شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان

گزارش شماره ۵و۶

تعیین میزان صرفه جویی انرژی و بازگشت مالی به کارفرمایان و بهینه سازی انرژی در صورت استفاده از محلول میتره

به کوشش

محمد کجوری منش

(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- دانشگاه شیراز/ مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

کارشناس نظارت بر نگهداری تاسیسات مکانیکی و برقی شرکت مخابرات فارس)

اسفندماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

مقدمه ۳

۱- انواع رسوب ۴

۱-۱- رسوب ذره ای ۵

۱-۲- رسوب کریستالی ۵

۱-۳- رسوب خوردگی ۵

۱-۴- رسوب بیولوژیکی ۵

۱-۵- رسوب ناشی از واکنش شیمیایی ۵

۲- مضرات و مزایای رسوب ۶

۲-۱- تاثیر رسوب در کاهش انتقال حرارت ۷

۲-۲- تاثیر رسوب در افت فشار سیستم ۹

۳- کنترل رسوب و جنبه های سودآوری آن برای کارفرما ۱۰

۳-۱- احیای مجدد سیستم و لوله های رسوب گرفته ۱۱

۳-۲- افزایش بهره وری از هزینه های پرداختی و تامین آسایش مطلوب ۱۱

۳-۳- کاهش توان مصرفی پمپ ها ۱۲

۳-۴- کاهش مدت زمان کارکرد سیستم و افزایش راندمان دستگاه ۱۲

۳-۵- صرفه جویی در عملیات و هزینه های روش های متداول رسوب زدایی ۱۳

۳-۶- افزایش تولید و کاهش مدت زمان اورهال ۱۳

۳-۷- کاهش سوانحات جانی برای پرسنل نگهداری نسبت به دیگر روشها ۱۳

۴- نتیجه گیری ۱۴

۵- مراجع ۱۵

مقدمه

در بسیاری از دستگاههای صنعتی مسئله انتقال حرارت (Heat Transfer) یک موضوع مهم و تاثیر گذار در بازدهی آن دستگاه می باشد. فرآیند تبادل گرما بین دو سیال با دماهای متفاوت که توسط دیواره جامدی از هم جدا شده اند در بسیاری از کاربردهای مهندسی روی می دهد. وسیله ای که برای این تبادل بکار می رود مبدل حرارتی (Heat Exchanger) می گویند. در این مبدل ها موادی با ضریب انتقال حرارت بالا مانند آلومینیوم و مس بصورت لوله و یا صفحاتی مسطح قرار داده می شود تا علاوه بر جلوگیری از اختلاط دو سیال، انتقال حرارت لازمه بین آن دو سیال در مدت زمان کوتاهی صورت گیرد. مبدل های حرارتی تقریباً پرکاربرترین عضو در فرآیندهای شیمیایی اند و می توان آن ها را در بیشتر واحدهای صنعتی ملاحظه کرد. آنها وسایلی هستند که امکان انتقال انرژی گرمایی بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف را فراهم می کنند. این عملیات می تواند بین مایع- مایع ، گاز- گاز و یا گاز- مایع انجام شود. مبدل های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین تر و یا هر دو مورد استفاده قرار می گیرند. مبدل های حرارتی در محدوده وسیعی از کاربردها استفاده می شوند. این کاربردهای شامل نیروگاه ها، پالایشگاه ها، صنایع پتروشیمی، صنایع ساخت و تولید، صنایع فرآیندی، صنایع غذایی و دارویی، صنایع ذوب فلز، سیستم های سرمایشی- گرمایشی، تهویه مطبوع، تولید قدرت، بازیابی گرمای هدر رفته و فرآوری شیمیایی و کاربردهای فضایی می باشند[۱].

با توجه به کاربرد وسیع مبدل های حرارتی، تحقیق درباره آنها سابقه ای طولانی دارد. البته، این مطالعه همچنان ادامه دارد و بسیاری از محقیقین خوش ذوق در پی یافتن راههایی برای بهبود طراحی و عملکرد مبدل های حرارتی و افزایش بازده انتقال حرارت در این مبدل ها بعنوان بویلر (Boiler)، کندانسور (Condenser)، اواپراتور (Evaporator)، رادیاتور (Radiator)، ایر کولر (Air Cooler)، برج خنک کن (Cooling Tower) و... هستند. این فعالیت با توجه به بحران انرژی بطور مستمر رو به افزایش است و کانون آن را تقویت انتقال گرما تشکیل می دهد.

یکی از مهمترین نکات در یک مبدل حرارتی میزان ضریب کلی انتقال گرماست. این ضریب بر حسب مقاومت های رسانشی و جابجایی بین سیالاتی که، به ترتیب با دیوارهای مسطح و پوسته های استوانه ای از هم جدا شده اند بدست می آید.

لایه رسوب روی سطوح ممکن است مقاومت در برابر انتقال حرارت بین دو سیال را به مقدار زیاد افزایش دهد. این اثر را با وارد کردن مقاومت گرمایی اضافی، با نام ضریب گرفتگی (R_f) می توان در نظر گرفت و مقدار آن به دمای کارکرد، سرعت سیال و مدت کارکرد مبدل بستگی دارد. در صنعت جهت مبارزه با تشکیل این رسوبات از روش ها و مواد متفاوتی استفاده می شود که برخی از این مواد و روش ها در راستای جلوگیری از ایجاد رسوب، برخی جهت رسوب برداری و برخی جهت ایجاد لایه های نازکی برای محافظت از فلز جداره در مقابل خوردگی استفاده می گردد. رسوبی که بر روی لوله ها می نشیند از لحاظی همچون کاهش انتقال حرارت بین دو سیال، کاهش قطر لوله ها و در نتیجه کاهش دبی جریان سیال درون لوله، افزایش میزان توان پمپ و کمپرسور جهت به جریان انداختن سیال و... مضر بوده ولی از برخی جهات مانند جلوگیری از ارتباط مستقیم بین سیال و فلز جداره و در نتیجه جلوگیری از واکنش شیمیایی بین آنها مفید بوده که باعث کاهش خوردگی، عدم نیاز به تعویض لوله و اسیدشویی، عدم سوراخ شدن فلز و مختلط شدن دو سیال می گردد.

۱- انواع رسوب

سطوح مبدل حرارتی در ضمن کار، اغلب در معرض رسوبات ناشی از ناخالصی های سیال، زنگ زدگی، یا سایر واکنش های بین سیال و دیواره قرار می گیرند که بر این اساس انواع رسوب را می توان به شرح ذیل بیان نمود. رسوب می تواند به شیوه مختلفی دسته بندی شود. این شیوه ها می تواند شامل نوع سرویس دهی حرارتی (کندانسور،بویلر.....)، نوع سیال (گاز یا مایع.....) یا نوع کاربرد (تولید انرژی، خنکسازی و...) باشد. به دلیل تنوع زیاد فرآیندها بهترین را برای دسته بندی رسوب، تقسیم آن بر اساس فرآیند اصلی است که بر اساس آن ایجاد می شود. بر این اساس رسوب به دسته های زیر تقسیم می شود[۲]:

۱-۱- رسوب ذره ای

تجمع ذرات معلق جامد (که در سیال فرایند موجود می باشد) بر روی سطوح انتقال حرارت باعث ایجاد این نوع رسوب می گردد. نوع رسوب ذره ای به شکل بالقوه در هر کندانسور خنک کننده آب وجود دارد. این نوع رسوب شامل طیف وسیعی از مواد (آلی یا معدنی) و شکل و اندازه (از ذرات میکرونی تا چند میلیمتری) می باشد. برای مثال این نوع رسوب به شکل ته نشین شدن گرد و غبار در air-cooler ها مشاهده می شود.

۱-۲- رسوب کریستالی

یکی از راههایی که باعث رسوب گیری مبدل های حرارتی می شود، فرایند کریستالیزاسیون است. این پدیده به خاطر وجود نمکهای غیر آلی حل شده در جریان سیال می باشد که در جریان گرم یا سرد شدن با رسیدن به فوق اشباعیت باعث ایجاد رسوب می شود. آب خنک کننده سیستم معمولاً به دلیل حضور نمکهایی مانند کلسیم وکربنات منیزیم و... مستعد ته نشینی کریستالی می باشد.

۱-۳- رسوب خوردگی

زمانی که سطح انتقال حرارت در معرض سیالات خورنده باشد،امکان ایجاد واکنش شیمیایی و تولید محصولات خوردگی وجود دارد. این محصولات بر روی سطح انتقال حرارت رسوب می دهند و سیال عملیاتی هم توان خارج کردن رسوب ایجاد شده را ندارد.

۱-۴- رسوب بیولوژیکی

ته نشینی و رشد مواد با منشاء بیولوژیکی روی سطح انتقال حرارت باعث ایجاد بایو رسوب ها می شود. این مواد ممکن است شامل طیف وسیعی از میکروارگانیزمها (باکتریها، انگلها،...) و محصولات آنها باشند که نتیجه آن رسوب میکروبی است. از طرفی ارگانیسم هایی همچون جلبک دریایی نیز می توانند باعث ایجاد این نوع رسوب شوند. برای مثال تاسیساتی که از آب دریا استفاده می کنند مستعد این نوع رسوب می باشند.

۱-۵- رسوب ناشی از واکنش شیمیایی

واکنشهای شیمیایی ممکن است باعث ایجاد رسوب شوند. برخلاف رسوب ناشی از خوردگی در این شکل تشکیل رسوب، سطح انتقال حرارت در واکنش شرکت نخواهد داشت، هر چند ممکن است به صورت کاتالیست در انجام واکنش موثر باشد.

تا بدین جا مکانیزمهای مختلف تشکیل رسوب به طور خلاصه بررسی گردید. باید به این نکته توجه داشت که بیشتر حالات رسوب تک مکانیزمی نبوده و شامل چند مکانیزم همزمان می باشد. از طرف دیگر بعضی مکانیزم های رسوب مکمل مکانیزم های دیگر می باشد. برای مثال خوردگی سطح انتقال حرارت می تواند باعث افزایش رسوب ذره ای شود.

۲- مضرات و مزایای رسوب

میزان رسوبی که بر روی لوله ها می نشیند نقش حائز اهمیتی دارد. این رسوبات از لحاظی مضر و از لحاظ دیگر مفید می باشند. برخی از مضرات آن عبارتند از:

۱ -کاهش سطح انتقال حرارت و در نتیجه کاهش ضریب انتقال حرارت بین دو سیال درون مبدل حرارتی

۲ -کاهش قطر لوله ها و در نتیجه کاهش دبی جریان سیال عبوری و افزایش سرعت در لوله ها

۳ -افزایش میزان توان پمپ و کمپرسور جهت به جریان انداختن سیال ها

۴ -کاهش راندمان کاری سیستم

۵ -خارج شدن سیستم از نقطه کاری طراحی شده برای سیستم و احتمال صدمه دیدن آن

۶ -اتلاف انرژی

برخی از مزایای رسوب عبارتند از :

۱ -جلوگیری از ارتباط مستقیم بین سیال و فلز جداره.

۲ -کاهش خوردگی احتمالی فلز.

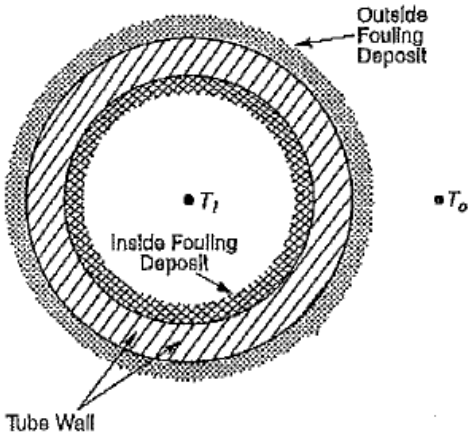
۳ -جلوگیری از واکنش شیمیایی بین سیال و فلز

برای بررسی مضرات وجود رسوب در سیستم برخی از نکات بیان شده به تفصیل ارائه می گردد:

۲-۱- تاثیر رسوب در کاهش انتقال حرارت

میزان انتقال حرارت در یک مبدل لوله ای ساده مانند شکل ۱-۱ از رابطه زیر می توان بدست آورد:

$$Q = U\, A_0\, \Delta T_{in}$$



که U بر اساس سطح بیرونی مبدل می باشد. یک نکته مهم تشخیص ضریب انتقال حرارت کلی در حالت تمیز (عدم وجود رسوب) U_c و کثیف بودن مبدل U_f (وجود رسوب) می باشد که رابطه این دو عبارت است از:

$$\frac{1}{U_f} = \frac{1}{U_c} + R_{ft} \quad , \quad R_{ft} = \frac{A_0 R_{ft}}{A_i} + R_{fo}$$

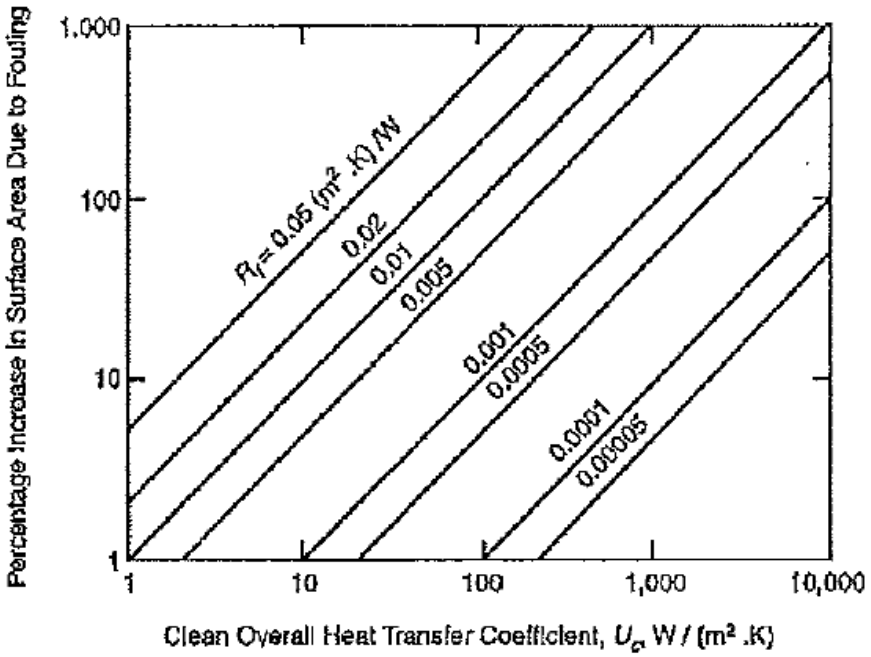
میزان انتقال حرارت در حالت وجود رسوب برابر است با:

$$Q_f = U_f\, A_f\, \Delta T_{\inf}$$

اگر بخواهیم میزان انتقال حرارت در حالت وجود و عدم وجود رسوب با فرض تغییرات دمایی یکسان با هم برابر باشد می توان نتیجه گرفت که بایستی میزان مساحت مورد نیاز در حالت وجود رسوب بیشتر از حالت تمیز بیشتر باشد که این افزایش میزان سطح مورد نیاز از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{A_f}{A_c} = 1 + Q_c\, R_{ft}$$

این درصد افزایش سطح مورد نیاز در نمودار زیر برای اعداد مختلفی از مقاومت رسوب و ضریب کلی انتقال حرارت در حالت عدم وجود رسوب آمده است[۲]:



نکته ای که قابل توجه این است که در برخی موارد این میزان افزایش سطح حتی از ۱۰۰٪ بیشتر می باشد و این مقادیر نشانده اهمیت وجود رسوب در یک مبدل می باشد. برای بررسی دقیق تر این مسئله و تعیین میزان ضریب انتقال حرارت در دو حالت وجود و عدم وجود رسوب در یک مبدل پوسته و لوله در حالتهای متفاوتی از وجود دو سیال مایع و گاز این مقادیر در جدول زیر آمده است [۲]:

Added Surface Area for Typical Fluid Combinations

Shell Side (Boiling or Condensation)	h_o	$R_f \times 10^4$	U_c	U_f	Increase In Area (%)
Tube Side: Gas at Very Low Pressure; h_i = 50 W/ m²·K					
Medium organics	1,000	4.8	47.6	46.5	2.3
Water, low pressure	5,000	4.8	49.5	48.4	2.4
Water, high pressure	10,000	4.8	49.8	48.6	2.4
Tube Side: Gas at High Pressure; h_i = 500 W/m²·K					
Light organics	1,000	4.8	333.3	287.3	16.0
Medium organics	5,000	4.8	454.5	373.1	21.8
Steam	10,000	4.8	476.2	387.6	22.9
Tube Side: Medium Organic Liquids, h_i = 1,000 W/m²·K					
Medium organics	1,000	6.5	500.0	377.4	32.5
Water, low pressure	5,000	6.5	833.3	540.5	54.2
Water, high pressure	10,000	6.5	909.1	571.4	59.1
Tube Side: Water, h_i = 5,000 W/m²·K					
Light organics	1,000	6.5	833.3	287.3	54.2
Medium organics	5,000	6.5	2500.0	373.1	162.5
Water	10,000	6.5	3333.3	387.6	216.7

که با توجه به ضرایب انتقال حرارت مشخص می شود که در حالت وجود رسوب به میزان ۲۰٪ الی ۷۰٪ کاهش ضریب انتقال حرارت مسئله ای دور از ذهن نمی باشد و در یک کندانسور چیلر این مقدار در حدود ۲۵٪ می باشد.

۲-۲- تاثیر رسوب در افت فشار سیستم

با توجه به این واقعیت که ضخامت رسوب در یک مبدل در بیشتر مواقع بسیار کم و محدود می باشد ولی همین مقادیر کم بر روی میدان جریان و میزان افت فشار سیستم که بایستی با توان پمپ جبران گردد، اثر می گذارد. میزان افت فشار سیستم از رابطه زیر می توان محاسبه نمود[۳-۴]:

$$\Delta P = 4 f \frac{L}{d_i} \frac{\rho u_m^2}{2}$$

که f بیانگر ضریب اصطکاک بوده و بر اساس عدد رینولدز جریان از نمودار مودی می توان بدست آورد. با توجه به اینکه در حالت وجود رسوب در سطوح داخلی مبدل قطر موثر آن کاهش می یابد افت فشار سیستم را افزایش می یابد که می توان افت فشار در حالت وجود و عدم وجود رسوب را بر اساس رابطه زیر با هم مقایسه نمود:

$$\frac{\Delta P_f}{\Delta P_c} = \frac{f_f}{f_c} (\frac{d_c}{d_f})^2$$

همچنین می توان ضخامت رسوب تشکیل شده را بر اساس ضریب هدایت حرارتی رسوب (k_f) را بدست آورد:

$$t_f = 0.5 d_c \left[1 - \exp\left(- \frac{2\pi k_f R_f}{d_c} \right) \right]$$

لذا بر اساس جنس های متفاوت رسوب های موجود و با فرض مقاومت رسوب $R_f = 0.0004 \frac{m^2.K}{W}$ در مبدلی با قطر خارجی ۲۵,۴ میلی متر و قطر داخلی ۲۲,۱ میلی متر مقادیر ضریب انتقال حرارت کلی، ضخامت رسوب، درصد باقی مانده از سطح و میزان افزایش اقت فشار سیستم در جدول زیر محاسبه شده است[۲]:

Added Pressure Drop for Typical Fouling Materials

Material	Thermal Conductivity (W/m · K)	Fouling[a] Thickness, t (mm)	Area Remaining (%)	Increase in Pressure Drop (%)
Hematite	0.6055	0.24	95.7	11.6
Biofilm	0.7093	0.28	95.0	13.7
Calcite	0.9342	0.37	93.5	18.4
Serpentine	1.0380	0.41	92.8	20.7
Gypsum	1.3148	0.51	90.9	26.9
Magnesium phosphate	2.1625	0.83	85.5	47.9
Calcium sulphate	2.3355	0.90	84.4	52.6
Calcium phosphate	2.5950	0.99	82.9	59.9
Magnetic iron oxide	2.8718	1.09	81.2	68.2
Calcium carbonate	2.9410	1.12	80.8	70.3

[a] Assuming fouling resistance of 4×10^{-4} m² · K/W, OD = 25.4 mm, ID = 22.1 mm tube.

با توجه به محاسبات مشخص است که ضخامت رسوب تشکیل شده بین ۰,۳ میلی متر تا ۱ میلی تر می باشد که با این میزان ضخامت رسوب بین ۷٪ تا ۱۵٪ از سطح عبوری سیال کم می گردد و همچنین به میزان تقریبی ۲۰٪ تا ۶۰٪ افت فشار در سیستم افزایش می یابد. این اعداد در یک کندانسور چیلر در حدود ۰,۸۵ میلی متر ضخامت رسوب، ۱۰٪ کاهش سطح عبوری سیال و ۴۰٪ افزایش افت فشار سیستم می باشد.

۳ -کنترل رسوب و جنبه های سودآوری آن برای کارفرما

لذا استراتژیهای متفاوتی برای کنترل رسوب وجود دارد. افزایه هایی که به عنوان ممانعت کننده رسوب استفاده می شود می توان در حین کارکرد مبدل به کار گرفته شود. اگر متوقف کردن تشکیل رسوب امکانپذیر نباشد یک راه حل عملی خارج کردن رسوب است. تمیز کردن سطحی روشی است که می توان هم به صورت on-line و هم به شکل off-line به کار گرفت. یکی از روش های متوقف کردن تشکیل رسوب و تمیز کاری سطحی بصورت on-line استفاده از محلول جدید میتره صنعتی می باشد. محلول میتره صنعتی، یک افزایه موثر در پیشگیری از ایجاد رسوب، محافظ خوردگی و تا حدودی رسوب بردار در مبدلهای حرارتی و دیگر تجهیزات صنعتی می‌باشد.

همانطور که بیان گردید یکی از مزایای مهم استفاده از این محلولها افزایش میزان انتقال حرارت در مبدل های حرارتی مشغول بکار می باشد و این مسئله از چندین جنبه برای کارفرما سودآوری خواهد داشت:

۳-۱- احیای مجدد سیستم و لوله های رسوب گرفته

هنگامی که از محلول میتره استفاده می شود بدلیل اینکه رسوبات مضر از جداره داخلی لوله ها و سطوح انتقال حرارت برداشته و یا مانع ایجاد آنها می شود، کارفرما نیاز به تعویض قطعات یا حتی سیستم مورد نظر ندارد و این یک مسئله مهم در موارد بهسازی سیستم ها می باشد. چراکه قیمت تجهیزات صنعتی بسیار بالا بوده و جهت تعویض آنها کارفرما متحمل بار مالی فراوانی می گردد. در صورتی که هزینه رسوب زدایی و جلوگیری از ایجاد رسوب به مراتب کمتر بوده و کارفرما مجبور به تعویض تجهیزات بدلیل رسوب گرفتگی نمی گردد.

بعنوان مثال هزینه تهیه و نصب یک کندانسور چیلر آبی ۱۲۰ تن در سیستم سرمایشی یک مجتمع بمقدار تقریبی ۸۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال می باشد. و یا هزینه تعویض پکینگ برج خنک کننده آن بمبلغ ۴۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال است. همچنین هزینه خرید تنها یک دستگاه فن کویل با دبی هوای ۸۰۰ فوت مکعب بر دقیقه معادل ۹/۰۰۰/۰۰۰ ریال است. حال با توجه به این مبالغ به نظر می رسد که هزینه پیشگیری از ایجاد رسوب طی ۴ سال با استفاده از محلول میتره به مراتب کمتر و در حدود ۲۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال است [۵].

۳-۲- افزایش بهره وری از هزینه های پرداختی و تامین آسایش مطلوب

همان طور که می دانید در سیستم های سرمایشی هدف اصلی تامین آسایش افراد در یک فضا می باشد که این مهم بوسیله انتقال حرارت در چندین مبدل حراتی در یک سیستم سرمایشی همانند هواساز، اواپراتور، کندانسور، برج خنک کننده، فن کوئل و... انجام می گیرد و یکی از عوامل کاهش راندمان انتقال حرارت در این مبدلها گرفتگی رسوب بر روی سطوح انتقال حرارت می باشد. بر اسلس گفته های قبل در یک کندانسور میزان کاهش ضریب کلی انتقال حرارت ۲۵٪ بوده و با در نظر گرفتن این مسئله که هزینه آب، برق و گاز مصرفی در یک سیستم سرمایشی برای ایجاد این انتقال حرارت می باشد مشخص است که در صورت وجود رسوب در سیستم با پرداخت این هزینه ها تنها به میزان ۷۵٪ تا ۹۰٪ این هزینه ها انتقال حرارت ایجاد می گردد.

با توجه به این واقعیت که بعنوان مثال در یک سیستم سرمایشی هزینه برق مصرفی یک چیلر تراکمی ۱۲۰ تن که بمدت ۲۶ روز از ماه و بمیزان ۱۵ ساعت کار در روز با مصرف تقریبی سه فاز ۳۵ آمپری و با فرض هزینه

برق هر کیلو وات ساعت در کم باری ۹۰۰ ریال، متوسط بار ۱۱۰۰ ریال و اوج بار ۲۲۰۰ ریال و با احتساب هزینه دیماند و جریمه مصرف راکتیو دستگاه و افزایش ۲۰٪ قیمت ها در فصول گرم تابستان ماهیانه بالغ بر ۲۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال بوده که به این مبلغ هزینه برق مصرفی پمپهای ۶ کیلو واتی برج خنک کننده و فن کوئل، فن برج خنک کننده ۵ کیلو واتی، بلور فن کوئل های ۰,۵ کیلو واتی بعلاوه هزینه آب مصرفی نیز اضافه می گردد که در کل به میزان تقریبی ۳۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال هزینه تولید سرما به وسیله یک سیستم سرمایشی با چیلر تراکمی برای کارفرما می باشد. با توجه به این مطالب از نظر ریالی وجود رسوب در این سیستم بمیزان ماهیانه ۳/۵۰۰/۰۰۰ ریال تا ۹/۰۰۰/۰۰۰ ریال به کارفرما ضرر مالی وارد می کند که این مقادیر در مقایسه با مقادیر مالی مورد نیاز جهت جلوگیری از ایجاد رسوب و یا رسوب برداری که سالیانه یک بار مورد نیاز می باشد بسیار زیاد و قابل توجه است[۶].

۳-۳- کاهش توان مصرفی پمپ ها

هنگامی که در مسیر سیال رسوب تشکیل می گردد با گذشت زمان این رسوبات سختتر شده و به حجم آن افزوده می شود و کاهش قطر مفید لوله و در نتیجه مساحت عبور سیال از درون لوله را سبب می گردد که بر اساس مطالب قبلی باعث افزایش ۴۰٪ افت فشار سیستم می گردد که بر اساس رابطه $P = \frac{\rho g \dot{Q} h_f}{\eta}$ این مقدار باعث افزایش توان مصرفی پمپ به همین میزان می گردد که رابطه مستقیمی با برق مصرفی پمپ دارد. در صورتی سیستم دارای رسوب نباشد این افزایش برق مصرفی بوجود نخواهد آمد که مسئله در مقایسه دو سیستم نو و کارکرده قابل مشاهده می باشد[۳].

۳-۴- کاهش مدت زمان کارکرد سیستم و افزایش راندمان دستگاه

هنگامی که یک سیستم رسوب نداشته باشد و یا رسوبات آن برداشته می شود آن سیستم با راندمانی نزدیک به راندمان محاسبه شده در طراحی اولیه کار می کند. لذا میزان سرمایش و گرمایش مطلوب را در مدت زمان کمتری ایجاد می نماید و در نتیجه مدت زمان کمتری بعنوان مثال کمپرسور چیلر تراکمی در مدار قرار می گیرند و یا در چیلرهای جذبی کاهش مصرف گاز را در پی خواهد داشت که این موارد نیز به نوبه خود مهم بوده و کاهش مدت زمان کارکرد قطعات اصلی یک سیستم سرمایشی هر یک ساعت باعث کاهش ۶٪ تا ۸٪ این هزینه ها می گردد.

۳-۵- صرفه جویی در عملیات و هزینه های روش های متداول رسوب زدایی

همانطور که می دانید روش های متفاوتی جهت رسوب زدایی و پیشگیری از ایجاد رسوب وجود دارد که هر کدام از این روش ها با توجه به مواد مصرفی و مدت زمان اجرا و دقت در کار دارای هزینه های زیادی هستند ولی در مقایسه با محلول میتره می توان گفت هزینه این روش به مراتب کمتر می باشد چراکه اغلب روش های موجود بدلیل اینکه مواد مصرفی از خارج از کشور وارد می شود هزینه ای زیادی در بر دارد و بایستی دستگاه مورد نظر را از مدار خارج نموده و بر روی آن تمیز کاری صورت گیرد.

لازم بذکر است هنگام استفاده از محلول میتره هزینه اجرایی کمی مورد نیاز است زیرا در ابتدا کافی است که محلول را از درون برج خنک کننده و یا منبع انبساط به سیستم تزریق نمود و سپس در مدت زمان برداشت رسوب که تقریباً ۲۰ روز می باشد عملیات خاصی وجود ندارد و پس از آن تنها نیاز به تخلیه آب سیستم و آبگیری مجدد سیستم می باشد.

۳-۶- افزایش تولید و کاهش مدت زمان اورهال

نظر به زمان خاموشی تجهیزات و دستگاهها جهت اورهال نمودن سیستم ها در روش های دیگر رسوب زدایی و کاهش این مدت زمان در حالت استفاده از محلول میتره که درصد اعظمی از کار در حین کارکرد سیستم صورت میگیرد و تنها یک مرحله در انتهای رسوب برداری نیاز به تخلیه و آبگیری مجدد سیستم می باشد و دیگر مراحل و همچنین در هنگام پیشگیری از نشست رسوب دیگر نیاز به خاموشی سیتم نبوده باعث گردیده این روش رسوب برداری از امتیاز ویژه ای نسبت به دیگر روش های موجود برخوردار باشد. تمامی این مسائل باعث افزایش کارکرد و تولید سیستم می گردد که این مسئله نیز به نوبه خود برای کارفرما با اهمیت می باشد.

۳-۷- کاهش سوانحات جانی برای پرسنل نگهداری نسبت به دیگر روشها

با توجه به حذف مشکلات زیست محیطی و مخاطرات جانی در هنگام استفاده از محلول میتره همچون عدم اسیدی بودن این محلول و عدم آسیب به پوست و یا چشم پرسنل و یا عدم آسیب جدی در صورت شرب احتمالی محلول باعث گردیده این محلول نسبت به محلول ها و روش های موجود دیگر که اغلب اسیدی، سمی

و مضر برای انسان و محیط زیست می باشند از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده و علاوه بر ارزش انسانی و معنوی آن، هزینه های این آسیب ها را از روی دوش کارفرما برمی دارد.

۴ نتیجه گیری

با توجه به مطالب عنوان شده دیدیم که در حالت وجود رسوب در سیستم میزان انتقال حرارت به میزان ۲۰٪ تا ۷۰٪ و سطح عبوری سیال بمیزان ۷٪ تا ۱۵٪ کاهش، افت فشار سیستم به مقدار ۲۰٪ تا ۶۰٪ افزایش می یابد که اگر در یک سیستم سرمایشی با چیلر تراکمی این موارد را بخواهیم بترتیب برابر است با ۲۵٪، ۱۰٪ و ۴۰٪ و بر این اساس کارفرما متحمل ضررهایی عنوان شده می گردد. در صورت استفاده از محلول میتره بسیاری از این موارد حذف شده و بازگشت سرمایه در نظر گرفته شده جهت رسوب زدایی و پیشگیری از نشست رسوب در مدت زمان کمتر از سه ماه اتفاق می افتد و هزینه هایی همانند تعویض و یا بازسازی سیستم که بدلیل وجود رسوب در سیستم بوده از بین می رود و در ماههای آتی برای کارفرما از نظر کاهش هزینه های نگهداری و مصرفی آب، برق و گاز سودآوری در پی خواهد داشت.

۵ مراجع

[1]- F. P. Incropera, (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[2]- S. Kakac, H. Liu, (2000). *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design*. New York: CRC PRESS.

[3]- F. M. White, (2010), *Fluid Mechanics*. New York: Mc Graw Hill.

[4]- J. V. Wylen, R. E. Sanntag (2010). *Fundamentals of Thermodynamics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[۵] - ماهنامه صنعت تاسیسات

[۶] - تعرفه های آب، برق و گاز مصرفی