



## شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان

گزارش شماره ۱

# طراحی و انجام آزمایش رسوب برداری برای یک مبدل خاص در شرایط عملیاتی ویژه

به کوشش

صبا صفائی

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی / دانشگاه شیراز - مهندس مشاور بخش فرآیند / پژوهشگاه  
فضایی (پژوهشکده مکانیک))

علیرضا غلامی

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی / دانشگاه شیراز - مدیر فروش بخش نفت، گاز و پتروشیمی / شرکت  
بهراد سازان پارسه)

اسفندماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

## چکیده

# طراحی و انجام آزمایش رسوببرداری برای یک مبدل خاص در شرایط عملیاتی ویژه

وجود رسوب در عملکرد حرارتی و هیدرولیکی اصلی‌ترین مشکل طراحی و بهره برداری مبدل‌های صنعتی می‌باشد. یکی از دستاوردهای شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان مهر افزاء، ارائه روشی نوین برای رسوب برداری مبدل‌ها با استفاده از محلول‌های میتره صنعتی و سرد می‌باشد. در این تحقیق آزمایشی برای ارزیابی توانایی رسوب برداری محلول‌های میتره صنعتی و سرد با مقدار مصرف مشخص شده از طرف شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان مهرافزا برای یک مبدل حرارتی خاص، طراحی و انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که محلول ۰/۲٪ میتره صنعتی و میتره سرد توانایی رسوببرداری را دارد. ولی قدرت رسوببرداری آن باید با افزایش غلظت میتره صنعتی و میتره سرد افزایش یابد تا بتواند در صنعت کارایی بهتری داشته باشد.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحة
فصل اول: مقدمه	۷
فصل دوم: روش تحقیق و نتایج	۸
۱-۱-۱-۲- طراحی و انجام آزمایش رسوب برداری برای یک مبدل حرارتی خاص	۸
۱-۱-۲- هدف	۸
۱-۲-۱-۲- تجهیزات مورد استفاده	۸
۱-۲-۳-۲- روش	۸
۱-۴-۱-۲- نتایج و بحث	۱۳
۲-۱-۵- تعیین مقدار کل جامدات محلول (TDS)	۱۵
۱-۲-۲- هدف	۱۵
۲-۲-۲- تجهیزات مورد استفاده	۱۵
۳-۲-۲- روش	۱۵
۴-۲-۲- محلول‌های مورد آزمایش	۱۷
۵-۲-۲- نتایج و بحث	۱۷
۳-۳-۲- قابلیت رسانایی	۱۸
۱-۳-۲- هدف	۱۸

۱۸	- تجهیزات مورد استفاده.....	۲-۳-۲
۱۸	..... روش.....	۳-۳-۲
۲۱	- محلول‌های مورد آزمایش.....	۴-۳-۲
۲۱	..... نتایج و بحث.....	۵-۳-۲
۲۲	..... pH - اندازه‌گیری	۴-۴-۲
۲۲	..... هدف.....	۱-۴-۲
۲۳	..... تئوری.....	۲-۴-۲
۲۳	- تجهیزات مورد استفاده.....	۳-۴-۲
۲۳	..... روش.....	۴-۴-۲
۲۴	- محلول‌های مورد آزمایش.....	۵-۴-۲
۲۵	..... نتایج و بحث.....	۶-۴-۲
۲۶	..... محاسبه مقدار یون کلرید	۵-۲
۲۶	..... هدف.....	۱-۵-۲
۲۶	- تجهیزات مورد استفاده.....	۲-۵-۲
۲۷	..... معرف‌ها.....	۳-۵-۲
۲۷	..... روش.....	۴-۵-۲
۲۸	- محلول‌های مورد آزمایش.....	۵-۵-۲
۲۹	..... نتایج و بحث.....	۶-۵-۲
۳۰	..... تست قلیاییت	۶-۲
۳۰	..... هدف.....	۱-۶-۲
۳۰	- تجهیزات مورد استفاده.....	۲-۶-۲
۳۰	..... معرف‌ها.....	۳-۶-۲

۳۱	روش.....۴-۶-۲
۳۲	۵-۶-۲- محلول های مورد آزمایش.....
۳۳	۶-۶-۲- نتایج و بحث.....
۳۳	۷-۲- اندازه گیری سختی با روش عیار سنجی با استفاده از EDTA .....
۳۳	۱-۷-۲- هدف.....
۳۴	۲-۷-۲- تجهیزات مورد استفاده.....
۳۴	۳-۷-۲- معرف ها.....
۳۵	۴-۷-۲- روش.....
۳۷	۵-۷-۲- محلول های مورد آزمایش.....
۳۷	۶-۷-۲- نتایج و بحث.....
۳۹	فهرست منابع.....

## ۱- مقدمه

طبق محاسبات به عمل آمده در کشورهای صنعتی زیان ناشی از رسوب در مبدل‌های حرارتی ۰.۲۵٪ درصد از رشد ناخالص ملی GDP را شامل می‌شود. تا ۲۵ سال پیش مشکل رسوب در مبدل‌ها تقریباً غیر قابل حل محسوب می‌شد و امروزه نیز وجود رسوب در مبدل‌های حرارتی و تجهیزات انتقال حرارت مشکل اقتصادی عمدہ‌ای است. طبق محاسبات به عمل آمده حداقل زیان‌های ناشی از رسوب در صنایع ایالات متحده آمریکا ۱۸ میلیارد دلار برآورد شده است که به تنها ۶ میلیارد دلار خسارات ناشی از وجود رسوب در مبدل‌های حرارتی می‌باشد. وجود رسوب در عملکرد حرارتی و هیدرولیکی اصلی‌ترین مشکل طراحی و بهره برداری مبدل‌های صنعتی می‌باشد. به علت تشکیل رسوب در مبدل‌های حرارتی و چگالنده‌ها، سطح انتقال حرارت بین ۰.۲۰٪ - ۰.۲۰٪ در طراحی اولیه افزایش می‌یابد. از معایب و مضرات رسوب می‌توان به کاهش و تغییر در ضریب انتقال حرارت، محدود نمودن دبی خروجی به علت افزایش ضریب اصطکاک سطح داخلی لوله‌ها، افزایش زمان و تعداد اورهال مجموعه، افزایش هزینه‌ها و قیمت محصول، کاهش راندمان تولید و افزایش مصرف مواد اولیه، افزایش استفاده از حلالهای شیمیایی، افزایش تعویض لوله‌ها و مخازن و تجهیزات و کاهش عمر مفید آن‌ها، کاهش اعتماد به سیستم، کاهش عمر مفید تجهیزات و اختلال در فرآیند، اشاره کرد [۱].

یکی از دستاوردهای شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان مهر افزا، ارائه روشی نوین برای رسوب برداری مبدل‌ها با استفاده از محلول‌های میتره صنعتی و سرد می‌باشد. در این تحقیق آزمایشی برای ارزیابی توانایی رسوب برداری محلول‌های میتره صنعتی و سرد با مقدار مصرف مشخص شده از طرف شرکت پژوهشی صنعتی آبریزان مهر افزا برای یک مبدل حرارتی خاص، طراحی و انجام شده است.

## ۲- روش تحقیق

### ۱-۱-۲- طراحی و انجام آزمایش رسوب برداری برای یک مبدل حرارتی خاص

#### ۱-۱-۲- هدف

این آزمایش در راستای تعیین قدرت رسوب برداری میتره طراحی و انجام شده است.

#### ۲-۱-۲- تجهیزات مورد استفاده

- ترازوی دیجیتالی
- بشر شیشه‌ای
- پیپت
- همزن مغناطیسی<sup>۱</sup>
- مگنت
- ریزسنچ

#### ۳-۱-۲- روش

برای نزدیک بودن شرایط آزمایش به شرایط واقعی، باید از لوله رسوب دار یک مبدل حرارتی استفاده شود. ابتدا درون یک استوانه مدرج ۲۰ میلی لیتری، ۱۰ CC آب ریخته و سپس

---

Magnetic Stirrer<sup>۱</sup>

۱۰ گرم از رسوب روی قسمتی از لوله را برداشته و درون استوانه مدرج می‌ریزیم و طبق معادله (۱-۲) چگالی رسوب را محاسبه می‌کنیم.

$$\rho_F \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{10000}{(a - b)} \quad (1-2)$$

a : حجم آب در استوانه مدرج بعد از اضافه کردن ۱۰ گرم رسوب (ml)

b : حجم آب در استوانه مدرج قبل از اضافه کردن ۱۰ گرم رسوب (ml)

چگالی رسوب ( $\text{kg/m}^3$ ) :  $\rho_F$

قسمت‌هایی از لوله که رسوب آن کنده نشده باشد، در ابعاد کوچکتر بریده می‌شود و با استفاده از ریزنج ابعاد دقیق هر نمونه بریده شده (ارتفاع و شعاع‌های درونی و بیرونی لوله) و همچنین ضخامت رسوب، اندازه‌گیری می‌گردد. با استفاده از این ابعاد مقدار تقریبی رسوب و دور همزن مغناطیسی با توجه به معادله‌های (۱-۲)، (۲-۲) و (۳-۲) محاسبه می‌شود.

$$F_{\text{calc.}} (\text{g}) = 250\pi\rho_F h \times [(D + Z)^2 - D^2] \quad (2-2)$$

$$\omega (\text{rpm}) = \frac{60 \times V}{\pi[(D + Z) + \frac{(D_b - (D + Z))}{2}]} \quad (3-2)$$

در معادلات بالا داریم:

D : قطر بیرونی لوله (m)

$D_b$  : قطر درونی ظرف آزمایش (بشر) (m)

Z : ضخامت رسوب روی لوله (m)

h : ارتفاع لوله مورد آزمایش (m)

چگالی رسوب ( $\text{kg/m}^3$ ) :  $\rho_F$

(g) : مقدار رسوب تقریبی محاسبه شده

V : سرعت سیال در مبدل حرارتی (m/s)

$\omega$  : سرعت زاویه‌ای محاسبه شده همزن مغناطیسی (rpm)

سرعت زاویه‌ای محاسبه شده  $254$  rpm می‌باشد. وجوهی از نمونه لوله مورد آزمایش را که رسوب ندارد با لاک می‌پوشانیم. این امر جهت جلوگیری از خوردن لوله در طول آزمایش و تأثیر آن بر نتایج انجام می‌گیرد. بعد از خشک شدن لایه لاک، وزن اولیه نمونه را با وزنه دیجیتالی به دست می‌آوریم.

برای آماده کردن محلول از دستور العمل ارائه شده برای مبدل‌های شرکت مخابرات شیاراز، استفاده شد. طبق این دستور العمل، به ازای  $300$  کیلوگرم رسوب محاسبه شده،  $800$  لیتر میتره صنعتی و  $120$  لیتر میتره سرد وارد سیستم گردیده است. کل سیال در گردش نیز  $46000$  لیتر بوده است. بر این اساس می‌توان میزان کل آب، میتره صنعتی و سرد به ازای مقدار رسوب محاسبه شده ( $F$ ) برای نمونه لوله را تعیین و محلول آزمایش را تهیه کرد. برای محاسبه درصد افزایه میتره سرد و صنعتی موجود در محلول از معادله (۴-۱) استفاده می‌کنیم.

$$\%M_{Mitreh} = \left( \frac{M_{Ind.} + M_{Cold}}{V_{liq.}} \right) \times 100 \quad (4-2)$$

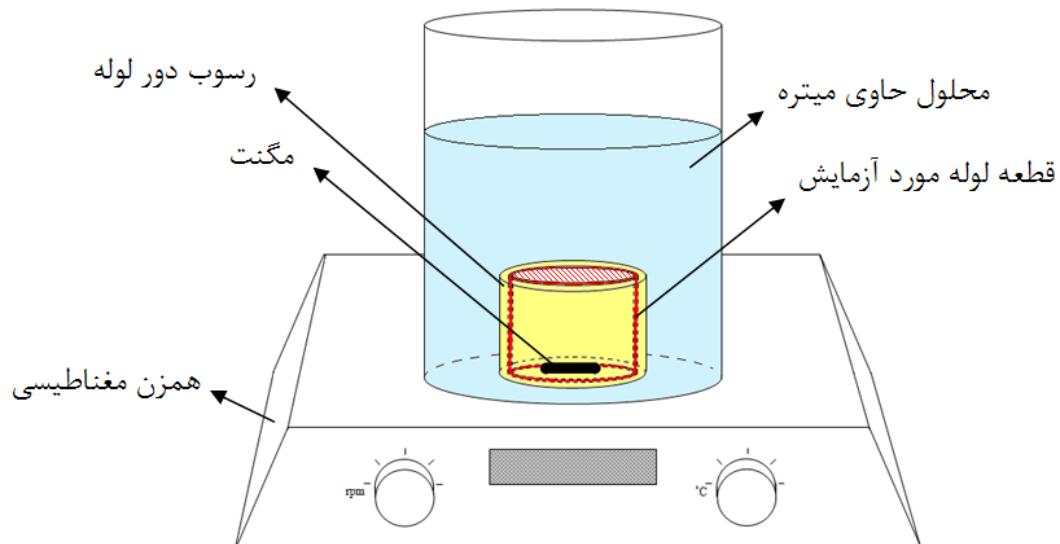
$M_{Ind.}$  : حجم میتره صنعتی مورد استفاده (lit)

$M_{Cold}$  : حجم میتره سرد مورد استفاده (lit)

$V_{liq.}$  : حجم کل سیال در گردش (lit)

$\%M_{Mitreh}$  : درصد افزایه میتره سرد و صنعتی موجود در محلول

با توجه به مقادیر ارائه شده برای مبدل‌های شرکت مخابرات شیاراز، میزان افزایه میتره سرد و صنعتی اضافه شده به کل سیال در گردش سیستم،  $2\%$  بوده و این نسبت در تمامی آزمایش‌های انجام شده رعایت شده است.



شکل ۱-۲- شماتیکی از آزمایش طراحی شده

بعد از انجام مراحل ذکر شده، جهت شروع آزمایش، ابتدا سرعت زاویه‌ای همزن مغناطیسی را تنظیم کرده و مطابق شماتیک ارائه شده در شکل (۱-۲)، یک بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری را روی همزن مغناطیسی گذاشته و محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و سرد تهییه شده را درون آن می‌ریزیم. لوله را در مرکز بشر قرار داده و زمان را یادداشت می‌کنیم. مگنت را در مرکز لوله قرار داده و سطح روی بشر را می‌پوشانیم تا از تبخیر محلول جلوگیری شود. هر ۳ روز یک بار به مدت ۸ ساعت همزن مغناطیسی را خاموش می‌کنیم. بعد از ۱۴ روز نمونه را از محلول بیرون می‌آوریم و آن را به مدت ۵ روز در کوره حرارتی با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار می‌دهیم تا خشک شود. سپس آن را دوباره با ترازوی دیجیتالی وزن کرده تا وزن ثانویه آن به دست آید. مقدار رسوب برداشته شده از معادله (۵-۲) محاسبه می‌گردد. برای به دست آوردن مقدار واقعی رسوب، نمونه لوله را درون ۵۰۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱۵٪ قرار می‌دهیم تا تمام رسوب آن حل شود. سپس نمونه را بیرون آورده، با آب قطر شستشو داده و می‌گذاریم تا خشک شود. وزن آن را دوباره اندازه‌گیری می‌کنیم. مقدار واقعی رسوب و درصد رسوب‌زدایی محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی به ترتیب از معادلات (۶-۲) و (۷-۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta W_F = W_0 - W_1 \quad (5-2)$$

$$F_{Real} = W_0 - W_2 \quad (6-2)$$

$$\% \eta = \frac{\Delta W_F}{F_{Real}} \quad (7-2)$$

در معادلات بالا داریم:

$W_0$  : وزن اولیه نمونه لوله (g)

$W_1$  : وزن نمونه لوله بعد از انجام آزمایش (g)

$W_2$  : وزن نمونه لوله بعد از رسوب‌زدایی با اسید کلریدریک (g)

$\Delta W_F$  : مقدار رسوب برداشته شده (g)

$F_{Real}$  : مقدار واقعی رسوب (g)

$\% \eta$  : بازده رسوب‌زدایی محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی

برای تعیین ضخامت واقعی رسوب قبل و بعد از انجام آزمایش و تغییرات ضخامت آن نیز می‌توان از معادلات (8-۲)، (۹-۲) و (۱۰-۲) کمک گرفت.

$$Z_1 = 1000 \times \left( \sqrt{D^2 + \frac{F_{Real}}{250\pi\rho_F h}} - D \right) \quad (8-2)$$

$$Z_2 = 1000 \times \left( \sqrt{D^2 + \frac{W_1 - W_2}{250\pi\rho_F h}} - D \right) \quad (9-2)$$

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 \quad (10-2)$$

در معادلات بالا داریم:

$D$  : قطر بیرونی لوله (m)

$Z_1$  : ضخامت واقعی رسوب روی لوله قبل از آزمایش (mm)

$Z_2$  : ضخامت واقعی رسوب روی لوله بعد از آزمایش (mm)

$\Delta Z$  : تغییرات ضخامت رسوب (mm)

$h$  : ارتفاع لوله مورد آزمایش (m)

$\rho_F$  : چگالی رسوب ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$F_{\text{Real}}$  : مقدار واقعی رسوب (g)

$W_1$  : وزن نمونه لوله بعد از انجام آزمایش (g)

$W_2$  : وزن نمونه لوله بعد از رسوب‌زدایی با اسید کلریدریک (g)

نرخ رسوب‌زدایی محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی نیز با معادلات (۱۱-۲) و (۱۱-۳) محاسبه می‌شود.

$$R_w \left( \frac{\text{mg}}{\text{day}} \right) = \frac{\Delta W_F}{14} \times 1000 \quad (11-2)$$

$$R_z \left( \frac{\text{mm}}{\text{day}} \right) = \frac{\Delta Z}{14} \times 1000 \quad (11-3)$$

در معادلات بالا داریم:

$R_w$  : نرخ رسوب‌زدایی محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی بر حسب میلی گرم در روز

$R_z$  : نرخ رسوب‌زدایی محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی بر حسب میلی متر در روز

#### ۴-۱-۲- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایش رسوب‌زدایی در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول ۱-۲ - نتایج به دست آمده از آزمایشات رسوب‌زدایی با محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و  
میتره سرد در ۱۴ روز در دمای محیط

پارامتر	مقدار
	٪۰.۲
$F_{Calc.}$	(g) ۲/۶۵
$\omega$	(rpm) ۲۵۴
$\Delta W_F$	(g) ۰/۵۴۴
$F_{Real}$	(g) ۳/۰۱
٪ ۱۸/۰۷	
$Z_1$	(mm) ۰/۵۶۸
$Z_2$	(mm) ۰/۴۶۶
$\Delta Z$	(mm) ۰/۱۰۲
$R_w$	(mg/day) ۳۸/۸۶
$R_z$	(mm/day) ۰/۰۰۷

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی می‌تواند حدود ۱۸/۰۷٪ از رسوب روی لوله‌ها را در طی ۱۴ روز بردارد. درصد این رسوب‌زدایی با افزایش درصد افزایه موجود در سیال، به مقدار زیاد و یا با افزایش مدت زمان وجود محلول حاوی ۰.۲٪ از میتره سرد و صنعتی، به مقدار کمی می‌تواند افزایش یابد. برای تحلیل بیشتر این آزمایش، یک سری از آزمایشات در ادمه این تست، انجام گرفته است که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم.

## ۲-۲- تعیین مقدار کل جامدات محلول (TDS<sup>۱</sup>)

### ۱-۲-۲- هدف

هدف از انجام این آزمایش محاسبه مقدار کل پسماند و کل جامدات حل شده در آب در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد میباشد [۲].

### ۲-۲-۲- تجهیزات مورد استفاده

- ظروف تبخیر (چینی یا پلاتینی)
- کوره موبلی <sup>۲</sup> (۵۵۰ درجه سانتیگراد)
- دسیکاتور
- ترازوی دیجیتالی

### ۳-۲-۲- روش

ابتدا یک ظرف تبخیر را خوب تمیز کرده و به مدت ۱ ساعت درون کوره موبلی با دمای  $550 \pm 50$  درجه سانتیگراد میگذاریم. سپس آن را درون دسیکاتور گذاشته و صبر میکنیم تا خنک شود و با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن اولیه ظرف تبخیر را اندازهگیری میکنیم. نمونه محلول مورد نظر را تهیه کرده و خوب مخلوط میکنیم. سپس ۱۰۰ میلی لیتر از محلول را درون ظرف تبخیر ریخته و آن را درون کوره حرارتی در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار میدهیم تا خشک شود. هر ۱ ساعت ظرف را بیرون آورده، درون دسیکاتور گذاشته تا خنک شود و دوباره آن را وزن میکنیم. آنقدر این کار تکرار میشود تا وزن ظرف ثابت گردد.

<sup>۱</sup> Total Dissolved Solid

<sup>۲</sup> نوعی کوره با حرارت غیر مستقیم

این پروسه معمولاً حدود ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد. افزایش وزن ظرف نسبت به وزن اولیه آن، نمایانگر مقدار وزن کل جامدات محلول می‌باشد. در شکل (۲-۲) کوره حرارتی مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- کوره حرارتی مورد استفاده

محاسبه مقدار کل جامدات محلول از معادله (۱۳-۲) محاسبه می‌شود.

$$TDS \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ml sample}} \quad (13-2)$$

در معادله بالا داریم:

A : وزن نمونه + ظرف

B : وزن ظرف

## ۴-۲-۲- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص

- محلول ۰٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی

- محلول ۰٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی و میتره سرد<sup>۱</sup> قبل و بعد از انجام

آزمایش رسوب

## ۵-۲-۲- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات مربوط به تعیین مقدار کل جامدات محلول به طور خلاصه در جدول (۲-۲) ارائه شده است.

جدول ۲-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات مربوط به تعیین مقدار کل جامدات محلول

TDS (mg/l)	وزن ثانویه ظرف تبخیر (g)	وزن اولیه ظرف تبخیر (g)	محلول مورد آزمایش
۴۸۲	۹۵/۵۳۲۲	۹۵/۴۸۴۰	آب مقطر
۸۷۷	۹۶/۱۷۷۲	۹۶/۰۸۹۵	محلول ۰٪ از میتره صنعتی
۲۲۲۴	۶۱/۲۹۹۷	۶۱/۰۷۷۳	محلول ۰٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۳۹۴۸	۹۶/۲۲۸۹	۹۵/۸۳۴۱	محلول ۰٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۲-۲)، می‌توان دریافت که مقدار کل جامدات محلول موجود در محلول ۰٪ از میتره صنعتی از آب مقطر بیشتر بوده و این موضوع به علت حضور میتره صنعتی می‌باشد. از طرفی تست TDS برای محلول ۰٪ از میتره صنعتی و میتره

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

سرد، قبل و بعد از انجام آزمایش رسوب و افزایش قابل توجه میزان کل جامدات محلول، نشان می‌دهد که محلول مورد آزمایش توانسته است با رسوبات موجود واکنش داده و مقدار زیادی از یون‌های تولیدی را در خود به صورت جامد محلول نگه دارد.

### ۳-۲- قابلیت رسانایی<sup>۱</sup>

#### ۱-۳-۲- هدف

هدف از انجام این آزمایشات تعیین قابلیت رسانایی محلول و بررسی اهمیت اندازه‌گیری رساناییست [۲].

#### ۲-۳-۲- تجهیزات مورد استفاده

- دستگاه اندازه‌گیری رسانایی<sup>۲</sup>

- بشر شیشه‌ای

#### ۳-۳-۲- روش

رسانایی یک اصطلاح عددی برای نشان دادن توانایی هدایت الکتریکی نمونه آب است. این عدد به غلظت کل یون‌های محلول در آب و دمایی که در آن رسانایی آب اندازه‌گیری می‌شود، بستگی دارد. همچنین تحرک، ظرفیت، غلظت (میلی‌گرم بر لیتر) واقعی و نسبی یون‌ها بر میزان رسانایی تأثیر می‌گذارد. معمولاً غلظت ماده یونی محلول در یک نمونه را می‌توان با ضرب

---

Conductivity<sup>۱</sup>  
Conductivity Meter<sup>۲</sup>

کردن مقدار رسانایی ( $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ) در یک ضریب تجربی، به دست آورده. این ضریب می‌تواند با توجه به اجزاء محلول در آب و دمای آزمایش، از  $0/55$  تا  $0/9$  تغییر یابد.

برای اندازه‌گیری رسانایی ابتدا  $100$  میلی لیتر از محلول مورد نظر را درون یک بشر می‌ریزیم. الکترود دستگاه اندازه‌گیری رسانایی را با آب مقطر شستشو می‌دهیم. سپس الکترود را درون محلول آماده شده گذاشته و صبر می‌کنیم تا عدد خوانده شده توسط دستگاه، ثابت گردد. عدد را یادداشت کرده و الکترود را دوباره با آب مقطر شستشو می‌دهیم. دستگاه اندازه‌گیری رسانایی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل ۲-۳- دستگاه اندازه‌گیری رسانایی

مقدار رسانایی بر حسب میلی‌اهم بر سانتی‌متر از معادله (۱۴-۲) محاسبه می‌شود.

$$G = \frac{1000000 C}{R[1 + 0.02(T - 25)]} \quad (14-2)$$

در معادله بالا داریم:

(ohm) : مقاومت نمونه R

C : ثابت

°C : دما T

### ۴-۳-۲- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص

- محلول ۰٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی

- محلول ۰.۲٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی و میتره سرد<sup>۱</sup> قبل و بعد از انجام آزمایش

رسوب

### ۳-۲-۵- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات تعیین قابلیت رسانایی محلول در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

---

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

جدول ۳-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات تعیین قابلیت رسانایی محلول

رسانایی ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	دما (°C)	محلول مورد آزمایش
۵۳۰/۳	۲۵	آب مقطر
۷۵۱/۶	۲۵	محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی
۱۴۳۵	۲۵	محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۱۷۰۰	۲۵	محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

داده‌های جدول (۳-۲) نمایانگر وجود مقداری یون در محلول حاوی میتره می‌باشد که این مقدار نسبت به آب مقطر بیشتر است. میزان این یون‌ها در محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد بسیار بیشتر می‌باشد. افزایش رسانایی محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد بعد از انجام آزمایش رسوب نیز به دلیل واکنش محلول میتره با رسوب و در نتیجه افزایش تعداد یون‌های محلول می‌باشد.

#### pH - ۴-۲- اندازه‌گیری

#### ۱-۴-۲- هدف

هدف از انجام این آزمایشات اندازه‌گیری pH و تعیین اسیدیته و یا قلیاییت محلول است

[۲]

## ۲-۴-۲- تئوری

آب خاصیت اسیدی و یا قایایی بودن آن را نشان می‌دهد و لذا به غلظت  $H^+$  و  $OH^-$  بستگی دارد و مقدار آن از رابطه (۱۵-۲) محاسبه می‌گردد.

$$pH = -\log[H^+] \quad (15-2)$$

محلول‌های اسیدی دارای pH کمتر از ۷ هستند. غلظت یون هیدروژن بر روی خوردگی فلزات تأثیر مهمی دارد. اکسیدهای اکثر فلزات (از جمله نیکل، مس، کبات، کرم، منگنز و منیزیم) در محیط‌های اسیدی محلول و در محلول‌های قلیایی نامحلول هستند. نرخ خوردگی این دسته از فلزات با کاهش pH، افزایش می‌یابد. آهن نیز در محدوده pH بین ۴ تا ۹، با افزایش pH، کاهش یافته و در pH برابر با ۱۲، به حد اقل خود می‌رسد و اگر pH کمتر از ۴ یا بیشتر از ۱۲ باشد، نرخ خوردگی به شدت افزایش می‌یابد.

## ۳-۴-۲- تجهیزات مورد استفاده

- دستگاه اندازه‌گیری  $pH^1$

- پیست

- بشر

## ۴-۴-۲- روش

ابتدا ۱۰۰ الکترود دستگاه اندازه‌گیری pH را با آب مقطر شستشو می‌دهیم. جهت اطمینان از میزان بودن دستگاه، الکترود آن را درون محلول بافری با pH برابر با ۷ می‌گذاریم. اگر عدد نشان داده شده تا  $7 \pm 0.2$  بود، یعنی دستگاه درست عمل می‌کند، در غیر این صورت باید

---

pH Meter<sup>1</sup>

دستگاه را کالیبره کرد. سپس دوباره الکترود را با آب مقطر شستشو داده و درون محلول مورد نظر گذاشته، صبر می‌کنیم تا عدد خوانده شده توسط دستگاه ثابت شود. عدد را به عنوان pH محلول یادداشت می‌کنیم. در شکل (۴-۲) دستگاه اندازه‌گیری pH نمایش داده شده است.



شکل (۴-۲) دستگاه اندازه‌گیری pH

#### ۴-۵-۴-۲- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص

- محلول ۰/۰٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی

- محلول ۰.۲٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی و میتره سرد<sup>۱</sup> قبل و بعد از انجام آزمایش

رسوب

## ۴-۶- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات اندازه‌گیری pH در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات اندازه‌گیری pH

pH محلول	محلول مورد آزمایش
۶/۷۶	آب مقطر (blank)
۶/۷۲	محلول ۰.۰٪ از میتره صنعتی
۲/۹۳	محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۷/۷۵	محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

همان طور که از مطالب ذکر شده و نتایج جدول (۴-۲) بر می‌آید، pH محلول ۰.۰٪ از میتره صنعتی تفاوت چندانی با آب مقطر نداشت و در نتیجه میزان خوردگی این محلول (از نظر اسیدیته یا قلیائیت محلول) تقریباً بار با آب معمولی می‌باشد. غلظت یون‌های  $H^+$  در محلول ۰.۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد قبل از انجام آزمایش رسوب، بسیار زیاد بوده و می‌تواند خوردگی شدیدی در سیستم ایجاد کند. البته این مشکل به علت وجود افزایه ضد خوردگی در محلول میتره سرد، حل شده است. همچنین داده‌ها نشان می‌دهند که پین مقدار غلظت یون‌های  $H^+$  در محلول ۰.۲٪ از میتره (صنعتی و سرد) قبل و بعد از انجام آزمایش رسوب، تفاوت شایانی وجود دارد. زیرا این یون‌ها در طول آزمایش با رسوب واکنش داده و در نتیجه از

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

میزان اسیدی بودن محلول کاسته می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عامل‌های رسوب‌برداری در محلول ۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد، وجود یون‌های  $H^+$  است.

## ۲-۵-۲- محاسبه مقدار یون کلرید

### ۱-۵-۲- هدف

کلراید در فرم یون کلر، یکی از آنیون‌های غیر آلی اصلی در آب و فاضلاب می‌باشد. وجود غلظت بالای کلرید باعث آسیب دیدن لوله‌های فلزی، ساختمان‌ها و گیاهان کشاورزی می‌گردد. معمولاً مقدار یون کلرید موجود، معیاری از پتانسیل خوردگی محلول است. روش نقره سننجی<sup>۱</sup> روشی مناسب برای تعیین میزان کلرید محلول‌هایی است که در نمونه مورد آزمایش آن‌ها ۰/۱۵ تا ۱۰ میلی‌گرم کلر وجود داشته باشد. این روش بر این اساس است که برای یک محلول خنثی و یا با قلیاییت کم، کرومات پتابسیم می‌تواند شناساگری مناسب برای نشان دادن نقطه پایانی تیتراسیون کلرید با نیترات نقره باشد. کلرید نقره قبل از اینکه کرومات نقره رسوب کند، تشکیل می‌شود. هدف از انجام این آزمایشات محاسبه مقدار یون کلرید است [۲].

## ۲-۵-۲- تجهیزات مورد استفاده

-	-	دستگاه اندازه‌گیری $pH$ <sup>۲</sup>
-	-	پیپت
-	-	بورت
-	-	میله و پایه
-	-	ارلن شیشه‌ای

Argentometric Method<sup>۱</sup>  
 $pH$  Meter<sup>۲</sup>

مگنت -

همزن مغناطیسی<sup>۱</sup> -

استوانه مدرج -

### ۳-۵-۲- معرف‌ها

آب بدون یون کلرید -

محلول شناساگر کرومات پتاسیم -

تیتر کننده نیترات نقره استاندارد (۱۴۱/۰ نرمال) -

کلرید سدیم استاندارد (۱۴۱/۰ نرمال) -

سود (۱ نرمال) -

اسید سولفوریک (۱/۰ نرمال) -

### ۴-۵-۲- روش

ابتدا ۱۰ میلی لیتر از محلول مورد نظر را در یک استوانه مدرج ریخته و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم و آن را در اrlen می‌ریزیم. با دستگاه اندازه‌گیری pH، مقدار pH آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. pH باید بین ۷ تا ۱۰ باشد. در غیر این صورت برای تنظیم pH محلول در این دامنه، با توجه به مقدار آن، باید با استفاده از بورت چند قطره سود و یا اسید سولفوریک به محلول اضافه نمود. ۱ میلی لیتر از محلول شناساگر کرومات پتاسیم به محلول اصلی اضافه می‌کنیم که محلول اصلی را زرد رنگ می‌کند. بورت را با محلول نیترات نقره شستشو داده و بعد آن را از محلول نیترات نقره پر می‌کنیم. سپس مگنت را در اrlen انداخته و اrlen را بر روی همزن الکتریکی می‌گذاریم. محلول را تیتر می‌کنیم. تغییر رنگ محلول از زرد به گلبهی، نقطه پایانی را نشان می‌دهد. ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر را نیز به عنوان محلول blank تیتر می‌کنیم. قابل توجه است که کدر شدن محلول در طول تیتراسیون، به علت ترکیب شدن نقره با

---

Magnetic Stirrer<sup>۱</sup>

یون‌های کلر است. وقتی تمام نقره تمام شد کرومات با کلر واکنش داده و رنگ گلبه‌ی ایجاد می‌کند. محاسبه غلظت یون کلرید از معادله (۱۶-۲) محاسبه می‌شود. شکل (۵-۲) نشان دهنده تغییر رنگ محلول در تیتراسیون با نیترات نقره با استفاده از شناساگر کرومات پتابسیم می‌باشد.



شکل ۵-۲- تغییر رنگ محلول در تیتراسیون با نیترات نقره با استفاده از شناساگر کرومات پتابسیم.

$$Cl \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{ml \text{ sample}} \quad (16-2)$$

در معادله بالا داریم:

A : میلی لیتر نیترات نقره مورد استفاده برای تیتراسیون نمونه

B : میلی لیتر نیترات نقره مورد استفاده برای تیتراسیون blank

N : نرمالیته محلول نیترات نقره (از محلول ۰/۰ ۱۴۱ N استفاده شده است.)

## ۵-۵-۲- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص

- محلول ۰/۰٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی
- محلول ۰/۲٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی و میتره سرد<sup>۱</sup> قبل و بعد از انجام آزمایش رسوب

## ۶-۵-۲- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه مقدار یون کلرید در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

جدول ۵-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه مقدار یون کلرید

$\text{Cl}^-$ (mg/l)	نیترات نقره مصرف شده (ml)	محلول مورد آزمایش
۳۲/۹۹	۶/۶	آب مقطر (blank)
۳۹/۹۹	۷/۴	محلول ۰/۰٪ از میتره صنعتی
۱۴۱۹/۵۶	۳۵/۰	محلول ۰/٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۱۱۹۹/۶۳	۳۰/۶	محلول ۰/٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

همان طور که مشاهده می‌شود، مقدار یون کلر محلول در میتره صنعتی از آب کمی بیشتر است. میزان یون کلر محلول ۰/۰٪ از میتره صنعتی با محلول ۰/٪ از میتره صنعتی و میتره سرد تفاوت بسیار زیادی دارد و این موضوع ناشی از غلظت بسیار زیاد  $\text{Cl}^-$  در میتره سرد می‌باشد. کاهش غلظت  $\text{Cl}^-$  در محلول ۰/٪ از میتره صنعتی و میتره سرد، بعد از انجام آزمایش رسوب نیز به دلیل واکنش این یون‌ها با رسوب و تولید موادی چون  $\text{CaCl}_2$  و  $\text{MgCl}_2$  است که نشان دهنده توانایی این محلول برای واکنش با رسوب می‌باشد.

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

## ۶-۲- تست قلیاییت

### ۱-۶-۲- هدف

هدف از انجام این آزمایشات محاسبه قلیاییت آب می‌باشد. قلیاییت یک نمونه از آب عبارت است از توانایی آن برای خنثی کردن یک اسید قوی تا یک pH معین. قلیاییت در بسیاری از فرآیندها از جمله عملیات بر روی آب‌های طبیعی و فاضلاب‌ها، یک فاکتور مهم به حساب می‌آید. قلیاییت بیشتر آب‌های سطحی، اصولاً تابعی از مقدار کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسید موجود در آن‌هاست. از این رو قلیاییت نشان‌دهنده مجموع غلظت این اجزاء می‌باشد [۲].

### ۲-۶-۲- تجهیزات مورد استفاده

بورت	-
میله و پایه	-
ارلن مایر	-
مگنت	-
همزن مغناطیسی <sup>۱</sup>	-
استوانه مدرج	-

### ۳-۶-۲- معرف‌ها

آب بدون یون کلرید	-
محلول شناساگر کرومات پتابسیم	-
تیتر کننده نیترات نقره استاندارد (۱۴۱٪ /۰ نرمال)	-

Magnetic Stirrer<sup>۱</sup>

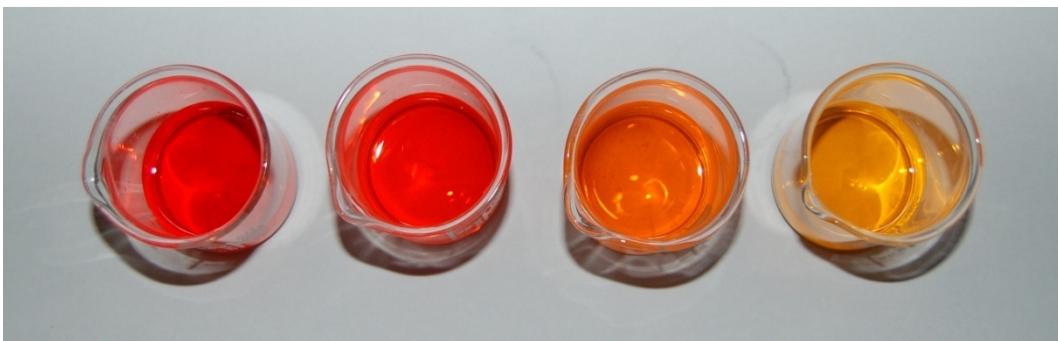
- کلرید سدیم استاندارد (۱۴۱/۰ نرمال)

- سود (۱ نرمال)

- اسید سولفوریک (۱/۰ نرمال)

## ۴-۶-۲- روش

بورت را با اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال شستشو داده و بعد آن را از اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال پر می‌کنیم. ۲۵ میلی لیتر از محلول مورد نظر را در یک استوانه مدرج ریخته و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم و آن را در اrlen می‌ریزیم. مقداری از شناساگر فنل فتالئین را به محلول اضافه می‌کنیم. اگر محلول ارغوانی شد، بدین معنی است که pH محلول بالاتر از ۸/۳ است و باید آن را با اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال تیتر کنیم تا بیرنگ شود. اگر محلول با اضافه کردن فنل فتالئین ارغوانی نشد، بدین معنی است که pH محلول کمتر از ۸/۳ است و نیازی به تیتر کردن تا pH برابر ۸/۳ نیست. برای تیتر کردن محلول، مگنت را در اrlen انداخته و اrlen را بر روی همزن مغناطیسی گذاشته و محلول را تیتر می‌کنیم. تغییر رنگ محلول از ارغوانی به بیرنگ، نقطه پایانی معرف فنل فتالئین را نشان می‌دهد. سپس دوباره ۲۵ میلی لیتر دیگر از محلول اولیه را در یک استوانه مدرج ریخته و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم و آن را در اrlen می‌ریزیم. مقداری از شناساگر متیل اورانژ را به محلول اضافه می‌کنیم و دوباره نمونه جدید را با اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال تیتر کنیم تا رنگ محلول از زرد به نارنجی تبدیل گردد. مقدار اسید سولفوریک مصرف شده برای هر تیتراسیون را یادداشت می‌کنیم. شکل (۲-۶) تغییر رنگ متیل اورانژ در نقطه پایانی تیتراسیون را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶- تغییر رنگ متیل اورانژ در نقطه پایانی تیتراسیون

مقدار قلیاییت کل از معادله (۱۷-۲) محاسبه می‌شود.

$$Total Alkalinity (\text{mg CaCO}_3/\text{l}) = \frac{(2B - C) \times N \times 50000}{\text{ml sample}} \quad (17-2)$$

در معادله بالا داریم:

B : میلی لیتر اسید سولفوریک مورد استفاده برای تیتراسیون نمونه تا pH برابر با  $\frac{8}{3}$

C : میلی لیتر اسید سولفوریک مورد استفاده برای تیتراسیون نمونه تا pH برابر با  $\frac{3}{7}$

N : نرمالیته اسید سولفوریک

## ۲-۶-۵- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص

- محلول  $\frac{1}{2}\%$  (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی

- محلول  $\frac{1}{2}\%$  (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی و میتره صنعتی<sup>۱</sup>

---

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

## ۶-۶-۲- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه قلیاییت در جدول (۶-۲) ارائه شده است.

جدول ۶-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه قلیاییت

قلیاییت کل (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	قلیاییت تا pH=۸/۳ (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	C (ml)	B (ml)	محلول مورد آزمایش
۱۱	•	۱/۱	•	آب مقطر (blank)
۵۱	•	۲/۱	•	محلول ۰٪ از میتره صنعتی
۸۳	•	۲/۹	•	محلول ۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۴۸۷	•	۱۳/۰	•	محلول ۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

## ۷-۲- اندازه‌گیری سختی با روش عبار سنجی با استفاده از EDTA<sup>۱</sup>

### ۱-۷-۲- هدف

هدف از انجام این آزمایشات محاسبه سختی و میزان کلسیم موجود در آب می‌باشد. سختی آب معیاری برای اندازه‌گیری ظرفیت آب برای تهنشینی صابون می‌باشد. یون‌های کلسیم و منیزیم و یون‌های دیگر از جمله الومینیوم، منگنز، آهن، استرونتیوم، روی و هیدروژن، به طور عمده‌ای باعث تهنشینی صابون می‌گردند. غلظت کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی به طور

EDTA Titrimetric Method<sup>۱</sup>

قابل توجهی نسبت به بقیه یون‌های ذکر شده بیشتر است. از این رو سختی به عنوان یک مشخصه برای آب و به صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌گرم کربنات کلسیم بر لیتر، ارائه می‌شود. اتیلن دی آمین تراستیک اسید (EDTA) وقتی به یک محلول با یون‌های فلزی کاتیونی مثبت اضافه گردد، یک مخلوط کی لیت محلول تشکیل می‌دهد [۲].

وقتی EDTA به آبی اضافه می‌شود که دارای هر دو یون کلسیم و منیزیم است، اول با کلسیم ترکیب می‌گردد. از طرفی در pH بین ۱۲ تا ۱۳، بیشتر منیزیم به صورت هیدروکسید منیزیم، رسوب می‌کند. بنابر این با اضافه کردن معرفی که فقط با کلسیم ترکیب شود (Murexide)، می‌توان محلول را با EDTA تیتر کرد و مقدار کلسیم را مستقیماً محاسبه کرد.

## ۲-۷-۲- تجهیزات مورد استفاده

بورت	-
میله و پایه	-
ارلن مایر	-
مگنت	-
همزن مغناطیسی ۱	-
دستگاه اندازه‌گیری pH	-
پیست	-
استوانه مدرج	-

## ۳-۷-۲- معرف‌ها

محلول بافر	-
------------	---

---

Magnetic Stirrer<sup>۱</sup>

- معرفهای Eriochrome Black T و Murexide
- محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال برای تیتر کردن
- محلول استاندارد کلسیم (۱۰۰۰ mg CaCO<sub>3</sub>/l)
- محلول سود

#### ۴-۷-۲- روش

۱۰ میلی لیتر از محلول مورد نظر را در یک استوانه مدرج ریخته و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم و آن را در اrlen می‌ریزیم. ۱ تا ۲ میلی لیتر محلول بافر به آن اضافه می‌کنیم تا pH آن به ۱۰/۱ تا ۱۰ برسد. مقداری از شناساگر Eriochrome Black T را به محلول اضافه می‌کنیم. بورت را با محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال شستشو داده و بعد آن را از محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال پر می‌کنیم و برای تیتر کردن محلول، مگنت را در اrlen انداخته و اrlen را بر روی همزن مغناطیسی گذاشته و محلول را تیتر می‌کنیم تا رنگ آن از ارغوانی به آبی تبدیل شود. این پروسه را برای محلول استاندارد کلسیم (۱۰۰۰ mg CaCO<sub>3</sub>/l) تکرار می‌کنیم. این کار جهت استاندارد کردن تیتر کننده EDTA و محاسبه میلی‌گرم کربنات کلسیم معادل با ۱ میلی لیتر محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال، می‌باشد. مقدار EDTA مصرف شده برای هر تیتراسیون را یادداشت می‌کنیم.

برای اندازه‌گیری کلسیم نیز ۲۵ میلی لیتر از محلول مورد نظر را در یک استوانه مدرج ریخته و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم و آن را در اrlen می‌ریزیم. ۱ تا ۲ میلی لیتر محلول سود به آن اضافه می‌کنیم تا pH آن به ۱۲ تا ۱۳ برسد. ۰/۱ تا ۰/۲ گرم از شناساگر Murexide را به محلول اضافه می‌کنیم. بورت را با محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال شستشو داده و بعد آن را از محلول استاندارد EDTA ۰/۰۱ نرمال پر می‌کنیم و برای تیتر کردن محلول، مگنت را در اrlen انداخته و اrlen را بر روی همزن مغناطیسی گذاشته و محلول را تیتر می‌کنیم تا رنگ آن از صورتی به ارغوانی تبدیل گردد. مقدار EDTA مصرف شده برای هر

تیتراسیون را یادداشت می‌کنیم. شکل (۷-۲) روند تغییر رنگ محلول در تیتراسیون با EDTA با استفاده از شناساگر Murexide را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲-روند تغییر رنگ محلول در تیتراسیون با EDTA با استفاده از شناساگر Murexide

مقدار سختی از معادله (۱۸-۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{Hardness (mg CaCO}_3/\text{l}) = \frac{\text{A} \times \text{B} \times 1000}{\text{ml sample}} \quad (18-2)$$

در معادله بالا داریم:

A : میلی لیتر EDTA مورد استفاده برای تیتراسیون نمونه

B : میلی گرم کربنات کلسیم معادل با ۱ میلی لیتر محلول استاندارد ۱٪ / ۰ مولار

مقدار کلسیم نیز از معادله (۱۹-۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{Ca (mg/l)} = \frac{\text{A} \times \text{B} \times 400.8}{\text{ml sample}} \quad (19-2)$$

## ۵-۷-۲- محلول‌های مورد آزمایش

- آب مقطر خالص
- محلول ۰/۲٪ (حجمی/حجمی) از میتره صنعتی
- محلول ۰/۲٪ (حجمی/حجمی) از میتره سرد و میتره صنعتی<sup>۱</sup>

## ۶-۷-۲- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه مقدار سختی و مقدار کلسیم به ترتیب در جدول‌های (۷-۲) و (۸-۲) ارائه شده است.

برای تیتر کردن ۱۰ میلی لیتر از محلول استاندارد  $\text{CaCO}_3$ ، ۱۱ میلی لیتر از محلول ۱/۰ مولار مصرف گردید. بر این اساس محاسبه پارامتر B در زیر آورده شده است.

$$1000 \frac{\text{mg } \text{CaCO}_3}{\text{litr}} \times 10 \text{ ml} \times \frac{1 \text{ litr}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ ml EDTA } 0.01 \text{ M}}{11 \text{ ml EDTA } 0.01 \text{ M}} = 0.91 \text{ mg } \text{CaCO}_3$$

بنابر این ۰/۹۱ میلی‌گرم کربنات کلسیم معادل با ۱ میلی لیتر محلول استاندارد EDTA ۱/۰ مولار می‌باشد.

<sup>۱</sup> برای محاسبه درصد میتره صنعتی و سرد برای این آزمایشات از الگوی مصرف ارائه شده توسط شرکت آبریزان برای رسوب‌زدایی شرکت مخابرات شیراز استفاده شده است.

جدول ۷-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه مقدار سختی

سختی کل (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	A (ml)	محلول مورد آزمایش
.	.	آب مقطر (blank)
.	.	محلول ۰/۰٪ از میتره صنعتی
.	.	محلول ۰/۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۴۴۵/۹	۴/۹	محلول ۰/۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

جدول ۸-۲- نتایج به دست آمده از آزمایشات محاسبه مقدار کلسیم و منیزیم

مقدار کلسیم (mg/l)	A (ml)	محلول مورد آزمایش
۴/۰۱	۱/۱	آب مقطر (blank)
.	.	محلول ۰/۰٪ از میتره صنعتی
.	.	محلول ۰/۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (قبل از انجام آزمایش رسوب)
۱۸/۶۱	۱/۵	محلول ۰/۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد (بعد از انجام آزمایش رسوب)

نتایج حاصل از جدول های (۷-۲) و (۸-۲) نشان می دهند که اضافه کردن محلول های میتره صنعتی و میتره سرد به آب نه تنها باعث ایجاد سختی نمی شوند، بلکه با یون های کلسیم موجود واکنش داده و در صورت وجود رسوب، آن را در خود حل می کند. افزایش سختی کل از ۰ تا ۴۵۵/۹ mg CaCO<sub>3</sub>/l نشانگر توانایی محلول ۰/۲٪ از میتره صنعتی و میتره سرد برای رسوب برداری می باشد.

## فهرست منابع

- [۱] سید محمد سید رضی، کنترل خوردگی در صنایع، ۱۳۷۵، چاپ اول، تهران، انجمن خوردگی ایران.
- [۲] دستور کار آزمایشگاه آب، ۱۳۹۰، دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه شیراز.