



شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان

گزارش شماره ۱۰

خلاصه اطلاعات فنی محلول میتره

(رسوبزدا، پیشگیری از نشست رسوب و بازدارنده خوردگی)

به کوشش اعضای هیئت فنی

(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - دانشگاه شیراز)	مهندس محمد کجوری منش
(کارشناس مهندسی مکانیک - دانشگاه شهید چمران اهواز)	مهندس عباس رضازاده
(کارشناس ارشد خوردگی - دانشگاه شیراز)	مهندس سید حجت مساوات
(کارشناس ارشد خوردگی - دانشگاه شیراز)	مهندس مهدی حیدری
(کارشناس ارشد مهندسی شیمی - دانشگاه شیراز)	مهندس علیرضا غلامی
(کارشناس ارشد مهندسی شیمی - دانشگاه شیراز)	مهندس صبا صفائی
(کارشناس ارشد شیمی - دانشگاه آزاد اسلامی)	مهسا کشاورزی
(کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - دانشگاه صنعتی اصفهان)	مهندس لیلا برنجانی

اسفندماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

.....۳.....	فصل اول: مشخصات شیمیایی، فیزیکی محلول میتره
.....۵.....	فصل دوم: اطلاعات زیست محیطی محلول میتره
.....۱.۰.....	فصل سوم: خلاصه نتایج بررسی قدرت محلول میتره در کنترل میزان رسوب گذاری و خوردگی آب در حضور محلول میتره
.....۱.۴.....	فصل چهارم: تعیین میزان صرفه جویی انرژی و بازگشت مالی به کارفرمایان در صورت استفاده از محلول میتره
.....۲.۱.....	فصل پنجم: بررسی ممانعت از کاهش انتقال حرارت بر اثر رسوب زدایی محلول میتره به کمک نرم افزار Aspen B-JACK
Error! Bookmark not defined.	فصل ششم: خلاصه ای از آزمایشات رسوب برداری و نحوه کارکرد محلول میتره

فصل اول: مشخصات شیمیایی، فیزیکی محلول میتره

Material Safety Data Sheet

نام شرکت: شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان

نام محصول: میتره

۱- محصولات تجاری:

میتره صنعتی، میتره سرد، CMS

۲- هشدارهای حفاظتی:

نشانه اختصاری خطر: هیچ نشانه خطر ندارد.

۳- هشدارهای سلامتی:

تماس با چشم: بی خطر.

تماس با پوست: بی خطر.

تنفس: بی خطر

بلع: قابل شرب نمی باشد.

ایجاد حساسیت: ندارد

۴- کمکهای اولیه:

تماس با چشم: محلول میتره به علت نداشتن هیچ گونه خصلت اسیدی در تماس با چشم بی خطر می باشد اما در صورت بروز سوزش با آب سرد شست و شو شود تا به حال هیچ عارضه ای گزارش نشده است.

تماس با پوست: محلول میتره در تماس با پوست هیچ عارضه ای ایجاد نمی کند.

تنفس: محلول میتره یک مایع بی بو می باشد که استنشاق آن هیچ گونه عارضه ای ندارد.

بلع: این محلول سمی نیست اما قابل شرب نمی باشد و در صورت شرب دهان را با آب سرد شست و شو دهید.

۵ اطفاء حریق:

خطر خود آتش گیری: ندارد

خطر انفجار: ندارد

۶ خواص فیزیکی و شیمیایی:

RESULTS	CHARACTERISTICS OF MITREH
مایع	حالت فیزیکی
مایع قهوه ای روشن	شکل فیزیکی
قهوه ای روشن	رنگ
بی بو	بو
۵,۳	PH
حلال در آب	حلالیت در آب
۱,۲۳ (g/ml)	دانسیته در ۲۰°C
ندارد	دمای خود آتش گیری
ندارد	دمای انفجار
۹۷,۲	نقطه جوش
۴,۴ MS/CM	هدایت الکتریکی
پایین تر از اتان و الکل	سرعت تبخیر
< 0° C	نقطه انجماد
آب	جزء فرار
ثابت	ثبات شیمیایی
ندارد	خطر پلیمریزه شدن
ندارد	شرایط جلوگیری از استفاده
اسیدهای قوی معدنی و ترکیبات اکسید کننده قوی	اضافه کردن ترکیبات غیر مجاز

فصل دوم: اطلاعات زیست محیطی محلول میتره

روش آزمون	نتیجه (mg/l)	واحد	پارامتر	نوع آزمایش
spectrophotometry	۰,۲۹	F	فلوراید	Anions
spectrophotometry	۸۴	CL	کلراید	
spectrophotometry	۵۰	SO ₄	سولفات	
calculation	-	CO ₃	کربنات	
calculation	۳۴۱,۶	HCO ₃	بیکربنات	
spectrophotometry	-	NO ₂	نیتريت	
spectrophotometry	۲۹,۶	NO ₃	نترات	
spectrophotometry	۰,۰۱	PO ₄	فسفات	
spectrophotometry	۰,۲۱	NH ₄	آمونیم	
calculation	۰,۰۱	Mg	منیزیم	
flamphotometry	۲۱۵	Na	سدیم	
flamphotometry	۱	K	پتاسیم	
calculation	۴	Ca	کلسیم	
spectrophotometry	۰,۰۷	Fe	آهن	
spectrophotometry	۰,۰۱	Mn	منگنز	
photometry	۱۵	CaCO ₃	سختی کل	Physicochemical
photometry	۲۸۰		قلیائیت کل	
Electrometry	۴۴/۴	μs/cm	EC	
Electrometry	۵۵۴	Mg/l	TDS	
Electrometry	-	%	شوری	
Turbidimetry	-	NTU	کدورت	
spectrophotometry	۲۱۷	Mg/l	COD	
دستگاهی	۱۰	Mg/l	BOD	
Electrometry	۸		PH	
	۱۲	Mg/l	TSS	

۱- F (فلوراید):

فلوراید عنصری است که به مقدار فراوان بر روی زمین یافت می‌شود. حدود ۰.۳٪ از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. فلوراید در مقادیر جزئی در بعضی از منابع آب سطحی و در غلظت‌های زیاد در منابع آب زیر زمینی یافت می‌شود. مقادیر آن در آب خام معمولاً از ۰/۱-۱/۵ mg/lit است. اما مقادیر آن در آب‌های زیر زمینی خیلی بیشتر از این و حتی تا ۱۵ mg/lit باشد. حداکثر غلظت توصیه شده برای فلوراید در آبیاری (FAO, 1985) حدود ۱ می باشد.

میزان فلوراید در محلول میتره ۰,۲۹ می باشد که میزان آن زیر حد مجاز است و از نظر زیست محیطی و همچنین برای مصارف کشاورزی مشکل ایجاد نمی نماید.

۲- Mn, Fe, SO₄ (سولفات، آهن، منگنز):

در این محلول مورد نظر به ترتیب: ۵۰,۰۰,۰۷,۰۰,۰۱ می باشد و از نظر زیست محیطی بر روی آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، خاک و مصارف کشاورزی مشکلی ایجاد نمی نماید.

۳- کل جامدات محلول (TDS) و کل مواد معلق (TSS):

جامدات به ذرات معلق و محلول در آب، فاضلاب یا پساب صنعتی گفته می‌شود. منظور از کل جامدات محلول (TDS) در آب مجموعه‌های از نمک‌های معدنی و مقادیر کمی از مواد آلی است. یون‌های اصلی که TDS را تشکیل می‌دهند شامل کربنات کلراید، سولفات، نیترات سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم می‌باشد. کل جامدات محلول در تغییر کیفیت آب آشامیدنی همچون طعم، سختی و خوردگی نقش دارد.

منابع TDS: منابع اصلی افزایش جامدات محلول در منابع آشامیدنی، منابع طبیعی تخلیه پسابها، روان آب‌های شهری و فاضلاب‌های صنعتی هستند. کربنات‌ها، کلرایدها، کلسیم، منیزیم، سدیم و سولفات‌ها یون‌های اصلی ایجاد TDS آب هستند. استاندارد پیشنهادی برای استفاده از پساب‌ها در محیط زیست حداکثر میزان TDS را تا ۷۵۰ mg/Lit مجاز دانسته است. میتره مورد نظر ما از نظر TDS ۵۵۴ بسیار عالی بوده است. و همچنین از نظر TSS حدود ۲۲ Mg/lit بوده و میزان کل جامدات معلق در حداقل میزان قرار دارد و مشکلات زیست محیطی ایجاد نمی نماید.

۴- اکسیژن خواهی زیستی (BOD):

مقدار اکسیژنی است که به وسیله میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه مواد آلی تحت شرایط و زمان مشخص مورد نیاز است. واحد آن برحسب میلی گرم اکسیژن در لیتر بیان می‌شود. اکسیژن محلول

یکی از مهمترین اجزای سیستم های آبی و شاخص حیات آب است. با ورود مواد آلی قابل تجزیه در آب این مواد به وسیله میکروارگانیسم ها به ویژه باکتری ها مورد تجزیه قرار می گیرند و به ترکیبات تازه تر تبدیل می گردند. عملاً حصول نتیجه مطلوب از اکسیداسیون بیولوژیک یک نمونه مستلزم کشت نمونه در شرایط مناسب و زمان نسبتاً طولانی است و این مدت در مشخصات استاندارد ۵ روزه معین شده است.

میزان BOD مربوط به محلول میتره حدود ۱۰ mg/Lit گزارش شده است. که حد مجاز آن حدود ۵۰ میلی گرم بر لیتر بر طبق استانداردهای مربوط به صنایع تعیین شده است. نشان دهنده این است که محلول مورد نظر دارای حداقل مواد آلی می باشد و تاثیر آن بر روی محیط زیست حداقل می باشد.

۵- کسیتزن خواهی شیمیایی (COD):

به مقدار اکسیتزن خواهی شیمیایی معادل با آن قسمت از مواد آلی و ترکیبات معدنی موجود در نمونه (آب، فاضلاب و پساب) که میتواند به وسیله یک عامل اکسیدکننده قوی تحت شرایط خاص به طریق شیمیایی اکسید شود، COD گویند. واحد آن برحسب میلی گرم اکسیتزن در لیتر بیان می گردد.

مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی معمولاً به وسیله آزمایش اکسیتزن مورد نیاز شیمیایی (COD) اندازه گیری می شوند. همچنین ممکن است این مواد به وسیله آنالیز Total Organic Carbon (TOC) تخمین زده شوند. در هر دو آزمایش TOC و COD، قسمت مواد آلی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی و قابل تجزیه بیولوژیکی را اندازه می گیرند.

میزان این شاخص برای محلول میتره ۲۱۷ میلی گرم بر لیتر است که با توجه به استاندارد حفاظت محیط زیست و EPA آمریکا که حدمجاز COD را برای پساب های صنعتی حدود ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر تعیین نموده است، یک مقداری از حد مجاز بیشتر است ولی با این وجود مشکل زیست محیطی را ایجاد نمی نماید.

تاثیرات COD: بسیاری از ترکیبات شیمیایی PCB، دی اکسین ها، سلولزها، اسیدهای تانیک، به دلیل خواص سمی در طولانی مدت خطرات سلامتی بر انسان دارد. از نظر آب آشامیدنی، اگر به عنوان مصارف کشاورزی، این ترکیبات در گیاه تجمع می یابد و در نهایت به بدن انسان یا دام منتقل و باعث اختلالات باروری می گردد.

۶- آمونیوم (NH₄):

میزان یون آمونیوم در محلول میتره ۰,۲۱ است، میزان آن خیلی ناچیز است. همچنین یون آمونیوم در PH اسیدی فرم غالب یون آمونیوم است که سمیت کمتری برای آبزیان دارد و در PH قلیایی فرم

غالب آمونیاک است و سمیت بیشتری برای آبزیان دارد. بنابراین برای آبزیان و محیط زیست خطر بسیار ناچیز دارد.

۷- غلظت عناصر سنگین و کمیاب

عناصر	غلظت اندازه گیری شده پساب مورد نظر (میتره) (میلی گرم بر لیتر)	حد مجاز در آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	حد مجاز در مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)
آهن (Fe)	۱,۲	۳	۳
آرسنیک (AS)	۰,۱	۰,۱	۰,۱
بور (B)	۰,۲	۲	۱
روی (Zn)	۰,۱۷	۲	۲
مس (Cu)	۰,۱۸	۱	۲
کادمیوم (Cd)	۰,۰۳۳	۰,۱	۰,۰۵

فلزات سنگین معمولاً از منابع مختلفی مانند مواد زائد معادن، شیرابه اماکن دفن بهداشتی، فاضلابهای شهری، روانابهای شهری و فاضلابهای صنعتی متفاوت بخصوص آبکاری، الکترونیک و صنایع فلزی به محیط زیست تخلیه می شوند. فلزات سنگین عناصر طبیعی پوسته زمین نیز بشمار میروند که آنها را نمیتوان کم کرد یا از بین برد. مقداری از آنها از طریق غذا و نوشیدن و آب و هوا وارد بدن ما می شوند. این فلزات می توانند عوارضی نظیر مسمومیت سرطان و اثرات ژنتیکی کوتاه مدت و بلند مدت را ایجاد نمایند. همچنین آلودگی آب و خاک با فلزات سنگین یکی از معضلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی را دچار مخاطره نموده و سلامتی افراد جامعه را نیز به خطر می اندازد.

فلزات سنگین به علت داشتن ویژگی هایی نظیر پایداری، تجمع پذیری در بافت ها، تجزیه ناپذیری و مقاومت به تغییرات بیولوژیکی وارد چرخه حیات و زنجیره غذایی شده و با تجمع در بافت های چربی و تغییر و تبدیل در آن ها عوارضی نظیر مسمومیت، سرطان زایی و اثرات ژنتیکی کوتاه و بلند مدت به دنبال خواهند داشت.

فلزات سنگین به خاطر سمیت بالایشان یکی از تهدیدات جدی برای محیط زیست، حیوانات و انسان ها به شمار می روند. چهار فلز جیوه، سرب، کادمیوم و آرسنیک فلزاتی هستند که به علت کاربرد گسترده و سمیت و توزیع وسیع آنها بیشترین خطرات زیست محیطی را دارند. البته هیچ یک از این عناصر هنوز به آن اندازه در محیط

زیست پخش نشده تا اینکه خطری گسترده بشمار آید اما در هر حال در بعضی مناطق درسطوحی سمی یافت گردیده است .

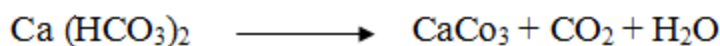
۸-تاثیرات پساب میتره بر روی بدن انسان و محیط زیست

با توجه به جداول ارائه شده و همچنین میزان اندازه گیری شده این ۴ عنصر (جیوه:۰,۰۱، آرسنیک:۰,۱، کادمیوم:۰,۰۳۳، سرب :۰) می توان نتیجه گرفت به دلیل پایین بودن مقدار اندازه گیری شده این ۴ عنصر و زیر حد مجاز بودن آن ها، میتره از نظر سمیت و ایجاد بیماری بر روی انسان مشکل خاصی به وجود نمی آورد و نگران کننده نمی باشد. از نظر فلزات کمیاب و سنگین به دلیل این که میزان عناصر اندازه گیری شده زیر حد مجاز است مشکلی نداشته و از نظر زیست محیطی اگر محیط پذیرنده آب های سطحی، خاک و یا آب های مصارف کشاورزی باشد مشکلی ایجاد نمی نماید.

فصل سوم: خلاصه نتایج بررسی قدرت محلول میتره در کنترل میزان رسوب گذاری و خوردگی آب در حضور محلول میتره

به منظور جلوگیری از تشکیل رسوب‌های ناخواسته در آبهای خنک‌کن، تنظیم شیمیایی آب از اهمیت زیادی برخوردار است. به طور کلی بالا رفتن غلظت مواد و جامدات حل شده و معلق در آب خنک‌کن، سبب افزایش پتانسیل رسوب‌دهی آب می‌شود. استفاده از بازدارنده‌های کنترل رسوب، کمک موثری در این کنترل می‌تواند داشته باشد. باید عنوان کرد که نمک‌های کلسیم و منیزیم مهم‌ترین نمک‌های تولید کننده رسوب در آب می‌باشد و این نمک‌ها غالباً سبب تشکیل رسوبات متراکم و چسبیده در روی لوله‌ها می‌شوند. از متداول ترین این نمک‌ها می‌توان کربنات کلسیم و سولفات کلسیم را نام برد.

کربنات کلسیم متداولترین رسوب شناخته شده در سیستم‌های آب خنک‌کن می‌باشد و این ترکیبات یک رسوب فوق العاده سخت و چسبنده ایجاد می‌کند. در غالب آبهای خنک‌کن، بی کربنات و همچنین قلیائیت کلسیم وجود دارد. افزایش حرارت و یا بالا رفتن pH سبب تجزیه بی کربنات کلسیم به دی اکسید کربن و کربنات کلسیم می‌شود.



از آنجا که حلالیت کربنات کلسیم در تمام درجه حرارت‌ها فوق العاده کم است، بنابراین به راحتی رسوب می‌کند و مشکل رسوب زائی ایجاد می‌نماید. علاوه بر کربنات کلسیم، سولفات کلسیم نیز یک عامل ایجاد رسوب می‌باشد. سولفات کلسیم می‌تواند به اشکال مختلف در آب خنک‌کن وجود داشته باشد، معمولی‌ترین آنها، گچ با فرمول $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ می‌باشد. حلالیت این نمک‌های تابع دما است ولی به طور کلی از حلالیت پائینی برخوردار هستند.

آزمایشات کنترل میزان رسوب‌گذاری توسط پژوهشگاه صنعت نفت صورت گرفته است. این آزمایشات بر اساس استاندارد NACE TM 0374، در دمای کاری ۷۱ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت انجام شده است. سیال مورد آزمایش در این تحقیق، ساکن نگه داشته شده است. روش استاندارد NACE TM 0374، جهت تعیین توانایی ضد رسوب‌ها برای جلوگیری از ته‌نشینی سولفات کلسیم و کربنات کلسیم در محلول برای سیستم‌های تولید کننده نفت و گاز می‌باشد. همان طور که می‌دانیم، این آزمایشات در راستای تعیین کارایی محلول میتره

صنعتی به عنوان ضد رسوب انجام گرفته و پژوهشگاه صنعت نفت نتایج ارزیابی در محیط‌های حاوی سولفات کلسیم و کربنات کلسیم را در قالب جداول ۱ و ۲ ارائه کرده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از ارزیابی نمونه ارسالی، در محیط حاوی سولفات کلسیم

غلظت بازدارنده (%)	میزان سختی کلسیم اولیه (ppm)	میزان سختی کلسیم نهائی (ppm)	درصد جلوگیری (%)
0	4100	2620	-
0.1	4100	3770	77.7
0.5	4100	3670	70.9
1	4100	3580	64.9

جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی نمونه ارسالی، در محیط حاوی کربنات کلسیم

غلظت بازدارنده (%)	میزان سختی کلسیم اولیه (ppm)	میزان سختی کلسیم نهائی (ppm)	درصد جلوگیری (%)
0	3930	2260	-
0.1	3930	3480	73.1
0.5	3930	2820	33.5
1	3930	2260	0.0

با توجه به داده‌های جدول ۱، وقتی ۰/۱ درصد از میتره صنعتی را به سیستم اضافه کنیم، تفاوت میزان سختی کلسیم اولیه و نهایی کمتر شده و تا ۷۷/۷ درصد نسبت به زمانی که میتره صنعتی در محیط نباشد، از ته‌نشینی رسوبات سولفات کلسیم جلوگیری می‌گردد. با افزایش میزان میتره صنعتی از ۰/۱ به ۰/۵ و ۱/۰ درصد، از کارایی آن به عنوان ضد رسوب کاسته می‌شود. نتایج جدول ۲ نیز نشان دهنده کاهش کارایی میتره صنعتی در ازای افزایش مقدار آن از ۰/۱ به ۰/۵ و ۱/۰ درصد در سیستم می‌باشد. این جدول حاکی از بازدارندگی ۷۳/۱ درصدی از ایجاد رسوبات کربنات کلسیم در محلول حاوی ۰/۱ درصدی میتره صنعتی است.

با مقایسه جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که محلول میتره صنعتی در غلظت ۰/۱ درصد از کل محلول یا به عبارتی ۱۰۰۰ ppm، توانایی بالایی جهت جلوگیری از ته‌نشینی رسوبات سولفات کلسیم و کربنات کلسیم دارد. بازدهی محلول میتره صنعتی در محیط‌های حاوی سولفات کلسیم نسبت به محیط‌های حاوی کربنات کلسیم بیشتر است. همچنین برای بهبود کارایی در سیستم‌ها، باید طبق دستورالعمل ارائه شده از آن استفاده کرد. شایان ذکر است که میزان مصرف میتره صنعتی پایین بوده و از این منظر نیز منحصر به فرد می‌باشد. به طور کلی می‌توان محلول میتره صنعتی را به عنوان یک ضد رسوب توانا جهت استفاده در صنایع معرفی نمود.

یکی از محیط‌هایی که سبب خوردگی می‌شود، محیط‌های آبی است و از آنجائی که غالباً مصرف آب در صنایع زیاد می‌باشد، باید به خوردگی‌هایی که توسط آب ایجاد می‌شود توجه خاصی کرد. یکی از روش‌های جلوگیری از خوردگی فلزات در تاسیساتی که با آب کار می‌کنند، استفاده از مواد بازدارنده است. عملکرد خوردگی محلول میتره به عنوان یک بازدارنده با استفاده از روش الکتروشیمیایی در آزمایشگاه خوردگی دانشگاه شیراز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از پلاریزاسیون تافل نشان داد که در حضور محلول میتره، دانسیته جریان خوردگی و نرخ خوردگی فولاد ساده کربنی و مس تجاری در محیط آبی کاهش یافت و این نشان می‌دهد که میتره دارای بازده بازدارندگی در برابر خوردگی آب کافی می‌باشد.

نمونه	i_{corr} ($\mu A.cm^{-2}$)	نرخ خوردگی (mpy)	بازده بازدارندگی (%)
فولاد ساده کربنی در آب شهر	5.835	2.67	-
فولاد ساده کربنی در آب شهر به همراه ۰/۴ درصد محلول میتره صنعتی	0.133	0.061	97.72
مس در آب شهر	0.459	0.21	-
مس در آب شهر به همراه ۰/۴٪ محلول میتره صنعتی	0.0619	0.028	86.51

نتایج بدست آمده از تست امپدانس الکتروشیمیایی نشان دهنده افزایش مقاومت پلاریزاسیون در نتیجه اضافه شدن محلول میتره به سیستم می باشد که این افزایش بیان کنندهی خاصیت بازدارندگی محلول میتره در محیط آب می باشد. نتایج بدست آمده از درصد بازدارندگی محلول میتره در توافق با نتایج بدست آمده از تست پلاریزاسیون تافل بوده و آن را تایید می کند. همچنین نتایج بدست آمده از مدل سازی فرآیند خوردگی فولاد و مس در آب آشامیدنی در حضور محلول میتره توسط مدار معادل الکتریکی، نشان دهنده تشکیل یک فیلم محافظ بر روی سطح می باشد.

نمونه	R ($\Omega \text{ cm}^2$)	بازده بازدارندگی (%)
فولاد ساده کربنی در آب شهر	2.153E3	-
فولاد ساده کربنی در آب شهر به همراه ۰/۴ درصد محلول میتره صنعتی	1.66E6	98.70
مس در آب شهر	2.280E5	-
مس در آب شهر به همراه ۰/۴٪ محلول میتره صنعتی	1.758E6	87.02

فصل چهارم: تعیین میزان صرفه جویی انرژی و بازگشت مالی به کارفرمایان در صورت استفاده از محلول میتره

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. 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.

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 رسوب ذره ای، رسوب کریستالی، رسوب خوردگی، رسوب بیولوژیکی و رسوب ناشی از واکنش شیمیایی تقسیم می شود.

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:

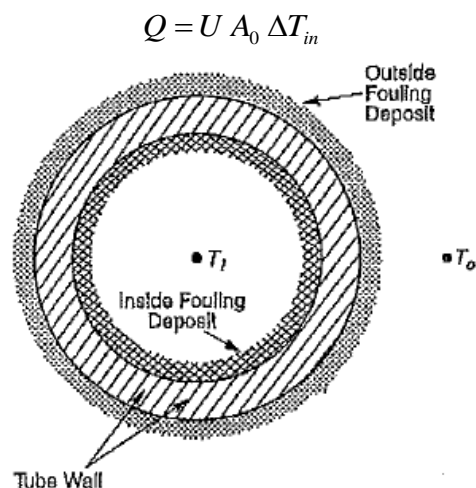
- ۱- کاهش سطح انتقال حرارت و در نتیجه کاهش ضریب انتقال حرارت بین دو سیال درون مبدل حرارتی
- ۲- کاهش قطر لوله ها و در نتیجه کاهش دبی جریان سیال عبوری و افزایش سرعت در لوله ها
- ۳- افزایش میزان توان پمپ و کمپرسور جهت به جریان انداختن سیال ها

- 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:

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:



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:

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

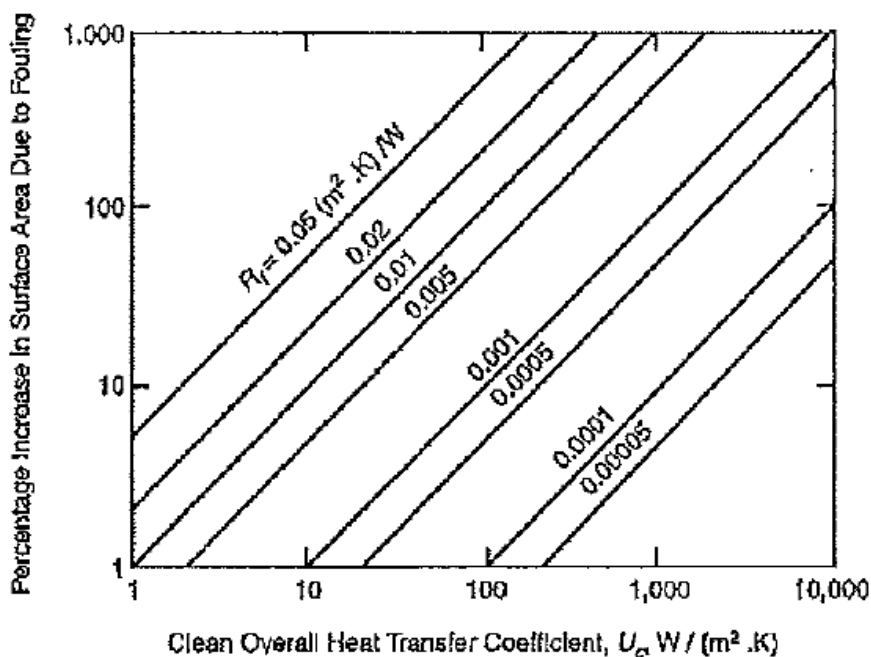
میزان انتقال حرارت در حالت وجود رسوب برابر است با:

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

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:



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 حالت های متفاوتی از وجود دو سیال مایع و گاز این مقادیر در جدول زیر آمده است:

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 (%)
<i>Tube Side: Gas at Very Low Pressure; $h_i = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$</i>					
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
<i>Tube Side: Gas at High Pressure; $h_i = 500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$</i>					
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
<i>Tube Side: Medium Organic Liquids, $h_i = 1,000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$</i>					
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
<i>Tube Side: Water, $h_i = 5,000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$</i>					
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- 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:

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

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:

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

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 $R_f = 0.0004 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ 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 افت فشار سیستم در جدول زیر محاسبه شده است:

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 $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, 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 متر 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.

کنترل رسوب و جنبه های سودآوری آن برای کارفرما

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 می باشد. 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:

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 دی هیوای 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.

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 حرارتی 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 اساس 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.

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 $P = \frac{\rho g Q h_f}{\eta}$ 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.

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.

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 آگیری مجدد سیستم می باشد.

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 آگیری مجدد سیستم می باشد و دیگر مراحل و همچنین در هنگام پیشگیری از نشست رسوب دیگر نیاز به خاموشی سیستم 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.

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.

فصل پنجم: بررسی ممانعت از کاهش انتقال حرارت مبدل حرارتی بر اثر

رسوب زدایی محلول میتره به کمک نرم افزار Aspen B-JACK

جهت بررسی موارد عنوان شده در خصوص کاهش انتقال حرارت در مبدلهای حرارتی در هنگام نشست رسوب یک نمونه شبیه سازی بر روی کندانسور یک چیلر آبی ۱۴۰ تن سرمایش با استفاده از نرم افزار Aspen B-jac شامل تعدادی برنامه جهت طراحی حرارتی، طراحی مکانیکی، برآورده هزینه ها و ترسیم برای مبدل های حرارتی و مخازن تحت فشار می باشد، انجام گرفته است.

در این مرحله نیاز است که یک مشخصات کلی از سیستم بیان شود تا شبیه سازی ملموس تر گردد. یک نمونه مبدل حرارتی پوسته و لوله انتخاب شده است که در آن گاز ۲-۲۲ توسط آب خنک می شود. آب درون لوله جریان داشته و گاز درون پوسته می باشد. اطلاعات کلی مبدل در جداول زیر بیان شده است.

مشخصه	پوسته	لوله
سیال	r-22	آب
تغییرات دما	۱۰۵-۴۰	۲۹-۲۴
فشار (psi)	-	۱،۴۵
قطر (in)	۱۲	۹۲ عدد لوله ۰.۵ اینچ
جنس	کربن استیل	مس

		Shell Side		Tube Side	
Gases (in/out)	kg/h	11188	11188		
Liquids (in/out)	kg/h			27360	27360
Temperature (in/out)	C	105	40	24	29
Dew point or bubble point	C				
Film coefficient	kcal/(h*m ² *C)	490.4		7778.4	
Fouling resistance	m ² *h*C/kcal			0.0004	
Velocity	m/s	3.28		2.02	
Pressure drop (allow./calc.)	kgf/cm ²	0.703/0.084		0.102/0.309	
Total heat exchanged	kcal/h	136936	Type BEM	hor	1 ser 1 par
Overall coef. - dirty	kcal/(h*m ² *C)	370.3	Shell size	189—2000	mm
Effective surface area	m ²	7.2	Tube No-OD	92—12.7	mm
MTD corrected	C	36.86	Baffles	single seg	43 % hor
MTD correction factor		0.96	Tube passes	2	

جدول ذیل نتایج بدست آمده از نرم افزار آورده شده است:

Heat Exchanger Specification Sheet						
1	Company:					
2	Location:					
3	Service of Unit:		Our Reference:			
4	Item No.:		Your Reference:			
5	Date:	Rev No.:	Job No.:			
6	Size	189-- 2000	mm	Type BEM	hor	Connected in 1 parallel 1 series
7	Surf/unit(eff.)	7.2	m2	Shells/unit 1	Surf/shell (eff.)	7.2 m2
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT					
9	Fluid allocation		Shell Side		Tube Side	
10	Fluid name		r-22		water	
11	Fluid quantity, Total		11188		27360	
12	Vapor (In/Out)		11188	11188		
13	Liquid				27360	27360
14	Noncondensable					
15						
16	Temperature (In/Out)		C	105	40	24 29
17	Dew / Bubble point		C			
18	Density		kg/m3	44.94	60.14	998.31 997.38
19	Viscosity		cp	0.016	0.015	0.919 0.819
20	Molecular wt, Vap					
21	Molecular wt, NC					
22	Specific heat		kcal/(kg°C)	0.1909	0.1879	1.0012 1.0008
23	Thermal conductivity		kcal/(h*m°C)	0.016	0.012	0.516 0.521
24	Latent heat		kcal/kg			
25	Pressure		kgf/cm2	15		2
26	Velocity		m/s	3.28		2.02
27	Pressure drop, allow./calc.		kgf/cm2	0.703	0.084	0.102 0.309
28	Fouling resist. (min)		m2*h°C/kcal			0.0004
29	Heat exchanged		136936	kcal/h	MTD corrected	36.86 C
30	Transfer rate, Service		515.9	Dirty 370.3	Clean 453.9	kcal/(h*m2°C)

CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch		
32			Shell Side	Tube Side		
33	Design/Test pressure		kgf/cm2	15.468/ /Code	5.273/ /Code	
34	Design temperature		C	143.33	65.56	
35	Number passes per shell			1	2	
36	Corrosion allowance		mm	1.59		
37	Connections		In	152.4/150 ANSI	101.6/	
38	Size/rating		Out	152.4/150 ANSI	101.6/	
39	mm/		Intermediate	/150 ANSI	/	
40	Tube No. 92	OD 12.7	Tks-avg 1.24	mm Length 2000	mm Pitch 15.88 mm	
41	Tube type		Material Copper		Tube pattern 30	
42	Shell CS	ID	OD 203.2	mm	Shell cover	
43	Channel or bonnet		Copper	Channel cover		
44	Tubesheet-stationary		Copper	Tubesheet-floating		
45	Floating head cover		Impingement protection		None	
46	Baffle-crossing CS	Type single seg	Cut(%d) 43	hor	Spacing: c/c 406.4 mm	
47	Baffle-long		Seal type	Inlet 371.35 mm		
48	Supports-tube		U-bend	Type		
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint		groove/expand	
50	Expansion joint		Type			
51	RhoV2-Inlet nozzle 6*7	Bundle entrance 974		Bundle exit 728	kg/(m*s2)	
52	Gaskets - Shell side		Tube Side			
53	Floating head					
54	Code requirements			ASME Code Sec VIII Div 1	TEMA class C	
55	Weight/Shell		312.7	Filled with water 368.3	Bundle 108.4 kg	
56	Remarks					
57						
58						



اگر بخواهیم مقایسه ای از این کندانسور در حالت تمیز آن با حالتی که رسوب گرفته است را داشته باشیم با اعمال ضخامت و ضریب انتقال حرارت رسوب بر اساس جداول موجود در کتب مبدلهای حرارتی این نرم افزار قابلیت مقایسه آنها را داراست که نتایج حاصله بدین صورت می باشد:

Exchanger		Clean	Dirty
Heat exchanged	kcal/h	130318	119076
Transfer rate	kcal/(h*m2*C)	453.9	370.3
Effective surface area	m2	7.2	7.2
Corrected MTD	C	39.87	44.65
Shell side temperature in/out	C	105/43.03	105/48.37
Tube side temperature in/out	C	24/28.76	24/28.35
Outlet temperature for pass	C	1 27.24 2 28.76	26.83 28.35

با توجه به نتایج حاصله مشخص است که در صورت نشست رسوب میزان انتقال حرارت در کندانسور ۱۱۲۴۲ کیلوکالری بر ساعت کاهش می یابد و گاز مورد نظر به دمای مطلوب نرسیده و ۵ درجه از حد مورد نظر گرمتر از کندانسور خارج می گردد. همچنین دمای کارکرد از ۳۹,۸۷ درجه سانتی گراد به ۴۴,۶۵ درجه می رسد که علاوه بر کاهش راندمان سیستم باعث خارج شدن سیستم از نقطه کارکرد طراحی شده که آسیب پذیری سیستم در برابر تنش های حرارتی و مکانیکی را افزایش می دهد.