

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
HVACconf-IRSHRAE-1-089

## طراحی و بهینه سازی کوره های پالایشگاهی

نرگس محمدیان<sup>۱</sup>

اصفهان - شرکت مهندسی پتروساخت چهلستون

*Narges.Mohammadian@petrosakht.com*

از آنجا که کوره های حرارتی در واحدهای صنعتی بخصوص در صنایع نفت و گاز جزئی کلیدی ترین ادوات بحساب می آیند، طراحی و عملکرد بهینه این تجهیزات نقش بسزایی در راندمان نهایی واحد خواهد داشت. با آشنایی ساختار کوره ها، نحوه انتخاب و چیدمان آن ها و با داشتن اطلاعات کامل و صحیح از شرایط عملیاتی در کوره و محدودیت های تعریف شده جهت طراحی می توان اقدامات اصلاحی را برای بالا بردن بازده حرارتی کوره های موجود و یا طراحی کوره های جدید به عمل آورد.

در این مقاله با کمک استانداردهای معتبر به بیان چگونگی طراحی و بهینه سازی کوره های سیلندری پرداخته شده است. روش ارائه شده برای چندین کوره صنعتی استفاده شده و برای نمونه یکی از آن ها در مقاله ذکر گردیده است. کوره مورد نظر یکی از کوره های پالایشگاه بندرعباس بوده و نتایج حاصله با نمونه شبیه سازی شده توسط نرم افزار HTRI مقایسه گردید. نتایج بدست آمده به خوبی با اطلاعات کسب شده از نمونه انتخاب شده مطابقت داشته و حتی در برخی از موارد نظیر مقدار سوخت مورد نیاز و دمای خروجی گازهای حاصل از احتراق در مقایسه با نتایج بدست آمده از HTRI محاسبات به نمونه انتخاب شده نزدیکتر بوده که این مطلب خود به نوعی صحت و دقت این روش را اثبات می کند.

واژگان کلیدی: کوره های سیلندری، طراحی، بهینه سازی

<sup>۱</sup>-کارشناس ارشد مهندسی شیمی

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

## مقدمه

کوره‌ها از مهمترین ادوات گرمایشی بشمار می‌آید و در صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارند. در کوره‌ها سوخت در محفظه احتراق سوزانده شده و گرمای ایجاد شده به سیال فرآیندی که درون کویل‌ها جریان دارند منتقل می‌گردد. جهت ارتقای بازده کوره و استفاده حداکثر از گرمای تولید شده عموماً این کویل‌ها در قسمت‌های مختلف کوره نصب می‌گردد.

عموماً یک کوره شامل ۴ بخش اصلی است: ۱- بخش تابش: همان محفظه احتراق بوده و کویل‌ها در معرض مستقیم شعله قرار دارند. ۲- بخش جابجایی: در قسمت بالایی کوره قرار دارد و انتقال حرارت ما بین سیال فرآیندی و گازهای حاصل از احتراق صورت می‌گیرد. ۳- دودکش: علاوه بر مسیر خروج گازهای حاصل از احتراق، در ایجاد فشار منفی درون کوره نقش داشته و مانع از انتشار گازهای حاصل از سوخت شده که از لحاظ زیست محیطی اهمیت بسیار بالایی دارد. ۴- مشعل‌ها و سوخت: یکی مهمترین بخش‌های کوره بوده و انتخاب صحیح نوع آن، میزان سوخت و هوای مصرفی تأثیر بسزایی در عملکرد نهایی کوره دارد.

کوره‌ها بر اساس شکل ظاهری به دو دسته کلی سیلندری و باکس تقسیم می‌شوند و نحوه انتخاب آن‌ها با توجه به ظرفیت حرارتی و سطح مورد نیاز کوره است. از آنجا که عمده کوره‌های مورد استفاده در صنایع شیمیایی در محدوده انرژی پایین‌تر از ۴۰ MW بوده و با توجه به مزایای این کوره‌ها از قبیل نیازمند بودن به محیط کوچکتر، ارزان‌تر بودن در سازه‌های بزرگتر، انتقال حرارت بالاتر در بخش جابجایی به دلیل سرعت بالاتر گازهای احتراقی در این بخش و عدم نیاز به دمنده دود (soot blower) برای سوخت‌های گازی، طراحی صحیح این قبیل کوره‌ها به علت کارایی بالای آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است [1].

در این مقاله روشی برای طراحی و چیدمان کوره‌های سیلندری ارائه شده و در ادامه براساس اطلاعات کسب شده یکی از کوره‌های صنعتی موجود در پالایشگاه بندرعباس با استفاده از این روش و نرم افزار HTRI طراحی شده است. نتایج بدست آمده با تقریب بسیار خوبی با نمونه صنعتی مطابقت دارد.

## ۲- طراحی و چیدمان کوره‌های صنعتی

### ۲-۱- سوخت و چیدمان مشعل‌ها

یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز در طراحی کوره‌ها محاسبه میزان، ارزش حرارتی سوخت و چیدمان مشعل‌ها بوده تا بتوان راندمان و گرمای مورد نیاز جهت تبادل حرارتی در یک کوره را تخمین و محاسبه نمود.

### ۲-۱-۱- تعریف ارزش حرارتی یک سوخت

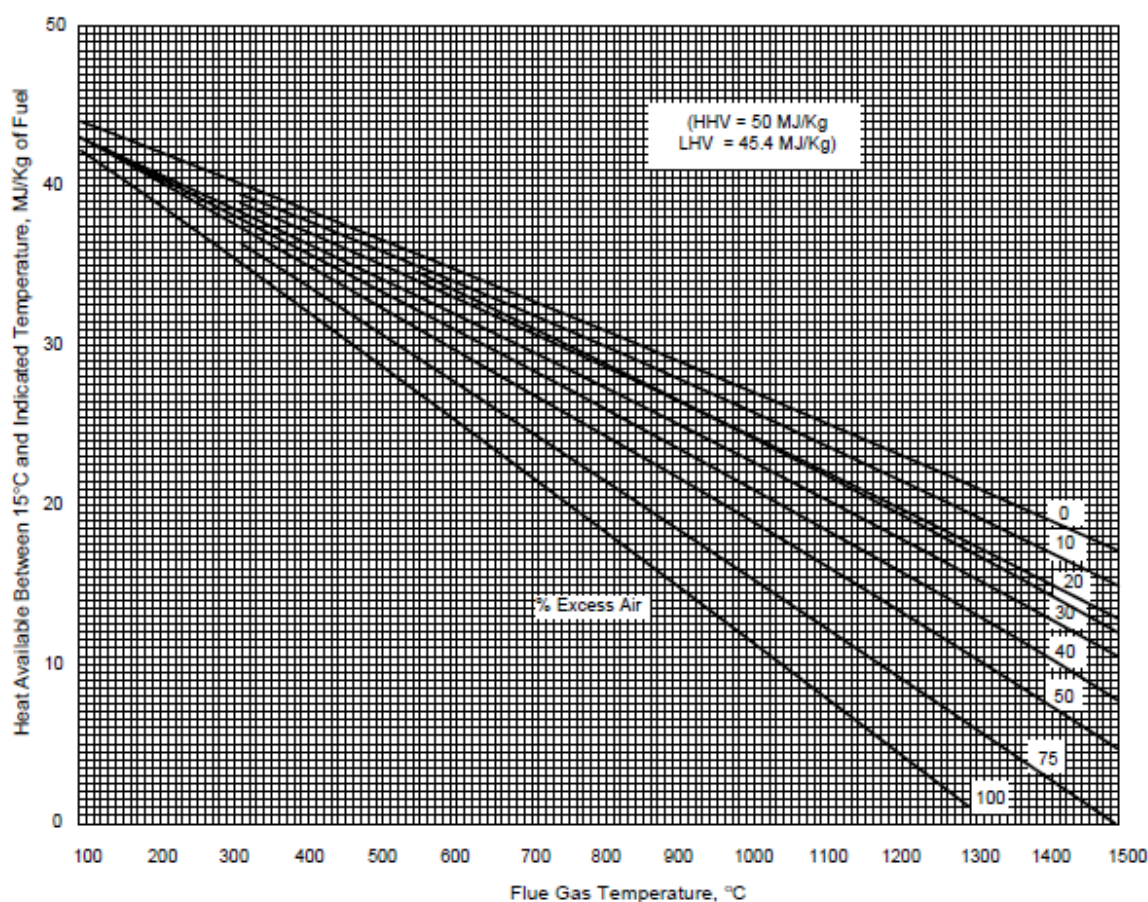
ارزش حرارتی یک سوخت عبارتند از میزان حرارت آزاد شده در طول فرآیند سوختن کامل در شرایط فشار ثابت و میزان استوکیومتری هوای خشک. هیدروژن موجود در سوخت بعد از فرآیند احتراق به آب تبدیل می‌شود و با سرد شدن گازهای حاصل

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

از احتراق امکان مایع شدن آن وجود دارد. از این رو در صورتی که انرژی نهان تبخیر آب به عنوان بخشی از ارزش حرارتی مد نظر گرفته شود ارزش حرارتی بالا یا ناخالص (HHV) و در غیر این صورت با فرض باقی ماندن آب بحالت بخار ارزش حرارتی پایین یا خالص (LHV) تعریف شده است [2]. برای محاسبه ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف جداول و نمودارهای فراوانی وجود دارد. در محاسبات جهت سهولت عموماً از LHV استفاده می‌شود.

## ۲-۱-۲- تعیین ظرفیت گرمایی کوره و مقدار سوخت مورد نیاز

برای محاسبه میزان سوخت براساس مقدار حرارت مورد نیاز سیال فرآیندی ارزش حرارتی سوخت در دمای گازهای خروجی از قسمت جابجایی محاسبه می‌شود. به این منظور در مواردی که هوا پیش گرم نمی‌شود، دمایی تقریبی گازهای خروجی در این بخش ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای ورودی سیال فرآیندی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از نمودار ۱ مقدار انرژی به ازای کیلوگرم سوخت در این دما محاسبه می‌گردد [3].



شکل ۱- حرارت ایجاد شده حاصل از احتراق سوخت گازی [3]

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

$$Q_{req} = mCp(T_{out} - T_{in}) + m\lambda(V.F) \quad (1)$$

$$Fn = Q_{req} / (HA)_{Ts} \quad (2)$$

$$Fg = n \times F \quad (3)$$

$$Q_F = F_g \times LHV \quad (4)$$

بطوری که:

m: دبی جرمی سیال فرآیندی

Cp: ارزش حرارتی سیال فرآیندی (kJ/kg.C)

(T<sub>out</sub> - T<sub>in</sub>): اختلاف دمای ایجاد شده در ورود و خروج سیال فرآیندی

λ: انرژی نهان تبخیر سیال (kJ/kg)

V.F: درصد بخار ایجاد شده

F<sub>n</sub>: دبی خالص سوخت بر حسب (kg/s)

Q<sub>req</sub>: انرژی مورد نیاز سیال فرآیندی بر حسب (MW)

(HA)<sub>Ts</sub>: انرژی موجود در دمای دودکش بر حسب (MJ/kg)

F<sub>g</sub>: دبی کلی مورد نیاز سوخت بر حسب (kg/s)

Q<sub>F</sub>: مقدار حرارت تولیدی توسط سوخت بر حسب (MW)

با توجه به این نکته که موارد عمده اتلاف حرارت در یک کوره دیوارها، رسوب و سوخت محترق نشده است و با افزایش سایز کوره، نسبت سطح دیوارها به حجم بخش تابش کاهش یافته و در نتیجه میزان اتلاف حرارتی در کوره‌های بزرگتر کمتر می‌شود. از این رو ضریب n بر اساس ظرفیت حرارتی کوره بصورت زیر تعریف می‌گردد [3].

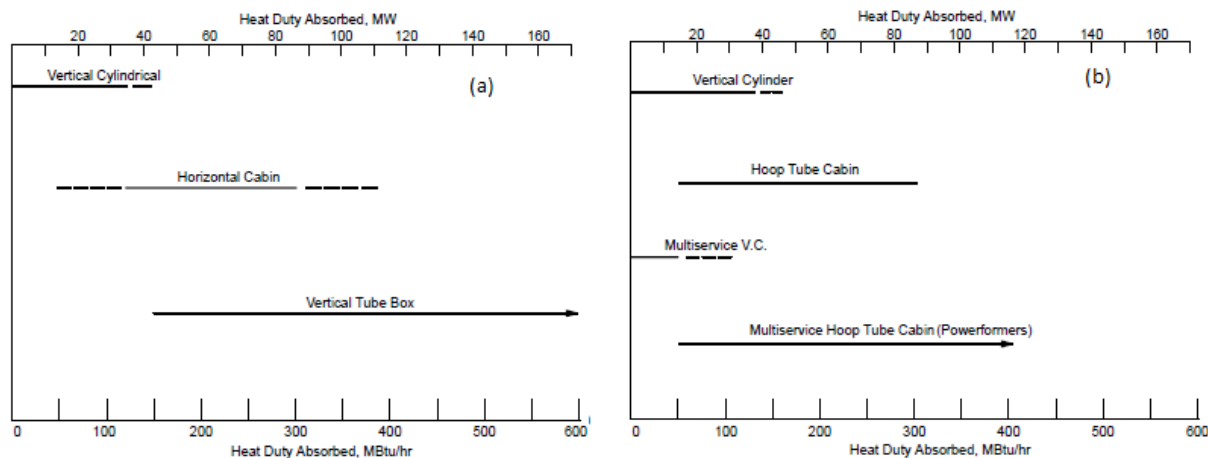
کوره ایی با ظرفیت حرارتی بالاتر از 29MW: ۱/۰۱

کوره‌هایی با ظرفیت حرارتی بین ۲۹MW تا ۴: ۱/۰۲

کوره‌های کوچکتر از ۴MW: ۱/۰۳

پس از تعیین ظرفیت حرارتی کوره، با استفاده از شکل ۲ نوع کوره مشخص می‌گردد.

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089



شکل ۲- (a): مربوط به سیستم ای تمام مایع یا در حال تبخیر. (b): مربوط به سیستم های تمام گازی [3]

### ۲-۱-۳- چیدمان مشعل ها:

در عملیات مشعل یکنواختی شعله، طول شعله و رنگ آن از اهمیت خاصی برخوردار است. در انتخاب نوع و چیدمان مشعل ها توجه به نکات زیر حائز اهمیت می باشد:

- دقت در ایجاد زاویه روزنه ها و صافی بیش از اندازه سطح داخلی آنها کمک شایانی به شکل شعله (گل شعله) مشعل و جلوگیری از برخورد شعله به تیوپها و احتراز از مشکلات و پیامدهای آن می کند.
  - هر چه طول شعله کشیده تر باشد قسمت تابش شعله که خود عامل انتقال حرارت در این دما می گردد بیشتر می شود. در نتیجه با تنظیم فشار هوا، سوخت و نیز مکش دود خروجی می توان طول شعله را تنظیم کرد. معمولا طول شعله را در حدود ۶۰ درصد طول لوله های بخش تشعشع تخمین می زنند.
  - رنگ شعله مشخصه بسیار خوبی در جهت بهسوزی و راندمان احتراق بشمار می آید اگر رنگ شعله بصورت آبی کم رنگ باشد مشعل بهترین وضعیت خود واقع شده است.
  - حرارت آزاد شده از هر مشعل و چیدمان مشعل ها باید به گونه ای باشد که در حالتی که کوره ۵۰ درصد بالاتر از شرایط طراحی و ماکزیمم مکش کار می کند احتمال برخورد شعله با تیوپ ها وجود نداشته باشد.
  - مشعل های نفت سوز نیاز به یک عامل ذره ای نمودن قطرات سوخت (atomizer) دارند که از هوای فشرده یا بخار استفاده می شود. جریان سوخت اتمیزه شده و جریان هوای احتراق هر مشعل باید قابلیت تنظیم دستی و کار کردن در شرایط عملیاتی بین ۲۵٪ تا ۱۵۰٪ سرعت طراحی خود را داشته باشند.
  - به منظور ایجاد شعله یکنواخت تر، استفاده از شعله های متعدد مطلوب تر است.
  - تمامی مشعل ها مجهز به پیلوت و صافی هستند [4-6].
- با توجه نکات ذکر شده، حدس اولیه ای در مورد تعداد مشعل مورد نیاز زده می شود و با استفاده جدول ۱ فاصله مشعل ها از یکدیگر مشخص می گردد. لازم به ذکر است که این فواصل در مورد فواصل خطی است و برای کوره های سیلندری باید از فواصل بیشتر استفاده کرد.

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

$$NHB = QF / NoB$$

(5)

NHB: میزان حرارت منتشر شده توسط هر مشعل (MW)

NoB: تعداد مشعل‌ها

جدول ۱- حداقل فاصله در حالت مکش طبیعی [4]

Maximum Heat Release per Burner		Minimum Clearance								
		A		B		C		D		
		Vertical to Centerline Roof Tubes or Refractory (Vertical Firing Only)		Horizontal to Centerline Wall Tubes from Burner Centerline		Horizontal from Centerline of Burner to Unshielded Refractory		Between Opposing Burner (Horizontal Firing)		
millionBtu/hr	Mw	feet	meters	feet	meters	feet	meters	feet	meters	
Oil Firing										
4	1.2	12	3.7	2'9"	0.8	2'0"	0.6	16	4.9	
6	1.8	16	4.9	3'3"	1.0	2'6"	0.8	22	6.7	
8	2.3	20	6.1	3'9"	1.1	3'0"	0.9	28	8.5	
10	2.9	24	7.3	4'3"	1.3	3'6"	1.1	32	9.8	
12	3.5	28	8.5	4'9"	1.4	4'0"	1.2	36	11.0	
14	4.1	32	9.8	5'3"	1.6	4'6"	1.4	40	12.2	
Gas Firing										
2	0.6	7	2.1	2'0"	0.6	1'6"	0.5	8	2.4	
4	1.2	10	3.0	2'6"	0.8	2'0"	0.6	12	3.7	
6	1.8	13	4.0	3'0"	0.9	2'6"	0.8	16	4.9	
8	2.3	16	4.9	3'6"	1.1	3'0"	0.9	20	6.1	
10	2.9	19	5.8	4'0"	1.2	3'6"	1.1	24	7.3	
12	3.5	22	6.7	4'6"	1.4	4'0"	1.2	26	7.9	
14	4.1	25	7.6	5'0"	1.5	4'6"	1.4	28	8.5	

## ۲-۲- طراحی بخش تابش کوره های سیلندری

اطلاعات اولیه مورد نیاز عبارتند از: دبی سیال فرآیندی،  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $P_{in}$ ,  $\Delta P_{allow}$  و فلاکس های حرارتی بخش تابش

۱- تعیین درصد هوای اضافه با توجه به نوع سیستم مکش کوره:

از آنجا که در حقیقت اختلاط هوا و سوخت بطور کامل اتفاق نمی افتاد، برای اطمینان از احتراق کامل و کاهش آلاینده ها از جمله تولید ترکیبات  $NO_x$ ، از هوای اضافه استفاده می کنند. باید توجه داشت که بالا بودن این مقدار باعث کاهش دمای کوره شده که جهت حفظ آن ناگزیر به مصرف سوخت بیشتر هستیم. جهت بالا بردن راندمان سیستم و کاهش مصرف میزان سوخت پیش گرم کردن هوای مصرفی توصیه شده که در اکثر موارد برای این منظور از گازهای خروجی از دودکش استفاده می شود. دبی هوای اضافه به نوع سوخت مصرفی و همچنین به طریقه ایجاد مکش در کوره بستگی دارد.

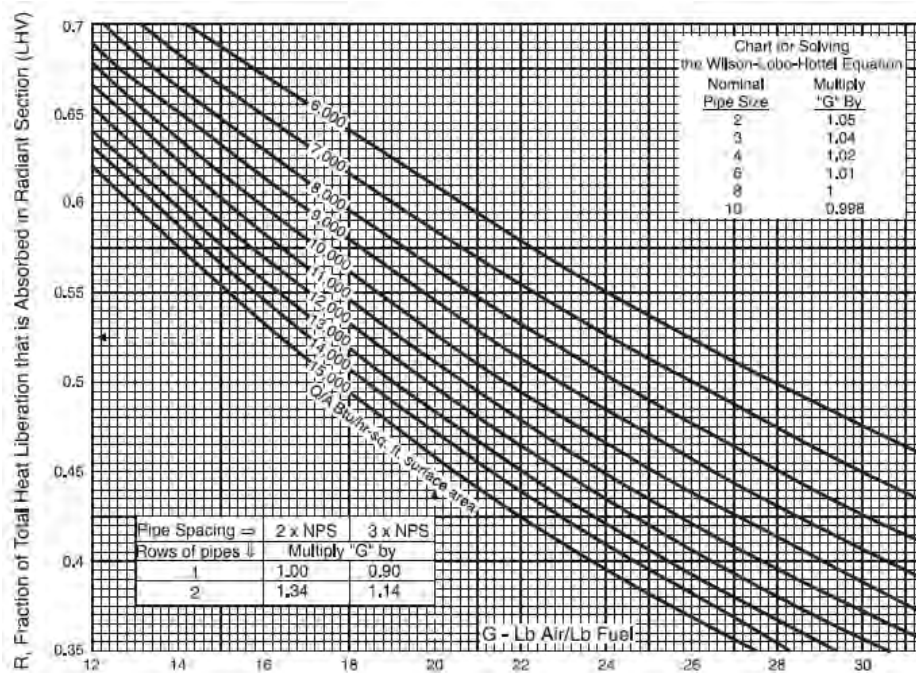
جدول ۲- درصد هوای اضافه براساس طریقه مکش ایجاد شده در کوره [5]

	سیستم تک مشعله	سیستم چند مشعل
مکش اجباری	۵-۱۰٪	۱۰-۱۵٪
مکش اختیاری	۱۰-۱۵٪	۱۵-۲۰٪

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

۲- تعیین درصد حرارت جذب شده در بخش تابش کوره:

به عنوان یک تخمین اولیه، میزان حرارت جذب شده در قسمت تابش ۷۰٪ و در بخش جابجایی ۳۰٪ در نظر گرفته می‌شود. با این حال برای بالا بردن دقت محاسبات از نمودار ۳ استفاده می‌شود.



شکل ۳- تخمین مقدار درصد حرارت جذب شده در قسمت تابش [2]

۳- تخمین تقریبی بازده کوره:

$$\text{Efficiency} = Q_{\text{req}} / Q_F \quad (6)$$

۴- برآورد سطح خارجی تیوب‌های بخش تابش:

$$A_r = Q_F \times R / q_r \quad (7)$$

$q_r$ : فلوکس حرارتی در بخش تابش ( $W/m^2$ )

۵- چیدمان تیوب‌ها:

در ابتدا در مورد سائز تیوب‌ها و تعداد پاس حدس اولیه زده می‌شود و با استفاده از آن‌ها سرعت جرمی سیال فرآیندی درون کویل محاسبه می‌گردد.

$$G = m / (P \times A_x) \quad (8)$$

P: تعداد پاس

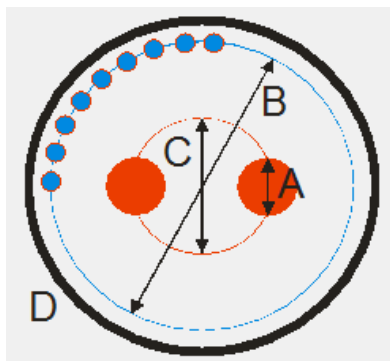
$A_x$ : سطح مقطع به ازای یک تیوب ( $m^2$ )

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

بسته به سرویس مورد نظر، سرعت جرمی سیال محدوده خاص خود را دارد و تعداد پاس و سایز تیوب‌ها باید با توجه به آن انتخاب شوند. برای مثال در مواردی که کوره نقش پیش گرمکن سیال یا ریبویلر را ایفا می‌کند سرعت جرمی سیال باید در محدوده  $1200$  تا  $1700 \text{ kg/s.m}^2$  باشد [3].

۶- تعیین ابعاد و اندازه‌های کوره:

با استفاده از جدول شماره ۱ و در نظر گرفتن فضایی برای ورود و خروج جریان‌ها قطر دایره تیوب‌ها (tube circle diameter) محاسبه و پس از آن تعداد تیوب‌ها قابل محاسبه است. باید توجه داشت که فاصله مرکز تا مرکز دو تیوب مجاور در حدود ۲ برابر قطر اسمی تیوب در نظر گرفته می‌شود [6].



شکل 4- نمایی از سطح مقطع کوره سیلندری

$$D=B+3IPS+wall\ thickness$$

(9)

D: قطر دیواره کوره سیلندری (m)

B: قطر دایره تیوب‌ها (m)

IPS: سایز اسمی تیوب‌ها (m)

$$L_r=A_r/(A_o \times N_t)$$

(10)

$L_r$ : طول تیوب‌ها در قسمت تابش (m)

$A_o$ : سطح جانبی یک تیوب ( $\text{m}^2/\text{m}$ )

$N_t$ : تعداد تیوب‌ها در بخش تابش

۷- تعیین جنس تیوب‌ها:

معمولا در دماهای پایین کربن استیل، دماهای نسبتا بالا فولاد کروم و در دماهای بسیار بالا از آلیاژ آستنیتی خاص استفاده می‌شود.

جدول ۳- انتخاب جنس لوله‌ها و ادوات [4-7]



مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

آلیاژ فلزی		کاربردها	خواص
carbon steel		نوع A <450 C نوع B <550 C لوله های انتقال نفت، گاز و آب اشامیدنی و دودکش ها Boilers & reboilers سرویسهای غیر خورنده	کمتر از ۰.۲٪ کربن ارزان - مقاوم در برابر کلر و کاستیک - مشکل SCC
non-magnetic steels Ni base	ss321	hydro cracking P≤40bar	۸/۱۰/۲.۵ Cr/Ni/Mo فولاد پر مولیبدن
	ss347	hydro cracking P≤200bar	کوره های واحد های دما و فشار نسبتا بالا کوره های واحد های دما و فشار نسبتا بالا حاوی کلومبیوم علاوه بر نیکل و کروم و مولیبدن
magnetic steel	ss400 series	hydro cracking P≤200bar, T>800C	Ni<5% پر کروم ولی کم نیکل مقاوم در برابر فشارها و دماهای بسیار بالا
HK-40		blistering reformer مقاوم در برابر هیدرژن نوزاد و تورم کوره های هیدرژن سازی	Cr/Ni/Nb 25/20/0.5 بسیار گران

۸- محاسبه ضخامت جداره تیوب ها:

$$t = (P_{in} \times ID) / (2S) \quad (11)$$

(۱۱)

P: فشار سیال داخل تیوب ها (psi)

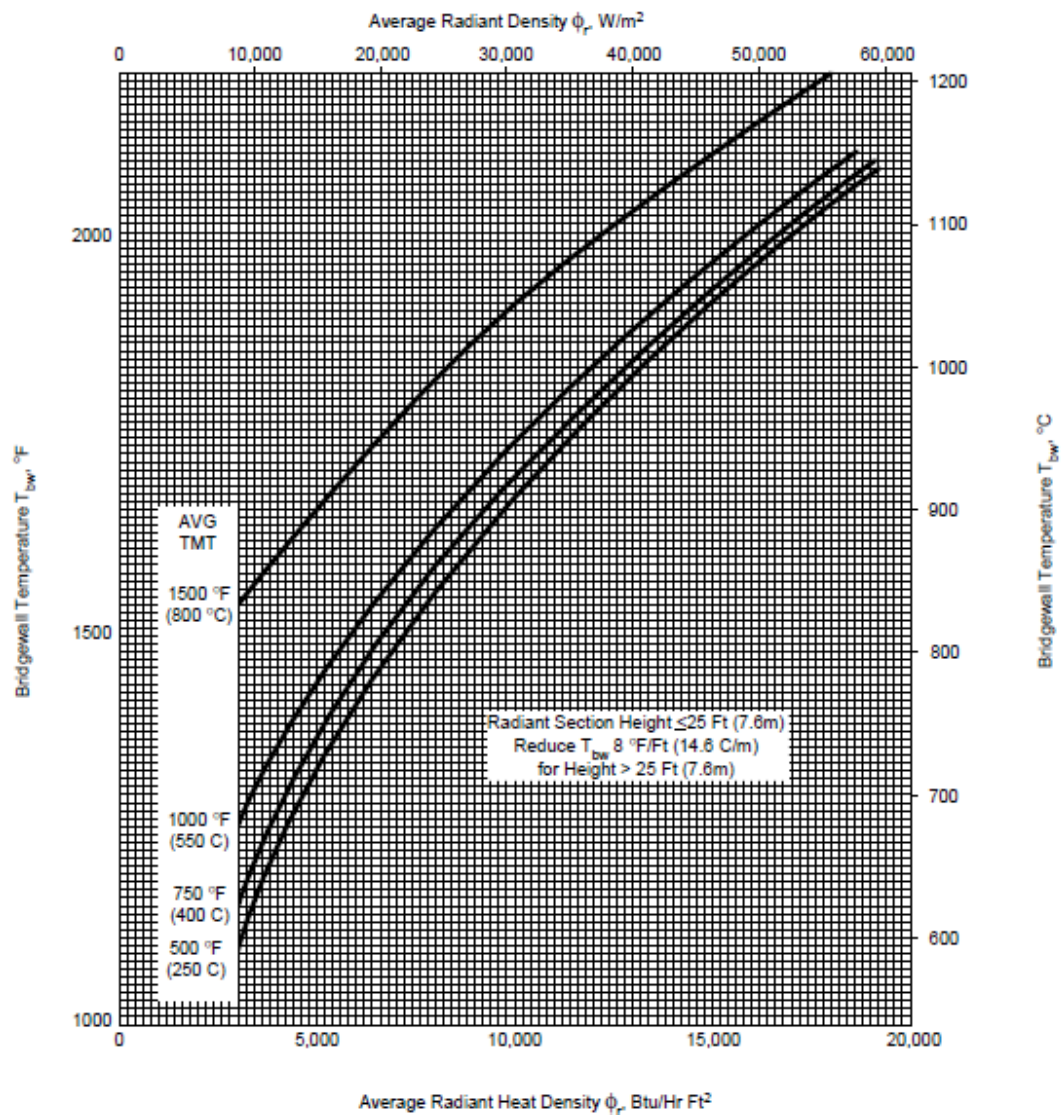
ID: قطر داخلی تیوب ها (mm)

S: تنش مجاز متناسب با جنس تیوب ها (psi)

۹- تخمین دمای گازهای حاصل از احتراق در خروجی از بخش تابش (bridge wall temperature):

عموما دمای خروجی از بخش تابش تابع متوسط دانسیته حرارت بخش تابش، متوسط دمای تیوب ها در این قسمت و شکل کوره است. در عمل علاوه بر موارد ذکر شده، دمای این گازها تابع نوع سوخت، درصد هوای اضافه، دمای هوای احتراق و فاصله بین تیوب ها در بخش تابش است با این حال تاثیر این پارامترها در مقایسه با موارد قبلی کم و در برخی موارد قابل چشم پوشی است. شکل ۴ ارائه شده برای سوخت های گازی و یا نفتی، درصد هوای اضافه ۱۵ تا ۵۰٪ و فاصله مرکز تا مرکز تیوب ها حدودا دو برابر قطر اسمی آن ها قابل استفاده است [3,7].

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089



شکل 4- دمای گازهای حاصل از احتراق در خروجی از بخش تابش [3]

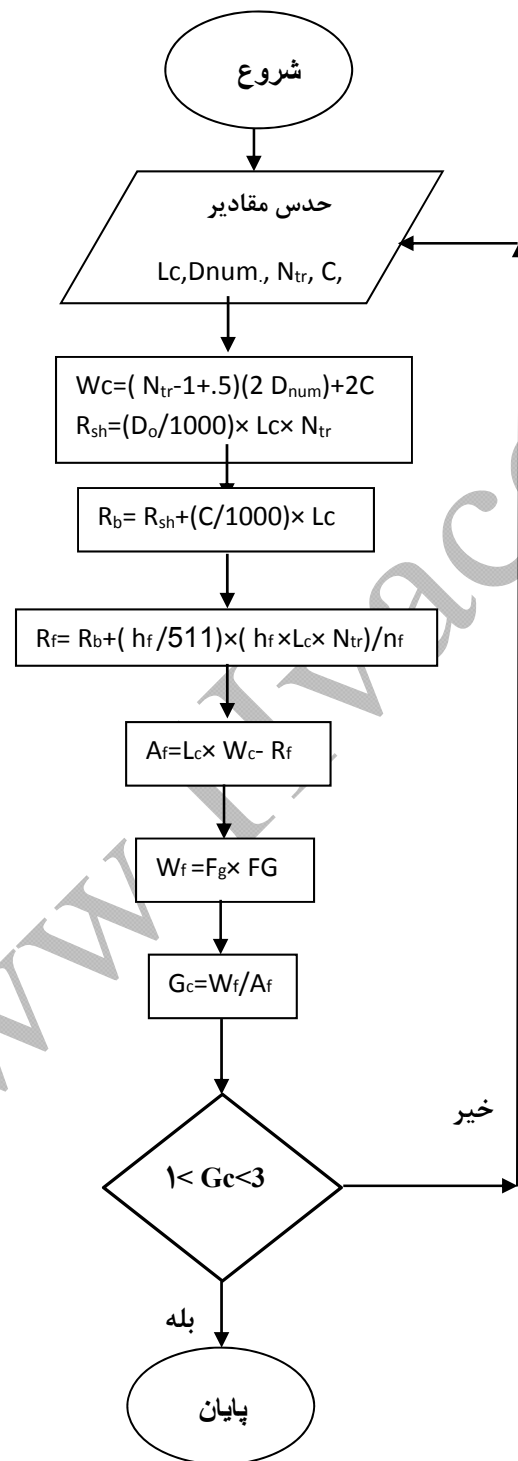
TMT: دمای گوشت لوله (tube metal temperature)

به عنوان حدس اولیه دمای گوشت لوله را ۵۰ درجه بالاتر از متوسط دمای سیال فرآیندی در نظر می گیرند.

### 3-2- طراحی بخش جابجایی

برای محاسبه ابعاد قسمت جابجایی بر اساس الگوریتم زیر عمل می شود.

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089



مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

#### شکل 5- الگوریتم محاسبات ابعاد بخش جابجایی

$L_c$ : طول بخش جابجایی (m)

$W_c$ : عرض بخش جابجایی (m)

$D_o$ : قطر خارجی تیوب‌ها در بخش جابجایی (mm)

$D_{num}$ : قطر اسمی تیوب‌های بخش جابجایی (mm)

$C$ : نصف فاصله مرکز تا مرکز دو تیوب مجاور (mm)

$h_c$ : طول فین‌ها (mm)

$N_{tr}$ : تعداد تیوب‌ها در هر ردیف

$R_{sh}$ : محدودیت عبور گازهای حاصل از احتراق در قسمت سپر (shield) ( $m^2$ )

$R_b$ : محدودیت عبور گازها در قسمت تیوب‌های بدون فین ( $m^2$ )

$n_f$ : فاصله فین‌ها از یکدیگر (mm)

$A_f$ : سطح عبوری گازهای حاصل از احتراق ( $m^2$ )

$W_f$ : دبی گازهای حاصل از احتراق (kg/s)

$FG$ : نسبت کیلوگرم گازهای حاصل از احتراق ب از کیلوگرم سوخت

$G_c$ : فلاکس جرمی گازهای حاصل از احتراق در بخش جابجایی ( $kg/m^2s$ )

#### 4-2- قطر و ارتفاع دودکش

معمولاً سرعت گازهای حاصل از احتراق در دودکش در حدود 10m/s در نظر گرفته می‌شود. با داشتن دبی این گازها قطر دودکش قابل محاسبه می‌باشد. عملاً قطر دودکش را دو سایز بزرگتر در نظر می‌گیرند.

ارتفاع دودکش‌ها صرفاً بر مبنای تامین مکش مورد نیاز کوره نبوده و عوامل زیست محیطی، زلزله، باد و طوفان نیز در آن دخیل می‌باشند. علاوه بر این ارتفاع دودکش باید حداقل 30 متر بالاتر از بلندترین تجهیز واحد بوده و در فاصله‌های به شعاع 30 متر از سایر تجهیزات واقع شود [7].

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

### 3- طرح صورت مسئله

با استفاده از نرم افزار HTRI Xchanger Suite® 6.4(Xfh®) بخش های تابش و جابجایی کوره H-101 پالایشگاه بندرعباس شبیه سازی و نتایج بدست آمده با روش ارائه شده مقایسه گردید. اطلاعات جدول ۵ به عنوان داده های اولیه و با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی واحد مورد نظر با استفاده از نرم افزار HYSYS ارائه شده که با اطلاعات کسب شده از واحد مطابقت دارد.

جدول ۵- اطلاعات اولیه طراحی کوره سیلندری H- 101

$T_{in}(C)$	$P_{in}(barg)$	$T_{out}(C)$	درصد بخار سیال خروجی	$P(kg/m^3)$	$C_p(W/m.C)$	$m(kg/hr)$
۱۸۷	۱۵/۵	۲۶۵	۰/۷	۶۱۵/۹۲	۰/۰۹۴۵	۱۰۱۰۴۲

جدول ۶- مقایسه نتایج بدست آمده با اطلاعات کسب شده از کوره

	پارامتر	واحد	نمونه حقیقی	محاسبات	HTRI
سوخت و مشعل	$Q_F$	MW	۱۴/۳	۱۳/۸	۱۴/۹
	$Q_{req}$	MW	۱۲/۰۳	۱۲	۱۲/۸
	$F_g$	kg/hr	۱۱۵۶	۱۱۴۹	۱۱۸۶
	NoB	-	۶	۶	۶
	$W_f$	kg/hr	۲۰۴۸۴	۲۰۵۷۲	۲۱۲۴۰
	efficiency	%	۸۶/۶	۸۷	۸۵/۵
بخش تابش	$D_{num}$	mm	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	$N_t$	-	۶۸	۶۸	۶۸
	Lr	m	۸	۸/۵	۸
	D	m	۵	۴/۷۵	۵
	$A_t$	$m^2$	۱۹۲	۱۹۳	۲۰۰
	P	-	۲	۲	۲
	R	-	-	۰/۵۲	-
bridge wall temp.	C	۹۱۵	۹۲۵	۹۶۵	
بخش جابجایی	$D_{num}$	mm	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	$N_{tr}$	-	۸	۸	۸
	$L_c$	m	۴/۲	۴/۳	۴/۲
	$T_s$	C	۲۵۱	۲۴۷	۲۷۰

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
HVACconf-IRSHRAE-1-089

#### ۴- نتیجه گیری

روش ارائه شده کاربرد وسیعی در زمینه طراحی و بهینه سازی کوره های سیلندری داشته و نتایج حاصله در مقایسه با نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار HTRI و اطلاعات بدست آمده از کوره مذکور رضایت بخش می باشد و با توجه به این مطلب که بیشتر جداول و نمودارهای استفاده شده براساس اطلاعات تجربی تهیه شده اند، در برخی از موارد مثل دمای گازهای حاصل از سوخت در هر بخش و مقدار سوخت مصرفی محاسبات در مقایسه با نتایج HTRI به نمونه حقیقی نزدیکتر بوده که این مطلب خود به نوعی صحت و دقت این روش را اثبات می کند و روشی قابل اعتماد برای بهینه سازی شرایط و پارامترهای عملیاتی به حساب می آید.

#### تشکر و قدردانی

با تشکر از آقای مهندس احسان رجایی که در تهیه و جمع آوری قسمتی از داده های مقاله یاری نمودند.

#### فهرست علائم

www.Hvaccconf.ir

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
 ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 HVACconf-IRSHRAE-1-089

$m$ : دبی جرمی سیال فرآیندی	$I_c$ : طول بخش جابجایی (m)
$C_p$ : ظرفیت حرارتی سیال فرآیندی (kJ/kg.C)	$W_c$ : عرض بخش جابجایی (m)
(Tout- Tin): اختلاف دما در ورود و خروج سیال فرآیندی	$D_o$ : قطر خارجی تیوب‌ها در بخش جابجایی (mm)
$\lambda$ : انرژی نهان تبخیر سیال (kJ/kg)	$D_{mm}$ : قطر اسمی تیوب‌ها در بخش جابجایی (mm)
$V.F$ : درصد بخار ایجاد شده	$C$ : نصف فاصله مرکز تا مرکز دو تیوب مجاور (mm)
$F_n$ : دبی خالص سوخت بر حسب (kg/s)	$h_c$ : طول فین‌ها (mm)
$Q_{req}$ : انرژی مورد نیاز سیال فرآیندی بر حسب (MW)	$N_{tr}$ : تعداد تیوب‌ها در هر ردیف
(HA)Ts: انرژی موجود در دمای دودکش بر حسب (MJ/kg)	$R_{sh}$ : محدودیت عبور گازهای حاصل از احتراق در قسمت سپر (shield) ( $m^2$ )
$F_g$ : دبی کلی مورد نیاز سوخت بر حسب (kg/s)	$R_b$ : محدودیت عبور گازها در قسمت تیوب‌های بدون فین ( $m^2$ )
$Q_F$ : مقدار حرارت تولیدی توسط سوخت بر حسب (MW)	$n_f$ : فاصله فین‌ها از یکدیگر (mm)
$NHB$ : میزان حرارت منتشر شده توسط هر مشعل (MW)	$R_f$ : محدودیت عبور گازها در قسمت تیوب‌هایی همراه با سطوح توسعه یافته ( $m^2$ )
$NoB$ : تعداد مشعل‌ها	$A_f$ : سطح عبوری گازهای حاصل از احتراق ( $m^2$ )
$q_r$ : فلاکس حرارتی در بخش تابش ( $w/m^2$ )	$W_f$ : دبی گازهای حاصل از احتراق (kg/s)
$P$ : تعداد پاس	$FG$ : نسبت کیلوگرم گازهای حاصل از احتراق به ازای یک کیلوگرم سوخت
$A_x$ : سطح مقطع به ازای یک تیوب ( $m^2$ )	$G_c$ : فلاکس جرمی گازهای حاصل از احتراق در بخش جابجایی ( $kg/m^2.s$ )
$D$ : قطر دیواره کوره سیلندری (m)	$LHV$ : ارزش حرارتی سوخت (kJ/kg)
$B$ : قطر دایره تیوب‌ها (m)	$A_r$ : سطح خارجی تیوب‌های بخش تابش ( $m^2$ )
$IPS$ : سایز اسمی تیوب (m)	$G$ : سرعت جرمی سیال فرآیندی درون کویل‌ها ( $kg/m^2.s$ )
$L_r$ : طول تیوب‌ها در قسمت تابش (m)	$t$ : ضخامت جداره تیوب‌ها (mm)
$A_o$ : سطح جانبی یک تیوب ( $m^2/m$ )	
$N_t$ : تعداد تیوب‌ها در بخش تابش	
$P$ : فشار سیال داخل تیوب‌ها	
$ID$ : قطر داخلی تیوب‌ها	
$S$ : تنش مجاز متناسب با جنس تیوب‌ها	
$TMT$ : دمای گوشت لوله	

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی  
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
HVACconf-IRSHRAE-1-089

## مراجع

- [1]. W. Trinks, M. H. Mawhinney, R. A. Shannon, R. J. Reed and J. R. Garvey, Industrial Furnaces, 6th Edition, Published by John Wiley & Sons, 2004 .
- [2]. Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, FPS VERSION Volumes I & II Sections 1-26, 2006 .
- [3]. ExxonMobil Research and Engineering Company, Fired Heaters, 2001 .
- [4]. API STD 560, Fired Heaters for General Refinery Services, 1995 .
- [5]. API 535, Burners for Fired Heaters in General Services, 1995 .
- [6]. P. Mullinger, B. Jenkins, Industrial and Process Furnaces, First edition 2008 , Elsevier Ltd.
- [7]. National Iranian Oil Refining and Distribution Company, NIOEC SP-00-50, 2006

www.Hvaccconf.ir