۱۳۸۸، ۳۸-۳۳، ۱۲۳.
- [۳] IPS 2001 (Iranian Petroleum Standard), *Engineering standard for process design of heat tracing and winterizing IPS-E-PR-420*. Iranian Petroleum Ministry, Tehran, Iran, 2001.
- [۴] Foo K. W., Sizing tracers quickly (Part 1). *Hydrocarbon Processing*, Vol. 8, pp. 93-97, 1990.
- [۵] Roux D. F., *Thermal Insulation and Heat Tracing Guidelines*. Worldwide Headquarters Tyco Thermal Controls report, 1997.