

شبیه سازی عددی انتقال گرما در سیستم گرم کن بار دیاب بخار برای حفظ دمای عملکرد مناسب لوله های انتقال مازوت

وحیده وکیلی پور

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

یاسر ملایی برزی*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

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 ردياب 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 بخارکنندانس شده جمع آوری و به مخزن کندانس باز می گردد تا بدین وسیله همواره بخار خشک در سیستم جاری باشد. در این مقاله شبیه سازی و تحلیل عددی انتقال گرما در یک سیستم ردياب بخار نصب شده روی خطوط انتقال مازوت با نرم افزار Ansys-Fluent انجام شده است. لوله مازوت در حالت های بدون عایق، عایق دار و عایق دار با سیستم ردياب بخار مدلسازی و نتایج تحلیل عددی با هم مقایسه می گردد. اثر دماهای مختلف بخار عبوری از لوله ردياب 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 ردياب نیست. در ضمن استفاده از سیستم ردياب 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 ردياب 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 گرما، مازوت، ردياب بخار، لزجت، دما، فشار.

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

V. Vakili-pour

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 Masut 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 رديابها 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 ردياب به روش بخار بررسی می شود.

به دو دلیل مازوت مورد استفاده بایستی گرم شود:

- افزایش قابلیت جاری شدن بخصوص در فصل زمستان (مازوت سیال با لزجت بالا می باشد).
- نزدیک کردن دمای مازوت به نقطه اشتعال برای سوختن در مشعل نیروگاه

۱- مقدمه

به علت ارزانی و در دسترس بودن مازوت، در بیشتر نیروگاهها در فصل زمستان سوخت مازوت جایگزین سوخت گاز مشعلها میشود ولی استفاده از مازوت دارای محدودیت می باشد با توجه به غلظت و چسبندگی 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 ردياب 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

همکاران ایشان در سال ۱۹۹۰ عملکرد رادیاتورهای بخار و رادیاتورهای الکتریکی را از لحاظ فنی و هزینه بررسی کردند [۱۱]. نتیجه مطالعه آنها همان طور که از جدول ۱ مشاهده می شود برتری نسبی رادیاتورهای بخار را نشان می دهد. همچنین حالت و همکارانش در سال ۲۰۱۵ عملکرد حرارتی و ضمناً قابلیت اطمینان رادیاتورها را بررسی کردند [۱۲]. در سال ۲۰۱۶ نیز ترانت و همکارانش تکنولوژی های مختلف جهت کنترل و مونیتورینگ سیستم های رادیاتور با هدف بهبود عملکرد، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه ها را مورد مطالعه قرار دادند [۱۳]. کنترل دمای لوله و تجهیزات انتقال سوخت پالایشگاهی و نیروگاهی با استفاده از سیستم رادیاتور بخار توسط جانسون و همکاران نیز انجام شده است [۱۴].

وظایف اصلی یک سیستم رادیاتور بخار به دو بخش تقسیم می شود [۲]:

- ۱) جایگزین کردن انرژی حرارتی اتلافی از سیالات فرآیندی ناشی از طولانی بودن مسیر انتقال و یا عایقکاری ضعیف لوله ها
 - ۲) جلوگیری از توقف جریان سیالات در طول مسیر فرآیندی، ناشی از انجماد آنها در اقلیم های با دماهای محیطی پائین بنابراین می توان گفت که سیستم های رادیاتور بخار از عناصر کلیدی و مؤثر در بسیاری از سایت های صنعتی جهت اطمینان از انتقال صحیح سیالات حاوی انرژی با شرایط مطلوب و مورد نیاز فرآیند، به شمار می روند. از این رو باید توجه داشت که طراحی و نصب نادرست این گونه سیستم ها علاوه بر ایجاد اثرات مخرب در فرآیندهای تولیدی، می تواند هزینه های هنگفت اتلافات انرژی و تأخیرات زمانی ناشی از تعمیرات و نگهداری را به مجموعه های صنعتی تحمیل کند.
- امروزه با استفاده از آخرین استانداردهای روز دنیا و آلمان های پیشرفته در طراحی و ساخت، سیستم های رادیاتور بخار به سیستم هایی بهینه، قابل اطمینان و با راندمان بالا مبدل گردیده اند [۳، ۱۲].

انواع سیستم های رادیاتور بخار:

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

۱-۲- کلیات طراحی رادیاتور

تعداد رادیاتور به موارد زیر بستگی دارد:

- دمای سیال
- اندازه لوله

جدول ۲ قطر رادیاتور مورد نیاز را با توجه به قطر لوله اصلی فرآورده مشخص می کند.

جدول ۲- تعیین قطر لوله رادیاتور طبق قطر لوله فرآورده

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

دمای مازوت در یک یا چند مرحله توسط مکانیزم های مختلف به اندازه مورد نظر می رسد.

چون عملیات عایقکاری لوله ها به تنهایی باعث ثابت نگه داشتن دما نمی شود بایستی شار گرمایی به لوله ها داد و سپس لوله ها را عایق نمود بنابراین جهت حفظ دمای مازوت داخل لوله ها در طول مسیر انتقال، از مخزن ذخیره تا محل مصرف کننده، سیستم گرمکن روی لوله های مازوت نصب و سپس مجموعه لوله و سیستم گرمایشی عایقکاری می گردد.

در این مطالعه ابتدا روش ها و روابط به کار برده شده در صنعت جهت طراحی حرارتی رادیاتورهای بخار به منظور تعیین تعداد، قطر و عملکرد حرارتی آنها ارائه می گردد. سپس انتقال گرما و جریان سیال در یک گرم کن بخار برای یک مسیر لوله سوخت مازوت با دبی معین و دمای اولیه مشخص از طریق شبیه سازی عددی نیز مورد مطالعه قرار می گیرد. با توجه به اینکه تاکنون کلیه محاسبات صنعتی و علمی مربوط به رادیاتور بخار از روابط تجربی و تقریبی انتقال گرما (به کمک جداول استاندارد) انجام می شده است، این مطالعه برای اولین بار به شبیه سازی عددی با جزئیات کامل پرداخته و هدف دست یافتن به توزیع دقیق متغیر های حالت می باشد که در محاسبات بر اساس روابط تجربی قابل دسترسی نمی باشد. نتایج تحلیل حاضر با توجه به دسترسی به جزئیات توزیع سرعت، فشار و دما می تواند جهت بهینه سازی و کاهش هزینه ها مورد استفاده قرار گیرد.

۲- تاریخچه سیستم رادیاتور بخار

با توجه به افزایش روزافزون هزینه های ناشی از تولید و انتقال حامل های انرژی، طراحی و ساخت، تعمیرات و نگهداری و... و مقایسه انواع سیستم های رادیاتور، سیستم رادیاتور بخار به سیستمی کارآمد و مؤثر نسبت به انواع دیگر تبدیل شده است [۱، ۱۱]. جدول ۱ مزایا و معایب انواع سیستم های رادیاتور بخار را از لحاظ هزینه و عملکرد نشان می دهد.

جدول ۱- مقایسه سیستم های رادیاتور بخار با روش های دیگر

ردیف	شرح	جریان الکتریسیته	سیال حرارتی	بخار
۱	هزینه اولیه تولید سیال	زیاد	متوسط	کم
۲	هزینه نصب و اجراء	زیاد	متوسط	کم
۳	هزینه تعمیرات و نگهداری	کم	متوسط	متغیر با نوع تعمیرات
۴	قابلیت کنترل دما	زیاد	متوسط	زیاد
۵	محدوده دمائی	متوسط	زیاد	متوسط
۶	طول رادیاتور	زیاد	کم	متوسط
۷	ایمنی و ضد انفجار بودن	خیر	بله	بله
۸	راندمان	کم	متوسط	زیاد
۹	سرعت گرمایش	کم	متوسط	زیاد
۱۰	نیاز به پمپ	خیر	بله	خیر

مطالعات مختلفی در سال های اخیر روی عملکرد و بهینه سازی سیستم های رادیاتور لوله های سوخت انجام شده است. اریکسون و

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

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

۳-۱- 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].

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

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

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

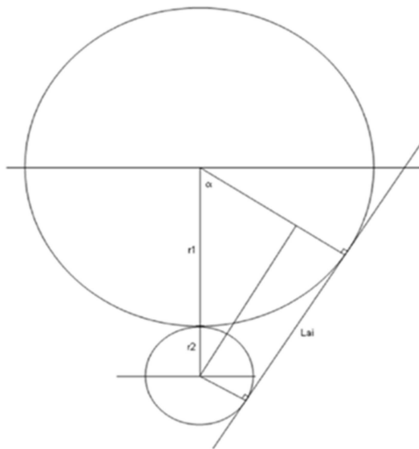
$$A_{ta} = (2\pi - 2\alpha) \times r_2 \times L \times n \quad (5)$$

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

L : طول لوله

N : تعداد ردیاب

r_2 : شعاع ردیاب



شکل ۲- طرحواره برای محاسبه L_{ai}

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 [۳، ۱۴]. سایز هیدر مربوط به ردیاب‌ها طبق جدول ۴ مشخص می‌گردد [۳].

جدول ۳- بیشینه طول ردیاب

ردیاب	ماکزیمم طول
۱/۲ اینچ و یا کمتر	۵۰ متر
۳/۴ اینچ و بالاتر	۱۰۰ متر

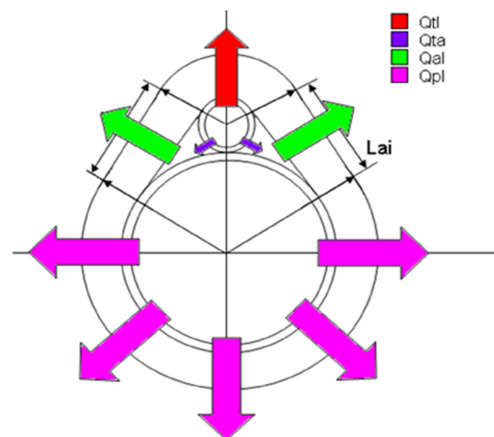
جدول ۴- اندازه Header

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

۳- معادلات و روابط تجربی برای محاسبه ردیاب بخار

مسیرهای مختلف 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_{pi})
- مجموع انتقال گرما از هوای محبوس (مابین عایق و لوله-های مازوت و بخار و عایق به محیط) (Q_{ai})
- انتقال گرما از لوله بخار به لوله مازوت (Q_{ta})
- مجموع انتقال گرما از لوله مازوت و عایق به محیط (Q_{ti})



شکل ۱- انتقال گرما سیستم ردیاب بخار جداری

مقدار انتقال گرما ردیاب‌ها معادل اتلاف گرمایی از لوله مازوت، لوله بخار و عایق می‌باشد [۴، ۵، ۶، ۱۱].

h_c : وات بر متر کلونین
 T : کلونین
 متر: r_2

مجموع انتقال گرما از هوای محبوس (مابین عایق و لوله های مازوت و بخار) و عایق به محیط از رابطه زیر محاسبه می شود [۴، ۵، ۶، ۱۱]:

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

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

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

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

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

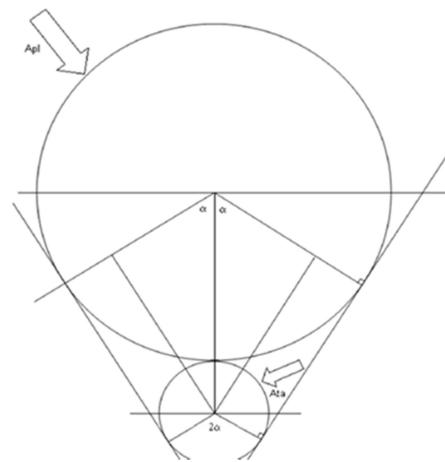
$$T_{surf\ hottest} = T_{st} - q \left[\frac{(r_2 + t_{ins}) \ln \left(\frac{r_2 + t_{ins}}{r_2} \right)}{k_{ins}} \right] \quad (20)$$

q : وات بر متر مربع

فرض می شود ۸۰ درصد دمای سطح $T_{surf-low}$ (سمت لوله مازوت) و ۲۰ درصد باقیمانده $T_{surf-hottest}$ (سمت لوله بخار) می باشد. مجموع انتقال گرما از لوله مازوت و عایق به محیط از رابطه (۲۱) محاسبه می شود [۴، ۵، ۶، ۱۱]:

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

ضریب اصلاح زاویه متناظر لوله فرآورده (۱.۲۵ + ۰.۷۵n) 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 می یابد.



شکل ۳- طرحواره هندسه مدل

۳-۲- محاسبه انتقال گرما

انتقال گرما اطراف یک سطح طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

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

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

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

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

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

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

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

۲-۴- خواص مواد

یکی از مهم ترین مراحل مدل سازی، تعریف مواد و خواص فیزیکی می باشد. خصوصیات مواد در قسمت Material تعریف می گردد. این خواص عبارتند از: چگالی، لزجت، ظرفیت گرمایی، رسانایی الکتریکی و خواص ممکن است به دما وابسته گردد. این وابستگی به صورت یک تابع می باشد که ممکن است به صورت چند جمله ای و یا خطی تعریف 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. ضمناً خواص مازوت از جمله لزجت آن متغیر با دما با یک تابع مشخص اعمال شد. عایق حرارتی دور لوله از جنس پشم سنگ و جنس لوله ها فولادی با خواص پیش فرض در نظر گرفته شد.

ضمناً با توجه به سرعت پایین و لزجت بالای مازوت رژیم جریان 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 گره ها، اتصالات و تعریف نواحی. 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:

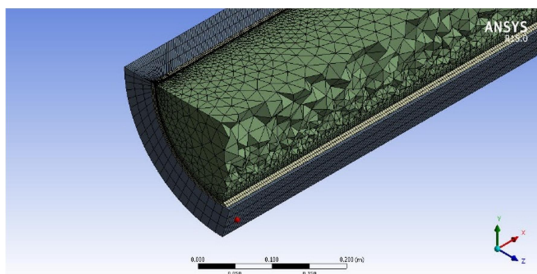
- ۱) شبکه لایه مرزی
- ۲) شبکه داخلی مدل

شبکه های لایه مرزی بصورت مستطیل شکل و بقیه شبکه ها چهار وجهی تترا می باشد.

هوای محبوس بین لوله های بخار مازوت و عایق چون در جریان نیست دستور Edge sizing به کار برده می شود. بخش های جامد جداره های 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 انتها برای اینکه 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 گیرند. گره از جسم جامد روی گره جسم سیال قرار می گیرد. در نهایت شبکه بندی انجام می شود.



شکل ۵- شبکه بندی بخش مازوت

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

۴- مدل سازی جریان مازوت و بخار در سیستم

ردیاب

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

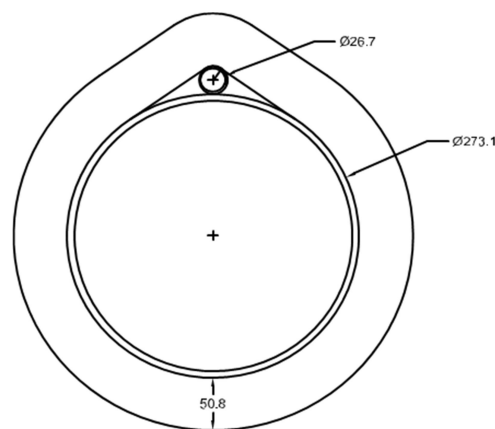
- ۱) آماده سازی جهت پردازش
- ۲) پردازش
- ۳) نتایج

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



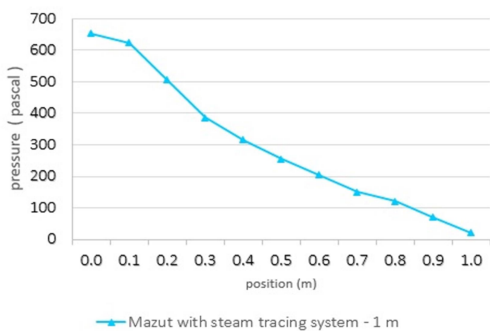
شکل ۴- مدل هندسی پروژه

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

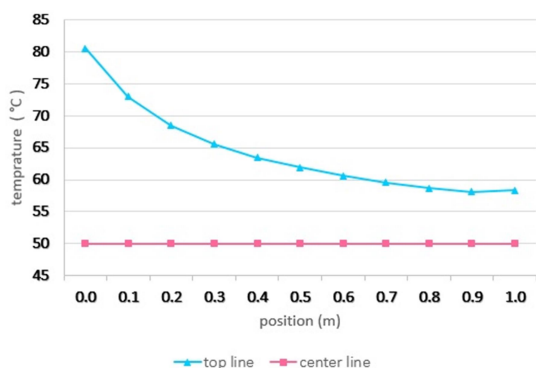
- ۲) بررسی نتایج لوله مازوت عایق دار به همراه ردیاب بخار به طول ده متری
- ۳) بررسی اثرات وجود سیستم ردیاب نسبت به حالت بدون ردیاب
- ۴) بررسی تأثیر دمای بخار بر عملکرد سیستم ردیاب

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

با توجه به محدودیت زمان و حجم محاسبات عددی ابتدا در این بخش نتایج مدل سازی برای لوله مازوت به طول ۱ متر همراه با ردیاب بخار و عایق بررسی و ارائه شده است. شکل ۷ تغییرات فشار در طول مسیر لوله مازوت را نشان می دهد. بر اساس آنچه در شکل مشاهده می شود، با توجه به لزجت بالای مازوت، افت فشار زیادی در حدود ۰/۷ کیلو پاسکال 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 بالایی لوله مازوت (محل تماس با لوله بخار) با طی مسیر را که نحوه تاثیر گرمایش بخار است را نمایش می دهد. نتایج به دست آمده کاهش دمای حدود ۳۵ درجه ای را در طول ۱ متر نسبت به دمای ورودی مازوت نشان می دهد 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.



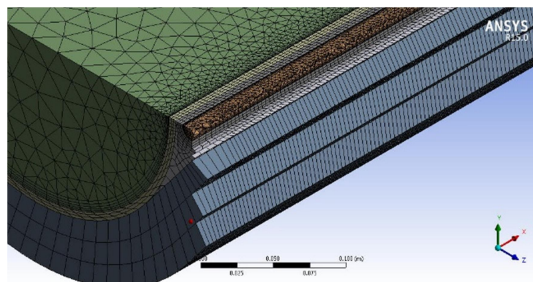
شکل ۷- نمودار فشار - مکان در خط مرکزی مازوت



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

۵-۲- 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 ردیاب بخار (۱۰ متر) با



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 می شود، تعیین گردد. در مرزهای ورودی باید مقادیر سرعت، فشار یا دما تعیین گردد.

در این مقاله شرایط مرزی به شرح زیر می باشد:

- ۱) شرایط محیطی بیرون عایق :
 - ضریب انتقال حرارتی (10 : h) وات بر مترمربع کلوین
 - دمای محیط : ۲ درجه سلسیوس (۲۷۵/۱۵ کلوین)
- ۲) سیال مازوت- ورودی :
 - سرعت ورودی : ۱.۵۷ متر بر ثانیه
 - دمای کاری : ۵۰ درجه سلسیوس (۳۲۵/۱۵ کلوین)
- ۳) سیال مازوت- خروجی :
 - فشار خروجی : اتمسفر
- ۴) سیال بخار- ورودی :
 - سرعت ورودی : ۰/۱ متر بر ثانیه
 - دمای کاری : ۲۵۰ درجه سلسیوس (۵۲۵/۱۵ کلوین)
- ۵) سیال بخار- خروجی :
 - فشار خروجی : اتمسفر

۵- نتایج و بحث

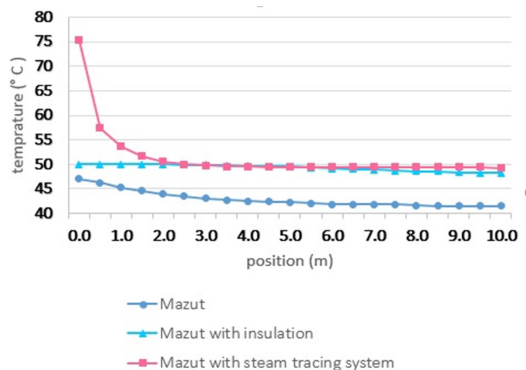
با استفاده از مدل توضیح داده شده در بخش های قبل و با شرایط فیزیکی و مرزی مشخص شده مسأله در نرم افزار Ansys شبیه سازی شد. جهت بررسی صحت نتایج و تطابق آن با روابط تجربی (که در صنعت برای طراحی ردیابها به کار می رود، روابط ۱۵ و ۲۱) افت حرارتی مدل شبیه سازی با روابط تجربی مقایسه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده برای طول ۱ متر از لوله، افت حرارتی به محیط با استفاده از رابطه ۱۵ روابط تجربی، ۱۶.۶ وات و در مدل شبیه سازی حدود ۱۸ وات می باشد. بر این اساس، حدود ۸ درصد اختلاف مشاهده می گردد که به نظر می رسد مربوط به ساده سازی ها و تقریب های انجام شده در روابط تجربی می باشد. در شبیه سازی با توجه به لحاظ شدن جزئیات جریان و انتقال گرما، محاسبات با خطای کمتری نسبت به روابط تجربی صورت می گیرد.

با توجه به مطالب فوق، در این مطالعه نتایج تحلیل سیستم ردیاب در حالت های زیر ارائه می شود:

- ۱) بررسی نتایج لوله مازوت عایق دار به همراه ردیاب 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.

باتوجه به شکل ۱۱ مشخص می‌گردد لوله در حالت بدون عایق حرارت زیادی از دست داده و دمای آن از 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

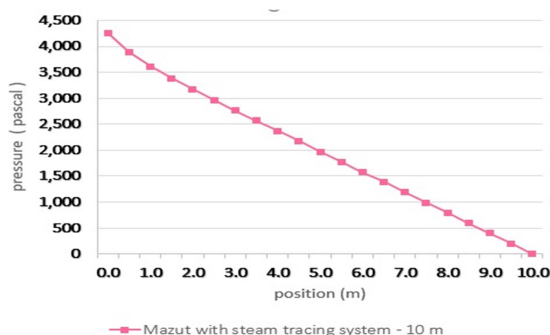
در حالت عایق‌دار میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد ولی دمای مازوت به کمتر از میزان قابل قبول (۴۸ درجه) می‌رسد. حداکثر دما ۵۰ درجه سلسیوس و حداقل دما ۴۸ درجه سلسیوس می‌باشد. در حالت سوم لوله مازوت با عایق و ردیاب دما در ۵۰ درجه ثابت مانده و میزان انتقال حرارت نسبت به حالت بدون عایق کمتر است. بیشینه دما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

۵-۴- بررسی تأثیر دمای بخار بر عملکرد سیستم ردیاب

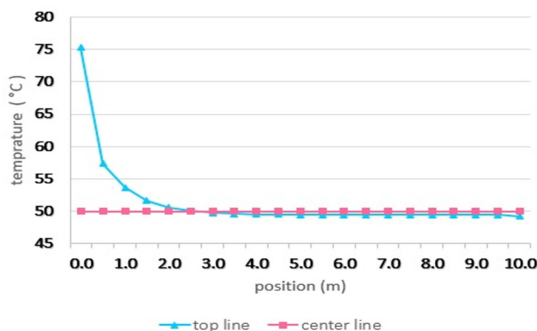
در این مرحله حل مدل بر مبنای دماهای مختلف بخار شامل ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس صورت گرفت. نمودار تغییر دما در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. در هر ۵ مدل، روند کاهشی دما مشابه هم می‌باشد. دربخار با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس، بیشترین دمای مازوت ۵۵ درجه سلسیوس می‌باشد در سایر مدل‌های بخار بیشترین دمای مازوت از ۷۰ تا ۸۵ درجه سلسیوس متغیر می‌باشد و در طول لوله دمای مازوت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس ثابت می‌ماند. با افزایش دمای بخار تنها اتلاف حرارتی 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 قبلاً 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 ۰/۷ 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 تثبیت دمای مازوت را پس از طول حدود ۱ متر تصریح می‌کند. این تثبیت دما به خاطر تأثیر 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



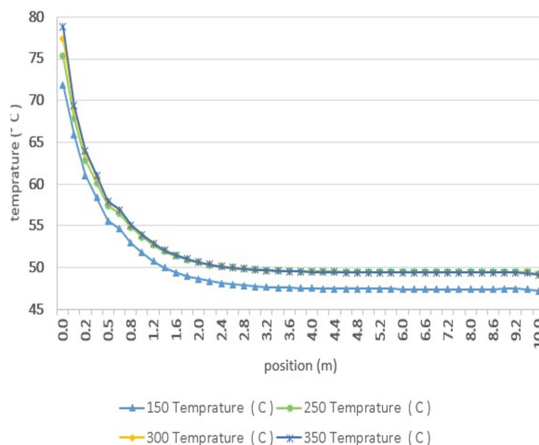
شکل ۱۰- نمودار دما- مکان در خط مرکزی و خط بالایی لوله مازوت

۵-۳- 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.

- مدل لوله مازوت بدون عایق و ردیاب: لوله مازوت به تنهایی با دمای سیال ۵۰ درجه سلسیوس، دمای هوای بیرون لوله ۲ درجه سلسیوس مدل شده است.
- 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.
- 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 قهرودی ه.، راهنمای جامع ANSYS FLUENT. مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، تهران، ۱۳۹۴.
- [9] قهرمانی ع.، مهندسی سیستم بخار. انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.
- [10] قهرمانی ع.، بخار سوپرهیت یا بخار اشباع. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش ۱۳۷، ص ۳۳-۳۸، ۱۳۹۰.
- [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 بررسی‌های انجام شده روی مدل‌های مورد مطالعه موارد زیر قابل استنباط می‌باشد:

- ۱) با مقایسه روند کاهش دما در لوله مازوت در طول‌های یک متری و ده متری می‌توان متوجه شد در لوله‌ای به طول ۵۰ متر دمای مازوت کمتر از دمای ثابت موردنظر می‌شود. کنترل عملکرد سیستم ردیاب بخار و تله‌های بخار در کل مجموعه لوله‌های فرآیندی، بخار و آب‌کنندانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- ۲) استفاده از سیستم ردیاب بخار به همراه عایق باعث ثابت ماندن دمای مازوت در مقدار مشخص می‌شود که این موضوع در شرایط آب و هوایی سردسیر کاربری بیشتری دارد. شرایط کنترل عملکرد سیستم بخار و ردیاب و مجموعه فرآیندی بایستی دقیق‌تر انجام شود.
- ۳) افزایش دمای بخار اثر چندانی مؤثری روی عملکرد سیستم ردیاب بخار ندارد با افزایش دمای بخار بیش از حد مقدار موردنیاز باعث افزایش میزان اتلاف حرارتی می‌گردد و راندمان کل سیستم بخار کاهش می‌یابد.

۷- مراجع

- [۱] فرخنده ع.، سیستم‌های ردیاب بخار. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش. ۱۶۰، ص ۳۳-۳۶، ۱۳۹۲.
- [۲] لاله پرور س.، مزایای ردیاب بخار نسبت به ردیاب الکتریکی. ماهنامه صنعت تأسیسات، ش. ۱۲۳، ص ۳۳-۳۸، ۱۳۸۸.
- [3] 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.
- [4] Foo K. W., Sizing tracers quickly (Part 1). *Hydrocarbon Processing*, Vol. 8, pp. 93-97, 1990.
- [5] Roux D. F., *Thermal Insulation and Heat Tracing Guidelines*. Worldwide Headquarters Tyco Thermal Controls report, 1997.