

# مختصری از تصفیه و فرآوری آب جهت بویلرهای بخار

شرکت: پارس جم کنترل  
نویسنده مقاله: دیانا خدارحمی

## مقدمه

با وجود مقاله های بسیار در ارتباط با آماده سازی آب تغذیه ی بویلرهای بخار، برداشت های اشتباهی در این رابطه وجود دارد. شیمی آب مقوله ی پیچیده ایست که به مهارت یک شیمیدان ماهر نیازمند است. در این مقاله، به علت و چگونگی آماده سازی آب تغذیه ی بویلر اشاره مختصری می گردد. ابتدا، راجع به سختی گیری آب تغذیه در واحدهای بویلر فشار ضعیف بحث خواهیم کرد که هدف از آن جلوگیری از تشکیل رسوب در قسمت های گرم بویلر است و سپس به آب تغذیه ی واحدهای بویلر فشار قوی خواهیم پرداخت.

عموما آب تغذیه ی بویلر، ترکیبی از آب تغذیه و کندانس برگشتی می باشد. آب کندانس، بخار چگالیده شده یا همان آب مقطر است و می تواند مجددا همراه با مقدار کمینه ای از افزودنی ها به عنوان آب تغذیه استفاده شود. به منظور جایگزینی مقدار هدر رفت آب، افزودن آب تغذیه در سیکل آب و بخار ضروریست.

اتلاف کندانس به دلایل ذیل اتفاق می افتد:

۱) تزریق بخار به منظور گرم کردن، به طور مثال تزریق در یک تانک آب  
۲) کندانس آلوده شده که به دلیل آلوده شدن به وسیله روغن یا فرآیندهای شیمیایی قابل استفاده نخواهد بود.

۳) کندانسی که بازگشت داده نشده است.

۴) بلودان بویلر

۵) نشتی بخار یا آب

۶) تبخیر آب و بخار فلاش به اتمسفر

## منابع آب تغذیه

منابع اصلی آب تغذیه عبارتند از:

ü آب های زیر زمینی مانند: آب چاه و چشمه

ü آب های سطحی مانند: آب رودخانه ها، دریاها و تالاب ها

ü آب آشامیدنی (آب شهری)

منابع طبیعی آب را نمی توان مستقیماً به عنوان آب تغذیه جهت بویلرها استفاده نمود. اغلب آب های زیر زمینی و سطحی با مواد مختلفی آلوده شده اند بنابراین استفاده از آن ها بدون آماده سازی، می تواند به واحد بویلر آسیب وارد نماید.

حتی آب آشامیدنی نیز برای استفاده کردن به عنوان آب تغذیه بویلر، مناسب نیست. آب تغذیه احتیاج به آماده سازی و بررسی دارد. علاوه بر بویلرهای بخار، لوله های آب تغذیه و کندانس نیز باید در مقابل خوردگی محافظت شوند.

## شیمی آب

در این مقاله، تا حد امکان به جای فرمول ها و نشانه های شیمیایی از نام های شیمیایی به همراه فرمول ها داخل پرانتز استفاده خواهیم کرد.

ترکیبات شیمیایی ذیل با نسبت های متفاوت در آب یافت می گردند:

Designation	Chemical formula
Calcium hydrocarbonate	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Magnesium hydrocarbonate	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Calcium sulphate	CaSO <sub>4</sub>
Magnesium sulphate	MgSO <sub>4</sub>
Calcium chloride	CaCl <sub>2</sub>
Magnesium chloride	MgCl <sub>2</sub>
Common salt	NaCl
Silicic acid	SiO <sub>2</sub>

به طور خلاصه می توان گفت که ترکیبات شیمیایی آب عمدتاً شامل منیزیم و کلسیم است که با هیدروکربنات ها (بی کربنات ها)، سولفات ها و کلریدها ترکیب شده اند. همچنین سدیم ترکیبی با اسید کلرید و اسید سیلیسیک نیز جزء این ترکیبات است. ترکیبات کلسیم و منیزیم از اجزای اصلی سختی هستند. این ترکیبات باید قبل از اینکه آب بتواند به عنوان آب تغذیه استفاده شود، شکسته شوند. مولکول های نمک حل شده در آب، به شکل ذرات باردار الکتریکی که یون نامیده می شود، تقسیم می شوند. هیدروکربنات کلسیم به کلسیم (Ca) و هیدروکربنات  $(\text{HCO}_3)_2$  تقسیم می شود. هیدروکربنات منیزیم نیز به همین طریق تقسیم و شکسته می شود. هیدروکربنات کلسیم و منیزیم سخت هستند و در آب حل نمی شوند که نشان دهنده ی سختی کربنات هستند. به مجرد گرم شدن آب، نمک های مذکور بر روی لوله های بویلر رسوب می کنند. دی اکسید کربن به صورت گازی شکل جدا شده و با کندانس شدن بخار، آب اسیدی را تشکیل می دهد. مقدار PH به سرعت افت می کند و باعث خوردگی شدید اسید کربنیک در لوله های کندانس می شود.

ترکیبات کلسیم و منیزیم شامل سولفات و کلراید سختی بدون کربنات را تشکیل داده و به طور محلول در آب باقی می ماند و تنها زمانی که غلظت این ترکیبات در آب بویلر زیاد شود (به طور مثال در نتیجه ی بلودان ناکافی) ممکن است باعث رسوب شوند.

سختی نهایی، حاصل مجموع سختی های کربنات دار و بدون کربنات است.

## ملزومات آب تغذیه

در بویلرهای کم فشار، جدا کردن سختی کربنات با استفاده از یک مبدل یونی (سختی گیر) کافی است. در صورت کم بودن غلظت کلراید و سدیم، وجود آن ها مشکل جدی محسوب نمی شود.

در بویلرهای فشار بالا، تا حد امکان باید همه ی ناخالصی ها زدوده شوند. در این موارد از مبدل های یونی پیچیده که واحد نمک زدایی نامیده می شود، استفاده می شود. به صورت عمومی هر اندازه فشار بخار بیشتر باشد، خلوص آب نیز باید افزایش یابد. زمانی که بخار خروجی از بویلر جهت چرخش پره های توربین استفاده می شود، مطالبات در رابطه با آب تغذیه ی بویلر افزایش می یابد.

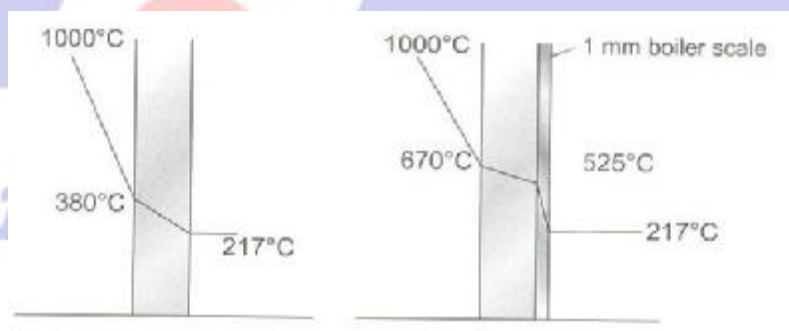
به منظور بهبود راندمان سختی گیرها در سیستم های فشار ضعیف (که دارای عملکرد ایده آل نیستند) مقداری از مواد شیمیایی مربوط اضافه می شود تا سختی های باقیمانده را حذف کند. بدین طریق سختی نمی تواند بر

روی لوله های بویلر رسوب کند و به صورت لجن در ته آن جمع می شود. متعاقباً، این لجن طی فرآیند بلودان زنی از کف بویلر تخلیه می شود. از اورتو فسفات ها و پلی فسفات ها به عنوان عوامل سختی گیری نهایی استفاده می شود. اخیراً به دلایل زیست محیطی استفاده از مواد پلیمری و ترکیبات جدید شایع شده است. ایجاد رسوب بر روی لوله های بویلر موجب کاهش انتقال حرارت و در نتیجه راندمان بویلر می گردد. هر چه لایه های رسوب ضخیم تر شوند دیواره ی لوله ها داغ تر و خطر تخریب آن ها جدی می شود.



شکل 1: لوله ی شکافته شده ی بویلر

شکل 2، نشان دهنده ی اختلاف دمای جداره ی لوله های بویلر در حالت تمیز (حداکثر دمای  $380^{\circ}\text{C}$ ) و در حالت وجود رسوب با ضخامت  $1\text{mm}$  (با دمای  $670^{\circ}\text{C}$ ).



شکل 2: تأثیر رسوب بر دمای جداره ی لوله ی بویلر

اساس عملکرد مبدل های یونی جایگزینی یون های منیزیم و کلسیم با یون های کم خطرتری مانند یون سدیم و هیدروژن می باشد. این عمل آب را سختی گیری نموده و مواد معدنی موجود در آن را جدا می کند.

یک مبدل یونی در واقع یک مخزن است که با گرانول های ضد آب پلاستیکی انباشته می شود که گاهی فیلتر نیز نامیده می شود. گرانول ها قادر به تعویض یون های جذب شده ی خود با یون های موجود در آب هستند. یون های سدیم یا هیدروژن در رزین ها با یون های کلسیم و منیزیم موجود در آب جایگزین می شوند.

تمام فلزات ( $Ca^{++}$ ,  $Na^{+}$ ) و یون های هیدروژن ( $H^{+}$ ) موجود در آب دارای بار مثبت هستند. باقیمانده های اسیدی ( $Cl^{-}$ ,  $Co3^{-}$ ,  $So4^{-}$ ) و یون های هیدروکسید ( $OH^{-}$ ) بار منفی دارند.

یون با بار مثبت، کاتیون و یون با بار منفی، آنیون نامیده می شود. در یک محلول خنثی همواره تعداد مساوی از یون های مثبت و منفی وجود دارد. مبدل های یونی به دو قسمت اصلی تقسیم می شوند:

**ü** مبدل های اسیدی ضعیف و قوی کاتیونی

**ü** مبدل های پایه ای ضعیف و قوی آنیونی

این مبدل ها اغلب بخشی از آب و یا کل آن را در سیستم های با یک یا دو فیلتر، نمک زدایی می کنند.

## سختی گیری

معمولا به منظور سختی گیری آب از یک فیلتر یا مبدل کاتیونی ("مبدل پایه") استفاده می شود (با جایگزینی یون های کلسیم و منیزیم). بستر رزینی توسط یون های سدیم موجود در آب نمک معمولی غنی می شود، در خروجی سختی گیر، تمامی یون های کلسیم و منیزیم با یون های سدیم جایگزین شده و آب سختی گیری می شود. فرآیند جایگزینی یون ها تنها تا مرحله ی اشباع مشخصی ادامه می یابد. وقتی که تعداد یون های تعویض شده تقریبا با تعداد یون های سدیم جذب شده برابر باشد، فیلتر به حداکثر توان جداسازی خود رسیده و دیگر سختی گیری بیشتر امکان پذیر نیست. تجاوز از محدوده ی عملکرد فیلتر باعث خروج غیر مجاز یون ها از فیلتر می شود و در نتیجه آب خروجی، سخت و به عنوان آب تغذیه مناسب نخواهد بود.

معمولا فیلترهای پایه شامل دو استوانه هستند که یکی در حال کار و دیگری در حالت آماده به کار (Stand by) می باشد. رزین های سختی گیر طی عملیات شستشوی معکوس (back wash) توسط آب نمک مجددا احیا می شوند. فرآیند احیا رزین، طی مراحل ذیل انجام می شود:

خروج از سرویس ← فلاشینگ ← احیا ← شستشو ← راه اندازی مجدد

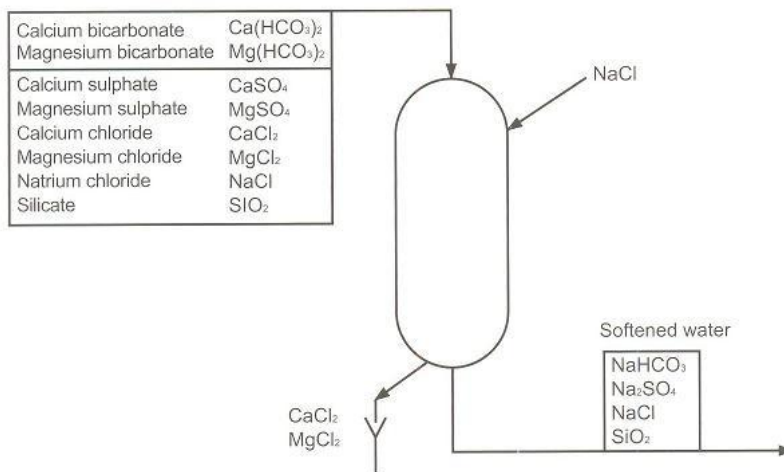
هدف از فلاشینگ آزادسازی رسوبات و تخلیه ی آن ها می باشد. بدین منظور عملیات احیاء توسط آب نمک معمولی با غلظت 10% انجام می شود. فرایند احیا عکس فرآیند سختی گیری می باشد. تمام یون های کلسیم و منیزیم جذب شده توسط رزین، توسط یون های سدیم آب نمک جایگزین شده و متعاقبا با آب شستشو تخلیه می گردند. رزین ها باید به مقدار کافی در تماس با آب شور باقی بمانند تا به طور کامل شارژ گردند. سازنده های رزین، زمان شارژ و میزان آب شور لازم جهت یک متر مکعب رزین را مشخص می کنند. در مرحله ی نهایی فرآیند، آب شور توسط آب تازه جایگزین می شود و در این زمان، فیلتر آماده جهت سختی گیری مجدد آماده است. این عملیات در بسیاری از سختی گیرها به صورت خودکار انجام می شود.

#### Composition of softened water

Sodium hydrogen carbonate	$\text{NaHCO}_3$
Sodium sulphate	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
Common salt	$\text{NaCl}$
Silicic acid	$\text{SiO}_2$

#### Composition of untreated water

Calcium hydrogen carbonate	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Magnesium hydrogen carbonate	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Calcium sulphate	$\text{CaSO}_4$
Magnesium sulphate	$\text{MgSO}_4$
Calcium chloride	$\text{CaCl}_2$
Magnesium chloride	$\text{MgCl}_2$
Common salt	$\text{NaCl}$
Silicic acid	$\text{SiO}_2$



شکل 3: سختی گیری در مبدل کاتیونی

در شکل 3، فرآیند سختی گیری به طور مختصر نشان داده شده است. در خاتمه ی فرآیند، تمام یون های کلسیم و منیزیم از آب جدا شده و با سولفات سدیم، نمک معمولی، سدیم هیدروکربنات و اسید سیلیسیک جایگزین می شوند. ترکیب خروجی هنوز شامل هیدروکربنات هاست که می تواند باعث خوردگی اسید کربنیک شود.

### حفاظت در برابر سختی باقیمانده

اگر در مدت فرآیند خطایی صورت گیرد (غلظت آب نمک خیلی کم باشد، زمان لازم جهت شارژ کم باشد و یا آب معمولی با آب کندانس مخلوط شود) سختی ها به صورت محلول باقی مانده و ممکن است بر روی لوله ها رسوب نمایند. به منظور خنثی سازی سختی مازاد در بویلر، از تزریق فسفات ها (اورتو فسفات و تری سدیم فسفات) استفاده می شود، تا سختی ها به صورت لجن در زیر بویلر درآیند. غلظت فسفات در آب بویلر در حدود  $25-50 \text{ mg/l}$  می باشد که باید به طور منظم اندازه گیری شود. کاهش ناگهانی غلظت مذکور، نشان دهنده ی ورود منبعی از سختی در قسمتی از سیستم است. این علت باید به سرعت شناسایی و حذف شود.

## ایجاد خوردگی

علاوه بر مراقبت های لازم از بویلر در خصوص کیفیت آب تغذیه، باید از ورود گازهای نامطلوب به بویلر خودداری کرد. حضور اکسیژن در آب تغذیه باعث خوردگی در بویلر و بقیه ی اجزای سیستم بخار می شود. حضور دی اکسید کربن باعث خوردگی اسیدی یا خوردگی اسید کربنیک در سیستم کندانس می شود. یکی از وظایف دی اریتورها جداسازی اکسیژن از سیستم است. قسمتی از دی اکسید کربن از طریق دی اریتور خارج می شود و باقی مانده ی آن با روش های شیمیایی خنثی می شود.

## دی اکسید کربن

در شیمی آب، دی اکسید کربن به صورت آزاد و یا ترکیب شده وجود دارد. دی اکسید کربن آزاد ( $CO_2$ ) از طریق هوا جذب می شود و دی اکسید کربن ترکیبی به شکل هیدروکربنات ( $HCO_3$ ) یافت می شود. دی اکسید کربن آزاد و اکسیژن در دی اریتور جدا و خارج می شوند اما دمای دی اریتور به منظور تجزیه ی هیدروکربنات کافی نبوده و در نتیجه آن ها در سیستم باقی می ماند. هیدروکربنات با آب تغذیه وارد بویلر بخار می شود. در نتیجه ی دمای بالا، هیدروکربنات به دی اکسید کربن و آب شکسته می شود. دی اکسید کربن وارد سیستم بخار شده و در مدت فرآیند چگالش در مبدل ها، به صورت نامحلول در آمده و آن را اسیدی می کند (PH بین 4 و 5). نتیجه ی حاصل، خوردگی در سیستم کندانس خواهد بود، خصوصا اگر واحد خارج از سرویس باشد و کندانس به صورت ساکن و سرد در لوله ها باقی بماند.

به منظور پیشگیری از خوردگی اسیدی، از مواد شیمیایی خنثی کننده به صورت عامل قلیایی فرار (مانند آمونیاک و آمین) استفاده می شود. گاهی اوقات از این ترکیبات جهت ایجاد لایه ی محافظ جدار داخلی لوله های کندانس استفاده می شود. یکی از مشکلات استفاده از آمین ها، تخریب و انحلال لایه ی قدیمی خورده شده در لوله ها می باشد، که متعاقبا موجب مسدود شدن شیر آلای نظیر تله ی بخار و همچنین افزایش ایجاد لجن در کف بویلر می شود. بنابراین استفاده از این ماده باید با احتیاط صورت پذیرد.

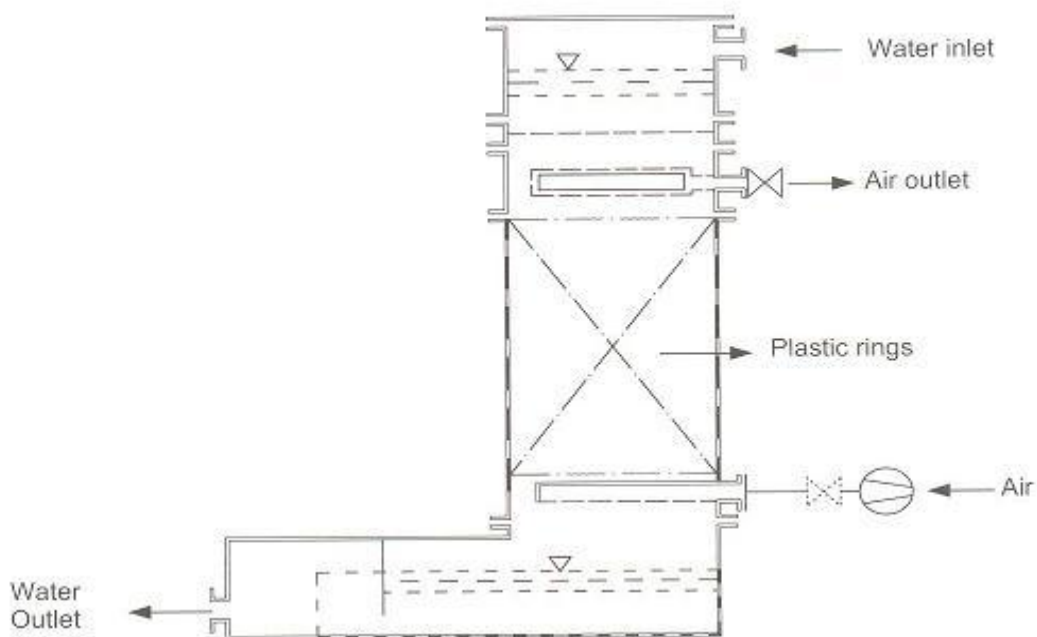
کربن زدایی دیگر روش جداسازی هیدروکربنات است. با افزودن اسید درون آب سختی گیری شده، هیدروکربنات به آب و دی اکسید کربن شکسته می شود. دی اکسید کربن از طریق وزش هوا در یک



پاشنده (sprinkler) خارج می گردد. بعد از این مرحله مقدار PH آب اسیدی به وسیله ی مواد شیمیایی (مانند سود سوزآور) تا مقدار تقریبا 8 افزایش می یابد.

## پاشنده ی CO<sub>2</sub>

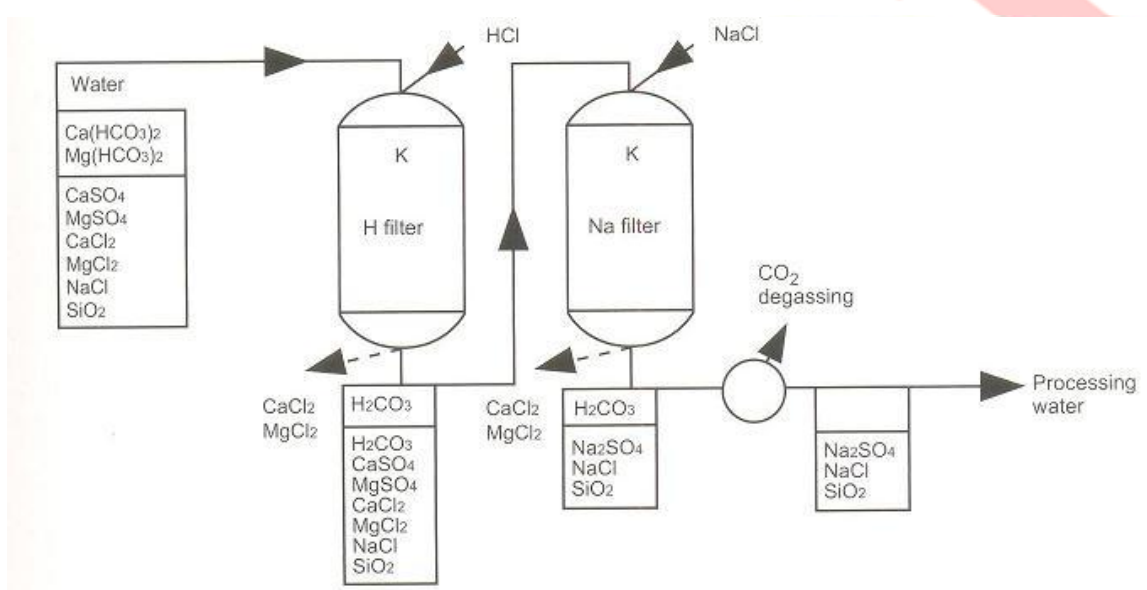
یک پاشنده ی CO<sub>2</sub> از پکیجی عمودی شکل که بر روی تشتی از آب قرار گرفته، تشکیل شده است. آب اسیدی در قسمت بالایی تبخیر و سپس از طریق لایه های مختلف تشکیل شده از رینگ های پلاستیکی وارد تشتی از آب می شود. هوا از جهت مخالف به آب وزیده می شود و آب و هوا به شدت با یکدیگر برخورد می کنند. دی اکسید کربن با میزان کمتر از 10 mg/l از طریق کاهش فشار جزئی CO<sub>2</sub> جدا و خارج و به همراه هوا به محیط پراکنده می شود. چون آب اسیدی است، اجزای داخل پاشنده ی CO<sub>2</sub> از پلاستیک ساخته می شود.



شکل 4: پاشنده ی CO<sub>2</sub>

## سختی گیری و کربن زدایی

به منظور جداسازی ترکیبات  $\text{CO}_2$ ، آب خام اولیه، ابتدا از یک مبدل یون هیدروژن (فیلتر H) در طول فرایند کربن زدایی (که شامل دو فیلتر می باشد) عبور کرده و سپس از یک مبدل یون Na (فیلتر Na) نیز عبور می کند. فیلتر H با هیدروکلریک اسید و فیلتر Na به وسیله ی نمک معمولی احیا می شود. یون های Ca و Mg در فیلتر H با هیدروکربنات ها مبادله می شوند و در نتیجه اسید کربنیک ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) تشکیل می شود. در فیلتر Na، یون  $\text{Na}$  جایگزین یون های Mg و Ca در کلرید های سدیم و منیزیم می شود.



شکل 5: سختی گیری و نمک زدایی، اتصال سری فیلتر های Na و H

آب خروجی از فیلتر Na که دارای اسید کربنیک است، در پاشنده ی  $\text{CO}_2$  اسپری و هوا در جهت مخالف درون پاشنده از پایین وزیده می شود. اسید کربنیک به آب و دی اکسید کربن تفکیک می شود و متعاقباً دی اکسید کربن به هوای خارج پاشیده می شود.

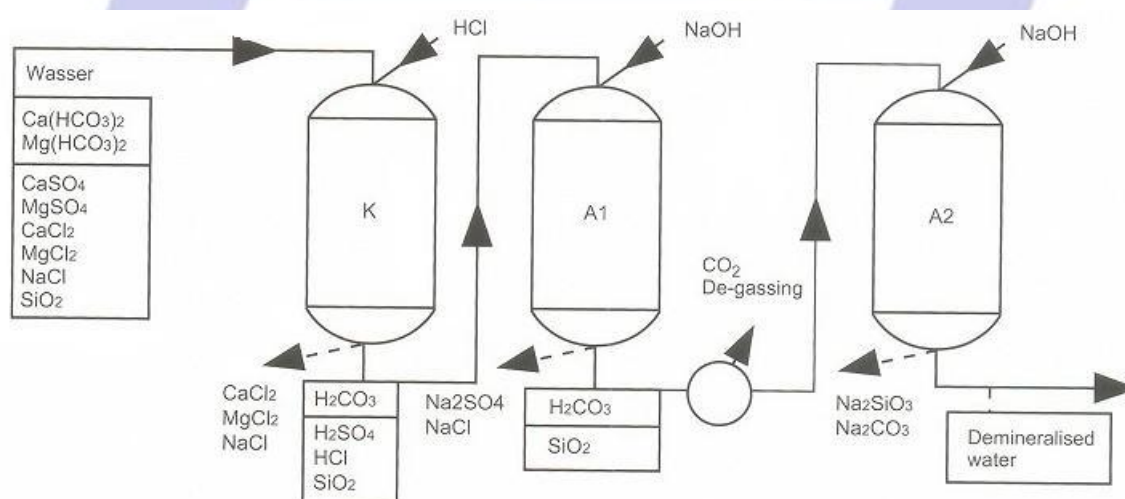
گاهی اوقات پاشنده ی  $\text{CO}_2$  بین دو فیلتر قرار داده می شود و در نتیجه می توان از فیلتر Na کوچکتری استفاده نمود. همچنین هر دو فیلتر می توانند به صورت موازی نیز استفاده شوند که البته در این صورت اطمینان از تقسیم مناسب سیال بین دو فیلتر حائز اهمیت بوده و باید کیفیت آب به طور مستمر بررسی شود.

## نمک زدایی

در واحدهای فشار بالا عملیات سختی گیری به تنهایی کفایت نمی نماید. اگرچه آب سختی گیری شده ایجاد رسوب نمی کند، غلظت بالای نمک باقیمانده و دمای بالای بخار باعث خوردگی می شود. به همین دلیل آب تغذیه ی مورد استفاده در واحدهای فشار بالا باید نمک زدایی شود.

بدین منظور، یک فیلتر کاتیون اسیدی قوی که با هیدروکلریک اسید احیا می شود، به صورت سری به یک فیلتر آنیون پایه ای ضعیف که با حلال هیدروکسید سدیم (NaOH) احیا شده است، متصل می شود. پاشنده ی  $\text{CO}_2$  پشت فیلتر آنیون قرار داده می شود. آب خارج شده از پاشنده قبلا نمک زدایی شده است. پاشنده ی  $\text{CO}_2$  همچنین از مقدار مواد شیمیایی ورودی به مبدل آنیونی پایه قوی می کاهد. به علاوه یک فیلتر آنیونی پایه ای قوی پشت پاشنده ی  $\text{CO}_2$  برای جدا کردن اسید سیلیسیک نصب می شود. یک مبدل بستر مخلوط (Mixed bed) مابین دو فیلتر به عنوان یک فیلتر کنترل کننده قرار داده می شود تا نمک های باقیمانده و اسید سیلیسیک را بزداید.

جدا کردن اسید سیلیسیک منحصرا در مورد واحدهای بخار فشار قوی به طور مثال برای توربین ها لازم است. اسید سیلیسیک تنها بر سطوح گرم بویلر بخار رسوب نمی کند و باقی ماندن آن بر روی پره های توربین، موجب کاهش راندمان عمومی خواهد شد.



شکل 6: مدار پایه ی سیستم نمک زدایی

## نظارت بر آب های جبرانی و تغذیه ی بویلر

کیفیت آب جبرانی و تغذیه ی بویلر را باید روزانه بررسی کرد. تهیه کنندگان مواد شیمیایی، مقادیر خاصی را جهت بسیاری از مشخصات مختلف آب ترکیبی با مواد شیمیایی تعیین می کنند.

جدول زیر نشان دهنده ی مقادیر پیشنهادی جهت بویلرهای فایرتیوب با فشار بخار بالای 20 bar است.

Boiler water		
Fire tube boiler up to 20 bar		
p value	mmol/kg	9-11
Silicic acid	mg/kg	15 * p value
Conductivity measurement	$\mu$ S/cm	6000
Phosphates	mg/kg	30-80

Feed water		
Flame tube boiler up to 20 bar		
PH		7.0
Hardness	mval/kg	0.036
Iron	mg/kg	0.3
Copper	mg/kg	0.1
Oil	mg/kg	3.0
Oxygen	mg/kg	0.1

خوانندگان محترم می توانند در صورت نیاز به دریافت اطلاعات تکمیلی با شرکت پارس جم کنترل (88708223-24) تماس حاصل فرمایند.