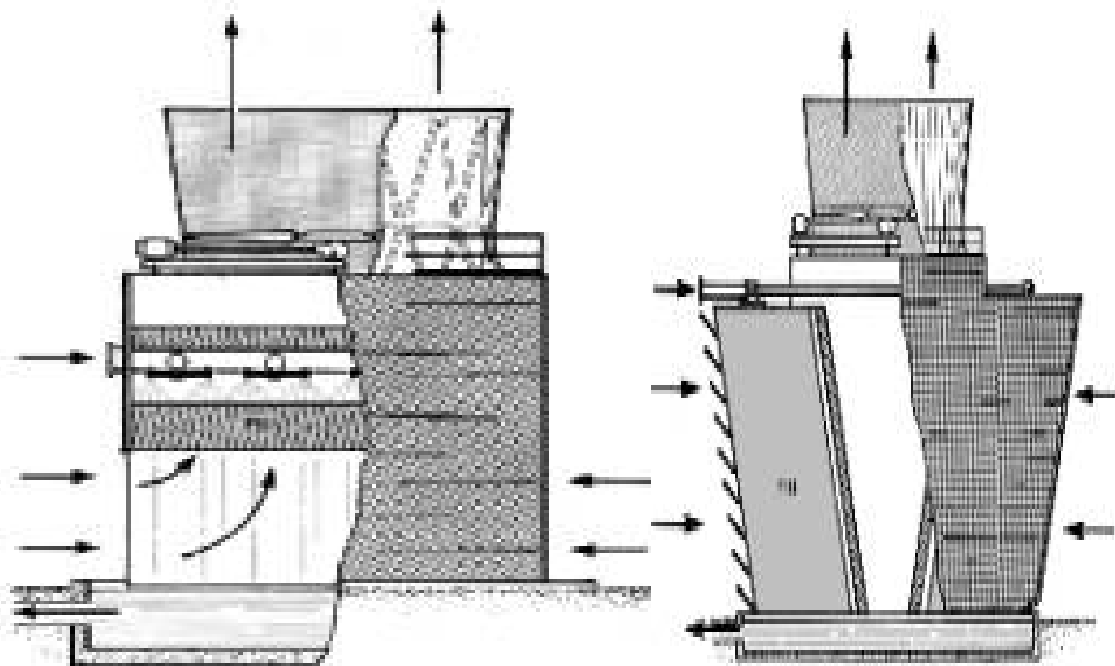




شرکت ره آوران فنون پتروشیمی  
(سهامی خاص)

# برج‌های خنک کننده



مهندس پیام معتمد

اسفند ماه ۱۳۸۴

## فهرست

صفحه	عنوان
۳	مقدمه
۵	بخش اول
۷	انواع برجهای خنک کننده
۹	مکانیزم انتقال حرارت در برجهای خنک کن
۱۲	طبقه بندی برجهای خنک کن جریان مخالف
۱۶	اجزاء برج خنک کن
۱۸	سؤالات بخش اول
۱۹	بخش دوم
۲۰	مبدل‌های حرارتی
۲۲	خصوصیات و ساختار
۲۶	سؤالات بخش دوم
۲۷	بخش سوم
۲۹	فاکتورهای کنترل کمی و کیفی برج
۵۸	سؤالات بخش سوم
۵۹	بخش چهارم
۶۱	عوامل مؤثر در بازدارنده‌های خوردگی
۶۱	تعریف بازدارنده‌ها



# مقدمه

## مقدمه

در واحدهای صنعتی بعضی از واکنشهای شیمیایی در درجه حرارت بالا صورت می گیرند و نیز بعضی از واکنشهای شیمیایی حرارتزا می باشند بنابراین لازم است حرارت حاصل را به طریقی از سیستم خارج نمود ، که این کار را با استفاده از برجهای خنک کننده آبی و یا خنک کنندههای هوایی انجام می دهند .

در خنک کنندههای هوایی از سیال هوا استفاده می کنند و به دلیل ضریب انتقال حرارت کم هوا نیاز به سطح تبادل حرارتی زیادی است به همین علت خنک کنندههای هوایی بسیار بزرگتر از خنک کنندههای آبی می باشند از طرف دیگر کنترل این خنک کنندهها و همچنین به جریان درآوردن هوا در آنها مشکلتر از خنک کنندههای آبی میباشد .

همچنین مهمترین نقص خنک کنندههای هوایی نسبت به نوع آبی افت دمای کمتر آن میباشد حداکثر کاهش دما در این نوع خنک کنندهها  $10^{\circ}\text{F}$  می باشد و اگر دمای هوا زیاد باشد اثر خنک کنندگی آنها کاهش می یابد .

در خنک کنندههای آبی از سیال آب استفاده می کنند که غالباً شامل آب شیرین ، آب شور(دریا) و یا مخلوطی از آب یا الکل های مونو یا پلی هیدریک می باشد ، بسته به نوع منبع تأمین آب ، خنک کن ممکن است دارای کیفیت های متفاوتی باشد که با توجه به کیفیت آبهای مورد استفاده تمایل به خوردگی و رسوب گذاری و ... در برجهای خنک کننده آبی وجود خواهد داشت و بایستی اصلاحات لازم را روی آب انجام داد که تا آنجا که ممکن است خطرات حاصل را به حداقل رساند .

# بخش اول

## اهداف فصل :

آشنایی با

الف) انواع برجهای فنک کننده

ب) مکانیزم انتقال حرارت در برجهای فنک کن

ج) اجزاء برج فنک کن

## انواع برج‌های خنک کننده

سیستم‌های خنک کننده به دو دسته تقسیم می‌شوند .

سیستم آب خنک کننده غیر مستقیم (Indirect Cooling Water System)

سیستم آب خنک کننده مستقیم (Direct Cooling Water System)

سیستم آب خنک کننده غیر مستقیم به سیستمی گفته میشود که سیال سرد از طریق یک رابط مانند راکتور ، مبدل حرارتی با سیال گرم در تماس است .

سیستم آب خنک کننده مستقیم به سیستمی گفته میشود که آب بطور مستقیم با مواد جامدی که بایستی خنک شوند تماس دارد . به این صورت که آب توسط نازل به صورت Spray بر روی مواد جامد بطور مستقیم پاشیده شده و خنک می‌شوند . سیستم‌های مذکور خود نیز دارای انواع مختلفی می‌باشند که هر کدام را به صورت اجمالی توضیح خواهیم داد .

سیستم آب خنک کننده غیر مستقیم .

الف) سیستم باز آب خنک کننده گردش .

ب) سیستم بسته آب خنک کننده گردش .

ج) سیستم یکبار گذر آب خنک کننده .

سیستم آب خنک کننده مستقیم

الف) سیستم باز آب خنک کننده گردش .

ب) سیستم یکبار گذر آب خنک کننده .

### الف) سیستم باز آب خنک کننده گردش (Open Recirculating Cooling Water System)

سیستم‌های خنک کننده باز از متداول‌ترین سیستم‌های خنک کن می‌باشند در این سیستم در هر شکل گردش درصدی از آب هدر می‌رود این آب هدر رفته امکان دارد از طریق Windage loss (آب هدر رفته بوسیله باد ) ، تبخیر سطحی و یا آب‌های دورریز (Blow down) باشد در نتیجه غلظت نمکها باید در سطح معقولی حفظ شوند . برای اینکار مقداری از آب تغلیظ شده را از سیستم خارج و آب تازه (Make up) را جایگزین آن می‌کنند از طرفی



مواد شیمیایی استفاده شده در این سیستمها به رودخانهها و دریاچهها ریخته میشود . لذا ضروری است که مواد شیمیایی مصرفی با محیط سازگاری داشته باشد شکل شماره ۱ شماتیکی از این نوع سیستم خنک کن را نشان می‌دهد .

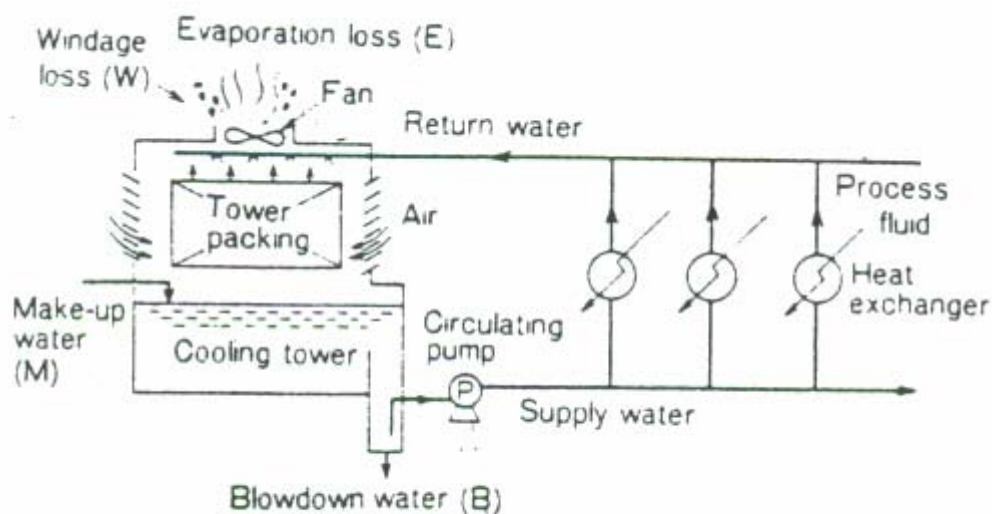


FIG-1 Water flow in an open recirculating cooling water system

### (ب) سیستم بسته آب خنک کننده گردش

در این نوع سیستم آب با محیط خارج تماس نداشته و در یک سیستم بسته در حال گردش می‌باشد آب گرم خروجی از مبدلها یا تجهیزات دیگر در یک مبدل ثانویه با استفاده از آب دریا ، هوا یا از آب خنک سیستمهای آب خنک کننده باز گردش خنک میشوند .

معمولاً در این سیستمها مقدار هدر رفتن آب پایین است ( آب تبخیر نمی‌شود ، بنابراین مقدار آب تأمینی خیلی کم و قابل صرف نظر کردن میباشد ) برای جلوگیری از تشکیل رسوب در این سیستمها از آب تصفیه شده و یا آب کندانس استفاده می‌کنند . از این روش اصولاً در مورد خنک کردن انواع موتورها و انواع Bearingها و همچنین سیستمهای تهویه استفاده می‌گردد . شکل ۲ شماتیکی از این نوع سیستم خنک کن را نشان میدهد .

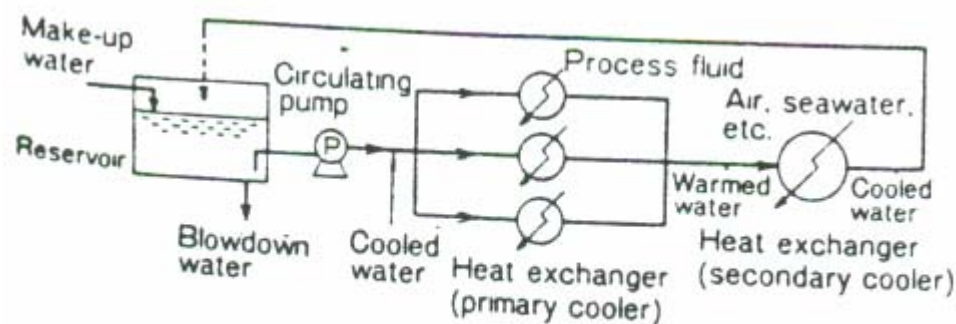


FIG-2 Water flow in the closed system

### ج) سیستم خنک کننده یکبار گذر

آب مصرفی پس از اینکه حرارت را جذب نمود بدون اینکه دوباره به سیستم برگردد از سیستم خارج میگردد. در این روش مقدار آب مصرفی بسیار زیاد بوده و در بیشتر مواقع از آب دریا استفاده میگردد. از این روش برای نیروگاههاییکه نزدیک دریا هستند کمک گرفته میشود. شکل ۳ شماتیکی از این نوع سیستم خنک کن را نشان میدهد.

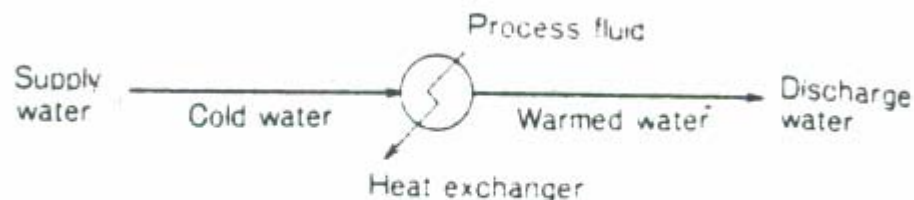


Fig. 3 Water flow in a once through cooling water system

### مکانیزم انتقال حرارت در برجهای خنک کن

انتقال حرارت بین هوا و آب به دو صورت محسوس و غیر محسوس صورت میگیرد. انتقال حرارت محسوس در اثر اختلاف دمای هوا و آب بوجود میآید و انتقال حرارت غیر محسوس در اثر اختلاف رطوبت نسبی هوای محیط و هوای اشباع در دمای سطح قطرات آب بوجود میآید. این اختلاف رطوبت باعث میشود که مقداری از آب تبخیر شده و به لایه نازک هوای اشباع مجاور قطره که دارای رطوبت نسبی صددرصد است وارد شود.

اختلاف دمای هوای عبوری از کنار این لایه نازک هوای اشباع که دارای دمای حباب مرطوب می باشد باعث میشود که انتقال حرارت از فیلم نازک به هوای گذرنده از کنار قطره صورت

بگیرد در نتیجه عمل تبخیر آب کاهش می‌یابد. لذا در برجهای خنک کن مرطوب نیاز به سطوحی داریم که بتواند لایه نازک هوای اشباع اطراف قطرات آب را فراهم کند از طرف دیگر مسیر جریان پیدا کردن آب و هوا هر کدام و یا نسبت به یکدیگر در برجهای مختلف با هم تفاوت دارند. براساس مسیر جریان آب و هوا نسبت به یکدیگر برجهای خنک کن را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

(الف) برجهای خنک کن جریان مخالف (Counter Flow Cooling Tower)

(ب) برجهای خنک کن جریان متقاطع (Cross Flow Cooling Tower)

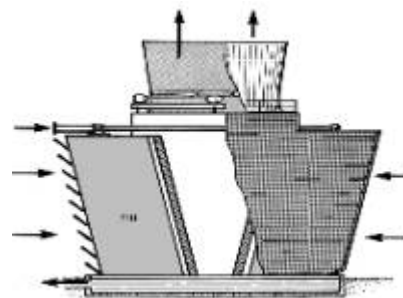
### الف) برجهای خنک کن جریان مخالف

ساختار جریان آب و هوا در این برج به گونه‌ای است که آب از بالای برج روی سطوح حرارتی می‌ریزد و هوا از پایین برج و در خلاف جهت حرکت آب، حرکت میکند. بنابراین در ارتفاعهای مختلف شرایط ترمودینامیکی مختلفی وجود خواهد داشت. مثلاً در یک سطح هم ارتفاع درون سطوح تبادل حرارتی دمای آب و هوا ثابت خواهد بود. این شرط برای کمیت‌های دیگر مثل رطوبت هوا نیز برقرار است. شکل ذیل (ع) شرایط فوق را نشان می‌دهد

#### CROSS FLOW:

##### ADVANTAGES OF CROSS FLOW cooling towers due to their gravity flow hot water distribution system:

- Low pumping head.
- Lower first cost pumping systems.
- Lower annual energy consumption and operating costs.
- Accepts larger variation in water flow without adverse effect on the water distribution pattern (flat plate heat exchanger operation in winter).
  - Easy maintenance access to distribution nozzles.



##### ADVANTAGES OF CROSS FLOW cooling towers due to their horizontal air distribution system:

- Low static pressure drop.
  - Reduced drift.
  - Reduced recirculation.
- More air per fan horsepower.
- Larger diameter fans can be used so that fewer cells are required for a given capacity.
  - Lower energy and operating costs.

### DISADVANTAGES OF CROSS FLOW cooling towers due to their gravity flow hot water distribution system:

- Low pressure head on the distribution pan may encourage orifice clogging and less water breakup at spray nozzle.
- Exposure to air in the hot water basin may accelerate algae growth. Larger footprint.

### DISADVANTAGES OF CROSS FLOW cooling towers due to their horizontal air distribution system:

شکل ۴) برجهای خنک کن جریان مخالف معایب و مزایا

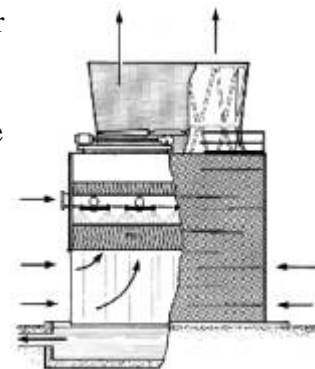
### ب) برجهای خنک کن جریان متقاطع

( )

### COUNTER FLOW

#### ADVANTAGES OF COUNTER FLOW cooling towers due to their pressurized spray water distribution system:

- Increased tower height accommodates longer ranges and closer approaches.
- More efficient use of air due to finer droplet size from pressure sprays.



#### ADVANTAGES OF COUNTER FLOW cooling towers due to their vertical air distribution system:

- The vertical air movement across the fill allows the coldest water to be in contact with the driest air maximizing tower performance.

**DISADVANTAGES OF COUNTER FLOW** cooling towers due to their pressurized spray water distribution system:

- Increased system pumping head requirements.
- Increased energy consumption and operating costs.
- Distribution nozzles difficult to inspect and clean.
- Requires individual risers for each cell, increasing external piping costs.

**DISADVANTAGES OF COUNTER FLOW** cooling towers due to their vertical air distribution system:

- The resistance to upward air travel against the falling water results in higher static pressure loss and a greater fan horsepower than in cross flow towers.
- The restricted louver area at the base with high velocity of inlet air increases the fan horsepower.
- Tendency for uneven distribution of air through the fill with very little movement near the walls and center of the tower.
- High inlet velocities are liable to suck airborne trash and dirt into the tower

(

## طبقه بندی برجهای خنک کن جریان مخالف

### ۱- Natural Draught Type

در این نوع برج هوا بطور طبیعی با جریان آزاد در دسترس قرار گرفته و هوای گرم شده درون برج، دانسیته کمتری نسبت به هوای سرد بیرون برج دارد به علت وجود این اختلاف دانسیته هوای سنگین و سرد محیط از قسمت زیرین وارد برج شده و هوای گرم را از قسمت فوقانی برج به بیرون می راند. لذا یک گردش طبیعی در برج بوجود می آید. برای اینکه سرعت هوا زیاد شود و دبی لازم برای خنک کردن آب را بوجود آورد، باید اختلاف دمای هوای گرم و هوای سرد زیاد بوده و در ضمن میزان هوای گرم بالای برج هم به اندازه کافی باشد لذا این گونه برجها اولاً بسیار بزرگ هستند و در ثانی برای مواردی که دمای آب همیشه بالاست مورد استفاده قرار می گیرند.

در ضمن از لحاظ ساختاری این برجها فاقد بست و بند در برج می باشد و فقط تعداد زیادی سوراخهای پخش کن آب در بالای آن نصب گردیده است. نوع دیگر آن دارای بست و بندهای

چوبی است که راندمان بهتری را داراست در ضمن همانطور که گفته شد به دلیل بزرگ بودن این برجها (بلند و باریک) پمپهایی با فشار زیاد جهت پمپاژ آب در بالای برج مورد نیاز است .

## ۲- Mechanical Draught

در برجهای خنک کن با درافت مکانیکی از یک فن مکانیکی برای به جریان درآوردن هوا استفاده میکنند . وجود فن باعث میشود که بتوان در یک برج کوچک دبی زیادی از هوا را عبور داد و بنابراین بازده حرارتی این برجها در مقایسه با نوع درافت طبیعی بیشتر خواهد بود و علاوه بر آن دارای حجم کوچکتری نسبت به نوع طبیعی می باشند . برجهای خنک کن مکانیکی بر اساس روش به جریان درآوردن هوا درون برج به دو دسته تقسیم می شوند .

الف ) نوع مکنده Induced Draught

ب) نوع دمنده Forced Draught

در نوع مکنده جریان توسط یک فن از بالای برج مکیده می شود و اما در نوع دمنده جریان از پایین برج توسط فن به درون برج دمیده می شود . این دو روش دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر هستند بعنوان مثال در نوع مکنده قدرت مصرفی فن کمتر است ، زیرا اختلاف دانسیته هوای گرم و سرد به عملکرد فن کمک می کند . علاوه بر این جریان هوای عبوری از روی سطوح حرارتی در این روش حالت یکنواخت تری دارد این دو پدیده در نوع دمنده ضعیفتر هستند اما در عوض نصب فنهای مکنده و کولینگ آنها مشکل است و در ضمن کارکردن فن در هوای داغ خروجی برج مشکلات متالورژیکی برای فن و یا یاتاقانها و سیلهای آن بوجود می آورد . اشکال ۶ و ۷ و ۸ چند نوع برج دسته بندی شده فوق را نشان می دهد .

در برجهای خنک کن جریان متقاطع معمولاً از روش مکشی برای به جریان درآوردن هوا استفاده میشود و کمتر از روش دمنده و یا درافت طبیعی در چنین برجهایی بهره برده میشود و تنه در برجهای خنک کن کوچک که مصارف خانگی دارند از برجهای خنک کن دمنده استفاده میگردد .

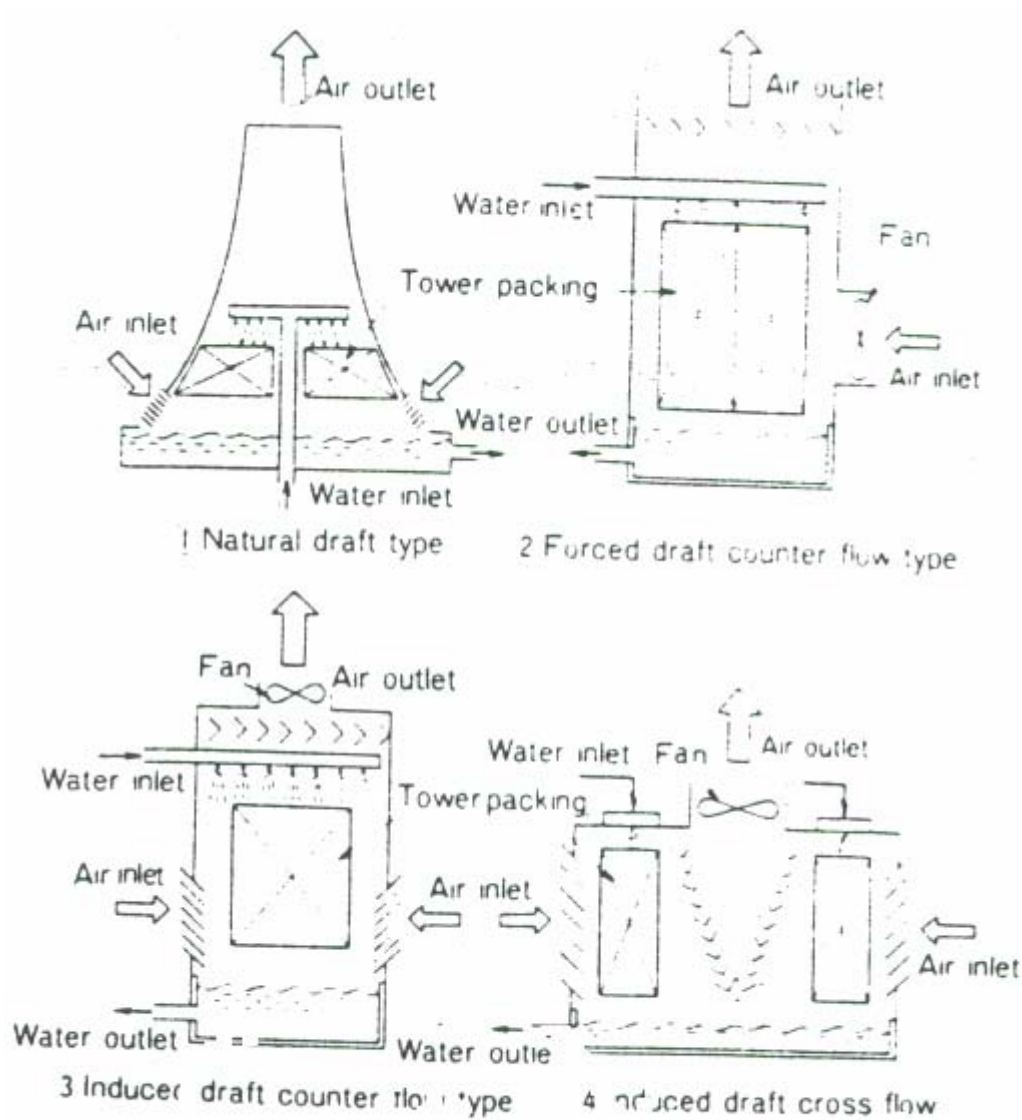


FIG- 6 Types of cooling tower

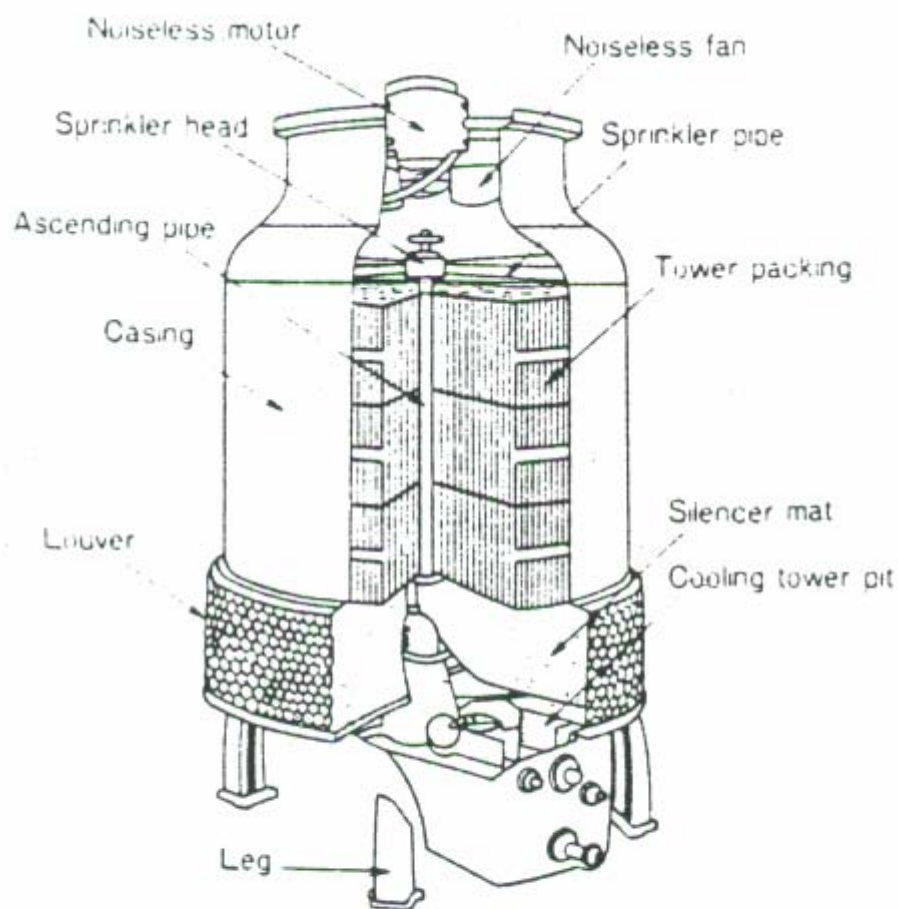


FIG-7 Cooling tower in a small size cooling system (induced draft counter flow type)



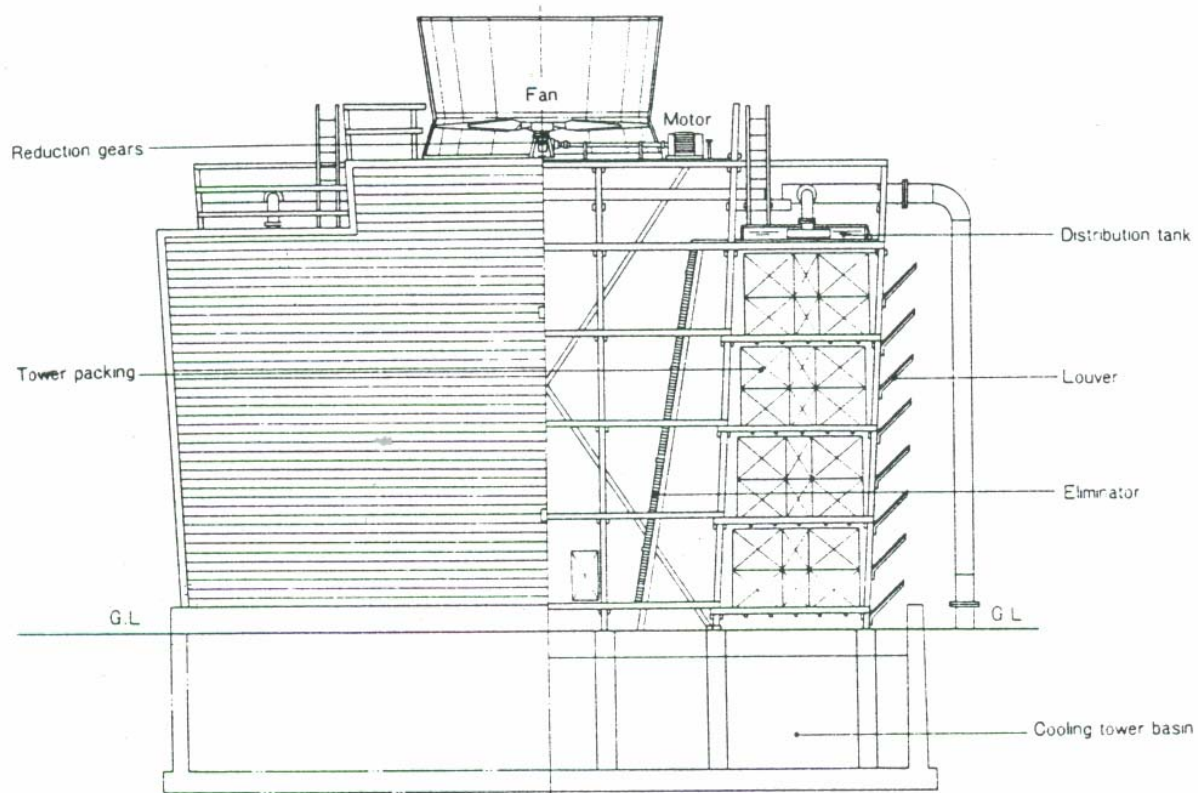


FIG-8 Cooling tower in a large size cooling system (induced draft cross flow type)

## اجزاء برج خنک کن

شکلهای ۷ و ۸ به ترتیب اجزاء مختلف یک برج خنک کن جریان مخالف و یک برج خنک کن جریان متقاطع را نشان می دهند حال هر یک از این قسمتها را بصورت کاملا مختصر شرح می دهیم .

**Louvers**: صفحه‌هایی هستند که هوا را از محیط خارج به سمت سطوح تبادل حرارتی (Packing) هدایت میکنند .

**Basin**: حوضچه زیرین برج که آب خنک شده در آن جمع‌آوری شده و عملیات مکش و تلمبه کردن آن به سمت کندانسورها و نیز عمل زیرکش کردن لجن و رسوبات در آن انجام می‌شود .

**Structural Framing**: اسکلت فلزی برج که تمامی قسمت‌های برج روی آن نصب می‌شوند . این اسکلت در ضمن نگهدارنده پوشش کلی برج می‌باشند .

**Sheating**: پوشش معمولاً فلزی دیواره‌های جانبی برج .

**Tower Filling** : سطوح حرارتی که برای ریزش آب و جاری شدن آب و تماس آن با هوای جاری درون برج به کار می‌روند به این سطوح Packing نیز می‌گویند اصولاً این سطوح از جنس چوب ، پلاستیکی و یا سفال و آذربست نیز ساخته می‌شوند . شکل هندسی این سطوح و نیز وضعیت قرارگیری آنها نیز با یکدیگر متفاوت است در هر صورت ترتیب قرارگیری یا شکل هندسی این سطوح طوری هستند که تا حد امکان آب را در سطح گسترده‌تری پخش کرده و ضخامت جریان آن را به حداقل برسانند .

**Water Distribution System** : به سیستم توزیع آب که بالای Packingها قرار دارد برای توزیع آب ورودی به درون برج روی سطوح تبادل حرارتی به کار می‌رود . این سیستمها نیز به شکلهای متفاوت به کار می‌روند ، بیشترین و معمولترین آنها از انواع کانالهای انتقال آب که حفره‌هایی در آنها تعبیه شده استفاده می‌کنند و آب را روی Packingها پخش می‌نمایند پخش کردن آب در این سیستمها بصورت ریزش آب ، اسپری آب و یا چکاندن صورت می‌گیرد .

**Drift Eliminators** : صفحات کنگره‌ای هستند که بالای سیستم توزیع آب و قبل از فنها قرار می‌گیرد . به علت جریان شدید هوا درون برج ممکن است که قطراتی از آب توسط کوران هوا به بالای آن حمل شوند . این صفحات کنگره‌ای از خروج قطرات آب جلوگیری کرده و آنها را به درون برج باز می‌گردانند جنس آنها نیز از چوب یا فلزات و پلاستیک می‌باشد .

**Fan** : فنها برای ایجاد جریان هوا درون برج به کار می‌روند فن بکار رفته باید علاوه بر ایجاد دبی حجمی مناسب هوا بر افت فشار تابشی از عبور هوا از قسمت‌های مختلف برج نیز غلبه بکند این فنهای بسته به نوع برج ممکن است دارای فوندانسیون ، کوپلینگ و محل نصب موتور پیچیده‌ای باشند .

مثلاً در برجهای از نوع مکشی معمولاً کوپلینگ پیچیده‌ای نیاز است در صورتیکه قدرت مورد نیاز فن به علت وجود اختلاف دانسیته هوای گرم و سرد کمتر خواهد بود اما در فنهای دمنده عکس این مطلب صدق می‌کنند .

**Fan Stack** : در برجهای فنک کن معمولاً یک قسمت دودکشی (Stack) برای فن تعبیه می‌شود تا بخشی را برای بازیافت فشار خروجی فن تا فشار محیط (فشار اتمسفر) ایجاد بکند . در غیر اینصورت افت فشار شدیدی در خروجی فن ایجاد می‌شود که علاوه بر بالا بردن توان مصرفی فن ممکن است موجب ایجاد جریانهای چرخشی شدیدی در خروجی فن شود که از قسمتهای اطراف فن یا برج به درون برج برگردانده شوند .

## سوالات بخش اول:

- ۱- سیستم‌های فنک کننده به چند دسته تقسیم می‌شوند؟
- ۲- انواع سیستم آب فنک کننده غیر مستقیم و مستقیم را نام ببرید؟
- ۳- براساس مسیر جریان آب و هوا نسبت به یکدیگر برج‌های فنک کن را به چند دسته تقسیم می‌کنند نام ببرید؟
- ۴- مکانیزم عمل برج‌های فنک کن جریان مخالف و برج‌های فنک کن جریان متقاطع را توضیح دهید؟
- ۵- عملکرد Water Distribution System را شرح دهید؟
- ۶- Fan Stack چه کاری انجام می‌دهد؟

# بخش دوم

## اهداف فصل :

آشنایی با خصوصیات و ساختار مبدل‌های حرارتی

## مبدل‌های حرارتی

### خصوصیات و ساختار

مبدل‌های حرارتی با توجه به نوع نیازی که وجود دارد می‌توانند به عنوان کولر ، هیتر ، کندانسور و یا تبخیر کننده استفاده شوند .

مبدل‌های حرارتی بر اساس شکل درونی و همچنین چگونگی بخار به چند دسته تقسیم

می شوند :

- Tubular Heat Exchangers
- Duple Tube Heat Exchangers
- Coil Heat Heat Exchangers
- Irrigation Coolers
- Plate Heat Exchangers
- Air Fine Coolers

مبدل‌های حرارتی نوع اول Tubular heat exchangers در صنعت مورد استفاده بیشتری

دارند و به دو صورت افقی و عمودی تقسیم می‌گردند . شکل افقی آن رواج بیشتری نسبت به

نوع عمودی دارد اگر چه فضا و مکان بیشتری را اشغال می‌کند . خصوصیات و ساختار مبدل‌های

لوله و پوسته به صورت افقی در شکل ۹ و جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است .

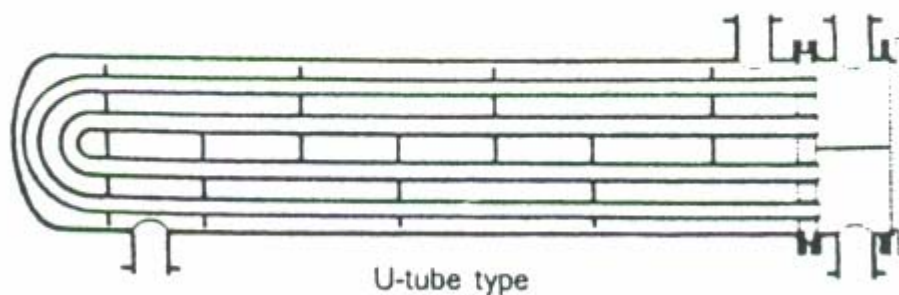
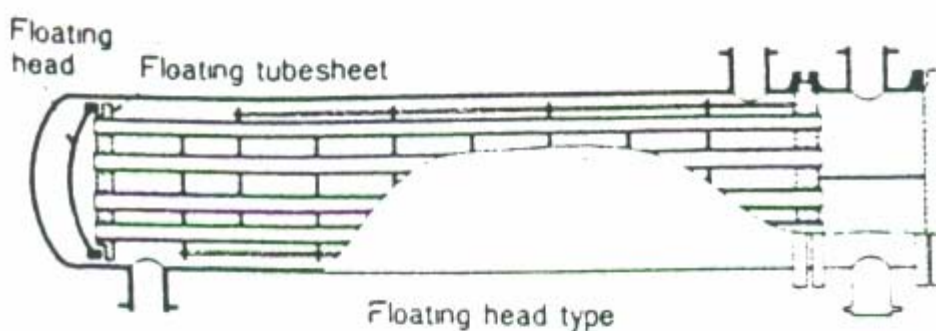
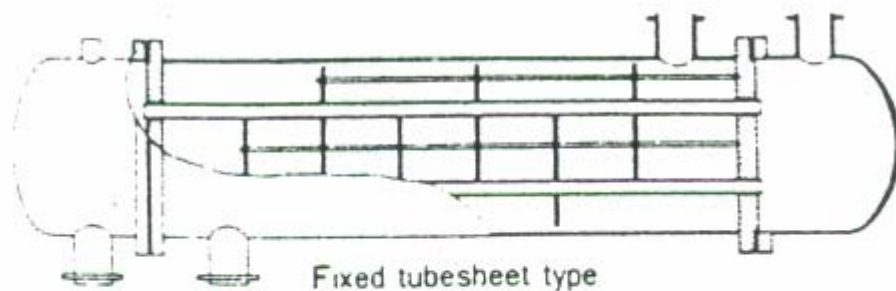


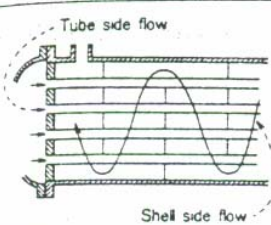
Fig.9 Typical structure of tubular heat exchangers



Table -1 Type and features of the tubular heat exchanger

Type	Features
Fixed tubesheet	① Easy to manufacture; less expensive ② Difficult to clean the shell side
Floating head	① Applied to cases of large difference in temperature between the tube and shell sides or in thermal expansion coefficient between tube and shell materials
U-tube	② Possible to clean the shell side by removing the tube bundle

Table -2 Flow and characteristics of cooling water in tubular heat exchanger

Water flow	Characteristics	
	Tube side	Easy to get good effects of cooling water treatment because flow rate is usually more than 0.3 m/s
	Shell side	Likely to cause fouling problems due to sludge accumulation because of low and complicated water flow or insufficient water treatment

Note: In general, corrosive fluids, fluids of high fouling potential or fluids under high pressure flow through the tube side. However, recently heat exchangers using cooling water have been frequently designed with water on the tube side because of heat exchanger maintenance cost.

جهت محاسبات تبادل حرارت در انواع مبدلهای حرارتی از Heat Flux استفاده می شود و آن عبارت است از حرارت جدا شده از سیال بوسیله آب خنک کننده در واحد سطح بر واحد زمان میباشد .

همچنین ضریب انتقال حرارت که در واقع نموی از بازدهی حرارتی می باشد در مبدلهای حرارتی محاسبه میگردد و یکی از واحدهای آن (kcal.m<sup>2</sup>.hr.°C) می باشد که مطابق فرمول ذیل محاسبه می شود .

Heat Flux

$$Q = (\Delta t \cdot C \cdot P \cdot 10^3) / A$$

$$Q = \text{شار حرارتی (kal / m}^2\text{.hr)}$$

$$\Delta t = (\text{°C}) \text{ اختلاف درجه حرارت آب ورودی و خروجی}$$

$$R = \text{سرعت سیال ( m}^3\text{/hr)}$$

$$C = \text{گرمای ویژه آب در فشار ثابت (kcal / kg .°C)}$$

$$A = \text{سطح تبادل حرارت (m}^2\text{)}$$

زمانی که شار حرارتی از حد محاسبه شده بیشتر گردد امکان تشکیل رسوب و یا مسأله خوردگی در مبدل حرارت بیشتر می گردد .

- Overall heat transfer coefficient

$$U = 1 / ((1/\alpha_1) + r_1 + (L/\lambda) + (1/\alpha_2) + r_2) \quad (1)$$

$U$  = Overall heat transfer coefficient (kcal.m<sup>2</sup>. hr.°C)

$\alpha_1$  = Process side ضریب انتقال حرارت از لایه فیلم آرام در (kcal.m<sup>2</sup>. hr.°C)

$\alpha_2$  = Cooling Water side ضریب انتقال حرارت از لایه فیلم آرام در (kcal.m<sup>2</sup>.hr.°C)

$\lambda$  = هدایت حرارتی مواد داخل لوله (kcal.m<sup>2</sup>.hr.°C)

$L$  = ضخامت دیواره لوله (m)

$r_1$  = Process side در Fouling ضریب (m<sup>2</sup>.hr.°C/kcal)

$r_2$  = Cooling Water side در Fouling ضریب (m<sup>2</sup>.hr.°C/kcal)

زمانی که Overall heat transfer coefficient از مقدار محاسبه شده کمتر شود امکان

تشکیل Scale و یا مسئله خوردگی در مبدل حرارتی بیشتر میگردد .

## سؤالات بخش دوم:

۱- انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس شکل درونی و همچنین چگونگی بخار را نام ببرید؟

۲- منظور از Heat Flux چیست؟

# بخش سوم

## اهداف فصل :

آشنایی با

الف ( فاکتورهای کنترل کمی برج

## فاکتورهای کنترل کمی و کیفی برج

تبادل حرارت در برجهای خنک کننده به عوامل فیزیکی و شیمیایی بسیاری بستگی دارد که بطور مستقیم یا غیر مستقیم بر کارآیی سیستم مؤثر خواهند بود. درک هر چه بیشتر این عوامل نیازمند شناخت مشخصات هر سیستم سردکننده می‌باشد که بطور خلاصه بصورت ذیل تعریف می‌گردند:

### الف) ظرفیت سیستم ( Handling Capacity )

کل حجم آبی که در Basin و دستگاهها و در لوله‌های رفت و برگشت در جریان است را ظرفیت سیستم می‌گویند معمولاً ۲۰ تا ۳۰ درصد از حجم آب حوضچه در دستگاهها و لوله‌ها در جریان است.

### ب) افت درجه حرارت

هرچه اختلاف دمای آب ورودی و خروجی از برجهای خنک کننده زیاد باشد تبخیر بهتری صورت می‌گیرد.

### ج) تبخیر آب (Evaporation Loss)

شکل ۱۰ موازنه آب را در سیستم‌های خنک کننده باز نشان می‌دهد. مقدار آب از دست رفته بوسیله تبخیر بوسیله معادله‌ای که بعداً شرح داده خواهد شد محاسبه می‌گردد. میزان تبخیر آب در فصلهای مختلف متفاوت است در نتیجه مقادیر متفاوتی برای E.L بدست خواهد آمد. شمامی‌توانید بعد از محاسبه E.L معادلات مربوطه آن را با جدول ۳ که در واقع مقایسه بین مقادیر واقعی و محاسباتی E.L را نشان می‌دهد مقایسه کنید.

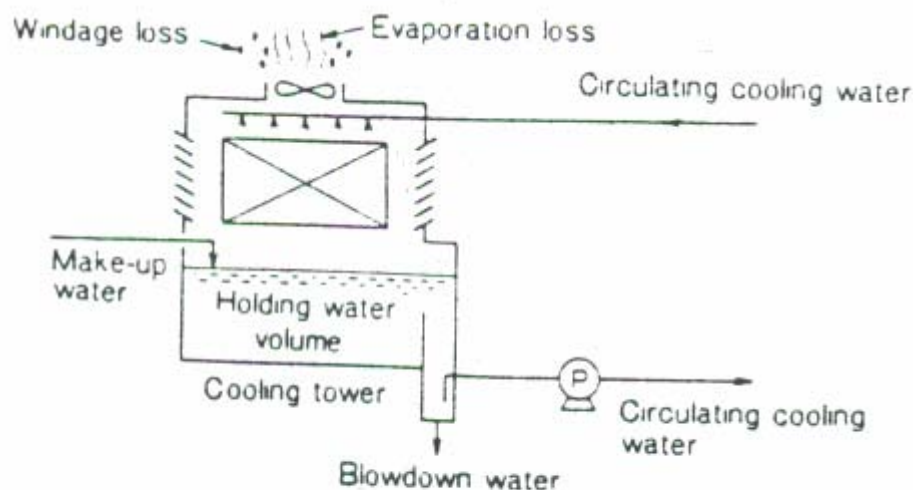


Fig.-10 Water balance in an open recirculating cooling water system

Table-3 Terms and symbols related to water balance in open recirculating cooling water system

Recirculating water quantity (R), (m <sup>3</sup> hr)	Total cooling water quantity circulated by pumps per hour
Holding water volume (H), (m <sup>3</sup> )	Total water volume held in the cooling water system including the piping and the cooling tower basin
Evaporation loss (E), (m <sup>3</sup> hr)	Water lost by evaporation per hour
Windage loss (W), (m <sup>3</sup> hr)	Water lost by windage and drift per hour
Blowdown water quantity (B), (m <sup>3</sup> hr)	Water quantity discharged per hour in order to control concentration
Make-up water quantity (M), (m <sup>3</sup> hr)	Water volume supplied to the cooling water system per hour
Temperature drop through cooling tower ( $\Delta T$ ), (°C)	Difference of cooling water temperature between the cooling tower inlet and outlet
Number of cycles (cycles of concentration) (N)	Concentration of dissolved solids in circulating water compared to make-up water
Retention time (T <sub>R</sub> ), (hr)	Time required to exchange holding volume by make-up volume, required by losses due to blowdown, and windage
Half life time (T <sub>H</sub> ), (hr)	Time it takes the dosed chemical concentration to be reduced 50% without additional chemical dosing

همانطوریکه میدانید Evaporation Loss مقدار آبی است که بر اساس اختلاف دما

بهنگام تبادل حرارت با هوا بخار میشود بطور متوسط یک درصد از آب در گردش برای هر

۵/۸°C (۱۰°F) از آب گردشی تبخیر میشود. در این شرایط مقدار آب تبخیر شده برابر

میشود با کل حرارت گرفته شده از آب. بنابراین داریم:

$$R \cdot 10^3 \cdot \Delta T \cdot C = E \cdot 10^3 \cdot H_L \quad (2)$$

R = دبی آب فنک کننده (m<sup>3</sup>/hr)

$E =$  آب از دست رفته بوسیله تبخیر در هر ساعت

$C =$  گرمای ویژه آب در فشار ثابت ( $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$ )

( گرمای ویژه آب در دمای  $^\circ\text{C } 40$  برابر با  $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C } 0,998$  میباشد )

$H_L =$  گرمای هدر رفته بوسیله تبخیر آب

( تقریباً  $\text{kcal /kg } 578$  در  $40$  درجه سانتیگراد می باشد )

با توجه به مقادیر ذکر شده در بالا معادله (۲) به معادله (۳) تبدیل می شود .

$$E (\text{m}^3/\text{hr}) = ( R \cdot ( 1/100 ) \cdot \Delta T ) / 5,8 \quad ( ۳ )$$

اگر میزان تبخیر آب را از معادلات فوق بدست آوریم می بینیم که میزان  $E.Loss$  در فصل تابستان تقریباً برابر با میزان واقعی  $E.Loss$  می باشد ولی در زمستان به علت اینکه هوا سرد است و تبادل حرارت بایستی با هوای سرد انجام گیرد تفاوت فاحشی مشاهده خواهد شد .

#### (د) آب از دست رفته بوسیله باد (Windage Loss)

مقدار آب از دست رفته بوسیله باد بستگی به طراحی و شرایط عملیات برج خنک کننده دارد . به طور کلی مقدار  $0,05\%$  تا  $0,2\%$  از حجم آب گردشی در سیستم‌های نوع دمنده را دارا میباشد .

#### (ه) مقدار آب جبرانی ( Make up Water )

در سیستم‌های آب خنک کننده حجم کل سیستم تحت شرایط نرمال ثابت نگهداشته می شود بنابراین مقدار آب جبرانی برابر است با حجم کل آب از دست رفته یعنی تبخیر (Evaporation) ، افت ناشی از باد ( Wind age loss ) و دورریز (Blow down) .

بنابراین با توجه به شکل ۱۰ و مطالب فوق میتوان چنین موازنه‌ای را نوشت :

$$M = E + B + W \quad ( ۴ )$$

$M =$  Makeup

$E =$  Evaporation

$B =$  Blowdown



$W = \text{Windage loss}$

### (و) آب دور ریز ( Blow Down )

در سیستم برجهای خنک کننده همزمان با عمل تیخیر ، تغلیظ یونها نیز در آب صورت می گیرد ، چنانچه غلظت املاح از حد مجاز خود کمتر باشد سیستم تمایل به خوردگی و چنانچه غلظت املاح بیش از حد متعارف باشد سیستم رسوب گذار خواهد بود برای موازنه غلظت املاح در برجهای خنک کننده به طور پیوسته مقداری از آب را از سیستم خارج می نمایند که به این آب ، آب دور ریز ( Blow Down ) گفته می شود . مقدار ( Blow Down ) به غلظت املاح آب تأمینی ، غلظت بازدارنده مورد مصرف و نوع آن بستگی دارد .

### (ز) تعداد سیکل تغلیظ ( Number Of Cycle )

درجه تغلیظ عبارتست از نسبت مواد موجود در سیستم آب گردش به غلظت همان یون در آب جبرانی (make up) . بنابراین داریم :

$$N = C_R / C_m \quad (۵)$$

$N = \text{Number of Cycle}$

$C_R = \text{(ppm) غلظت جامدات حل شده در آب گردش}$

$C_m = \text{(ppm) غلظت جامدات حل شده در آب جبرانی}$

در شرایط Steady State مقدار جامدات حل شده که از طریق آب جبرانی به سیستم اضافه می شود با مقدار جامدات حل شده که از طریق Blow Down و Windage از دست می رود برابر می باشد .

پس میتوان موازنه زیر را نوشت :

$$C_m \cdot M = C_R \cdot (B + W) \quad (۶)$$

باتوجه به معادلات ۵, ۶ فرمول زیر بدست می آید :

$$N = C_R / C_m = M / (B + W) \quad (۷)$$

و با توجه به فرمول شماره (۴) داریم :

$$N = (E + B + W) / (B + W) \quad (۸)$$

بنابراین N را میتوان با توجه به موازنه آب در سیستم‌های خنک کننده بدست آورد .

همچنین همانطوریکه بیان شد N (درجه تغلیظ) را میتوان بر اساس نسبت کلراید ،

سیلس ویا منیزیم بدست آورد . به هر حال یون مورد نظر نباید یونی باشد که در واکنشهای

شیمیایی برج خنک کننده شرکت کند یون موردنظر نباید از طریق مواد افزودنی به برجهای

خنک کننده افزوده و یا کاسته گردد. به عنوان مثال اگر به سیستمی به طور مداوم کلر

تزریق میشود و یا مواد بازدارنده بر پایه  $ZnCl_2$  استفاده می‌گردد

از کلراید به عنوان شاخص سیکل تغلیظ نمیتوان سود جست . در سیستمهایی که برای

تنظیم ph از اسید استفاده می‌کنند غلظت املاح محلول یا هدایت الکتریکی آب شاخص

مناسبی برای سیکل غلظت نمیشود . همچنین کلسیم بدلیل فعل و انفعالات شیمیایی در آب و

احتمال را سبب شدن آن در مبدلها شاخص مناسبی برای سیکل تغلیظ نخواهد بود. در ضمن

از نظر اقتصادی با بالا نگهداشتن درجه تغلیظ ، آب تأمینی و مواد شیمیایی کمتری برای

سیستمهای خنک کننده نیازمندیم این از مسائل مهمی است که توجه به آن حائز

اهمیت است.

نمودار ۱۱ روابط بین سیکل تغلیظ و آب Make Up را نشان می‌دهد که با توجه به

فرمولهای بیان شده بدست آمده است .همانطوریکه در نمودار می بینید حجم آب

make up بطور قابل ملاحظه‌ای تا سیکل ۵ کم می‌شود ولی در بالاتر از ۵ اینطور نیست .

می‌توان نتیجه گرفت محدوده سیکل تغلیظ بین ۲ تا ۵ تنظیم میشود .

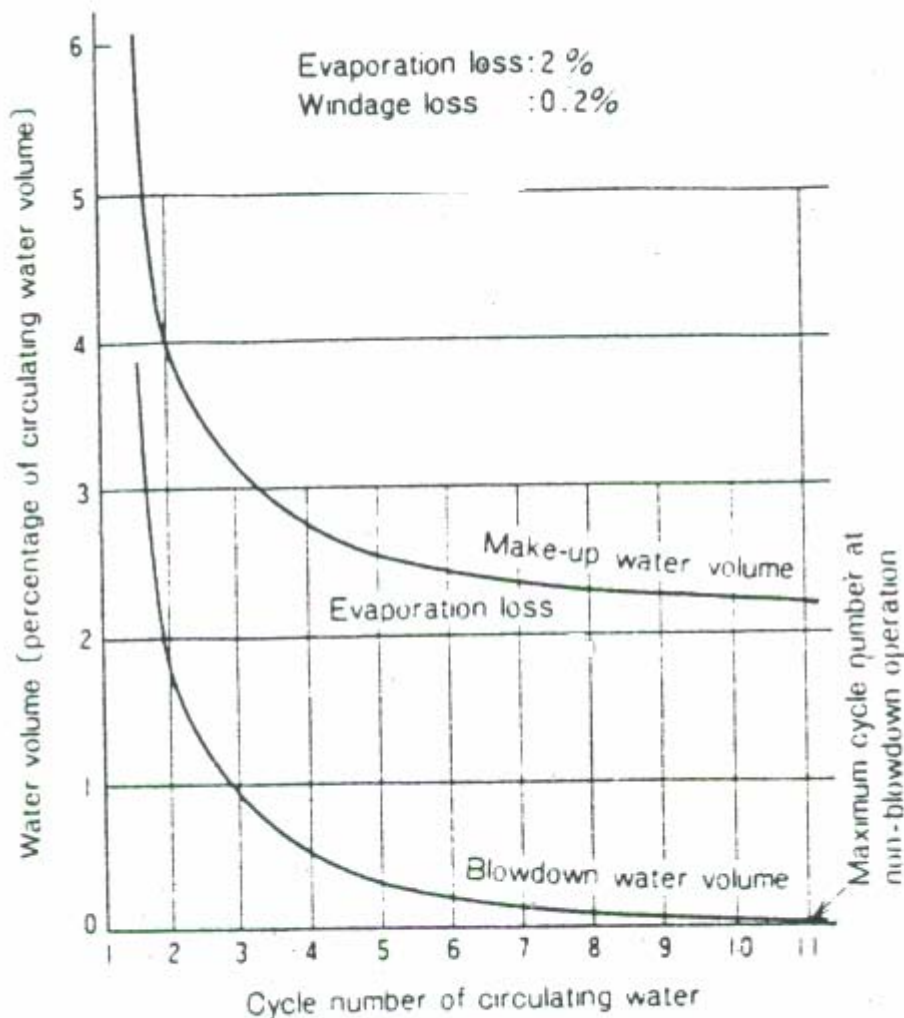


Fig. -11 Relation of cycle number, make-up water and blowdown water in an open recirculating cooling water system

### ص) زمان ماند ( Retention Time )

مدت زمانی است که آب make up بتواند حجم آب کل سیستم را تغییر دهد ، این زمان تابعی از میزان Blow Down و میزان Windage میباشد یعنی اینکه زمان ماند یا کاهش حجم آب Blow Down (در درجه تغلیظ بالا) افزایش میابد در واقع میتوان گفت مواد شیمیایی تزریقی به برج مدت زمان بیشتری در سیستم برج خنک کننده باقی میمانند . زمان ماند را میتوان از معادله ۹ محاسبه کرد :

$$T_R = H / ( B + W ) \quad ( ۹ )$$

$T_R$  = Retention time

$H$  = Holding Capacity  $M^3$

$B$  = Blow Down  $M^3/hr$

$W$  = Wind age loss  $M^3/hr$

### (ط) زمان یک گردش (Time Index)

مدت زمانی که یک مولکول تمام سیستم را طی کرده و دوباره به نقطه اول خود برسد را زمان یک گردش گویند، زمان یک گردش از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$T = V / Q \quad ( ۱۰ )$$

$V$  = کل حجم آب سیستم ( $m^3$ )

$Q$  = دبی آب چرخشی ( $m^3 / hr$ )

### (ض) زمان نیمه عمر (Half Life Time)

مدت زمانی که لازم است تا غلظت مواد شیمیایی در برج به نصف مقدار تزریق اولیه آن برسد را زمان نیمه عمر مواد گویند، زمان نیمه عمر از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$T_H = 0.7 * T_R \quad ( ۱۱ )$$

### (پ) غلظت مواد شیمیایی

در سیستمهایی آب و مواد شیمیایی با همدیگر مخلوط میشوند، میتوان غلظت مواد شیمیایی را با توجه به زمان ماند این مواد شیمیایی محاسبه کرد که طبق فرمول ۱۲ داریم:

$$X = X_0 \cdot \exp(-t T_R) \quad ( ۱۲ )$$

$X$  = غلظت مواد شیمیایی

$X_0$  = غلظت مواد شیمیایی زمانی که تزریق متوقف شود

$T_R$  = زمان ماند مواد شیمیایی

$t$  = مدت زمان تزریق مواد شیمیایی

### ث) دبی آب چرخشی Recirculation Water Quantity

مقدار حجم کل آبی که توسط پمپ در ساعت در سیستم بچرخش درمی آید که هر چه میزان آن بیشتر باشد ، مقدار تبخیر بیشتر خواهد بود .  
تمام پارامترهای فوق الذکر پارامترهای کنترل کمی آب میباشند که در محاسبات فنی مهندسی جهت طراحی یا ساخت و بهره برداری از برج خنک کننده بکار میروند . در سیستمهای بسته برجهای خنک کننده محاسبات کمی تنها به میزان نشی آب ارتباط پیدا می کند . در این برجها مقدار آب تأمینی فقط برای جبران آب نشی می باشد.  
پارامترهای کنترل کیفی آب و روشهای محاسبه آن

### ت) PH

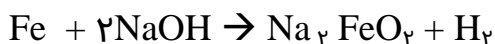
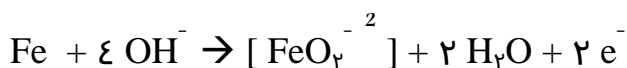
PH آب خاصیت اسیدی یا قلیایی بودن آن را نشان می دهد و لذا به غلظت  $H^+$  یا  $OH^-$  بستگی دارد و مقدار PH را میتوان از رابطه زیر بدست آورد :

$$PH = - \text{Log} [H^+] \quad (۱۳)$$

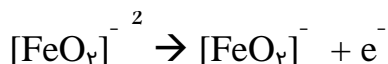
PH آب خالص در  $۲۵^{\circ}C$  برابر ۷ است . محلولهای اسیدی دارای PH کمتر از ۷ هستند . غلظت یون هیدروژن بر روی سرعت خوردگی فلزات تأثیر مهمی دارد ، در یک PH مورد نظر فلز میتواند پایدار باشد و با تغییر PH اکسید شود . فلزات نجیب مثل طلا و پلاتین در محلولهای اسیدی و بازی پایدار بوده و سرعت خوردگی آنها به مقدار PH بستگی ندارد (شکل ۱۲ الف) .

از طرف دیگر فلزاتی مانند روی و آلومینیم را داریم که در هر محیط اسیدی و بازی قوی به ترتیب با تشکیل  $Zn^{2+}$  و  $Al^{3+}$  و یا  $ZnO_2^{-2}$  و  $AlO_2^{-}$  حل می شوند (شکل ۱۲ ب). این فلزات در یک PH مشخص دارای حداقل سرعت خوردگی هستند که برای آلومینیم برابر  $۶/۵$  ، برای سرب برابر ۸ ، برای قلع برابر  $۸/۵$  و برای روی برابر  $۱۱/۵$  است .  
اکسیدهای اکثر فلزات در محیطهای اسیدی محلول بوده ولی در محیطهای قلیایی نامحلول هستند و رفتار PH آنها در (شکل ۱۲ ب) نشان داده شده است . فلزات مثل نیکل ، مس ،

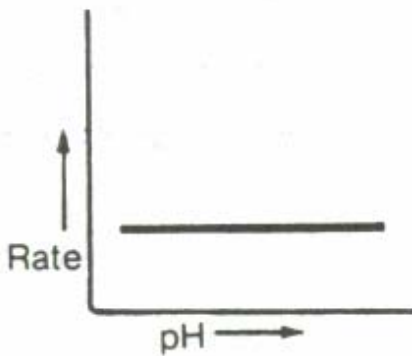
کبالت ، کرم ، منگنز و منیزیم در این گروه قرار دارند . آهن در محدوده مشخصی در این گروه قرار می‌گیرد که با افزایش PH به محدوده بین ۴ تا ۹ سرعت خوردگی کم می‌شود (شکل ۱۲ ت ) و با زیادتر شدن قلیائیت در PH=۱۲ به حداقل خود می‌رسد و سپس افزایش می‌یابد . واکنش آهن در محلولهای قلیایی قوی با تشکیل  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$  همراه است .



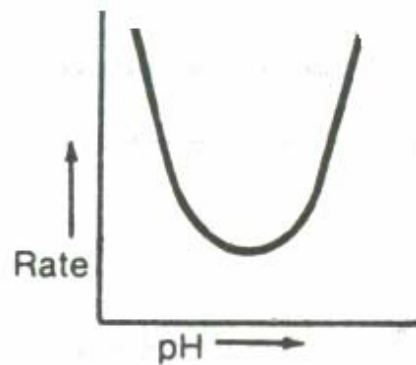
این واکنش تا حدی ادامه یافته تا فریت سدیم تشکیل می‌شود ( $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ )



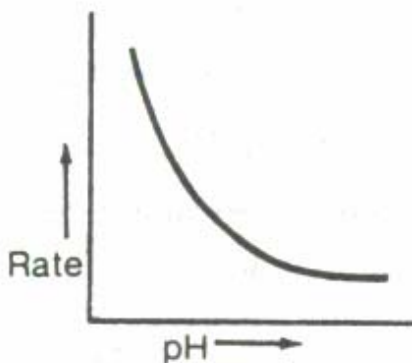
همانطور که از واکنشهای فوق مشخص است در محیطهای قلیایی قوی واکنش خوردگی با آزاد شدن هیدروژن همراه است و همین طور واکنش کاتدی در محیطهای اسیدی با آزاد شدن هیدروژن همراه بوده و در محیطهای خنثی با احیاء اکسیژن و با ایجاد  $\text{OH}^-$  همراه است .



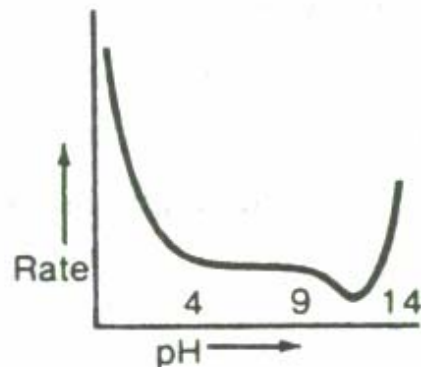
الف - فلزات نجیب



ب - فلزات با اکسیدآمفوتری



پ - فلزات قابل حل در اسید



ت - آهن

شکل ۱۲ - ارتباط PH و سرعت خوردگی برای فلزات مختلف

همچنین PH عامل مهمی برای توسعه ، پیشرفت و تکمیل خصوصیات Fouling ، خوردگی و رشد میکرو ارگانیسمها می باشد . تنظیم PH مهمترین عاملی است که میتواند خوردگی در آب و رسوب گذاری را افزایش دهد . بر طبق یک قاعده کلی افزایش PH در محدوده بیشتر از ۸ سیستم را به سمت رسوب گذاری و کاهش PH در کمتر از ۷ آنرا بسمت خوردگی سوق میدهد . کنترل PH در برجهای خنک کننده با تزریق اسید صورت می گیرد . فرمول ۱۴ یک روش عملی برای تزریق مناسب اسید و کنترل PH ارائه میدهد .

$$C = (A - (B / N)) \cdot (M / 1.8) \cdot (1/1000) \quad (14)$$

C : Consumption of % ۹۸ H<sub>۲</sub>SO<sub>۴</sub> (L/h)

A : M.alkalinity in make up water (ppm)

B : M.alkalinity to be held in circulation water (ppm)

N : Number of cycle

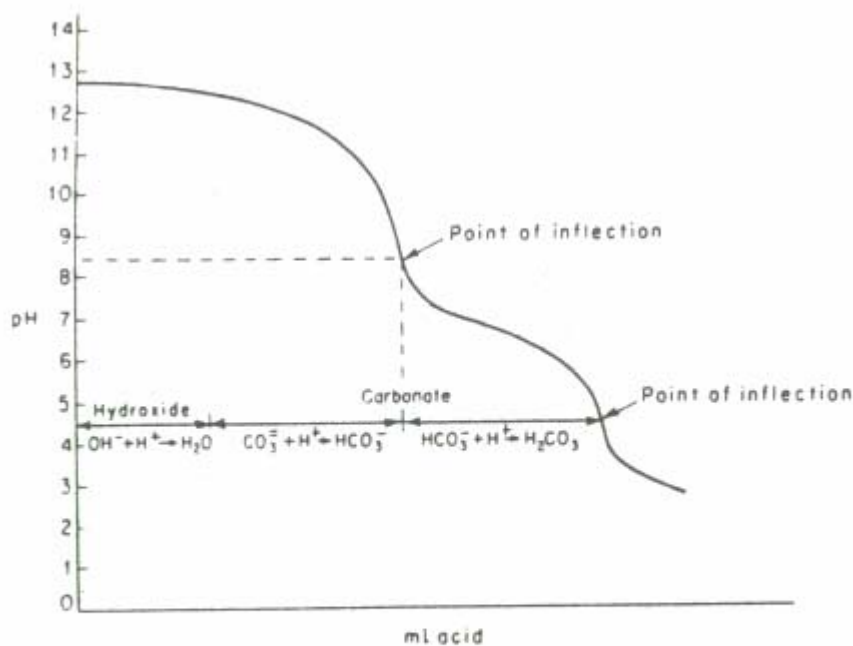
M : Make up water Flow rate (m<sup>3</sup>/hr)

### ن) قلیائیت (M-ALKALINTY)

مجموع غلظتهای هیدروکسید ، کربنات و بیکربنات موجود در آب را قلیائیت می نامند .

$$M.ALK = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-] \quad (15)$$

قلیائیت بوسیله تیتراسیون در دو مرحله مشخص میشود ابتدا از مصرف فنل فتالئین در PH برابر ۸/۳ و در ادامه از مصرف متیل اورانژ در PH برابر ۴/۵ استفاده میشود . قلیائیت فنل فتالئین در PH برابر ۸ به ماکزیمم خود میرسد (شکل ۱۳) و برابر قلیائیت هیدروکسید و نصف قلیائیت کربنات است . قلیائیت متیل اورانژ که در PH برابر ۴/۵ به حداکثر خود میرسد به خاطر کربنات ، بیکربنات و هیدروکسید میباشد که همان قلیائیت کلی نامیده میشود با دانستن این دو مقدار (قلیائیت فنل فتالئین و متیل اورانژ) قادر خواهیم بود مقدار بیکربنات و کربنات را محاسبه کنیم .



شکل 13- رابطه PH و قلیائیت فنل فتالئین و متیل اورانژ

### و) قلیائیت جزئی (Partial Alkalinity)



قلیائیت بوسیله تیتراسیون اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال و یا اسید کلریدریک مشخص میشود ابتدا از مصرف فنل فتالئین و سپس تیتراسیون با اسید برای کاهش  $\text{PH}=8/3$  استفاده میشود. حجم اسید مصرفی در این مرحله مصرف میزان P-Alkalinity میشود که این خود مبین هیدروکسید و نصف قلیائیت کربناتی است. بنابراین در PHهای کمتر از ۸/۲ میزان P-Alkalinity صفر است. همچنین در PHهای کمتر از ۴/۲ مقدار M-Alkalinity ناچیز خواهد بود.

M.ALK یکی از مهمترین شاخصهای کنترل تزریق اسید و کنترل کیفی میزان رسوب میباشد.

باتوجه به مطالب ذکر شده با داشتن غلظت یون هیدروکسید یون کربنات میتوان قلیائیت جزئی را از فرمول زیر محاسبه کرد.

$$\text{P.ALK} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] \quad (16)$$

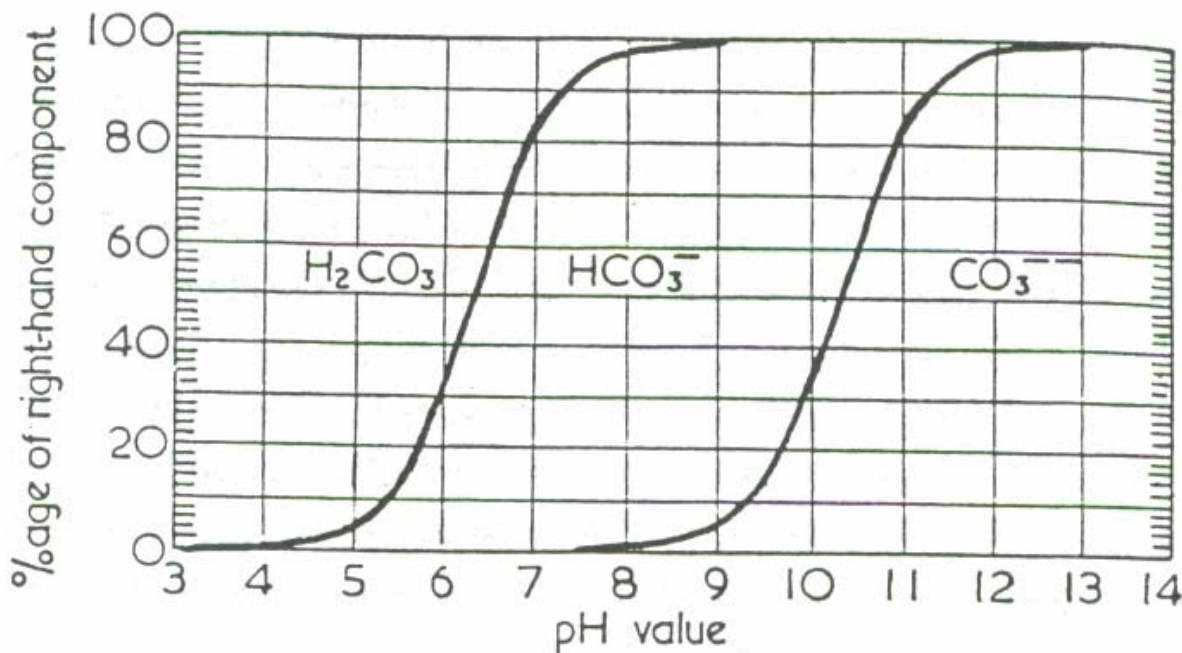
### ی) نمکهای محلول

نمکهای موجود در آب میتوانند تأثیرات متفاوتی بر مسائل خوردگی و رسوبدهی آن داشته باشند افزایش مقدار نمکهای محلول در آب به سبب افزایش هدایت یا کندانسیون آن میشود. حضور یونهای  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  سبب تشدید خوردگی و یونهای نظیر کربنات  $\text{CO}_3^{2-}$  و بیکربنات  $\text{HCO}_3^-$  و کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) سبب تقلیل خوردگی میشوند. همچنان که میدانیم یونهای  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  اصطلاحاً به یونهای خورنده و یونهای کربنات و کلسیم به یونهای بازدارنده خوردگی معروفند. خواص خوردگی و بازدارندگی یونها علاوه بر نوع آنها به غلظت یون نیز بستگی دارد. غالباً مقدار یونهایی که خاصیت بازدارندگی دارند باید بیش از مقدار اکسیژن حل شده در محلول باشد، در نتیجه سرعت واکنش کاتدی احیاء اکسیژن کاهش مییابد. به عبارت دیگر غلظت یونهای بازدارنده باید بیش از مقدار حداقلی که برای هر محیط بازدارنده مشخص است باشد.

یونهای بازدارندهای مثل کربنات قادرند با تشکیل رسوب کربنات کلسیم سرعت خوردگی را کاهش دهند. این لایه‌های محافظ میتوانند از دو طریق تشکیل شوند، نخست

اگر محلول فوق اشباع کربنات کلسیم داشته باشیم ، رسوب کربنات در سطوحی که با این آب در تماس هستند ایجاد میشود . از طرف دیگر رسوب می‌تواند از یک محلول اشباع نشده در شرایط تعادلی ایجاد گردد . در این حالت قلیائیت ایجاد شده از انجام واکنش کاتدی احیاء اکسیژن سبب تشکیل رسوب میگردد .

کربنات و بیکربنات بخش عمده نمکهای حل شده در آبهای طبیعی هستند اینها با مقدار دی‌اکسید کربن و کلسیم آب در تعادل هستند . دی‌اکسید کربن آزاد در آب حل میشود و میزان انحلال بستگی به فشار جزئی آن در اتمسفر موردنظر دارد . فشار جزئی دی‌اکسید کربن در هوا برابر  $3 \times 10^{-2} \text{ atm}$  است و غلظت آن در آب در تعادل با هوا حدود  $0.5 \text{ mg/lit}$  است . حال اگر فاز گازی بالای آب تماماً دی‌اکسیدکربن باشد مقدار دی‌اکسیدکربن حل شده در آب به بالای  $500 \text{ mg/lit}$  میرسد . درصد تغییرات نسبی مقدار کل دی‌اکسیدکربن حل شده به صورتهای مختلف ( $\text{HCO}_3^-$  ,  $\text{CO}_2$  ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) در شکل ۱۴ آمده است .



شکل 14- تعادل کربنات ، بی کربنات و اسیدکربنیک با PH

مطابق نمودار فوق در PH بیش از ۸/۵ تعادل کربنات و بیکربنات را داریم که مقدار کربنات ناچیز است. در اکثر محلولهای قلیایی کافی است که ضریب کربنات به بیکربنات را تعیین کنیم. در آب خالص که با هوا در تعادل است PH برابر ۵/۷ می باشد در صورتی که PH آب در تعادل با دی اکسید کربن ۳/۸ است. PH آب طبیعی بین ۶ تا ۹/۵ می باشد ، البته PH بیش از ۹۰٪ آبهای طبیعی بین ۶/۵ تا ۸ است.

## ف) گازهای محلول در آب

### ۱- گاز اکسیژن

اکسیژن محلول در آب تأثیر عمده ای بر میزان خوردگی فولاد دارد این تأثیر به غلظت اکسیژن محلول بستگی دارد. حلالیت این گاز در آب پارامترهای مختلفی از جمله درجه حرارت ، فشار ، غلظت الکترولیت (ناخالصیها و مواد محلول در آب) وابسته است. افزایش درجه حرارت ضمن آنکه سبب افزایش فشار میگردد ، سبب تقلیل حلالیت این گاز میشود. قابلیت حلالیت این گاز برای آبهای خنک کن در حدود ۶ mg/lit است. وجود

اکسیژن در آب تحت شرایط خاص سبب ایجاد بقاء فیلمهای محافظ در روی سطح فلزات میشود. برای مثال تشکیل فیلمهای  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  را میتوان نام برد. عبور آب از برج خنک یا پاشش آن در استخر باعث تماس آب و اکسیژن میشود. خوردگی آب گردش با بالا رفتن مقدار اکسیژن محلول افزایش می یابد. مقادیر بالای بیکربنات، دی اکسید کربن، آب برج را کاهش داده و آن را غیر پایدار میکند. استعداد آلودگی آب با گازهایی مانند  $\text{H}_2$  ,  $\text{SO}_2$  ,  $\text{NH}_3$  ,  $\text{H}_2\text{S}$  و غیره زیاد میباشد که در اثر تماس هوا و گازهای موجود در آب در حال گردش در سیستم اتفاق می افتد. نمودار ۱۵ تأثیر غلظت اکسیژن بر میزان خوردگی در دماهای مختلف را نشان میدهد.

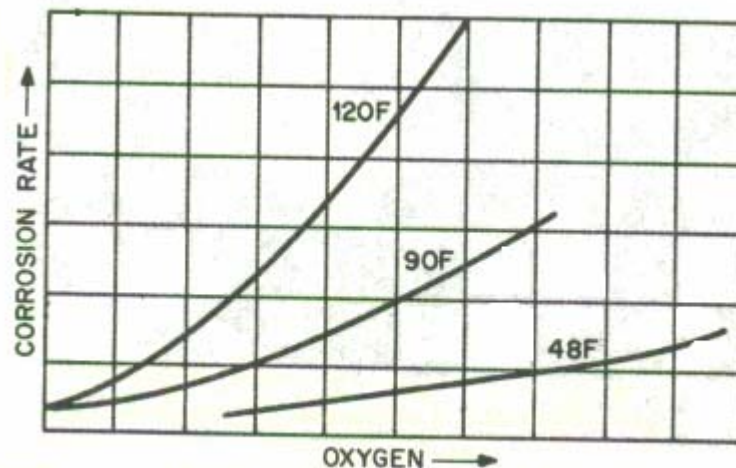


Figure -15 Effect of oxygen concentration on corrosion at different temperatures.

## ۲- گاز $\text{CO}_2$

قابلیت حلالیت این گاز در آب به مراتب بیشتر از اکسیژن میباشد. قابلیت حلالیت این گاز به مقدار ۱,۳ gr/lit میباشد. در حالی که PH به کمتر از ۶ تقلیل یابد این گاز میتواند به اسید کربنیک تبدیل شود. اسید کربنیک سبب تسریع در خوردگی میشود.

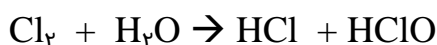


بنابراین تنظیم PH در کنترل خوردگی این اسید از اهمیت خاصی برخوردار است و

غالباً PH آبهای خنک کن نوع باز بین ۷ تا ۸/۵ تنظیم میشود.

### ۳- گاز کلر

این گاز در آبهای طبیعی یافت نمیشود. ولی متأسفانه از این گاز برای گندزدایی در آب آشامیدنی و در برجهای خنک کن معمولی میباشد. این گاز در آب تولید اسید HClO (هیپوکلرواسید) و اسید کلریدریک مینماید که باعث تقلیل PH میشود.



زمانی که PH کمتر از ۷ شود، خوردگی این اسید، مورد توجه میباشد. در PHهای بالاتر تأثیرات آن تقلیل می یابد.

جهت از بین بردن میکروارگانیزمها، PH در حدود ۷/۵ توصیه شده است. این گاز روی لوله‌های مسی تأثیرات سوء باقی میگذارد و سبب از بین رفتن فیلم محافظ  $\text{Cu}_2\text{O}$  میشود.

### ۴- گاز آمونیاک

برای تنظیم PH آب تغذیه از آمونیاک استفاده میشود. ضمناً منبع دیگر این گاز میتواند از تجزیه بعضی از بازدارنده‌های آلی پایه نیتروژن که برای محافظت فولاد به کار میرود، باشد.

### ق ( مواد معدنی

تعدادی از مواد معدنی در غلظت پایین در آبهای طبیعی یافت میشوند که بعضی از آنها طبیعت خوردگی آب را افزایش میدهند و تعدادی نیز از نظر بهداشتی مشکل داشته و بعضاً سمی هستند.

: سیلیس از تجزیه سنگها و گاهی توسط بعضی از میکروارگانیزمها مانند تک سلولیهها بوجود آمده و در آب به صورت اسید متاسیلیسیک  $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_n$  وجود دارد. سیلیکاتها خواص بازدارندگی مشخصی داشته و برای کاهش میزان خوردگی به آبهای نرم افزوده میشوند.

: گاهی اوقات آهن در آبهای طبیعی وجود دارد و اغلب به شکل کربنات آهن می‌باشد، زمانی که کربنات آهن با هوا تماس پیدا میکند آهن اکسید شده و رسوبات زنگ آهن را بوجود می‌آورد که سبب قرمز شدن آب میشود که این پدیده در هنگام اسیدشویی‌های خطوط لوله (Chemical Cleaning) بوضوح دیده میشود. غالباً آبهای حاوی آهن به دلیل داشتن دی‌اکسید کربن بالا، خاصیت خوردگی زیادی دارد.

: در آبهای طبیعی معمولاً مس وجود ندارد و مس موجود در شبکه آب غالباً از خوردگی لوله‌ها و تجهیزات مسی که در تماس با آب می‌باشند بوجود می‌آید.

: سرب به ندرت در آبهای طبیعی پیدا میشود این فلز همانند مس میتواند از خوردگی لوله‌های سربی وارد آب شود.

: روی به علت خوردگی لوله‌های گالوانیزه ممکن است در آب وجود داشته باشد.

آبهای اسیدی معدنی تا حد چندین قسمت در میلیون میتوانند حاوی سرب، روی و مس باشند.

### **ک) ارگانیزم‌های موجود در آب**

ارگانیزم‌های موجود در آب، حاصل از ارگانیزم‌های زنده و سوخت و ساز آنهاست. ارگانیزم‌های غیرزنده ممکن است به شکل کلوئیدی یا ذرات معلق در آب باشند که از زوال نباتات و یا موجودات کوچک ایجاد میشوند. فاضلابهای صنعتی و خانگی نیز در ایجاد مواد آلی آب نقش مهمی را ایفا میکنند.

مواد آلی موجود در آب غالباً به صورت اسید کربنیک، اسید هیومیک، اسید سیتریک و اسید بنزوئیک یافت میشود. حضور این مواد سبب تقلیل PH آب شده و بد رنگی آن را به دنبال دارد. تاثیر دیگر آنها سبب تسریع خوردگی فلزاتی نظیر آهن، سرب و مس میشوند.

### **گ) هدایت الکتریکی آب**

در یک محلول میزان رسانایی الکتریکی آب را قابلیت هدایت الکتریکی آب مینامند که مستقیماً به خصوصیات هدایت الکتریکی سیال بستگی دارد. هر چه غلظت املاح و تجزیه شده

آب افزایش یابد میزان رسانایی آب افزایش پیدا میکند . اندازه گیری هدایت الکتریکی آب نشان از افزایش غلظت غیرعادی برخی مواد در آب دارد که ممکن است ایجاد خوردگی ، رسوب گذاری و ساییدگی ، کف زدایی و غیره کند . هدایت الکتریکی آب با دما نسبت مستقیم دارد و با افزایش دمای آب افزایش مییابد نمودار ۱۶ میزان هدایت الکتریکی آب بر حسب سرعت خوردگی را نشان میدهد .

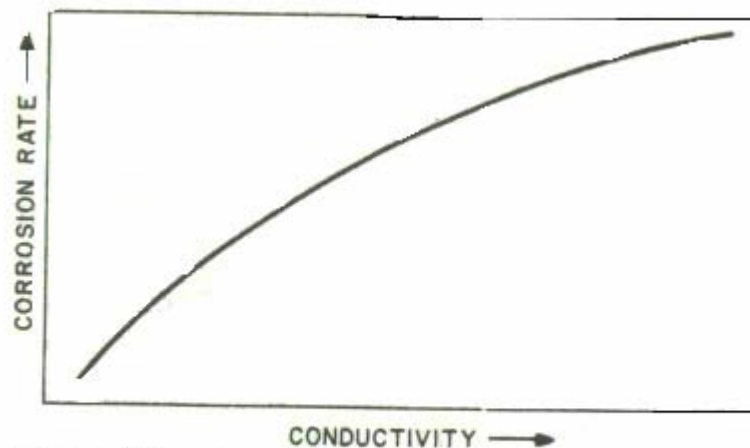


Figure -16 As conductivity increases, so does corrosion rate.

### ل) سختی کل (Total Hardness)

کلسیم و منیزیم اجزاء اصلی سختی آب بوده و قادرند خواص پاک کنندگی صابونها را از بین ببرند . این فلزها در محلولها عموماً به صورت بیکربنات وجود دارند اما ممکن است به صورت سولفات یا نیترات و گاهی به صورت کلرید هم دیده شوند . بهترین روش تعیین سختی دائمی و سختی کل ، اندازه گیری مستقیم مقدار کلسیم و منیزیم آب است . اصطلاح سختی موقت مربوط به رسوبات بدست آمده از جوشیدن و تبخیر آب است . یعنی رسوبات کربنات یا بیکربنات منیزیم که به آن سختی کربناتی یا قلیائیت کلی گفته میشود . اختلاف بین سختی کربناتی (قلیائیت) و سختی دائمی را سختی غیر کربناتی مینامیم. سختی غیر کربناتی ناشی از سولفاتها ، کلریدها و نیتراتهای کلسیم و منیزیم است .

### غ) آهن (Total Fe)

میزان آهن در آب برگشتی برجهای خنک کننده ، میزان خوردگی را در سطح سیستم نشان می دهد مقدار آهن هر سیستم برج خنک کننده در شرایط ایده آل بصورت زیر است :

$$(Fe) \text{ Cooling} = n(Fe) \text{ make up} \quad (۱۷)$$

که در رابطه فوق  $n$  درجه تغلیظ است . اگر :

$$(Fe) \text{ Cooling} > (Fe) \text{ make up} \quad (۱)$$

$$(Fe) \text{ Cooling} < (Fe) \text{ make up} \quad (۲)$$

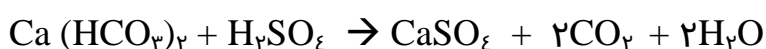
رابطه (۱) نشان از خوردگی سیستم و پایین بودن راندمان بازدارنده‌های خوردگی است . رابطه (۲) نشان می‌دهد که در این سیستم آهن رسوب کرده یعنی سیستم با Fouling شدید روبرو است که این خود نشان می‌دهد عملکرد مواد ضد رسوب (Scale dispersant) ضعیف می‌باشد .

### ع) دما

همچنانکه حضور بعضی مواد در آب سبب Fouling ، خوردگی ، سائیدگی و رشد میکروبیها می‌گردد ، دما نیز بر سطح فلزاتی که در تماس با سیال هستند همان تأثیرات را قوت می‌بخشد . در واقع حلالیت ترکیباتی مانند کربناتها ، سیلیکاتها و غیره همواره با افزایش دما کاهش می‌یابد . بنابراین هنگامی که دما افزایش می‌یابد سرعت تشکیل رسوب افزایش می‌یابد. افزایش دما علاوه بر افزایش تشکیل رسوب مقدار خوردگی را تسریع میکند .

### چ) نوع اسید مصرفی

اسیدها متداولترین موادی می‌باشند که برای کنترل جرم و رسوب گذاری در سیستمهای خنک کن استفاده میشوند . همانطور که قبلاً نیز ذکر شده ، اسیدها قلیائیت آب را کاهش داده و میتوانند از تشکیل رسوبات کربنی جلوگیری کنند . واکنش اسید سولفوریک با بیکربنات کلسیم به قرار زیر است :





به دلیل قابلیت حلالیت سولفات کلسیم که حداقل صد برابر بیشتر از کربنات است ، جلوگیری از تشکیل رسوب در غلظتهای بالاتر از نقطه اشباع نیز میتواند انجام گیرد .

به منظور کنترل جرم (رسوب) ، تزریق مقدار کافی از اسید سولفوریک برای رسیدن به یک قلیائیت و PH مناسب لازم و ضروری است . اسید سولفوریک ، از متداولترین اسیدهایی است که برای سیستمهای آب خنک کن استفاده میشود . علت آن ، قیمت ارزان و قابل دسترس بودن آن میباشد . سایر اسیدها مثل اسید کلریدریک ، نیتریک ، سولفامیک ، بیسولفات سدیم و نمک بعضی از اسیدها نیز به این منظور استفاده میشود . اسید کلریدریک باعث اضافه شدن یونهای کلر به آب میگردد . یونهای کلر به شدت خورنده بوده و میتوانند به داخل فیلم اکسیدی روی سطح نفوذ نموده سبب ایجاد پیل موضعی آندی شود .

اسید نیتریک یک عامل قوی اکسید کننده است و میتواند سبب خوردگی شود . محصولات نهایی این اسید یعنی نیتریتها و نترات ها مواد غذایی خوبی برای بعضی از میکروارگانیزمها میباشد .

اسید سولفامیک تحت بعضی شرایط خاص تجزیه میشود . گاهی اوقات برای کنترل PH ، دی اکسید کربن به آب تزریق میشود . اسید کربنیک ایجاد شده باعث تقلیل PH میگردد . محدودیت دیگر استفاده از  $CO_2$  آن است که این گاز به آسانی و به سرعت میتواند از آب خارج شود و لذا در این سیستمها مقدار زیادی دی اکسید کربن در طی چرخش آب در سیستم از محیط خارج میشود که این امر باعث افزایش سریع PH میگردد .

شایان ذکر است که در بعضی از عملیات کنترل رسوب مرحله تزریق اسید حذف گردیده است . در چنین سیستمهایی اجازه داده میشود تا PH آب به حد ۹ افزایش یابد در این حال جهت کنترل رسوب و جرمهایی ناخواسته از مواد پلیمری مخصوص (ضد رسوب) استفاده میشود .

### ص) سرعت گردش آب (Water Flow Rate)

با توجه به کیفیت آب و غلظت املاح خورنده و نیز خورنده سرعت آب تأثیرات متفاوتی را بر سیستم اعمال مینماید .

بدین لحاظ تأثیر سرعت آب بر روی هر یک از این املاح متفاوت خواهد بود. هر چه سرعت آب بیشتر باشد اکسیژن حل شده بیشتری وارد سیستم میشود و لذا سرعت خوردگی بیشتر خواهد شد. در صورت استفاده از مواد محافظت کننده، هرچه سرعت گردش آب بیشتر گردد درصد محافظت کنندگی بیشتر میگردد زیرا مقدار نفوذ ماده محافظت کننده بالا میرود لذا ترجیح داده میشود که اکثراً آب از یک سرعت نسبی خوب برخوردار باشد. شکل ۱۷ تأثیر ماده محافظت کننده با پایه متفاوت را نسبت به سرعت گردش آب نشان میدهد.

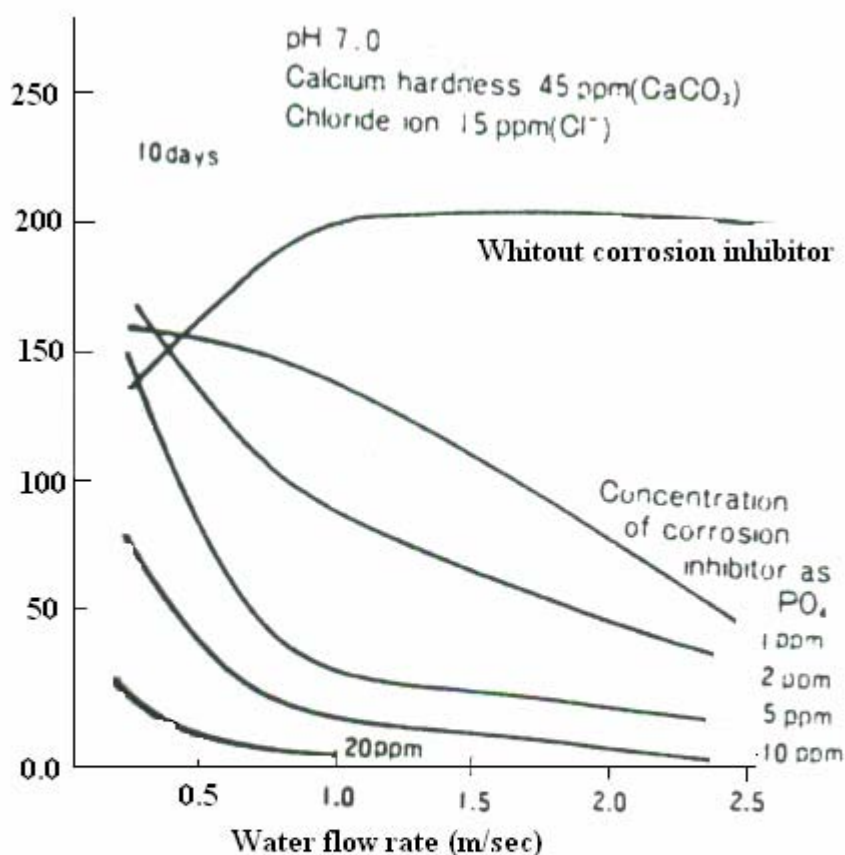


Fig - 17 Relationship between the effect of polyphosphate based corrosion inhibitor and water water flow rate for carbon steel.

افزایش سرعت گردش آب سبب میشود تا قدرت محافظت کنندگی حتی در غلظتهای

بسیار کم افزایش یابد رنج گردش که تأثیرات مطلوب به جا میگذارد، ۰.۰۵m/s است.

## ض) کدورت آب

میزان شفافیت آب از طریق مقایسه با استانداردهای معتبر و با استفاده از دستگاهها Nephelometer محاسبه مینمایند. میزان کدورت یک آب در واقع مبین میزان مواد معلق آب میباشد. بنابراین هر چه آب شفافتر باشد از مواد معلق کمتری برخوردار است. واحد شفافیت آب NTU میباشد.

## ذ) غلظت و مواد بازدارنده

یکی دیگر از پارامترهای کنترل کیفیت آب غلظت و نوع بازدارنده میباشد. اگر چه بحث در این ارتباط از گنجایش این جزوه آموزشی خارج است. اما به اختصار به چند مورد آن اشاره کرده و توضیح مختصری راجع به هر یک داده خواهد شد.

### ۱- کروماتها

کروماتها به طور کلی از زمانی بسیار دور جهت محافظت در سیستمهای خاک کننده مخصوصاً برای کربن استیل استفاده می گردد. رابطه بین مقدار کرومات مصرفی بر اساس مقدار خوردگی برای فلز کربن استیل در شکل ۱۸ نشان داده شده است. در صنعت از کروماتها و دی کروماتها به عنوان مواد محافظت کننده استفاده میگردد. کروماتها همراه با پلی فسفاتها و یک فلز دو ظرفیتی نیز ممکن است مورد مصرف قرار گیرد ولی امروزه به دلیل مشکلات زیست محیطی از کروماتها استفاده نمیشود.

### ۲- نیتريتها

نیتريتها به عنوان یک ماده محافظت کننده خوب برای فلز کربن استیل مورد مصرف قرار می گیرند. نیتريتها کمتر سمی بوده و در سیستم خاک کننده باز در برابر میکروارگانیزمها تجزیه میگردند. به همین دلیل در مقابل کروماتها از اهمیت کمتری برخوردارند. به هر حال از نیتريتها بعنوان یک ماده محافظ کننده در یک سیستم خاک کننده بسته همراه با کنترل میکروارگانیزمها میتوان استفاده نمود شکل ۱۹ رابطه بین مقدار نیتريت مصرفی و مقدار خوردگی را نشان می دهد.

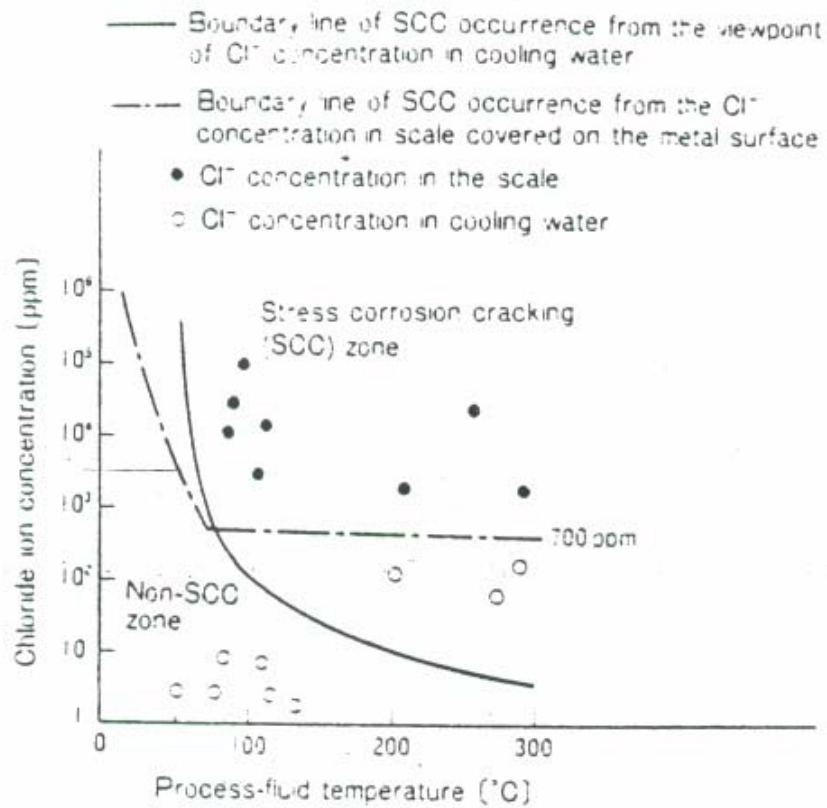


Fig. -18 a Relationship of chloride ion concentration and process fluid temperature in the occurrence of stress corrosion cracking of stainless steel (SUS 304, 304L, 316, 316L, 405).

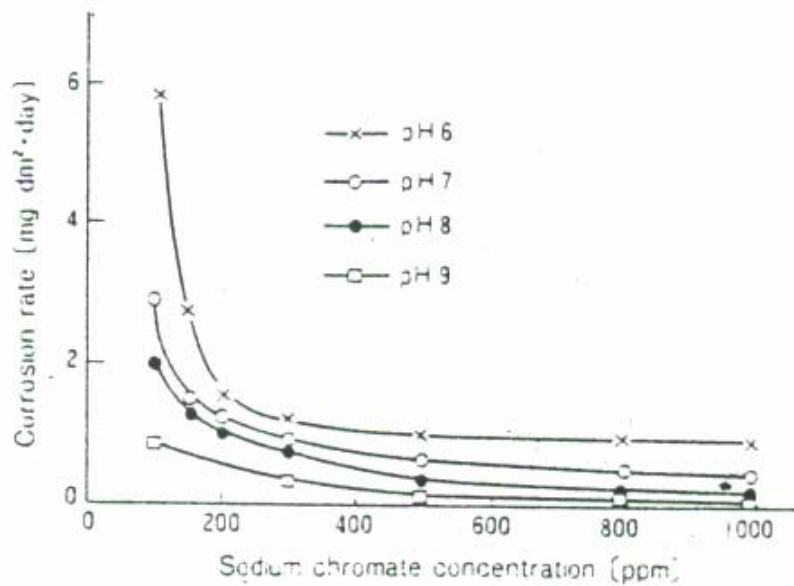


Fig. -18 b Influence of sodium chromate concentration and pH on corrosion rate of carbon steel

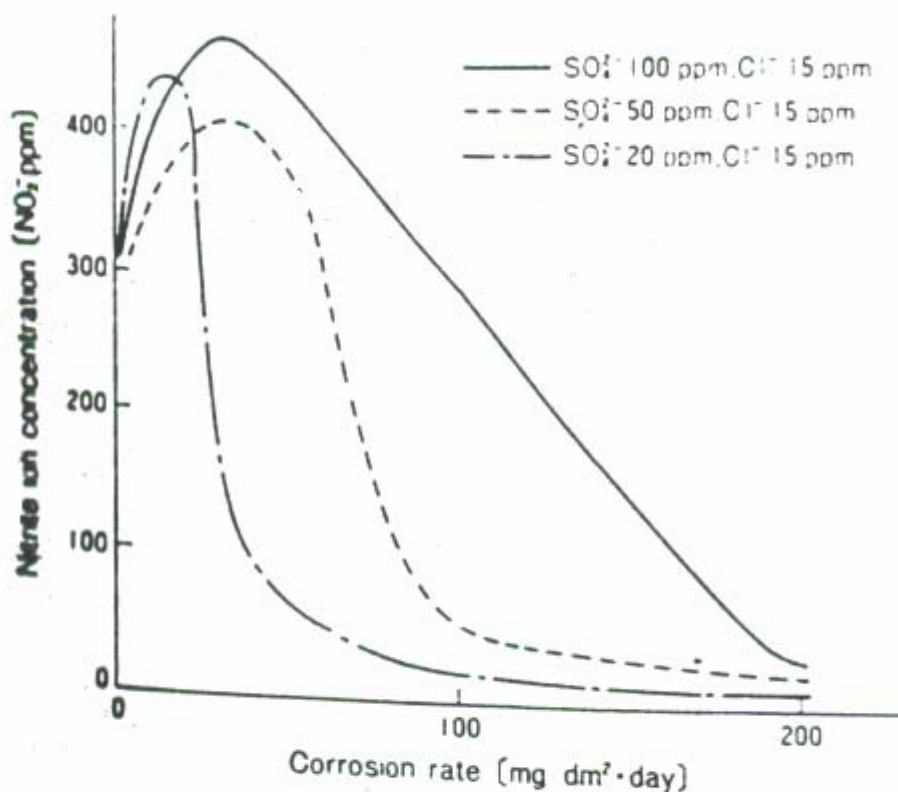
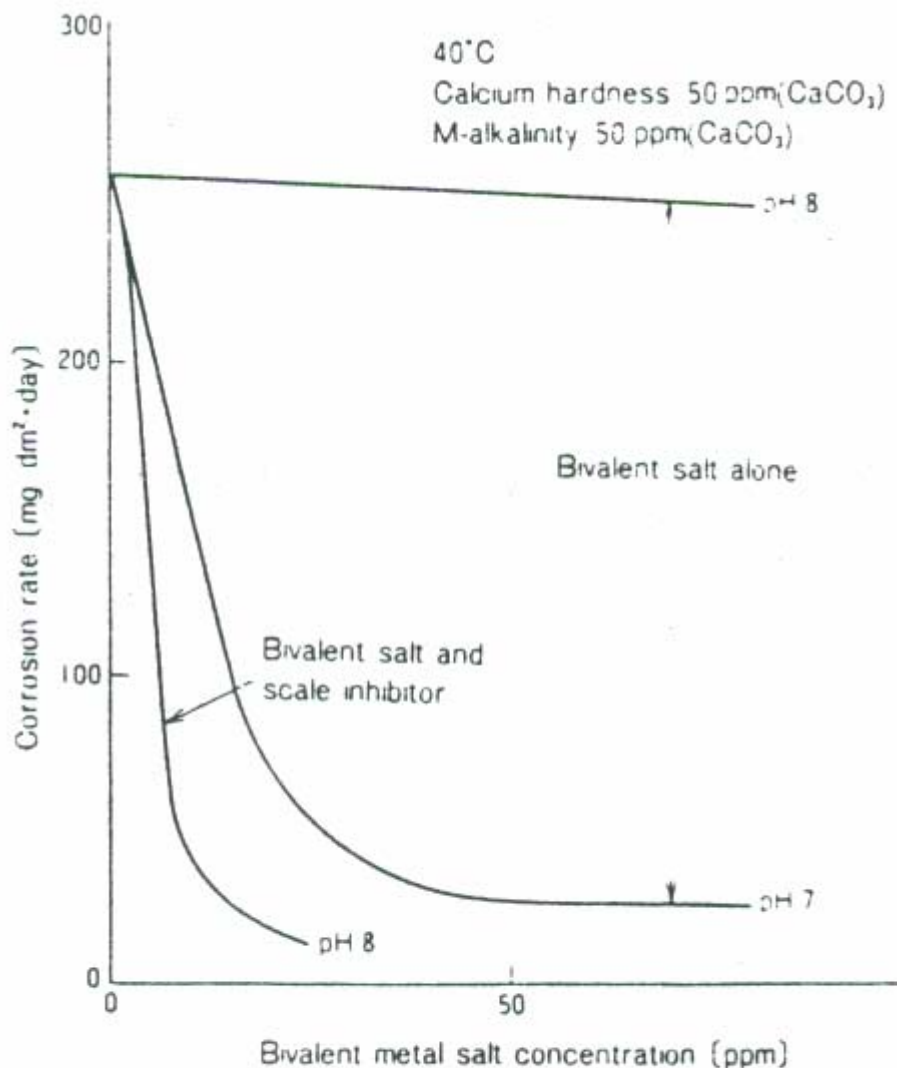


Fig -19 Relationship of nitrite and sulfate ion concentrations on corrosion rate of carbon steel

### ۳- نمکهای فلزات دو ظرفیتی

نمکهای فلزات دو ظرفیتی مانند نمکهای Zn و Ni تأثیرات محافظت کننده خوبی برای فلز کربن استیل و مس و آلیاژهای مسی دارند ولی مقدار حلالیت آنها در آبهای طبیعی کم بوده و از این رو از تأثیرات مفید آن کاسته میشود بنابراین به ندرت از نمکهای فلزات دو ظرفیتی به تنهایی استفاده میگردد. نمکهای دو ظرفیتی همراه با کروماتها و فسفاتها موارد استعمال فراوان دارند. شکل ۲۰ رابطه بین غلظت مواد محافظت کننده و مقدار خوردگی را نشان میدهد.



**Fig -20** Relationship of the concentration of bivalent metal salts and pH on corrosion rate of carbon steel

#### ۴- فسفاتها

فسفاتها در سیستم های گردش باز به عنوان بازدارنده های خوردگی استفاده میشوند. معمولاً از ارتوفسفاتها و پلی فسفاتها (پیروفسفات ، تری پلی فسفات ، هگزامتافسفات) به عنوان یک ترکیب محافظت کننده معدنی استفاده میکنند . پلی فسفاتها از پلیمریزاسیون مخلوطی از اسید فسفریک و ارتوفسفات و یک قلیا در مجاور حرارت تولید میشوند که دارای شکل مولکولی زیر میباشد .

حلالیت و درجه محافظت کنندگی پلی فسفاتها بستگی به درجه پلیمریزاسیون آنها دارد. به طور کلی پلی فسفاتها در مقابل یونهای فلزات دو ظرفیتی مانند کلسیم دارای محافظت کنندگی خوبی می باشند. شکل ۲۱ ارتباط بین غلظت فسفات ، سختی کلسیم، M-alkalinity و میزان سرعت خوردگی بر روی کربن استیل را نشان میدهد .

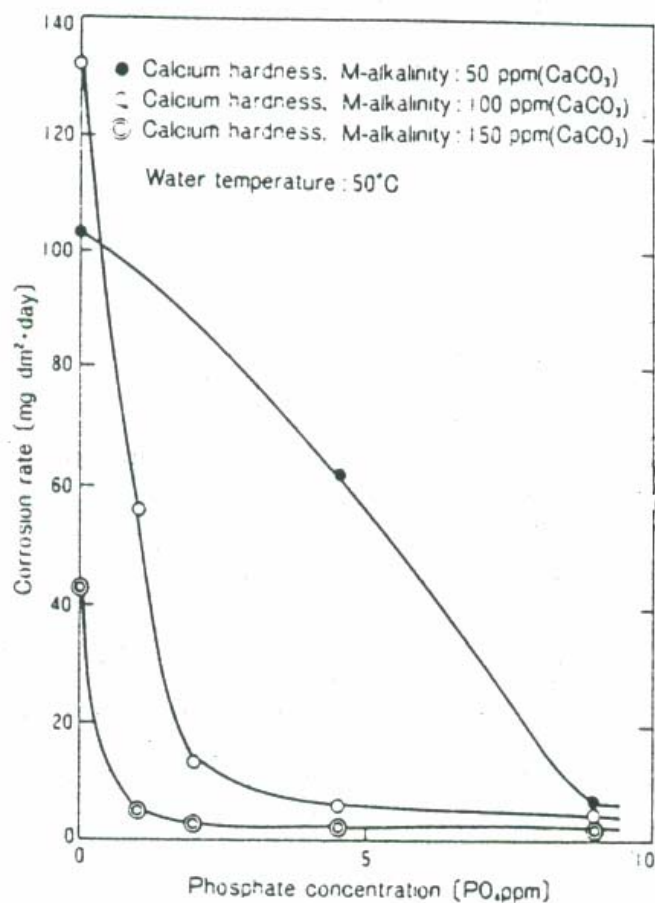


Fig. - 21 Relationship of phosphate concentration, calcium hardness and M-alkalinity on the corrosion rate of carbon steel

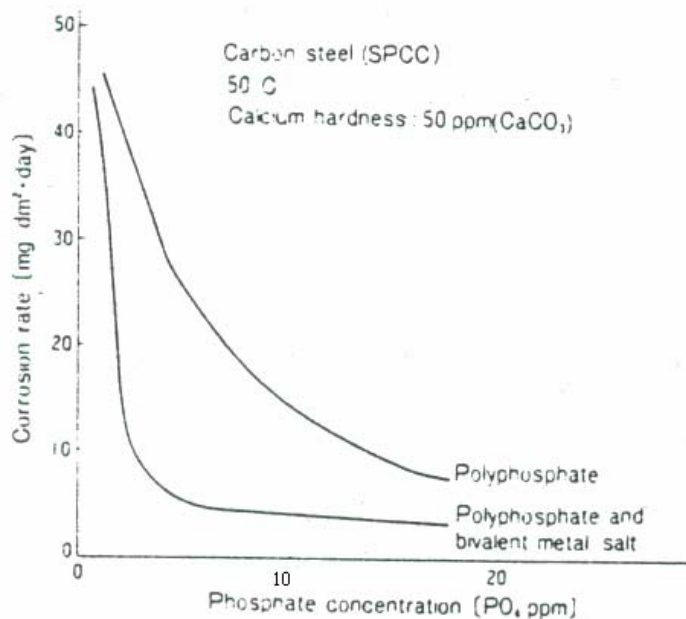


Fig. - 22 Corrosion inhibition effect of combined treatment of polyphosphate with bivalent metal salt



در آبهایی که سختی کلسیم آنها زیاد باشد درجه محافظت کنندگی فسفات کمتر میشود .  
 اساساً بالا بردن غلظت فسفات در سختی کم تأثیرات بهتری خواهد داشت .

شکل ۲۲ تأثیرات محافظت کنندگی پلی فسفاتها در مقایسه با پلی فسفات به اضافه یک نمک دو ظرفیتی نشان داده شده است .

زمانیکه دو منحنی را با هم مقایسه کنید متوجه میشوید که تأثیر ترکیب یون فلز دو ظرفیتی درجه محافظت کنندگی پلی فسفات را بیشتر نموده و این تغییرات بازمانیکه یک پلی فسفات به تنهایی جهت محافظت کنندگی بکار میرود را نشان میدهد .

ترکیبات آلی فسفات مانند آمینوتری متیل فسفاتها و غیر نیز در سیستمهای خنک کننده مورد مصرف قرار میگیرد.

با توجه به آنکه فسفوناتها کمتر از پلی فسفاتها میل به رسوب کردن دارند مورد توجه بیشتری قرار میگیرند . در سیستمهایی که سختی کلسیم بالا است از فسفاتها با غلظت بالا و از فسفوناتها میتوان استفاده نمود . فسفوناتها به عنوان یک بازدارنده خوب رسوبات کربنات کلسیم میباشند .

### ۵- آمینها و آزولها (Amine and Azoles)

آمینها مواد محافظت کننده با پایه آمین میباشند که اصولاً میباشند که اصولاً در سیستم های خنک کننده گردش باز به علت قدرت کم محافظت کنندگی استفاده نمیشود .

آزولها مانند بنزوتری آزول (Benzotriazole) و یا تولیتری آزول (Tolytriazole) دارای قدرت محافظت کنندگی خوبی در غلظتهای بسیار کم بر روی آلیاژهای مس میباشند.  
 شکل ۲۳ تأثیرات بازدارنده خوردگی Benzotriazole را بر روی مس نشان میدهد .

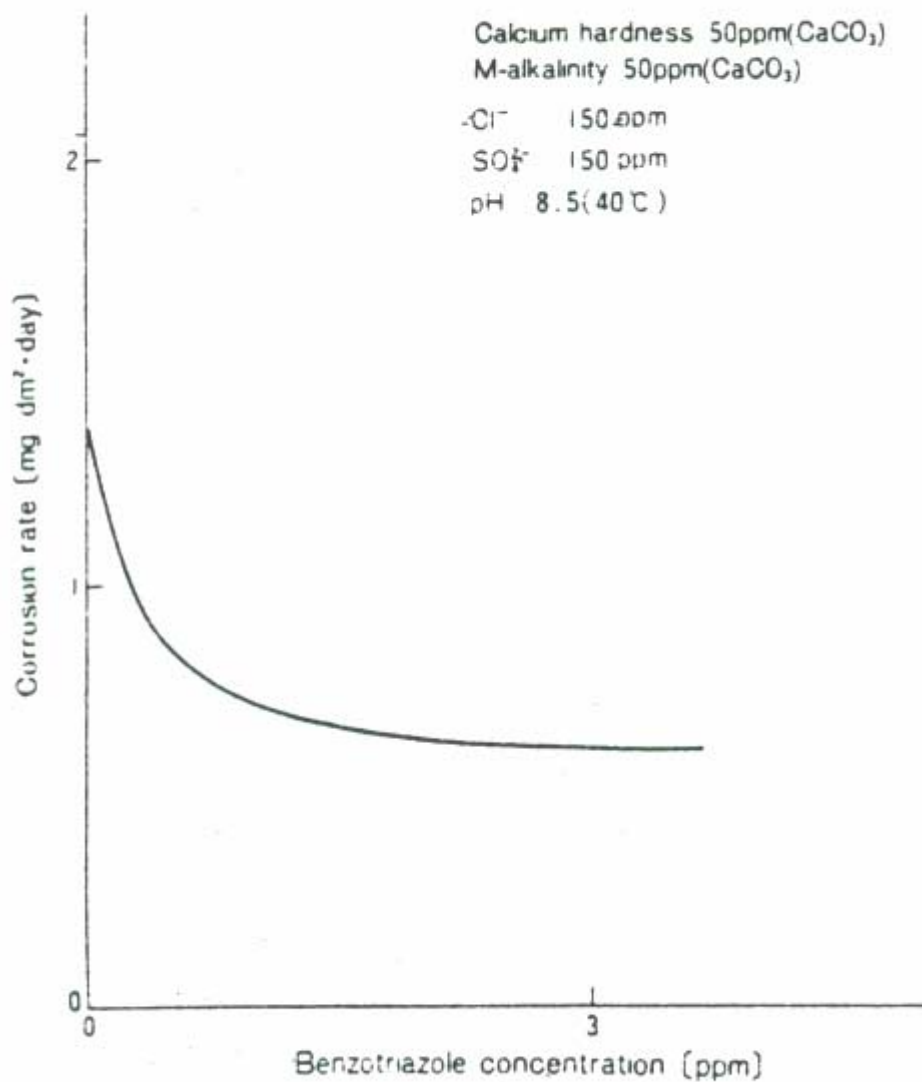


Fig. - 23 Corrosion inhibition effect of benzotriazole on copper

### ۶-دیگر مواد محافظت کننده

مولیبداتها و تنگستاتها و بعضی از نمکهای اسیدهای آلی مخصوصاً در سیستمهای بسته گردش دارای قدرت محافظت کنندگی خوبی میباشند . همچنین سیلیکاتها به عنوان یک ماده محافظت کننده مطرح میباشند . ولی به دلیل رسوبات سختی که دارند استفاده فراوانی ندارند .

## سؤالات بخش سوم:

- ۱- ظرفیت سیستم را توضیح دهید؟
- ۲- Evaporation Loss به چه صورت محاسبه می گردد؟
- ۳- آب از دست رفته بوسیله باد (Windage Loss) را معمولا چه مقدار در نظر می گیرند؟
- ۴- زمان ماند (Retention Time) به چه عواملی بستگی دارد و چگونه محاسبه می شود؟
- ۵- نحوه اندازه گیری قلیائیت جزئی (Partial Alkalinity) را شرح دهید؟
- ۶- گازهای محلول در آب را نام ببرید؟
- ۷- تأثیر تغییرات عامل PH بر روی آب برجهای خنک کننده را بیان نمایید؟
- ۸- قلیائیت (M-ALKALINTY) یعنی چه و چگونه محاسبه می گردد؟
- ۹- علت اندازه گیری مقدار آهن در برجهای خنک کننده را بیان نمایید؟
- ۱۰- تعدادی از مواد بازدارنده و محافظت کننده در برابر خوردگی در برج خنک کننده را نام ببرید؟
- ۱۱- آمینها و آزولها (Amine and Azoles) به عنوان مواد محافظت کننده به چه نحو عمل می نمایند؟

# بخش چهارم

## اهداف فصل :

آشنایی با عوامل مؤثر در بازدارنده‌های خوردگی

## عوامل مؤثر در بازدارنده‌های خوردگی

### تعریف بازدارنده‌ها

بازدارنده‌ها موادی هستند که وقتی به مقادیر کم به یک محیط خورنده اضافه میشوند باعث تقلیل خوردگی میشوند، بازدارنده‌ها از میتوان در محیط‌های مختلف نظیر آب، روغن، نفت، رنگها، سیمان و غیره به کار برد.

اثر یک بازدارنده بستگی به محیط اطراف و نوع فلز دارد. ماده‌ای که به عنوان یک بازدارنده برای یک فلز معین در یک محیط خورنده میتواند مؤثر باشد ممکن است با تغییر هر کدام از این پارامترها اثر آن تقلیل و یا حتی باعث تشدید خوردگی شود.

حال به بررسی عوامل مؤثر در بازدارنده‌ها به طور اختصار می‌پردازیم:

### ۱- طبیعت سطح فلز

سطوح صاف و تمیز غالباً به مقدار بازدارنده کمتری احتیاج دارند. حضور گریس، روغن و یا هر نوع محصولات خوردگی بر روی فلز تأثیر عمده‌ای بر حداقل مقدار غلظت لازم بازدارنده دارد. در عمل این مواد باعث عدم رسیدن مواد بازدارنده به سطح فلز گشته و در این حالت مقداری از بازدارنده در اثر واکنش شیمیایی با این مواد از بین میرود. شستشوی شیمیایی روش مناسبی جهت زدودن این آلودگیها میباشد.

### ۲- طبیعت محیط

چنانچه در محیط خورنده، مواد شیمیایی دیگری نیز وجود داشته باشد باید دقت شود که بازدارنده و آن مواد اثرات متقابلی بر روی هم نداشته باشند برای مثال کروماتها نباید درحالی که از ضد یخ گلیکول استفاده میشود به عنوان بازدارنده مورد مصرف قرار گیرد زیرا در این حالت باعث اکسیدان گلیکول شده و ضمن آنکه کرومات شش ظرفیتی به کرومات سه ظرفیتی احیاء میشود نتیجتاً از قدرت بازدارندگی آن کاسته خواهد شد.

### ۳- غلظت بازدارنده‌ها

تمام بازدارنده‌ها جهت ارائه بهترین راندمان کار خود به یک حداقل غلظت احتیاج دارند ، غلظت بازدارنده‌ها به دلایل مختلف ممکن است تقلیل پیدا کند . غالباً بازدارنده‌ها در ابتدا با مواد و ناخالصیهای موجود در محیط خورنده و یا با فلز جهت ایجاد یک فیلم محافظ بر سطح فلز ترکیب شده و غلظت بازدارنده تقلیل پیدا میکند. غالباً در ابتدای راه‌اندازی غلظت بازدارنده باید بیش از مقدار مورد احتیاج در طول بهره‌برداری باشد تقلیل غلظت بازدارنده میتواند تحت عواملی غیر از ترکیب شیمیایی نیز باشد از جمله میتوان هدر رفتن آن ضمن تبخیر و یا تخلیه سیستم و یا از طریق نشستی را نام برد .

به طور کلی سرعت خوردگی در اثر افزایش غلظت بازدارنده‌ها کم میشود یعنی حفاظت زیاد میگردد . ولی حتی در غلظتهای زیاد بازدارنده هم یک مقدار خوردگی وجود دارد و امکان دارد که در صورت بالا رفتن غلظت بازدارنده از یک حد مشخصی سرعت خوردگی دوباره زیاد میشود .

#### ۴- PH سیستم

تمام بازدارنده‌ها در فواصل معینی از PH دارای حداکثر راندمان میباشند . بدین منظور در محیطهای خنثی نیز باید PH به طور مرتب کنترل شود ، به طور مثال نیتريتها قدرت بازدارندگی خود را پایین‌تر از PH برابر ۶ الی ۵/۵ از دست میدهند . همچنین پلی‌فسفاتها تنها بهتر است در فواصل PH برابر ۶/۵ تا ۷/۵ کنترل شوند و ضمناً اگر چه کروماتها به PH حساسیت زیادی دارند ولی بهتر است در PH حدود ۸/۵ مورد استفاد قرار گیرند .

#### ۵- درجه حرارت سیستم

به طور کلی سرعت خوردگی با افزایش درجه حرارت زیاد میشود در ضمن با افزایش درجه حرارت غلظت مورد نیاز بازدارنده نیز افزایش مییابد البته بعضی از بازدارنده‌ها در درجه حرارت بالا قدرت بازدارندگی خود را از دست میدهند . به عنوان مثال پلی‌فسفاتها که در سیستم‌های آب خنک کن مورد استفاده قرار میگیرند در بالاتر از  $40^{\circ}\text{C}$  به دلیل تبدیل به اورتوفسفات ، از قدرت بازدارندگی آنها تا حد زیادی کاسته میشود و چنانچه یون کلسیم

در محیط حضور داشته باشد به صورت رسوب فسفات کلسیم از محیط عمل خارج می گردند.

## ۶- تأثیر میکروارگانیزمها

حضور میکروارگانیزمها میتواند سه اثر عمده در محلولهای آبی داشته باشد .

- ۱- بعضی از میکروارگانیزمها میتوانند مستقیماً در خوردگی فلزات شرکت کنند از آن جمله میتوان باکتریهای احیاء کننده سولفات را در محیطهای غیر هوازی و یا باکتریهای آهن خوار را در محیطهای هوازی نام برد . نتایج چنین خوردگی باعث جمع شدن محصولات خوردگی و ایجاد خوردگی حفره‌ای می گردند .
  - ۲- از بین رفتن و مصرف بازدارنده توسط حملات باکتریها :
  - ۳- تجمع میکروارگانیزمها باعث تولید لجن‌های زیاد شده و نهایتاً باعث تقلیل جریان آب در لوله میشوند . رشد و نمو جلبک‌ها را میتوان به عنوان نمونه‌ای از آن نام برد.
- بسیاری از بازدارنده‌ها خواص خود را در حضور یک و یا چند عامل فوق از دست میدهند همچنین بعضی از بازدارنده‌ها میتوانند به عنوان منبع غذایی میکروارگانیزمها مورد استفاده قرار گیرند . در چنین حالتی ضروری است از باکتری‌کش‌های مناسب که اثرات منفی به عمل بازدارنده نداشته باشند استفاده نمود .

## ۷- تشکیل رسوب

تشکیل رسوبهای ضخیم نمکهای کلسیم و منیزیم در داخل لوله‌ها نه تنها باعث تقلیل انتقال حرارت در برجهای خنک کن میگردد بلکه از رسیدن بازدارنده به سطح فلز نیز ممانعت به عمل آورده و باعث تقلیل راندمان بازدارنده نیز میشود ، لذا ضرورت کنترل رسوب از اهمیت خاصی برخوردار میباشد .

استفاده از مواد ضد رسوب نظیر پلی‌فسفاتها و یا سیلیکاتها و همچنین کنترل PH روشهای مناسبی جهت کنترل رسوب میباشد .



هرچه جریان آب بیشتر باشد اکسیژن حل شده بیشتری وارد سیستم میشود پس هرچه میزان جریان بیشتر باشد خوردگی فولاد نیز بیشتر خواهد بود اگر از ممانعت کننده خوردگی استفاده شود هر چه جریان آب بیشتر شود ممانعت کننده خوردگی بهتر عمل خواهد کرد . بنابراین باید میزان جریان بهینه معلوم شود رابطه بین جریان آب و ممانعت کننده خوردگی در شکل ۱۷ نشان داده شده است .

## سؤالات بخش چهارم:

- ۱- عوامل مؤثر در بازدارنده‌ها را نام ببرید؟
- ۲- غلظت بازدارنده‌ها چه تأثیری بر عملکرد سیستم دارد؟
- ۳- روشهای کنترل رسوب در سیستم برج خنک کننده را نام ببرید؟
- ۴- سرعت آب چه تأثیری بر روی خوردگی دارد؟
- ۵- حضور میکروارگانیزم‌ها میتواند سه اثر عمده در محلولهای آبی داشته باشد آنها را نام ببرید؟

# بخش پنجم

## اهداف فصل :

آشنایی با

الف ) انواع خوردگی در برجهای فنک کننده

ب ) علت تزریق آب ژاول

## انواع خوردگی در برج‌های خنک کننده

### ۱- خوردگی حفره‌ای Pitting

خوردگی حفره‌ای یکی از مخرب‌ترین و زیان‌بارترین انواع خوردگی است که اغلب سریع و غافلگیرانه عمل میکند. این نوع خوردگی غالباً در محلول‌های حاوی آنیون‌های خوردنده (مخصوصاً  $\text{Cl}^-$ ) بوجود می‌آید. علاوه بر این خوردگی حفره‌ای در PH کم یعنی تولید یون  $\text{H}^-$  افزایش می‌یابد.

### ۲- خوردگی جدایشی Selective Leaching

در این نوع خوردگی جدا شدن یکی از عناصر متشکله آلیاژ در نتیجه خوردگی خارج شده و جسم متخلخلی باقی می‌ماند. مثالی آشکار از این خوردگی جدا شدن روی (Zn) موجود در آلیاژهای برنج است که در این صورت آنرا زدایش روی Dezinci Fication مینامند این نوع خوردگی در اغلب آلیاژها اتفاق می‌افتد.

در  $\text{PH} < 6$  خوردگی در نوع آلیاژ برنج که شامل: (Sn %۱, Cu %۶۹, Zn %۳۰) می‌باشد، اتفاق می‌افتد و در اثر این نوع خوردگی مقادیری از روی آن خورده میشود. زدایش روی اغلب به دو شکل صورت می‌گیرد، یکنواخت یا لایه‌ای Layer Type و نوع موضعی Plug Type.

### ۳- خوردگی گالوانیکی Galvanic Corrosion

هنگامی که دو فلز غیر همجنس در داخل یک محلول هادی الکترولیت (خورنده) قرار می‌گیرد بین آنها اختلاف پتانسیلی بوجود می‌آید. اگر این فلزات در تماس با هم بوده و یا از نظر الکتریکی به هم مربوط باشند به علت اختلاف پتانسیل حاصل الکترون‌هایی به وجود می‌آیند که بین آنها جریان پیدا می‌کنند. در این حالت خوردگی در فلز با مقاومت کمتر افزایش یافته و برعکس محلات خوردگی به فلز مقاومتر کاهش می‌یابد و به عبارتی دیگر فلز با مقاومت کمتر آند شده و فلز مقاومتر کاتد می‌گردد. خوردگی در این قبیل سیستمها را که همراه با تولید جریان الکتریکی است خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی مینامند که در واقع

یک پدیده الکتروشیمیایی میباشد . شکل ۲۴ سری‌هایی گالوانیکی از فلزات و آلیاژها را نشان میدهد .

### Crevice Corrosion

غالباً در داخل شکافها و درزها و سایر نقاط از سطوح فلزات که روی هم قرار گرفته و سبب ایجاد گوشه‌ها و حفره‌های مخفی گردیده‌اند و در شرایطی که در معرض مواد خوردنده واقع شده باشند خوردگی شدیدی رخ میدهد این نوع خوردگی معمولاً به علت وجود مقادیری محلول (بحالت ساکن) در حفره‌ها ، سطح Gasket ها ، اتصالها روی هم ، زیر پوششها و رسوبات سطحی ، شکافهای زیر پرچها و مهره‌ها یا سرپیچها ایجاد میگردد و به همین دلیل Crevice Corrosion ، Deposit Corrosion و یا Gasket Corrosion نامیده میشود .

### ۵- خوردگی بین دانه‌ای InterGranular Corrosion

خوردگی مرزدانه‌ای در نتیجه وجود ناخالصیها در مرزدانه‌ها ، یا غنی‌تر شدن یکی از عناصر موجود در آلیاژ در این ناحیه و یا با مهاجرت و تخلیه یکی از عناصر متشکله آلیاژ در منطقه مرزدانه اتفاق می‌افتد . این نوع خوردگی در سیستمهای Cooling زیاد مهم نمیشود .

### ۶- خوردگی تنش Stress Corrosion Cracking

در حالتی که نیروهای کششی و محیط خوردنده با هم عمل نمایند منجر به انهدام سریع فلز می‌گردد از آنجایی که اثرات این تخریب منجر به ایجاد ترکهایی در قطعه مورد نظر می‌شود آنرا ترک خوردگی تنش گویند و با علامت S.C.C نشان میدهند .

### ۷- خوردگی سایشی Corrosion Erosion

در مواردی که سطح جسمی در نتیجه حرکت سیالی سائیده میشود که اغلب به علت وجود ذرات جامد یا حبابهای گاز به صورت معلق در محیط صورت میگیرد اصطلاحاً آن را

CORRODED END  
*(anodic, or least noble)*

Magnesium  
 Magnesium alloys  
 Zinc  
 Aluminum 2S  
 Cadmium  
 Aluminum 17S  
 Steel or Iron  
 Cast Iron  
 Chromium-iron (active)  
 Ni-Resist  
 18-8-Cr-Ni-Fe (active)  
 18-8-3-Cr-Ni-Mo-Fe (active)  
 Hastelloy C  
 Lead-tin solders  
 Lead  
 Tin  
 Nickel (active)  
 Inconel (active)  
 Hastelloy A  
 Hastelloy B  
 Brasses  
 Copper  
 Bronzes  
 Copper-nickel alloys  
 Titanium  
 Monel  
 Silver solder  
 Nickel (passive)  
 Inconel (passive)  
 Chromium-iron (passive)  
 18-8 Cr-Ni-Fe (passive)  
 18-8-3 Cr-Ni-Mo-Fe (passive)  
 Silver  
 Graphite

PROTECTED END  
*(cathodic, or most noble)*

Courtesy of International Nickel Company, Inc.

Figure 24 Galvanic series of metals and alloys.

سائیدگی گویند و در حالاتی که اثر خوردگی محیط این انهدام تشدید میشود اصطلاح خوردگی، سائیدگی بدان اطلاق میگردد. این صدمات که همواره با سائیدگی مکانیکی قطعات همراه میباشند عمدتاً شدید و سریع صورت میگیرد در اینحالت فلز یا به صورت یونهای محلول درآمده و یا با ایجاد محصولات خوردگی جامد از سطح فلز کنده میشود.

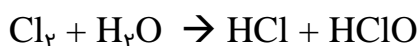
انواع مختلف محیطهای خوردنده سبب ایجاد خوردگی سائیدگی میشوند از جمله:

سیستم‌های گازی، محلولهای آلی و فلزات مایع بویژه موقعی که سیال حاوی ذرات جامد معلق باشد شدت حملات بیشتر می‌گردد.

## تزریق گاز کلر و آب ژاول به برج خنک کن

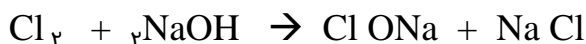
### علل تزریق کلر به شرح زیر میباشد:

- ۱- گاز کلر قادر است کلیه مواد آلی و میکروبی را از صفحه عمل خارج نماید.
- ۲- گاز کلر باعث عقیم کردن میکروارگانیسمها میشود.
- ۳- مؤثرترین ترکیب کلر، اسیدهیپوکلرو است  $\text{HClO}$  که قادر است با آنزیم میکروارگانیسمها ترکیب و سبب متلاشی شدن آنها گردد.



### علت تزریق آب ژاول

آب ژاول جهت از بین بردن میکروارگانیسمها مورد مصرف واقع میشود.



اما طرف تزریق مواد فوق به آب برج خنک کن بایستی حالت Shock داشته باشد تا میکروارگانیسمها به مواد شیمیایی عادت نکنند روی این اصل توصیه میشود یک وعده قبل از طلوع آفتاب که هوا سرد است تزریق صورت گیرد که تقریباً اکثر باکتریها در حالت استراحت هستند و بدلیل سردی هوا گاز کلر هم سریع متصاعد نمیشود و مقدار زیادی از آنها را نابود کرده‌اید. زمان دیگر حدوداً بین ساعت ۱۲ تا ۳ بعدازظهر که هوا گرمترین مقدار خود را داراست و میکروارگانیسمها نیز شدیداً در حالت فعالیت هستند شما مبادرت به تزریق گاز کلر نمائید. لازم به تذکر است که گاز کلر روی بعضی از میکروارگانیسمها اثر



ندارد. امروزه در کشورهای پیشرفته روش (U.V) جایگزین گاز کلر شده است زیرا بوسیله اشعه ماوراءبنفش (U.V) میتوان میکروارگانیسمها را به طور کلی حذف کرد. همچنین زمانیکه کلر به سیستم تزریق میشود، میتواند با میکروارگانیسمها واکنش داده و ترکیبات کلرینه تولید کند که سرطان زا می باشد.

### محاسن ضد عفونی با اشعه ماوراء بنفش

- الف) احتیاج نداشتن به مواد شیمیایی.
- ب) حذف مراحل حمل و نقل و انبار و مصرف مواد شیمیایی با گازهای خطرناک.
- ج) حداقل هزینه نسبت به مصرف گاز کلر و اوزن.
- د) نبودن مواد شیمیایی در جریان آب و خطرات آن برای زیست محیطی.
- ز) بدون تولید ترکیبات آلی کلرینه شده که ایجاد سرطان مینماید.

### تأثیر میکروارگانیسمها در دستگاههای خنک کننده:

#### خسارتهای حاصل از میکروارگانیسمها و موجودات آبی در دستگاه خنک کن به شرح زیر میباشد:

- ۱- آب برج دارای درجه حرارت مطلوب جهت رشد میکروارگانیسمها و موجودات آبی است و این حرارت در حد مناسبترین حرارت رشد میباشد.
- ۲- برج خنک کن در مقابل تابش نور خورشید قرار داشته که این خود مسئله مهم رشد است.
- ۳- در برج مواد فسفاته تزریق میشود پس غذا هم برای آنها آماده کرده ایم.
- ۴- اگر برجی دارای آمونیاک یا ترکیبات ازته باشد که بوسیله آن وضعیت غذایی کامل میشود پس محیط را کاملاً جهت رشد و نمو آنها آماده کرده ایم. بخصوص در فصل تابستان مشکلات فوق العاده زیادی را موجب می گردند چون رشد آنها بیش از حد زیاد شده بطوریکه جلبکها در بستر فوقانی برج جایی که بیشتر در معرض نور خورشید هستند به حدی رشد مینمایند که از دور چنان بنظر میرسد که کل سیستم سبز رنگ است. این جلبکها خسارتهای ذیل را باعث میشوند:

- ۱-۴- باعث مسدود شدن سوراخهای آب پخش کن بستر فوقانی برج میشوند در نتیجه آب بخوبی بصورت اسپری درنیامده تاروی بست و بندهای چوب بریزند بنابراین راندمان برج را از نظر خنک کردن آب از بین برده است .
- ۲-۴- جلبکها بوسیله آب کنده شده و با آن وارد مسیر می گردند پس در نتیجه باعث گرفتگی صافی‌ها و توری‌های بستر تحتانی برج شده و کار آبدهی مختل می شود .
- ۳-۴- جلبکها قادرند وارد لوله‌های مبدل حرارتی شده و با مواد معلق و محصولات خوردگی توام ایجاد یک لایه در داخل لوله نمایند که تبادل حرارتی را کم کرده و در نتیجه راندمان سیستم Heat Exchanger را از بین می برند .
- ۴-۴- مقدار بیش از حد جلبکها میتواند بر Impeller پمپهای گردش چسبیده و باعث شود که پمپ آمپر بیشتری بکشد .
- ۵-۴- وقتی جلبکها سطح فلز را بپوشاند باعث اختلاف در مقدار اکسیژن در آن سمت شده پس پیل غلظتی اکسیژن ایجاد خوردگی حفره پیش می‌آید .
- ۶-۴- جلبک مرده ممکن است در داخل مبدلهای حرارتی جمع شده و منبع تغذیه سایر میکروارگانیزمها را فراهم کند .

## سوالات بخش پنجم:

- ۱- انواع خوردگی در برجهای خنک کننده را نام ببرید؟
- ۲- خوردگی حفره‌ای Pitting را توضیح دهید؟
- ۳- خوردگی گالوانیکی Galvanic Corrosion چگونه اتفاق می افتد؟
- ۴- علل تزریق کلر را شرح دهید؟
- ۵- علت تزریق آب ژاول و نحوه تزریق آنرا بیان نمایید؟
- ۶- محاسن ضد عفونی با اشعه ماوراء بنفش را توضیح دهید؟
- ۷- خسارتهای حاصل از میکروارگانیزمها و موجودات آبی در دستگاه خنک کن به را بیان نمایید؟

## منابع :

۱- Curita Handbook of water treatment

۲- Handbook of industrial water conditioning BETZ

۳- راهنمای تجزیه و تحلیل از کار افتادگی سیستم آب برجهای خنک کننده

مؤلف : رابرت . د. پرت و هاروی هرو

مترجم : محمدرضا نفری

۴- بهسازی شیمیایی آب برجهای خنک کننده

مؤلف : جیمز دبلیو مک کوی

مترجم : محمد رضا نفری

۵- کنترل خوردگی در صنایع جلد اول

مؤلف: دکتر محمد سید رضی