

ارزیابی و بهینه سازی ایرهیتر نیروگاه حرارتی طوس

محمد علی عمرانی^۱ - میثم احراری^۲

۱-کارشناس معاونت مهندسی نیروگاه طوس

۲-کارشناس معاونت مهندسی نیروگاه طوس

E-mail:mohammad.omraani@gmail.com

E-mail:meisam_ahrari@yahoo.com

چکیده:

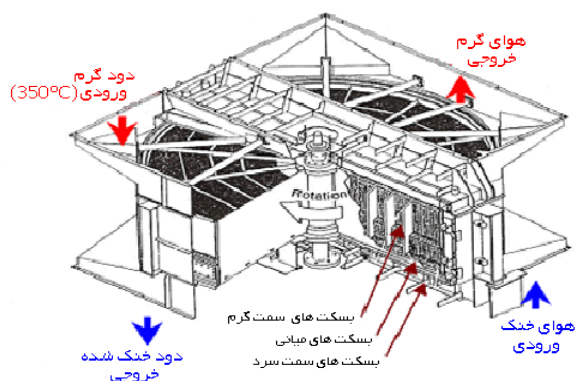
از جمله مشکلاتی که در گذر زمان و با بالا رفتن عمر واحدهای نیروگاه های بخار به وجود می آید کاهش راندمان بویلر آن می باشد. این کاهش راندمان افزایش مصرف سوخت و کاهش توان تولیدی را به همراه خواهد داشت. بیش از سی سال از عمر واحدهای نیروگاه طوس می گذرد در نتیجه بررسی عملکرد و کارایی بویلر واحدهای این نیروگاه از اهمیت بالایی برخوردار است. این مقاله به بررسی کارایی یکی از قسمت های مهم بویلر نیروگاه های بخار به نام ایرهیتر^۱ می پردازد. ایرهیترها یکی از نیازهای ضروری بویلرهایی با ظرفیت حرارتی بالا می باشند که با افزایش دمای هوای ورودی به بویلر باعث افزایش راندمان آن می شوند. معمولاً به ازای افزایش هر ۲۲ درجه سانتیگراد دمای هوای ورودی به بویلر یک درصد به راندمان بویلر افزوده می شود. [۱] ایرهیترها آخرین سیستم بازایی بویلر بوده که با استفاده از دود خروجی بویلر، هوای احتراق با دمای ورودی مناسب به کوره را فراهم می نمایند. [۲] عوامل زیادی بر عملکرد بهره برداری ایرهیترها تاثیر دارند که از مهمترین آن می توان مواردی مانند نشستی زیاد هوا از سیل ها و سکتورپلیت ها^۲ و رسوب دود در بسکت ها را نام برد. در این مقاله با اندازه گیری و بررسی های لازم سعی بر بهبود عملکرد ایرهیتر واحد ۲ این نیروگاه شده است.

واژه های کلیدی: نیروگاه طوس، ایرهیتر، نشستی^۳، راندمان، سیل،

سکتورپلیت

۱. مقدمه

نیروگاه حرارتی طوس در سال ۱۳۶۱ شروع به احداث گردیده و از سال های ۱۳۶۴ تا ۱۳۶۶ چهار واحد این نیروگاه با قدرت ۶۰۰ مگاوات شروع به کار کرده است. این نیروگاه از نوع نیروگاه بخار بوده و برای هر واحد آن دو ایرهیتر در نظر گرفته شده است. راندمان نامی بویلرهای این نیروگاه در سوخت گاز ۹۷ درصد است که با توجه به عمر واحد های این نیروگاه گاهی کاهش ۱ تا ۲ درصدی راندمان در بعضی از واحدها آن مشاهده شده است. باید در نظر داشت تنها با کاهش یک درصدی راندمان بویلر، افزایش هزینه سوخت به میزان هشت میلیارد ریال در سال را برای این نیروگاه به همراه خواهد داشت. با توجه به اینکه ایرهیترها یکی از موارد تاثیرگذار بر راندمان بویلر می باشند بررسی کارایی آنها در افزایش راندمان و کاهش هزینه های سیستم تاثیر بسزایی دارد. شکل ۱ شکل شماتیکی از ایرهیتر را نشان می دهد:



شکل ۱

¹ Air heaters

² Sector plates

³ Leakage



شکل ۴ سکتور پلیت آسیب دیده در مسیر دود خروجی ایرهیتر

همانطور که مشاهده می شود در یک سمت ایرهیتر دود خروجی از بویلر و در سمت دیگر هوا در جریان است. با چرخش ایرهیتر انتقال گرما توسط بسکت ها از سمت دود به سمت هوا انجام شده و دمای هوای ورودی به ایرهیتر افزایش می یابد.

معمولا برای بررسی وضعیت ایرهیتر باید دو عامل مهم یعنی نشتی هوا و رسوب دود در بسکت ها را مورد ارزیابی قرار داد.

اولین عامل که نشتی هوا به دود در ایرهیتر می باشد باعث کاهش دمای دود خروجی و ایجاد نقطه شبنم در ایرهیتر شده که باعث خوردگی در بسکت های ردیف آخر (شکل ۲) و سکتور پلیت قرار گرفته در مسیر دود خروجی (شکل ۳ و ۴) از ایرهیتر می شود.



شکل ۲ بسکت های آسیب دیده به علت خوردگی



شکل ۳ سکتور پلیت سالم

در نیروگاه طوس دمای دود خروجی از ایرهیتر جهت جلوگیری از رسیدن به نقطه شبنم^۱ و ایجاد خوردگی در بسکت ها را بیشتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد نگه می دارند و در صورت افت دمای دود خروجی به کمتر از ۱۰۰ درجه ، با استفاده از بخار در استیم ایرهیتر های ثانویه و افزایش دمای هوای ورودی دمای دود خروجی را کنترل می نمایند.

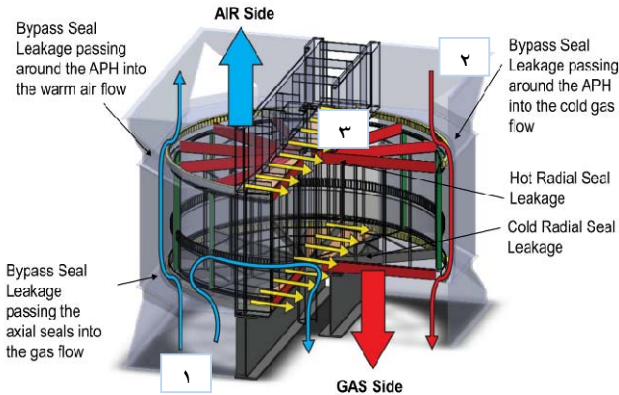
میزان نشتی در ایرهیتر های نو و آماده نصب معمولا عددی بین ۶ تا ۱۲ درصد می باشد اما با گذشت زمان این مقدار افزایش می یابد. میزان نشتی در ایرهیتر نیروگاه طوس طبق اسناد موجود در زمان تحویل ۱۰ درصد بوده است.

عامل تاثیر گذار بعدی در کارایی ایرهیتر رسوب دود در بسکت های آن است که عمدتا به خاطر استفاده مکرر و طولانی از سوخت نفت کوره که دارای کیفیتی به مراتب پایین تر از سوخت گاز می باشد ایجاد می شود. جهت جلوگیری و ایجاد رسوب در بسکت ها سیستم سوت بلوئینگ^۲ در ایرهیتر در نظر گرفته شده است که با به مدار آمدن آن و استفاده از بخار اقدام به شست و شوی بسکت ها می نماید. در غیر اینصورت وجود رسوبات باعث جلوگیری از ورود هوا به میزان کافی به کوره شده و همچنین به دلیل جلوگیری از خروج دود از بویلر باعث افزایش فشار کوره می شود. این اتفاق معمولا در فصول گرم سال که دمای هوا بالاست و چگالی آن کم است واحد را با کمبود هوای لازم برای احتراق مواجه کرده و نهایتا توان تولیدی آن کاهش می یابد.

در این نیروگاه با بررسی شرایط ایرهیتر در صورت پیش بینی وجود رسوبات، اقدام به شستن قلیایی ایرهیتر جهت تمیز کردن بسکت های آن و در صورت وجود نشتی در ایرهیتر اقدام به تنظیم سیل های آن می شود.

^۱ Dew point
^۲ soot blowing

مسیر شماره ۳ نشان دهنده نشتی از سمت هوا به دود در سکتور پلیت های ایرهیتر می باشد.



شکل ۵: نشتی در سیل ها و سکتور پلیت های ایرهیتر

مقدار فلوی نشتی را می توان به صورت مستقیم با استفاده از اختلاف فلوی هوای ورودی و خروجی در ایرهیتر یا اختلاف فلوی دود ورودی و خروجی ایرهیتر محاسبه نمود اما به دست آوردن نشتی به این طریق خطای زیادی را به همراه دارد زیرا به دست آوردن مقدار دقیق سرعت در داکت های بزرگ به راحتی امکان پذیر نیست. طبق استاندارد ASME درصد نشتی هوا در ایرهیتر ها به صورت رابطه شماره ۱ می باشد.

$$Atr Leakage(AL) = \frac{\dot{m}_{Leakage}}{\dot{m}_{g,in}} \times 100 = \frac{\dot{m}_{g,out} - \dot{m}_{g,in}}{\dot{m}_{g,in}} \times 100 \quad (1)$$

AL درصد نشتی هوا به دود
 $\dot{m}_{g,in}$ فلوی جرمی دود خروجی از ایرهیتر
 $\dot{m}_{g,out}$ فلوی جرمی دود ورودی به ایرهیتر

همانطور که بیان شد به دلیل خطای زیاد در محاسبه فلوی جرمی دود ، استاندارد ASME فرمول دیگری را جهت محاسبه دقیق درصد نشتی ارائه داده است که می توان از درصد اکسیژن بر مبنای خشک در دود ورودی و خروجی از ایرهیتر استفاده نموده و درصد نشتی را طبق رابطه ۲ به دست آورد:

انجمن مهندسان مکانیک آمریکا^۱ روش استاندارد را برای محاسبه کارایی ایرهیتر ها ارائه داده است. معمولاً شرکت های سازنده ایرهیتر برای بررسی میزان کارایی قابل قبول در ایرهیتر و گارانتی^۲ ایرهیترهای نو از این استاندارد استفاده می کنند. کد مربوط به بررسی ایرهیتر در این استاندارد PTC 4.3 می باشد.[۳]
در این مقاله نیز با استفاده از استاندارد انجمن مهندسين مکانیک آمریکا[۴] و روابط موجود در آن اقدام به بررسی کارایی ایرهیتر این نیروگاه شده است.

۲. بررسی کارایی ایرهیتر

۲.۱. درصد نشتی / ایرهیتر:

درصد نشتی هوا به دود در ایرهیتر، نسبت فلوی جرمی هوای نشت شده از سمت هوا به دود در ایرهیتر بر فلوی جرمی دود ورودی به آن می باشد.

افزایش نشتی در ایرهیترها مشکلات زیر را سبب می شود:[۵]

۱- به علت نشتی هوا، هوای احتراق بیشتری باید توسط اف دی فن ها تولید شود که نیاز به مصرف انرژی بیشتری توسط فن ها است

۲- باعث محدودیت بار تولیدی و کاهش فرصت های فروش انرژی به علت ظرفیت ناکافی فن به خصوص در فصول گرم سال می شود

۳- هوای نشت شده به سمت دود باعث کاهش دمای خروجی از ایرهیتر شده که تشکیل نقطه شبنم و ایجاد خوردگی در بسکت ها را به همراه دارد

۴- کاهش راندمان بویلر و مصرف سوخت بیشتر

شکل ۵ یک نمونه شکل شماتیک از نشتی در ایرهیتر را نشان می دهد. مسیرهای آبی رنگ که با شماره ۲و۱ در شکل مشخص شده اند نشان دهنده بای پس شدن هوا و دود در سیل های ایرهیتر و

¹ American Society of Mechanical Engineers (ASME)

² Warranty

$$AirLeakage(AL) = \frac{(O2_{g-out} - O2_{g-in})}{(21 - O2_{g-out})} \times 90 \quad (2)$$

$O2_{g-in}$ درصد اکسیژن ورودی به ایرهیتر
 $O2_{g-out}$ درصد اکسیژن خروجی از ایرهیتر

$$\eta_{gas.side} = \frac{(T_{g-in} - T_{g-out.no.leakage})}{(T_{g-in} - T_{a-in})} \times 100 \quad (4)$$

$\eta_{gas.side}$ راندمان سمت دود
 T_{g-in} دمای دود ورودی به ایرهیتر

۲.۴. نسبت کارایی ایرهیتر:

نسبت ظرفیت حرارتی هوای عبوری از ایرهیتر به ظرفیت حرارتی دود عبوری از آن می باشد که با استفاده از بالانس حرارتی ایرهیتر با در نظر گرفتن عدم نشتی حاصل می گردد. میزان کم کارایی یا همان $X - Ratio$ نشان دهنده وزن زیاد دود عبوری از ایرهیتر و یا نشان دهنده بای پس شدن مقداری هوا در ایرهیتر میباشد. با استفاده از بالانس حرارتی در حالت عدم نشتی در ایرهیتر داریم:

$$\dot{m}_{a-in} Cp_a (T_{a-out} - T_{a-in}) = \dot{m}_{g-in} Cp_g (T_{g-in} - T_{g-out.no.leakage})$$

که مقدار $X - Ratio$ به صورت معادله ۵ حاصل می گردد:

$$X - Ratio = \frac{\dot{m}_{a-in} Cp_a}{\dot{m}_{g-in} Cp_g} = \frac{T_{g-in} - T_{g-out.no.leakage}}{T_{a-out} - T_{a-in}} \quad (5)$$

$X - Ratio$ نسبت ظرفیت گرمایی دود عبوری از ایرهیتر به ظرفیت گرمایی هوای عبوری از آن
 $\dot{m}_{a-in}$ فلوی جرمی هوای ورودی به ایرهیتر

۳. تست ایرهیتر

۳.۱. هدف از تست ایرهیتر:

- ۱- شناسایی تغییرات غیرعادی در ایرهیتر و تهیه اطلاعات لازم جهت شناسایی علت هایی که موجب کاهش در عملکرد ایرهیترها می شوند.
- ۲- بررسی وضعیت کثیف بودن بسکت های ایرهیتر و نیاز به قلیاشویی بسکت ها و در صورت لزوم تعویض بسکت ها

۲.۲. دمای دود خروجی از ایرهیتر در صورت عدم

نشتی:

نشتی هوا به دود در ایرهیتر که به علت اختلاف فشار بین هوا و دود و همچنین وضعیت ضعیف سیل ها به وجود می آید باعث نشت هوا به سمت دود شده که دمای هوای با دمای پایین تر ورودی به سمت دود موجب کاهش دمای دود خروجی می شود. رابطه شماره ۳ مقدار دمای دود خروجی از ایرهیتر را در صورت عدم نشتی ایرهیتر نشان می دهد:

$$T_{g-out.no.leakage} = \frac{AL \times Cp_a \times (T_{g-out} - T_{a-in})}{100 \times Cp_g} + T_{g-out} \quad (3)$$

T_{g-out} دمای دود خروجی از ایرهیتر
 Cp_a متوسط ظرفیت گرمایی بین دمای هوای ورودی و دود خروجی از ایرهیتر
 Cp_g متوسط ظرفیت گرمایی بین دمای دود خروجی و دمای دود خروجی بدون لیکج
 $T_{g-out.no.leakage}$ دمای دود خروجی از ایرهیتر در صورت عدم نشتی
 T_{a-in} دمای هوای ورودی به ایرهیتر

۲.۳. راندمان سمت دود^۱:

راندمان سمت دود به عنوان یک شاخص از شرایط درونی ایرهیتر می باشد. اگر در ایرهیتر عواملی مانند خوردگی و کثیف بودن بسکت ها رخ داده باشد راندمان سمت دود آن کاهش می یابد و عموماً باعث کاهش دمای هوای خروجی از ایرهیتر می شود. محاسبه راندمان سمت دود به صورت رابطه ۴ حاصل می گردد:

¹ Gas side efficiency

- ۳- به دست آوردن مقدار نشتی ایرهیتر و تنظیم سیل ها و سکتورپلیت ها در مدت زمان تعمیرات
- ۴- مقایسه نتایج مربوطه با داده های شرکت سازنده در زمان نصب و بررسی فرسودگی ایرهیتر در گذر زمان

۳.۲. شرایط تست:

- پروسه تست در حداکثر توان تولیدی واحد صورت پذیرفته و موارد زیر باید برقرار باشد: [۶]
- ۱- تمامی مشعل ها با سوخت گاز و واحد با حداکثر توان نامی در مدار باشد.
 - ۲- هیچ عملیات سوت بلوئینگ در ایرهیتر و کوره در طول مدت زمان تست انجام نشود.
 - ۳- شرایط واحد به مدت ۶۰ دقیقه ثابت نگه داشته شود.
 - ۴- موقعیت دمپرهای دود و هوا چک شود که ثابت بوده و در طول تست تغییر نکند.
 - ۵- در طول مدت تست در اتاق فرمان آنالیز کاملی از داده های سمت دود و سمت هوای ورودی و خروجی از ایرهیتر انجام شود.

۴. محاسبات

۴.۱. بررسی ایرهیتر واحد قبل از تعمیرات:

جهت ارزیابی ایرهیتر پارامترهای لازم برای محاسبات باید دقیق و با کمترین مقدار خطای ممکن توسط استاندارد های لازم اندازه گیری گردد. جهت اندازه گیری درصد اکسیژن در دود ورودی و خروجی ایرهیتر از دستگاه پرتابل TESTO 350XL استفاده شده است.

با ارزیابی شرایط ایرهیتر می توان مشخص نمود که آیا ایرهیتر نیاز به قلیاشویی و یا تنظیم سیل و سکتورپلیت دارد یا خیر. جدول شماره ۱ پارامترهای لازم جهت انجام محاسبات ارزیابی ایرهیتر می باشد که باید مورد اندازه گیری قرار گیرد:

جدول ۱: پارامترهای لازم قبل از تعمیرات

واحد	مقدار	پارامترها
MW	۱۵۰	بار واحد
%	۰.۵	میزان اکسیژن ورودی به ایرهیتر سمت دود
%	۶.۳	میزان اکسیژن خروجی از ایرهیتر سمت دود
C	۳۷۰	دمای دود ورودی به ایرهیتر
C	۱۱۱	دمای دود خروجی از ایرهیتر
C	۴۲	دمای هوای ورودی به ایرهیتر
C	۳۲۱	دمای هوای خروجی از ایرهیتر

با قرار دادن داده های اندازه گیری شده در فرمول ها داریم:

نشتی ایرهیتر:

$$AirLeakage = \frac{6.3 - 0.5}{21 - 6.3} \times 90 = 35.5\%$$

دمای دود خروجی از ایرهیتر در صورت عدم نشتی:

$$T_{g-out.no.leakage} = \frac{35.5 \times 1.028 \times (111 - 42)}{100 \times 1.115} + 111 = 133.6$$

افت دمای دود خروجی به علت وجود نشتی:

$$\Delta T = 133.6 - 111 = 22.6$$

خروجی به علت راندمان سمت دود:

$$\eta_{gas.side} = \frac{(370 - 133.6)}{(370 - 42)} \times 100 = 72.1$$

کارایی ایرهیتر:

$$X - Ratio = \frac{370 - 133.6}{321 - 42} = 0.85$$

که مقادیر جدول ۲ حاصل می شود:

جدول ۲: نتایج محاسبات ایرهیتر قبل از تعمیرات

واحد	مقدار	نتایج کارایی ایرهیتر
%	۳۵.۵	نشتی هوا به دود در ایرهیتر
C	۱۳۳.۶	دمای دود خروجی در صورت عدم نشتی
C	۲۲.۶	افت دمای دود خروجی به علت نشتی
%	۷۲.۱	راندمان سمت دود
-	۰.۸۵	x-ratio کارایی ایرهیتر

نتیجه گیری:

طبق مقادیر به دست آمده در جدول های ۳ و ۴ نتایج زیر حاصل می گردد:

۱. مشاهده می شود که تنظیم سیل ها و سکتورپلیت های ایرهیتر نتیجه بخش بوده و میزان نشتی را از ۳۵,۵ درصد به ۱۷ درصد کاهش داده است. ۱۸,۵ درصد کاهش نشتی ایجاد شده باعث صرفه جویی در کاهش هزینه سوخت مصرفی به میزان تقریبی یک میلیارد و سیصد میلیون ریال در سال در این واحد است .

۲. در حالت اول که نشتی ۳۵,۵ درصد می باشد افت دمای دود خروجی نسبت به حالت عدم نشتی ۲۲,۶ درجه سانتیگراد و در حالت دوم بعد تنظیم ایرهیتر نشتی ۱۷ درصد و افت دمای دود خروجی ۹,۸ درجه سانتیگراد می باشد. پیداست که پس از تعمیرات ۱۲,۸ درجه از افت دمای دود خروجی از ایرهیتر جلوگیری شده است.

۳. با توجه به اینکه عملیات قلیاشویی بر روی ایرهیتر صورت پذیرفته راندمان سمت دود از ۷۲,۱ به ۷۷,۹ درصد افزایش یافته است که نشان دهنده انتقال بهتر حرارت در بسکت ها است. در انتها نیز نسبت $x-ratio$ که نشان دهنده کارایی ایرهیتر است نیز به دلیل کاهش نشتی و رفع رسوب دود در بسکت ها افزایش پیدا نموده است.

پیشنهادهای راه حل ها:

- جهت جلوگیری از رسوب دود در ایرهیتر ها به جای استفاده از سوخت نفت کوره از سوخت گاز استفاده شود.
- قبل از انجام تعمیرات میان دوره ای وضعیت واحد از لحاظ میزان نشتی و کثیف بودن بسکت های ایرهیتر مورد ارزیابی قرار گیرد که در صورت نیاز اقدام به رفع عیب و تنظیم سیل ها و سکتورپلیت ها شود و همچنین عملیات قلیاشویی جهت رفع دوده ها در بسکت های ایرهیتر صورت پذیرد.
- دمای دود خروجی از ایرهیتر توسط بهره بردار در حد مناسب نگه داشته شود تا از در صورت کم بودن دما از ایجاد نقطه

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می شود که نشتی به دست آمده ۳۵,۵ درصد می باشد که در اسناد شرکت سازنده مقدار نشتی ۱۰ درصد بیان شده است. بنابراین با توجه به زیاد بودن نشتی تنظیم سیل ها و سکتور پلیت های ایرهیتر پیشنهاد می شود و بهتر است در مدت زمان تعمیرات میان دوره ای این تنظیمات صورت پذیرد.

۴,۲. بررسی ایرهیتر واحد بعد از تعمیرات:

پس از تنظیم سیل ها و قلیاشویی ایرهیتر در خلال تعمیرات میان دوره ای ، پس از راه اندازی واحد دوباره به بررسی شرایط ایرهیتر می پردازیم: مانند قبل با اندازه گیری پارامترهای لازم جهت محاسبه کارایی ایرهیتر مقادیر جدول ۳ حاصل گردیده است:

جدول ۳: پارامترهای لازم بعد از تعمیرات

واحد	مقدار	پارامترها
MW	۱۵۰	بار واحد
%	۰,۹	میزان اکسیژن ورودی به ایرهیتر سمت دود
%	۴,۱	میزان اکسیژن خروجی از ایرهیتر سمت دود
C	۳۶۷	دمای دود ورودی به ایرهیتر
C	۱۰۵	دمای دود خروجی از ایرهیتر
C	۴۳	دمای هوای ورودی به ایرهیتر
C	۳۲۶	دمای هوای خروجی از ایرهیتر

و در نهایت پس از انجام محاسبات همانند قبل مقادیر جدول ۴ حاصل می شود:

جدول ۴: نتایج محاسبات ایرهیتر بعد از تعمیرات

واحد	مقدار	نتایج کارایی ایرهیتر
%	۱۷	نشتی هوا به دود در ایرهیتر
C	۱۱۴,۸	دمای دود خروجی در صورت عدم نشتی
C	۹,۸	افت دمای دود خروجی به علت نشتی
%	۷۷,۹	راندمان سمت دود
-	۰,۸۹	$x-ratio$ کارایی ایرهیتر

شبنم و یا در صورت بالا بودن دما از هدر رفتن انرژی جلوگیری شود.

- زمانی که از سوخت نفت کوره استفاده می شود عملیات سوت بلوئیگ به صورت برنامه ریزی شده انجام پذیرد.
- با توجه به اینکه با تنظیم سیل ها و سکتورپلیت ایرهیتر نشتی ۱۷ درصد محاسبه گردید جهت کاهش نشتی و نزدیک شدن مقدار آن به ۱۰ درصد که توسط سازنده ارائه شده است، تعویض سیل ها و یا استفاده از از سیل های شعاعی ارتجاعی به جای سیل های قدیمی پیشنهاد می گردد. (شکل ۷و[۷])



شکل ۶: یک نمونه سیل ارتجاعی با راندامان بالا



شکل ۷: نحوه چیدمان سیل های ارتجاعی

منابع

۱. Sapkal, P., et al., *Optimization of air preheater design for the enhancement of heat transfer coefficient*. International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering (IJARME), ISSN, 2011: p. 2231-5950.
۲. Sudhakar, S. and C. Raguraman, *Experimental Analysis of an Regenerative Air Preheater In Boiler TPS-1 Expansion*.
۳. Maskew, J.T., et al., *Evaluation of air heater performance and the accuracy of the result*. 1998.
۴. the American Society of Mechanical Engineers, *Air Heaters*. 2017(Performance Test Codes.)
۵. Rao, M.S., *PERFORMANCE EVALUATION AND RECURRING JAMMING PROBLEM ANALYSIS OF AIR PREHEATER IN COAL-FIRED POWER PLANTS*. 2015.
۶. Mallikarjuna, V., N. Jashuva, and B.R.B. Reddy, *Improving boiler efficiency by using air preheater*. International journal of advanced research in engineering and applied sciences, 2014. 3(2.)
۷. Storm, S.K., C.S. Storm, and P.D.A. Zucchelli, *Advancements with Regenerative Airheater Design, Performance and Reliability*. Cell. 39: p. 335427236.