



رسوب در بویلرها (بویلرهای بخار و آبگرم)



آب ورودی به بویلر همواره دارای میزان متغیری از ناخالصی ها می باشد. این ناخالصی ها به مرور زمان ایجاد لایه ای از رسوب بر روی سطح لوله ها و دیگر سطوح بویلر خواهند کرد. به صورت لایه های سخت و چسبنده ای تشکیل می شود که روی سطح داخلی دیگ و لوله ها قرار می گیرد و باعث تجمع مواد معدنی و ناخالصی های موجود در آب می شود. این رسوبات از املاحی مانند کلسیم، منیزیم، سیلیس، آهن و گاهی روغن و محصولات نفتی تشکیل می شوند.
(برای استفاده عموم).

تهیه و تنظیم : مجید رعایایی

شکل تشکیل رسوب در بویلرها



• املاح محلول و معلق در آب بویلر با سطح داغ دیگ به صورت رسوبات سخت و چسبنده به جداره ها می چسبند که انتقال حرارت را محدود می کند.



• افزایش دما و تبخیر مقداری از آب در دیگ باعث افزایش املاح محلول می شود که به صورت فوق اشباع رسوب تشکیل می دهد.



• در بویلرها، با افزایش دمای آب، حلالیت برخی املاح کلسیم بیکربنات مثل کاهش می یابد و به شکل کلسیم کربنات نامحلول تبدیل شده و ته نشین می شود.

• سه نوع رسوب وجود دارد: نرم (غیر چسبنده)، نیمه سخت (چسبنده ولی قابل جدا شدن آسان) و بسیار سخت (چسبنده و جدا نشدنی) که مشکل ساز است.

علائم ایجاد رسوب در عملکرد بویلر عبارتند از:



- کاهش راندمان انتقال حرارت که باعث نیاز به مصرف بیشتر سوخت برای حفظ دما و فشار مطلوب می‌شود.
 - افزایش سطح موضعی در تیوب‌ها و بالا رفتن سطحی داغ که می‌تواند موجب آسیب و تنش شود.
 - کاهش کلی ظرفیت تولید بخار و افت عملکرد بویلر.
 - افزایش نیاز به خاموش و روشن کردن بویلر برای حذف رسوبات.
 - صدای تق یا جوشیدن آب ناشی از تقلیل رسوب و ایجاد نواحی داغ در بویلر.
 - گرفتگی لوله‌ها و اتصالاتی که باعث کاهش جریان آب و کنترل عملکرد سیستم کنترل سطح آب بویلر می‌شود.
 - انسداد مسیرهای بلودان (تخلیه دوره‌های) که باعث تجمع ناخالصی‌ها و رسوبات بیش‌تر می‌شود.
 - تأثیر منفی روی سیستم‌های کنترلی و حفاظتی که ممکن است باعث عملکرد نامناسب آنها شود، مانند عدم خاموشی بویلر.
- این نشانه‌ها به این صورت ظاهر می‌شوند و در صورت عدم مقابله، موجب آسیب جدی و کاهش طول عمر بویلر خواهد شد. پایش دقیق و نگهداری برای شناسایی زود هنگام این علائم حیاتی است.



روش های پایش مداوم بویلرها در زمینه رسوب



- نمونه گیری و آنالیز بویلر : نمونه ای از دوره های دریافتی از آب داخل بویلر، بلودان (تخلیه) و منبع تغذیه برای اندازه گیری های کلیدی مانند آب، TDS، جامدات، pH و سایر ناخالصی ها. کنترل این خطوط هشدار اولیه برای احتمال تشکیل رسوب است.
- کنترل سطح و فشار بویلر : افزایش غیرعادی سطح فلز یا فشار نشان دهنده کاهش انتقال حرارت به دلیل رسوب که باید پایش شود.
- مانیتورینگ مصرف سوخت و راندمان : افزایش مصرف سوخت برای تولید میزان بخار، کاهش توان تولید بخار یا افت راندمان سیستم می تواند وجود رسوب باشد.
- استفاده از حسگرهای آلتراسونیک و الکترومغناطیسی : این حسگرها می توانند ضخامت رسوب را بدون نیاز به باز کردن سیستم اندازه گیری کنند و به صورت آنلاین اطلاعات را ارائه دهند.
- بازرسی ظاهری و مکانیکی دوره های : استفاده از دوربین های آندوسکوپی صنعتی برای مشاهده داخل لوله ها و دیگ و انجام آزمایش کاری و بررسی های فنی.
- پایش فرآیند آب (بلودان) : مانیتورینگ جریان و کیفیت آب بلودان که افزایش رسوبات در آن نمایانگر تشکیل رسوب در بویلر است.
- سیستم های هشدار و کنترل خودکار شیمیایی : سیستم های پمپ و تزریق دقیق مواد شیمیایی که با پایش خطوط آب واکنش نشان می دهند و میزان مواد ضد رسوب را تنظیم می کنند.
- این روش ها در کنار هم یک سیستم نظارت جامع و مداوم برای شناسایی زودهنگام خطر رسوب و مقابله با آن ایجاد می کنند که علاوه بر جلوگیری از رسوب، باعث حفظ و نگهداری عمر بویلر می شوند.

راه های جلوگیری از تشکیل رسوب در بویلرها

- استفاده از سیستم های تصفیه آب مناسب مانند سختی گیرهای رزینی یا اسمز معکوس (RO) برای کاهش یون های کلسیم و منیزیم.
- کنترل کیفیت آب ورودی بویلر با تنظیم pH ، قلیائیت و هدایت الکتریکی آب.
- تزریق مواد شیمیایی ضد رسوب (Antiscalant) که مانع تشکیل و چسبندگی رسوبات معدنی می شوند.
- انجام دوره های آب (Blowdown) برای کاهش املاح محلول در بویلر.
- نگهداری منظم و احیایی به موقع سختی گیرها برای جلوگیری از ورود آب سخت به بویلر.
- کنترل مقدار مواد شیمیایی در آب تغذیه به نحوی که باقیمانده مانع رسوب شود.
- استفاده از مواد پراکنده کننده رسوب که با ایجاد پوشش روی سطح فلز از تجمع رسوب جلوگیری می کند.



رسوب‌های درون بویلر را می‌توان با روش‌های مکانیکی و شیمیایی از بین برد. مهم‌ترین روش‌ها به شرح زیر هستند:



روش‌های مکانیکی رسوب‌زدایی

تمیزکاری دستی و مکانیکی: استفاده از برس‌های سیمی و ابزارهای مکانیکی برای پاکسازی رسوبات نرم و قابل جدا شدن از سطوح داخلی بویلر.

شستشوی با آب فشار قوی

(blasting Hydro): بهره‌گیری از آب با فشار بسیار بالا (۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بار) برای جدا کردن رسوبات سخت و چسبیده روی لوله‌ها و دیواره‌ها.

شن‌زنی (Sandblasting): پاشش ذرات ساینده با فشار قوی جهت حذف رسوبات سخت، که نیازمند تجهیزات تخصصی و رعایت ایمنی است.

روش‌های شیمیایی رسوب‌زدایی

استفاده از مواد دیسکالر (Descaler) : مواد شیمیایی با پایه اسید کلریدریک که قادر به حل کردن رسوبات معدنی بدون خوردگی سطوح فلزی هستند. دیسکلرها به صورت مایع یا پودری به داخل سیستم تزریق شده و رسوبات را حل می‌کنند. معمولاً همراه با مواد خیس کننده (Surfactant) برای افزایش اثرگذاری و جلوگیری از آسیب استفاده می‌شوند.

اسیدشویی (Acid Cleaning): تزریق محلول اسیدی مانند اسید کلریدریک، اسید فسفریک یا اسید سولفامیک به داخل بویلر و گردش آن برای حل رسوبات، سپس شستشوی نهایی با آب خنثی‌کننده (مثلاً بیکربنات سدیم) جهت جلوگیری از خوردگی.



روش انتخاب بین پاک‌سازی مکانیکی و شیمیایی رسوبات بویلر بستگی به چند عامل اصلی دارد که به شرح زیر است:

معیارهای انتخاب روش پاک‌سازی

نوع و سختی رسوب: رسوبات نرم و غیرچسبنده معمولاً با روش‌های مکانیکی مثل برس زدن یا جت آب فشار قوی قابل حذف هستند. رسوبات سخت، ضخیم و چسبنده بیشتر به روش‌های شیمیایی مثل اسیدشویی نیاز دارند.

دسترسی و شکل هندسی بویلر: در شرایطی که سطوح داخلی بویلر به سختی قابل دسترسی باشند یا شکل هندسی پیچیده وجود داشته باشد، روش شیمیایی ارجح است چون می‌تواند به تمام نقاط برسد بدون نیاز به باز کردن وسیع.

حساسیت فلز و امکان خوردگی: اگر فلز بویلر حساس و مستعد خوردگی باشد، ممکن است استفاده از مواد شیمیایی قوی محدود شود و روش مکانیکی با دقت بیشتر انتخاب شود.

مقدار و سرعت مورد نیاز برای پاک‌سازی: پاک‌سازی شیمیایی معمولاً سریع‌تر است و برای رسوبات گسترده مناسب‌تر می‌باشد، اما روش مکانیکی برای پاک‌سازی‌های محلول‌تر و کم‌حجم‌تر بهتر است.

هزینه و امکانات فنی: هزینه مواد شیمیایی، تجهیزات و نیروی انسانی برای روش مکانیکی باید برآورد شود. گاهی ترکیب این دو روش نیز به صورت مرحله‌ای بهترین نتیجه را می‌دهد.

مسائل زیست محیطی و ایمنی: استفاده از اسیدها و مواد شیمیایی نیازمند ایمنی بالا و مدیریت پسماند است که باید در تصمیم‌گیری لحاظ شود.

مقایسه مزایا و معایب پاک سازی مکانیکی و شیمیایی به شرح زیر است:

ویژگی	پاک سازی مکانیکی	پاک سازی شیمیایی
مزایا	حذف سریع و فوری رسوبات سطحی	توانایی نفوذ به لایه های عمقی تر و حل کردن رسوبات سخت
	روش ساده و اغلب ارزان تر	مؤثر در رسوبات چسبنده و سخت
	مناسب برای رسوبات نرم و تازه	قابلیت استفاده در شرایطی که مکانیکی ممکن نیست
	بدون نیاز به مواد شیمیایی	کنترل دقیق شدت و میزان پاک سازی با تغییر نوع و غلظت مواد
معایب	ممکن است باعث آسیب یا خراش سطح شود	ممکن است باعث خوردگی فلزات حساس شود
	تنها رسوبات سطحی را حذف می کند	نیازمند مراقبت و تجهیزات ایمنی برای استفاده
	سختی در دسترسی به تمام سطح ها	هزینه بالاتر و نیاز به مدیریت پسماند شیمیایی
	نیاز به نیروی کار متخصص	زمان بر بودن فرآیند پاک سازی و شستشوی نهایی