

مدلسازی تشعشی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی به روش منطقه بندی در حالت سوخت گاز طبیعی

سعید دفاعی راد¹
محمد جواد موسی میالی²
¹شرکت ذوب آهن و فولاد اقلید پارس
²دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

چکیده

تعیین پروفیل‌های دما و شار حرارتی در کوره‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا این موضوع منجر به تعیین بسیاری از پارامترهای عملکرد و شناسایی نقاط بحرانی کوره می‌گردد. در این مقاله مدلسازی تشعشی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی در حالت 100 درصد بار بویلر و سوخت گاز طبیعی، با استفاده از روش منطقه بندی انجام شده است. نتایج بیانگر این موضوع است که در ابتدای کوره با افزایش ارتفاع، دمای محصولات احتراق و شار حرارتی حول لوله‌ها افزایش می‌یابد. اما از منطقه دوم به بعد این پارامترها شروع به کاهش می‌کنند. همچنین ملاحظه می‌گردد که در تمام طول کوره، مقدار کیفیت بخار از کیفیت بحرانی کمتر است در نتیجه پدیده DNB در کوره رخ نخواهد داد.

واژه‌های کلیدی: کوره، روش منطقه بندی، مدلسازی تشعشی

1- مقدمه

احتراق ذغال سنگ و نفت، بدین گونه هستند. گازهای احتراق می‌توانند نادرخشان (مانند احتراق سوخت‌های گازی) نیز باشند. در این حالت سوخت به صورت تمیز و بدون حضور ذرات جامد می‌سوزد.

انتقال گرما از گازهای احتراقی به دیوارهای آبی به هر دو طریق تشعشع و کنوکسیون انجام می‌شود. انرژی تشعشی گسیل شده توسط گازهای احتراق به عواملی مانند توان چهارم دمای گاز، فشار جزئی هر یک از گازهای تابشگر موجود در آن، شکل و اندازه گازها، نزدیکی آن به جسم جذب کننده و توان چهارم دمای جسم تحت تابش بستگی دارد. همچنین سهم کنوکسیون در انتقال گرما را می‌توان با استفاده از رابطه متداول جابجایی اجباری و متلاطم نوسلت - رینولدز تعیین

در سال‌های اخیر تحقیق‌های بسیاری در زمینه بهینه‌سازی عملکرد بویلر نیروگاه‌های حرارتی انجام شده است. این تلاشها منجر به افزایش عمر بویلر، راندمان حرارتی و کاهش تولید آلاینده‌ها شده است. طراحی مناسب کوره این بویلرها یک نقش کلیدی جهت نیل به اهداف فوق را دارا می‌باشد. کوره، محفظه یا اتاقی است که احتراق سوخت در آن صورت می‌گیرد. خصوصیات گازهای احتراق به نوع سوخت مصرفی، فرایند احتراق و نسبت هوا به سوخت بستگی دارند. این گازها در صورتیکه حاوی ذراتی مانند دوده باشند، گاز درخشان نامیده می‌شوند یعنی توانایی گسیل همه طول موجها (از جمله پرتوهای مرئی) را دارند. محصولات احتراق ناشی از

باشد نیاز به اطلاعات ورودی بیشتری می‌باشد. اگر خواص تشعشعی دقیقاً مشخص و تعداد مناطق نیز کافی باشد، آنگاه می‌توان حل دقیقی از تبادلات تشعشعی در محیط داشته داشت.

در این مقاله از روش منطقه بندی جهت مدلسازی تشعشعی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی استفاده می‌شود. این مدل اولین بار توسط Hottel و Cohen [2] جهت بررسی انتقال حرارت تشعشعی در یک محفظه حاوی یک گاز خاکستری پیشنهاد گردید. در سال 1967 Hottel و Sarofim [3] این مدل را در هندسه‌های پیچیده به کار گرفتند. از آن زمان تاکنون این مدل به صورت گسترده توسط محققین استفاده می‌گردد. به عنوان مثال می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط Diez و همکاران [4]، Batu و Selcuk [5] و Bordbar و Hyppannen [1] اشاره نمود که همگی از روش منطقه بندی در کارهای خود استفاده نموده‌اند.

نیروگاه شهید رجایی در استان قزوین و در نزدیکی شهر قزوین واقع شده است و دارای چهار واحد بخار با مجموع ظرفیت 1000 مگاوات می‌باشد. بویلرهای این نیروگاه توسط شرکت IHI ساخته شده و از نوع درام‌دار و چرخش طبیعی می‌باشند. جهت تعیین پروفیل حرارتی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی، ابتدا کوره به چهار منطقه تقسیم می‌شود. سپس پروفیل‌های دما و شار حرارتی گازهای احتراق در حالت سوخت گاز طبیعی تعیین می‌شوند. همچنین در هر منطقه، دبی بخار تولیدی و کیفیت بخار نیز محاسبه می‌گردند. جهت بررسی احتمال وقوع DNB^1 ، مقادیر محاسبه شده کیفیت بخار با مقادیر به دست آمده از یک رابطه تجربی مقایسه می‌شود.

2- مدل محاسباتی

در این مقاله تحلیل حرارتی کوره به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا کوره به چند منطقه تقسیم می‌شود. سپس هر یک از مناطق، در صورتیکه دارای مشعل باشد با مدل well-stirred و در غیر این صورت با مدل plug-flow تحلیل می‌گردد. در بخش‌های بعد روابط حاکم بر هر یک از این مدل‌ها شرح داده می‌شوند.

1-2- مدل کوره well-stirred

این مدل یکی از مدل‌های اولیه اما ارزشمند در ارزیابی عملکرد کوره‌ها می‌باشد. قبل از بیان معادلات حاکم بر مدل

نمود. با افزایش دما، میزان کنوکسیون در مقایسه با میزان تشعشع کاهش می‌یابد زیرا تشعشع از قسمت ضخیمی از گاز حاصل می‌شود در صورتیکه کنوکسیون در نزدیکی سطح لوله متمرکز است.

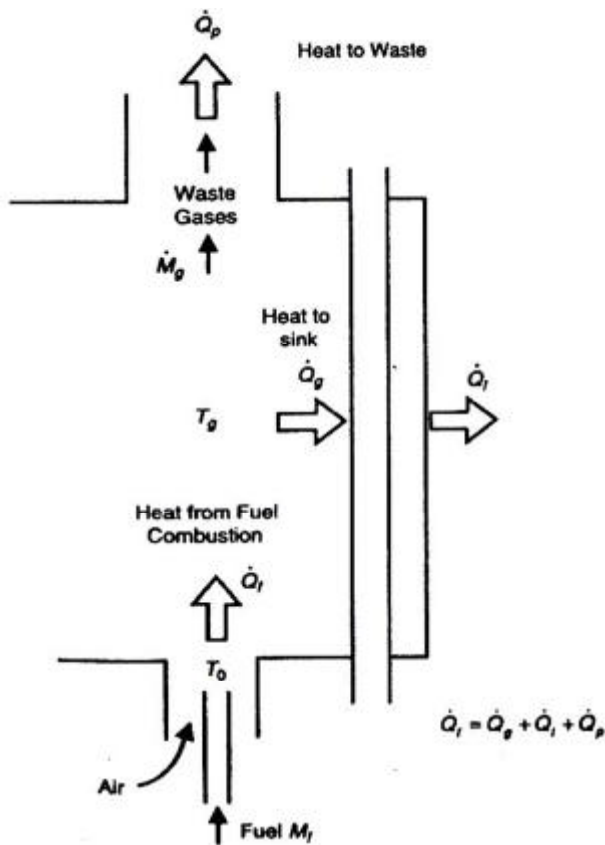
گرمای جذب شده به وسیله دیواره‌های آبی از طریق غشاها و جدار لوله‌ها به درون لوله‌ها هدایت می‌شود. سپس از طریق کنوکسیون اجباری با جوشش هسته‌ای به مخلوط دوفازه داخل لوله‌ها منتقل می‌شود. مقاومت انتقال گرما در مورد دوم بسیار کوچکتر از بقیه است به طوریکه در محاسبات طراحی با قبول خطای اندکی نادیده گرفته می‌شود. همچنین با توجه به اینکه دمای گازهای احتراق در کوره‌های بویلر بسیار زیاد است، انتقال حرارت غالب، انتقال حرارت تشعشعی بوده و می‌توان به راحتی از اثرات انتقال حرارت جابجایی در کوره‌ها صرف نظر نمود [1].

به علت پیچیدگی مکانیسم تشعشع و وابستگی آن به هندسه کوره، حل تحلیلی مسئله انتقال حرارت تشعشعی تنها برای هندسه‌های ساده وجود دارد. علاوه بر این، هزینه‌های سنگین مدلسازی‌های تجربی باعث شده است تا محققین جهت تحلیل کوره‌ها مدل‌های عددی را توسعه دهند. رایج‌ترین مدل‌های عددی در سه گروه طبقه بندی می‌گردد: مدل‌های مونت کارلو، شار حرارتی و منطقه بندی.

مدل مونت کارلو یک گرایش آماری جهت حل معادله بالانس تشعشع به کار می‌گیرد. این روش تعداد زیادی از دسته‌های انرژی که به صورت تصادفی از میان ماده تشعشع کننده جهت بندی شده‌اند را شبیه‌سازی می‌کند. در نهایت رفتار تشعشعی کلی، از رفتار میانگین این دسته‌ها تعیین می‌شود. در روش مبتنی بر شار حرارتی، زاویه فضایی به چند بخش تقسیم می‌شود و در هر کدام از آنها فرض می‌شود که شدت تشعشع مستقل از جهت عمل می‌کند. سپس معادله انتقال تشعشع برای هر بخش نوشته می‌شود. این روش منجر به ایجاد تعدادی معادله دیفرانسیل که در هر کدام از آنها شدت تشعشع مجهول می‌باشد، می‌شود. این معادلات را می‌توان توسط روش‌های استاندارد عددی (تفاضل محدود، المان محدود و حجم محدود) حل نمود. در روش منطقه بندی، ابتدا محیط تشعشع کننده به چندین منطقه تقسیم و سپس بالانس حرارتی در هر منطقه اعمال می‌گردد. در این روش دبی جرمی و انرژی آزاد شده در هر منطقه به عنوان اطلاعات ورودی در نظر گرفته می‌شوند. هر چه مدل جزئی‌تر و کامل‌تر

¹ Departure from Nucleate Boiling

$$\frac{\dot{Q}_{F,i} - \dot{Q}_{G,i}}{\dot{Q}_{F,i}} = \frac{T_{G,i} - T_0}{T_{F,i} - T_0} \quad (4)$$



شکل ۱: بالانس حرارتی کوره

$$\dot{Q}_{G,i} = \left\{ \frac{A_{1,i}}{\frac{1}{\epsilon_{eff}} + c_i \left(\frac{1}{\epsilon_{G,i}} - 1 \right)} \right\} \sigma (T_{G,i}^4 - T_1^4) \quad (5)$$

$$= g_r \sigma (T_{G,i}^4 - T_1^4)$$

در روابط فوق، $T_{G,i}$ دمای گازهای احتراق، $A_{1,i}$ مساحت تصویر شده لوله‌ها و فضای بین آنها، ϵ_{eff} ضریب صدور دیواره آبی، c_i نسبت $A_{1,i}$ به کل مساحت جانبی منطقه، σ ثابت استفان - بولتزمن، T_1 دمای دیواره آبی، g_r فاکتور انتقال حرارت کلی برای تشعشع از گاز به چاه حرارتی و $\epsilon_{G,i}$ ضریب صدور گازهای داغ می‌باشند.

قابل ذکر است ضریب صدور گازهای داغ در حالت سوخت کوره، گاز طبیعی باشد، از رابطه زیر بدست می‌آید [7]:

$$\epsilon_{G,i} = 1 - e^{-kL_{0,i}} \quad (6)$$

که k از رابطه (7) محاسبه می‌شود:

$$k = \frac{0.8 + 1.6P_{H_2O}}{\sqrt{L_{0,i}}} \left(1 - 0.38 \frac{T_{GE,i}}{1000} \right) \sqrt{P_{H_2O} + P_{CO_2}} \quad (7)$$

برای منطقه نام، شایسته است فرضیاتی که در مدل well-stirred استفاده می‌شود، ذکر گردند:

(الف) گازهای داغ به خوبی در همدیگر مخلوط می‌شوند و در دمای یکنواخت T_G قرار دارند.

(ب) چاه حرارتی خاکستری و در دمای یکنواخت T_1 است.

(ج) ارتباط هر منطقه با مناطق دیگر فقط از طریق شارش گازهای احتراق می‌باشد.

حرارت در کوره‌های سوخت سوز² توسط احتراق سوخت تامین می‌شود. نرخ تولید حرارت ($\dot{Q}_{F,i}$) برابر است با دبی سوخت ($\dot{m}_{F,i}$) ضرب در ارزش حرارتی پایین آن (LHV):

$$\dot{Q}_{F,i} = \dot{m}_{F,i} LHV \quad (1)$$

همانطور که در شکل 1 نمایش داده شده است، بخشی از حرارت آزاد شده، با نرخ $\dot{Q}_{G,i}$ به چاه حرارتی (که از این به بعد دیواره آبی یا لوله‌های آب نیز نامیده می‌شود) منتقل، بخشی دیگر با نرخ $\dot{Q}_{L,i}$ از طریق دیواره‌های کوره به بیرون تلف و مابقی نیز با نرخ $\dot{Q}_{P,i}$ از طریق دودکش به خارج از کوره هدایت می‌شود. بنابراین بالانس حرارتی برای چنین فرایندی به صورت زیر است:

$$\dot{Q}_{F,i} = \dot{Q}_{G,i} + \dot{Q}_{L,i} + \dot{Q}_{P,i} \quad (2)$$

اگر هیچ چاه حرارتی و هیچگونه تلفاتی وجود نداشت، تمام حرارت آزاد شده توسط احتراق، صرف گازهای تولید شده می‌شد و این گازها به دمای T_F می‌رسیدند. به این دما، دمای آدیاباتیک شعله گفته می‌شود. دمای آدیاباتیک شعله از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\dot{Q}_{F,i} = \dot{m}_{F,i} LHV = \dot{m}_{G,i,gen} c_{PG} (T_{F,i} - T_0) + \dot{m}_{G,i-1 \rightarrow i} c_{PG} (T_{F,i} - T_{GE,i-1}) \quad (3)$$

در رابطه فوق، $\dot{m}_{G,i,gen}$ گازهای احتراق تولید شده در منطقه i ظرفیت حرارتی ویژه گازهای احتراق، T_0 دمای هوای ورودی به کوره، $\dot{m}_{G,i-1 \rightarrow i}$ دبی گازهای احتراق ورودی از منطقه قبلی و $T_{GE,i-1}$ دمای محصولات احتراق خروجی از منطقه قبلی می‌باشد.

مدل کوره well-stirred بر اساس ترکیبی از دو رابطه (4) و (5) بنا نهاده می‌شود:

² Fuel-fired

2-2- مدل plug-flow

در صورتی که منطقه i دارای مشعل نباشد، از مدل plug-flow جهت تحلیل کوره استفاده می‌شود. این مدل بر این فرض استوار است که دمای منطقه i برابر با متوسط دمای گازهای ورودی به و خروجی از آن می‌باشد. به عبارت دیگر:

$$T_{G,i} = \frac{T_{GE,i-1} + T_{GE,i}}{2} \quad (11)$$

همچنین نوشتن معادله بالانس حرارتی برای مناطق بدون مشعل رابطه (12) را نتیجه می‌دهد:

$$\dot{Q}_{G,i} + \dot{m}_{G,i-1 \rightarrow i} c_{PG} dT_{G,i} = 0 \quad (12)$$

از رابطه فوق، $dT_{G,i}$ که اختلاف دمای ورودی و خروجی است، بدست می‌آید. همچنین $\dot{Q}_{G,i}$ با استفاده از رابطه (5) تعیین می‌گردد. با تعیین $dT_{G,i}$ ، دمای متوسط منطقه را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$T_{G,i} = \frac{dT_{G,i}}{2} + T_{GE,i-1} \quad (13)$$

2-3- محاسبه دیگر پارامترهای مهم کوره

پس از تعیین پروفیل دمای گازهای احتراق در کوره، به جرئت می‌توان اظهار نمود که قابلیت محاسبه تمام پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی کوره وجود دارد. در این بخش نحوه محاسبه چهار پارامتر بسیار مهم ذکر می‌گردد.

الف) محاسبه شار حرارتی وارده به لوله‌ها

$$\dot{q}_i = \frac{\dot{Q}_{g,i}}{A_{1,i}} \quad (14)$$

ب) محاسبه دبی بخار تولیدی در هر منطقه

$$M_i = 0.95 \frac{\dot{Q}_{g,i}}{h_{fg}} \quad (15)$$

همانگونه که پیش از این نیز ذکر گردید، تلفات ناشی از انتقال حرارت هدایت در جداره لوله‌ها اندک است و بسیاری از محققین از این ترم صرف نظر می‌کنند. اما در این مقاله به جهت افزایش حداکثری دقت محاسبات و با توجه به تجربه، فرض می‌شود 5 درصد حرارتی که به لوله‌ها می‌رسد، در گوشت لوله تلف می‌شود. در رابطه (15)، عدد 0.95 ناشی از در نظر گرفتن این موضوع می‌باشد.

در رابطه (7) فشارهای جزئی CO_2 و H_2O با نوشتن معادله احتراق سوخت تعیین می‌گردند. همچنین $L_{0,i}$ طول متوسط تشعشع نامیده و از رابطه (8) تعیین می‌گردد:

$$L_{0,i} = 3.5 \frac{V_i}{A_i} \quad (8)$$

در این رابطه V_i و A_i به ترتیب حجم و سطح جانبی منطقه i می‌باشد.

هر چند روابط (4) و (5) با فرض اختلاط کامل گازهای احتراق به دست آمده‌اند، با این حال در مدل well-stirred جهت کاهش خطای ناشی از این فرض، یک ضریب تجربی در روابط حاکم وارد می‌شود. این موضوع منجر می‌شود تا دمای گازهای خروجی از هر منطقه به اندازه $\Delta T_{G,i}$ از دمای متوسط $T_{G,i}$ کمتر باشد.

بنابراین با ترکیب روابط (4) و (5) و در نظر گرفتن اثرات عدم اختلاط کامل گازهای احتراق معادله عمومی کوره به صورت بی‌بعد زیر نوشته می‌شود:

$$\left(\frac{\dot{Q}_G}{d}\right) (Dd) + (T_1)^4 = \left(1 - \frac{\dot{Q}_G}{d}\right)^4 \quad (9-الف)$$

که:

$$\dot{Q}_G = \frac{\dot{Q}_F \cdot T_F - T_0}{T_F} \quad (9-ب)$$

$$Dd = \frac{\dot{Q}_F}{\sigma_g T_F^3 (T_F - T_0)} \quad (9-ج)$$

$$T_1 = \frac{T_1}{T_F} \quad (9-د)$$

ضریب d ، یک ضریب تجربی است که جهت در نظر گرفتن عدم اختلاط در روابط وارد شده است. این ضریب، برای اختلاط کامل برابر با یک و برای اکثر کاربردهای عملی برابر با 1/2 در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است در معادله (8) اثرات تلفات حرارتی دیواره کوره در نظر گرفته نشده است. در نهایت برای گستره وسیعی از انواع کوره و شرایط عملکرد، به طور تجربی مشخص شده است که:

$$\Delta T_G = \frac{\Delta T_{G,i}}{T_{F,i}} = \left(1 - \frac{1}{d}\right) \dot{Q}_G \quad (10)$$

از رابطه (10)، $\Delta T_{G,i}$ و به تبع آن دمای خروجی از هر منطقه تعیین می‌گردد.

لازم به ذکر است به علت غیر خطی بودن رابطه (8)، جهت تعیین دمای متوسط هر منطقه، می‌بایست یک الگوریتم تکراری به کار گرفته شود.

ج) محاسبه کیفیت بخار در هر منطقه

در روابط بالا، n_t تعداد کل لوله‌های بویلر، d_i قطر داخلی لوله (بر حسب متر)، $P_{critical}$ فشار بحرانی آب (بر حسب کیلوپاسکال) می‌باشد.

4-2- فرضیات مدل‌سازی

در این مقاله جهت ساده سازی فرایند حل، چندین فرض (علاوه بر موارد ذکر شده در بخش (2-1)) در حین استفاده از مدل‌های فوق به کار گرفته می‌شود. این فرضیات عبارتند از:

الف) چون تغییرات دمای دیواره آبی چندان قابل توجه نیست، دمای آن در سراسر کوره یکسان و برابر با 660 کلوین در نظر گرفته می‌شود [8].

ب) 1.5% ارزش حرارتی سوخت به تلفات ناشی از دیواره اختصاص داده می‌شود. به عبارت دیگر در محاسبات به جای استفاده از LHV سوخت، از مقدار 0.985LHV استفاده شده و در نتیجه ترم مربوط به تلفات دیواره از محاسبات حذف می‌گردد.

ج) مقدار C_{pg} ثابت و برابر 1200 J/kg.k است.

د) ضریب صدور دیواره برابر با $\epsilon_{eff} = 0.85$ می‌باشد [6].

ه) از ترم کنوکسیون صرف نظر می‌شود.

3- اطلاعات ورودی

در این مقاله مدل‌سازی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی در حالت بار 100 درصد و سوخت گاز طبیعی صورت پذیرفته است. در این حالت، دبی سوخت، درصد هوای اضافی و دمای هوای ورودی به بویلر به ترتیب برابر با 10,49660 Kg/Hour، 320 °C و 140 atm، 63.5 میلی‌متر و 6.8 میلی‌متر. همانگونه که در شکل 2 نمایش داده است، مشعل‌ها در پنج ردیف چهار تایی قرار گرفته‌اند و جهت انجام مدل‌سازی، کوره به چهار منطقه تقسیم می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده در بخش (2)، مناطق اول، دوم و سوم با روش well-stirred و منطقه چهارم با روش plug-flow تحلیل می‌گردد. در جدول 1 مشخصات سوخت گاز طبیعی که شامل درصد حجمی و ارزش حرارتی هر یک از مولفه‌های آن می‌باشد، ذکر گردیده است.

جهت محاسبه این پارامتر، ابتدا کیفیت حجمی (x_v) و جرمی (x_w) سیال در ورودی درام، با استفاده از رابطه (16) محاسبه می‌گردد [7]:

$$x_v = 0.8 - 0.000133 \times (P_{drum} - 250) \quad (16)$$

$$\Rightarrow x_w = \frac{x_v v_f}{v_g - x_v v_{fg}}$$

در این رابطه P_{drum} و v_g ، v_f به ترتیب حجم مخصوص مایع اشباع، حجم مخصوص بخار اشباع و فشار درام (بر حسب psi) می‌باشند. حال می‌توان ضریب سیرکولاسیون (cr) و دبی آب گردشی در بویلر (rw) را به ترتیب زیر تعیین نمود:

$$cr = \frac{1}{x_w} \Rightarrow rw = cr \times \dot{M}_t \quad (17)$$

\dot{M}_t کل دبی بخار تولیدی در بویلر می‌باشد و از جمع دبی‌های بخار محاسبه شده در بخش (2-3-ب) به دست می‌آید. در نهایت کیفیت بخار در هر منطقه از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$x_i = \frac{\dot{M}_i + \dot{m}_i}{rw} \quad (18)$$

\dot{m}_i نشان دهنده دبی بخار تولیدی تا قبل از منطقه i می‌باشد.

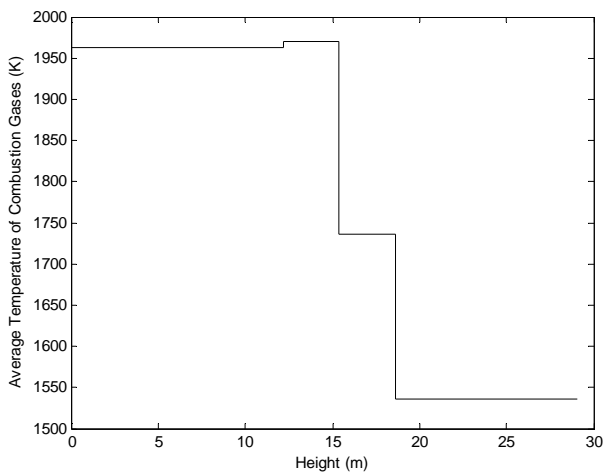
د) محاسبه کیفیت بحرانی

در صورتیکه مقدار کیفیت یک سیال دوفازی از مقدار کیفیت بحرانی بیشتر شود، آنگاه پدیده DNB روی خواهد داد. بنابراین پایین‌تر بودن کیفیت مخلوط آب / بخار نسبت به مقدار بحرانی آن، یک امر حیاتی در طراحی کوره به شمار می‌رود. جهت محاسبه این پارامتر، ابتدا دبی آب گردشی در یک لوله (G) و سپس مطابق با رابطه (20)، که یک رابطه تجربی است [7]، کیفیت بحرانی مخلوط آب و بخار تعیین می‌گردد:

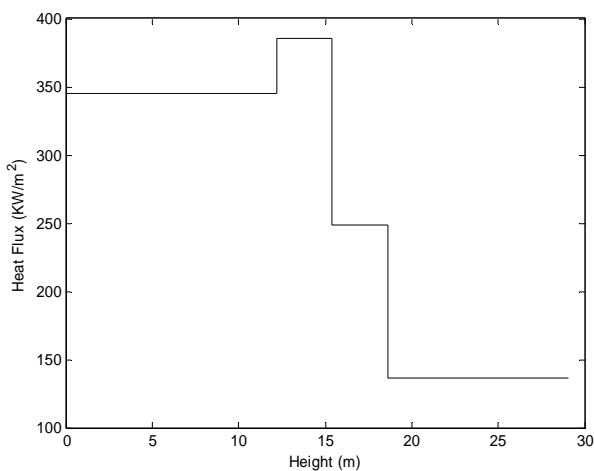
$$G = \frac{rw}{n_t \left(\frac{\pi}{4} d_i^2 \right)} \quad (19)$$

$$x_{critical} = 10 \times \frac{\left(1 - \frac{P_{drum}}{P_{critical}} \right)}{G^{\frac{1}{3}}} \quad (20)$$

$$- 0.794 d_i^{0.4} \dot{q}_i \frac{\left(\frac{P_{critical}}{P_{drum}} - 1 \right)^{0.4}}{h_{fg}}$$



شکل 3: پروفیل دمای گازهای احتراق



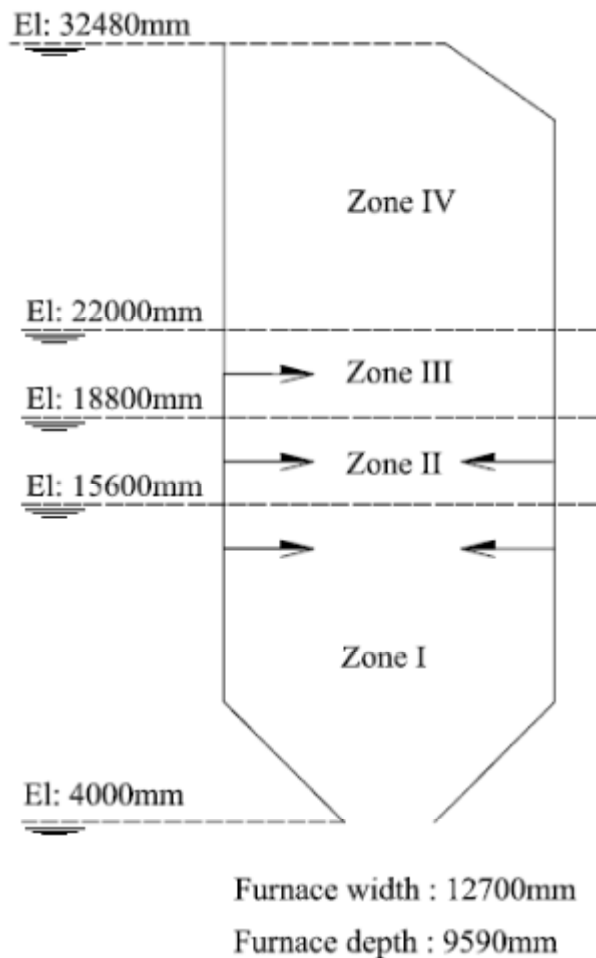
شکل 4: پروفیل شار حرارتی وارده به لوله‌ها

ماکزیمم دما و شار حرارتی برابر با 1970 کلوین و 385 کیلووات بر متر مربع می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود، این دو پارامتر از منطقه دو به بعد روندی نزولی طی می‌کنند. این بدان سبب است که اولاً از منطقه دو به بعد تعداد مشعل‌ها کم می‌شود و در نتیجه انرژی حرارتی ورودی به کوره کاهش می‌یابد و ثانیاً دبی گازهای احتراق افزایش می‌یابد. این موضوع باعث می‌شود مقداری از حرارت ناشی از احتراق سوخت، صرف گرم کردن این گازها شود.

همچنین در شکل 5 میزان دبی بخار تولیدی در هر منطقه و در شکل 6 پروفیل کیفیت بخار و کیفیت بحرانی در مناطق مختلف نشان داده شده‌اند. همانگونه که انتظار می‌رود کیفیت بخار در امتداد کوره افزایش می‌یابد و در منطقه چهارم به بیشینه مقدار خود که برابر با 17 درصد است، می‌رسد. همچنین ملاحظه می‌گردد که در تمام طول کوره، مقدار

جدول 1: مشخصات سوخت گاز طبیعی

نام جزء	ارزش حرارتی پایین (Kj/Kg)	درصد حجمی (%)
متان	50010	86/4
اتان	47484	5/9
پروپان	46352	1/8
بوتان	45714	0/7
پنتان	45351	0/2
سایر عناصر	-----	5



شکل 2: شماتیک کوره و مناطق ایجاد شده بر روی آن

4- نتایج

پروفیل دمای گازهای احتراق و شار حرارتی حول لوله‌ها بر حسب ارتفاع کوره به ترتیب در اشکال 3 و 4 نمایش داده شده‌اند.

لحاظ ایمنی در برابر DNB، در وضعیت مطلوبی قرار دارد. در پایان جهت افزایش دقت شبیه سازی موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

الف) در نظر گرفتن اثرات کنوکسیون

حال در موقعیتی هستیم که می‌توان اثرات کنوکسیون را در نظر گرفت زیرا حداقل تخمین بسیار خوبی از دمای محصولات در اختیار است.

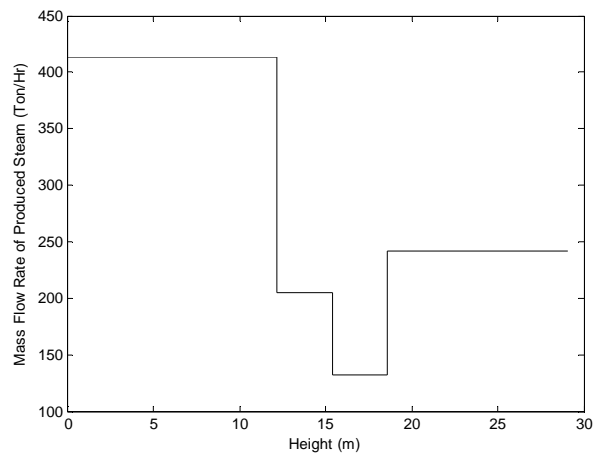
ب) افزایش تعداد مناطق

همانطور که پیش از این نیز گفته شد هر چه نسبت ارتفاع به پهنای کوره کمتر باشد، استفاده از مدل‌های well-stirred و plug-flow دقت بیشتری را به همراه خواهد داشت. این امر با افزایش تعداد مناطق امکان‌پذیر خواهد بود.

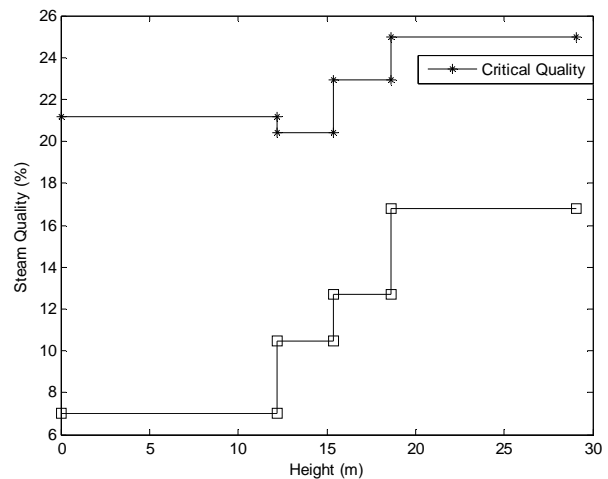
مراجع

- [1] M.H. Bordbar, T. Hyppanen, Application of radiative zone method in modeling of heat transfer in a boiler furnace, in: The 47th Conference on Simulation and Modeling, 28–29 September 2006, Helsinki, Finland, 2006.
- [2] H.C. Hottel, E.S. Cohen, Radiant heat exchange in a gas-filled enclosure: Allowance for nonuniformity of gas temperature, AICHE Journal 4 (1) (1935) 14–30.
- [3] H.C. Hottel, A.F. Sarofim, Radiative Transfer, McGraw-Hill Book Co., New York, 1967.
- [4] L.I. Diez, C. Cortes, A. Campo, Modeling of pulverized coal boilers: review and validation of on-line simulation techniques, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 1516–1533.
- [5] A. Batu, N. Selcuk, Modeling of radiative heat transfer in the freeboard of a fluidized bed combustor using the zone method of analysis, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 26 (2002) 49–58.
- [6] Kern, Process Heat Transfer, New York: McGraw Hill, 1990
- [7] Dolezal, Richard, Large Boiler Furnaces, Theory and Control, New York: Elsevier, 1967
- [8] M. Ameri, S.R. Shamshirgaran, A case study: The effects of the design factors on the thermal profile of Shahid Rajaiee boiler, Applied Thermal Engineering, 2007.

کیفیت بخار از مقدار کیفیت بحرانی کمتر است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که DNB در کوره روی نخواهد داد.



شکل 5: میزان دبی بخار تولیدی در هر منطقه



شکل 6: پروفیل کیفیت بخار و کیفیت بحرانی در مناطق مختلف

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل‌سازی تشعشعی کوره بویلر نیروگاه شهید رجایی به روش منطقه بندی انجام گرفت. روند انجام مدل‌سازی بدینگونه بود که ابتدا کوره به چهار منطقه تقسیم گردید به نحویکه مشعل‌های با ارتفاع یکسان در یک منطقه قرار گرفتند. سپس هر یک از مناطق، در صورتیکه دارای مشعل بودند با مدل well-stirred و در غیر این صورت با مدل plug-flow تحلیل شدند. نتایج حاکی از آن است که ماکزیمم دما و شار حرارتی در منطقه دوم روی می‌دهد بنابراین انتخاب جنس لوله و تمهیدات ایمنی می‌بایست بر مبنای نتایج این منطقه صورت پذیرد. همچنین ملاحظه گردید که در کل کوره کیفیت بخار کمتر از کیفیت بحرانی است در نتیجه کوره از