

ارائه راهکارهای مختلف جهت افزایش عمر لاینر و جلوگیری از سوختگی آن

سید محمد جوادی، مرتضی عنبر سوز، محمد مقیمان، غلامحسین احتشام زاده، ناصر قربان پناه

^۱ دانشجوی دکتری مکانیک، - دانشگاه فردوسی مشهد، mohammad.javadi@gmail.com^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، mortezaanbarsooz@yahoo.com^۳ استاد، گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، mmoghiman@yahoo.com^۴ و ^۵ کارشناس شرکت نیروگاههای گازی خراسان، نیروگاه قائن

چکیده

لاینرهای موجود در محفظه احتراق نیروگاه های گازی در صورت راه اندازی های مکرر واحد در شبانه روز، از محل تقاطع با کراس فایر تیوب دچار سوختگی می گردند. در این مقاله راهکارهای مختلف جهت کاهش شدت سوختگی و افزایش عمر این لاینرها با مطالعات میدانی و شبیه سازی رایانه ای مورد مطالعه قرار می گیرند. بررسی ها نشان می دهد مکش شعله به داخل لوله کراس فایر تیوب در لحظه راه اندازی واحد (به مرور زمان و به علت تکرر راه اندازی) دلیل عمده سوختگی می باشد. با توجه به اینکه هوای کمپرسور از طریق سوراخهای جانبی سطح لاینر به مشعل می رسد، قطر و توزیع این سوراخها می تواند نقش عمده ای بر شکل هندسی شعله و توزیع دما در داخل و روی سطح لاینر داشته باشد. از نتایج این مقاله ارائه تغییرات لازم در سوراخهای موجود در ناحیه سوختگی می باشد. نتایج نشان می دهد با افزایش تعداد سوراخها و افزایش حجم هوای ورودی ناشی از آن، دمای ناحیه مورد مطالعه (ناحیه سوختگی) ۲۰۰ درجه سانتیگراد افزایش یافته که دلیل آن احتراق کاملتر سوخت و هوا می باشد. همچنین حذف سوراخهای هوا اطراف ناحیه سوختگی، دمای سطح لاینر را ۱۵۰ درجه کاهش می دهد. نتایج نشان می دهد ایجاد پخی در ناحیه اتصال لاینر به محفظه احتراق اثر کمتری نسبت به کاهش تعداد سوراخها دارد. پیشنهاد می شود ناحیه مورد بررسی توسط مواد مناسب که بتوانند تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را تحمل کنند، پوشش داده شود. پیش بینی محل سوختگی با استفاده از شبیه سازی رایانه ای با نتایج عملیات میدانی موجود تطابق خوبی نشان می دهد.

مقدمه

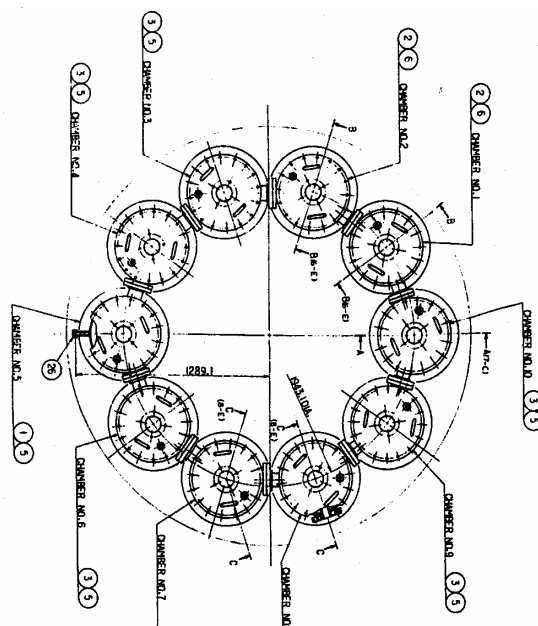
نیروگاه گازی قاین دارای سه واحد گازی F5 به ظرفیت اسمی هر واحد ۲۵ مگاوات و جمعاً به ظرفیت اسمی ۷۵ مگاوات می باشد. دو واحد از واحدهای نیروگاه از نوع هیتاچی و ساخت کشور ژاپن و یکی از آن ها از نوع آلستوم و ساخت کشور فرانسه می باشد. واحدهای هیتاچی محصول سال ۱۹۸۴ بوده و در سال ۱۳۶۷ در نیروگاه گازی قاین نصب و مورد بهره برداری قرار گرفته است و واحد آلستوم محصول سال ۱۹۷۴ بوده و واحد مستعملی بوده که از

نیروگاه منظر قائم کرج به نیروگاه قاین حمل و در سال ۱۳۷۳ نصب و مورد بهره برداری قرار گرفته است. هر کدام از این واحدها دارای ده اتاق احتراق بوده و هر اتاق احتراق شامل یک پوسته و یک لاینر و دو عدد کراس فایر تیوب و دو عدد کفشک نگه دارنده و یک عدد انژکتور سوخت می باشد. داده های موجود نشان می دهد لاینرهای این نیروگاه به طور مکرر از ناحیه تقاطع با کراس فایر تیوب دچار سوختگی و صدمه شدید می گردند شایان ذکر است که واحدهای نیروگاه با توجه به نوع سوختشان و همچنین راندمان پایین آنها، عموماً در پیک بار در مدار قرار می گیرند و روزانه استارت و استپ می شوند. مطالعات انجام شده نشان می دهد دلیل عمده نقص روی قطعات داغ به ویژه لاینرها، تعداد استارت و استپ ها و همچنین تنش های حرارتی، سوختگی و اکسیداسیون آنها می باشد [۱]. در این مقاله راهکارهای مختلف جهت کاهش شدت سوختگی و افزایش عمر لاینر بررسی می شود.

مدل هندسی

در شکل ۱ آرایش دایروی اتاقهای احتراق موجود نشان داده شده است. از ده اتاق احتراق فوق، دو اتاق احتراق دارای سیستم جرقه زن بوده و مشعل بقیه آنها، با انتقال شعله از طریق لوله کراس فایر تیوب (لوله شعله پخش کن) روشن می شود. همچنین موقعیت اتاق احتراق مورد مطالعه و نحوه اتصال آن به اتاقهای احتراق مجاور نشان داده شده است. ساختمان هر اتاق احتراق شامل انژکتور، لوله کراس فایر تیوب، لاینر، جدار خارجی (پوسته) و دو عدد کفشک می باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، جریان هوای کمپرسور از فضای بین لاینر و جدار خارجی آن وارد و از طریق سوراخهای موجود در سطح لاینر به شعله می رسد. جهت کاهش میزان سوختگی لاینر، اثر پارامترهای هندسی مختلف به ترتیب زیر مدلسازی شده اند:

- افزایش تعداد سوراخها در محل سوختگی
- کاهش تعداد سوراخها در محل سوختگی
- افزایش قطر ورودی کراس فایر تیوب با ایجاد پخ ۴۵ درجه

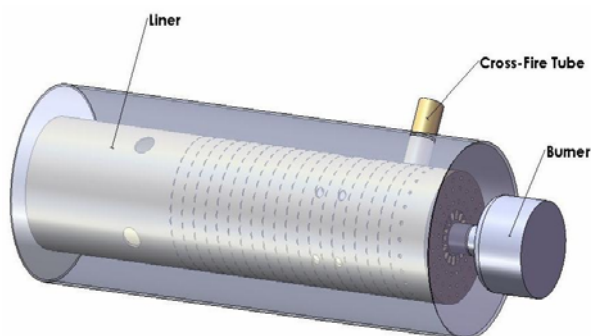


شکل ۱ - آرایش دایروی اتاقهای احتراق

در شکل ۲ ساختمان اتاق احتراق نشان داده شده است، جریان هوای کمپرسور از فضای بین لاینر و جدار خارجی آن وارد و از طریق سوراخهای موجود در سطح لاینر به شعله می رسد.



شکل ۳ - هندسه لاینر و کراس فایر تیوب مورد مطالعه



شکل ۲ - ساختمان اتاق احتراق مورد مطالعه

در شکل ۳ سوراخهای جانبی و قاعده لاینر (شکل بالا) و همچنین کراس فایر تیوب (شکل پائین) نشان داده شده است. توزیع هوا از طریق سوراخهای جانبی لاینر سبب اختلاط بهتر سوخت و هوا می گردد.

معادلات حاکم

جریان داخل محفظه احتراق مورد بررسی از نوع جریان آشفته همراه با تغییر غلظت گونه‌های شیمیایی ناشی از احتراق می‌باشد. معادلات حاکم بر پدیده، معادلات بقای جرم، اندازه حرکت، توربولنسی، انتقال گونه‌ها، انرژی و تشعشع در حالت پایدار نسبت به زمان می‌باشند. معادله اندازه حرکت به فرم زیر در نظر گرفته شده است:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

که تانسور تنش عبارتست از:

$$\tau_{ij} = [\mu(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \quad (2)$$

برای محاسبه اثرات آشفتگی بر خواص جریان و محاسبه ضریب هدایت حرارتی موثر و ویسکوزیته موثر از مدل Standard ϵ -k استفاده شده است.

که S_h ترم چشمه ناشی از حرارت آزاد شده از واکنش شیمیایی می‌باشد. همچنین

$$E = h - \frac{P}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} \quad (11)$$

که h از تعریف گاز ایده‌ال بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h = \sum_j m_j h_j \quad (12)$$

و

$$h_j = \int_{T_{ref}}^T C_{p,j} dT \quad (13)$$

شرایط مرزی

در مدلسازی انجام شده، برای دهانه ورودی هوای کمپرسور شرط ورودی سرعت در نظر گرفته شده است. با توجه به دبی هوای کمپرسور (۱۲۲ کیلوگرم بر ثانیه) و دبی سوخت گازوئیل (۱،۳ کیلوگرم بر ثانیه) سرعت هوای ورودی حدود ۱۵۰ متر بر ثانیه و سرعت سوخت حدود ۵ متر بر ثانیه محاسبه شده است. پس از مدلسازی لاینر و حفره‌های روی سطح آن، برای سطح لاینر از شرط مرزی دیوار و برای سوراخهای سطح آن از شرط محیط حل (interior) استفاده شده است. شرط مرزی انتهای لوله کراس فایر تیوب برای حالت راه اندازی (مشعل اتاق احتراق مجاور خاموش) به صورت شرط مرزی فشار خروجی (Pressure Outlet) در نظر گرفته می‌شود.

روش حل

جهت شبیه سازی جریان احتراقی داخل محفظه احتراق، از نرم افزار Fluent استفاده شده است. این نرم افزار قابلیت شبیه سازی جریانهای پیچیده احتراقی همراه با اثرات تشعشع را در هندسه های پیچیده سه بعدی دارد. برای تولید هندسه و شبکه ۳ بعدی نامنظم از نرم افزار Gambit استفاده شده است. در بهترین شبکه تولید شده از نظر دقت حل و زمان محاسبات محیط حل به ۳۳۵۶۲۵ مش حجم و ۵۷۶۵۱ گره تقسیم شده است (همراه با آنالیز همگرایی مش). در شکل ۴ شبکه روی سطح محفظه و در مقطع میانی لاینر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، شبکه اطراف سوراخهای جانبی لاینر، دهانه ورود سوخت و قاعده لاینر به علت تغییرات شدید متغیرها ریز شده است.

جهت حل معادلات حاکم از روش حجم کنترلی [۴] و برای انفصال معادلات از طرح آب ویند مرتبه دو [۵ و ۴] استفاده شده است. برای مدلسازی اثرات تابش از روش Discrete Ordinate استفاده گردیده است. در این روش معادله انتقال شدت تابش همزمان با سایر معادلات بقا حل می‌شود [۶].

مدل استاندارد از دو معادله زیر برای محاسبه K و ε استفاده می‌نماید.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad} k \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \text{grad} \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

این معادلات شامل ۵ ثابت قابل تنظیم می‌باشند. مدل $k - \varepsilon$ استاندارد، مقادیر زیر را برای ثابت‌هایی که در یک محدوده وسیع جریان‌های آشفته وارد می‌شوند، بکار می‌برد [۲].

$$\sigma_k = 1 \quad \sigma_{1\varepsilon} = 1.44 \quad C_\mu = 0.09 \quad \sigma_{2\varepsilon} = 1.92 \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

اعداد پرانتل σ_k و σ_ε ، قابلیت نفوذ ε و k را به ویسکوزیته μ_t مرتبط می‌سازد.

با محاسبه مقادیر k و ε ، ویسکوزیته توربولنس و ویسکوزیته موثر از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (6)$$

و برای مدلسازی جریان احتراقی و محاسبه انتقال گونه‌ها از مدل Eddy-Dissipation استفاده شده است [۳]. معادلات انتقال گونه‌ها (به تعداد $N-1$ معادله که N تعداد گونه‌ها می‌باشد) عبارتند از:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i m_i) = - \frac{\partial}{\partial x_i} J_{i,j} + R_i \quad (7)$$

که در آن:

$$J_{i,i} = -(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t}) \frac{\partial m_i}{\partial x_i} \quad (8)$$

و ضریب پخش گونه‌ها در مخلوط بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_{i,m} = (1 - X_i) / \sum_{j,j \neq i} X_j / D_{ij} \quad (9)$$

همچنین معادله بقای انرژی در پدیده با واکنش شیمیایی (احتراق) عبارتست از:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\lambda_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij})_{eff}) + S_h$$

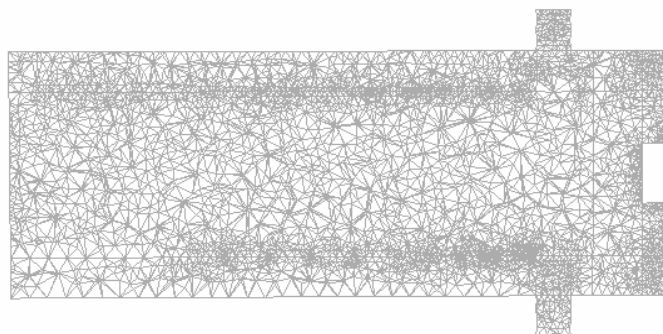
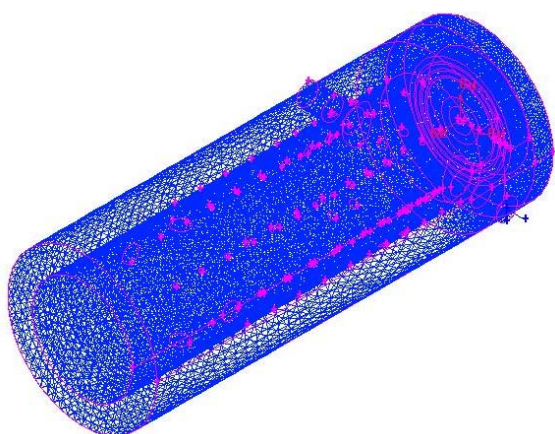
نتایج

همانطور که گفته شد نیروگاه قائن بدلیل موقعیت و شرایط خاص آن دارای راه اندازی های مکرر در طول شبانه روز می باشد. در شکل ۵ توزیع دمای سطح لاینر در حالت راه اندازی واحد نشان داده شده است. ناحیه سوختگی لاینر با نتایج شبیه سازی توافق خوبی نشان می دهد (شکل ۶).

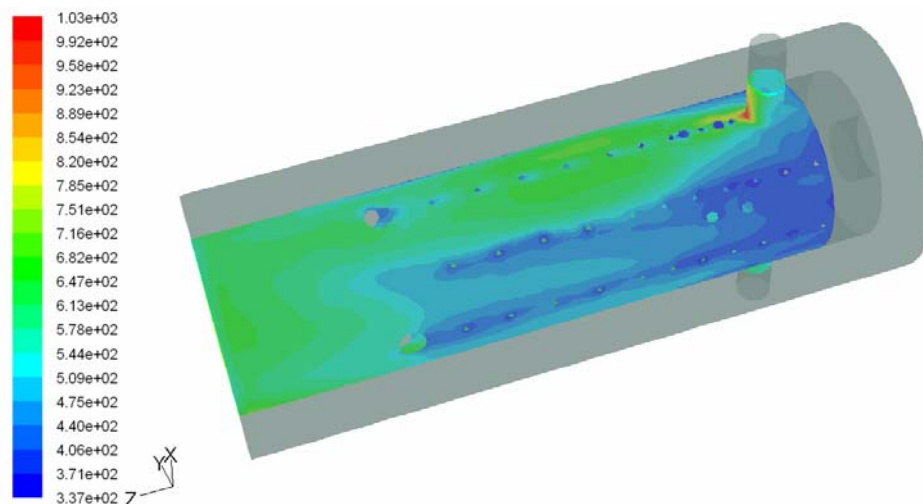
جهت کاهش سوختگی و افزایش عمر لاینر، در این مقاله راهکارهای مختلفی پیشنهاد و نتایج آنها ارائه شده است. در شکل ۷ اثر افزایش سوراخهای سطح جانبی لاینر در محل سوختگی نشان داده شده است. مشاهده می شود با افزایش حجم هوای ورودی به این ناحیه،

احتراق کاملتر شده و دمای ناحیه سوختگی حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد (بدون در نظر گرفتن فرایند ذوب) افزایش یافته که سوختگی را افزایش می دهد. افزایش قطر سوراخهای سطح لاینر در این منطقه نیز به دلیل افزایش حجم هوای ورودی نتیجه ای مشابه به دنبال خواهد داشت.

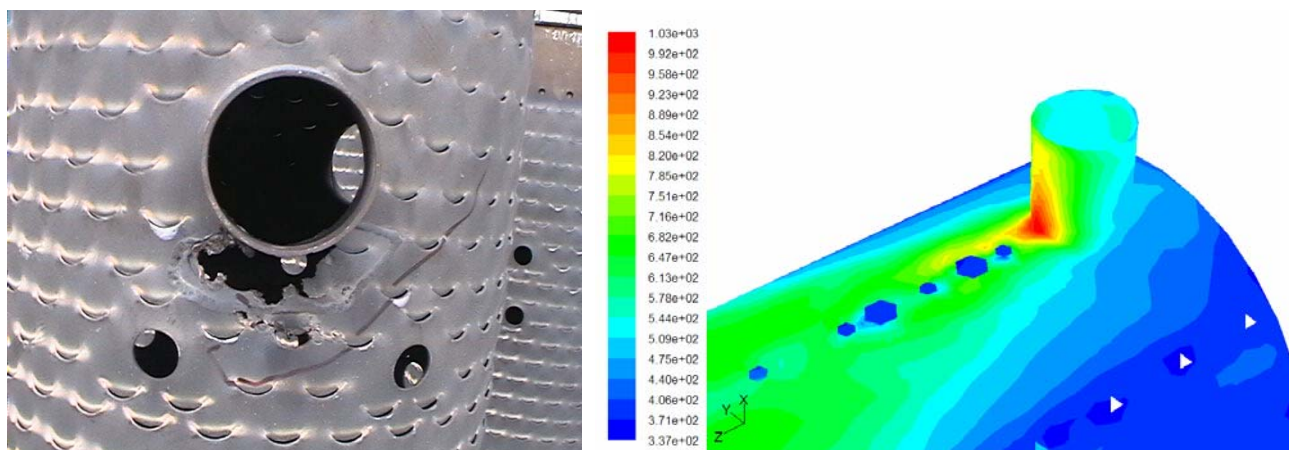
در شکل ۸ اثر ایجاد پخ ۴۵ درجه در محل تقاطع کراس فایر تیوب با لاینر نشان داده شده است. به دلیل بهبود مسیر حرکت سیال، دمای ماکزیمم ناحیه سوختگی ۵۰ درجه سانتیگراد کاهش نشان می دهد که میزان چشمگیری جهت کاهش سوختگی نمی باشد.



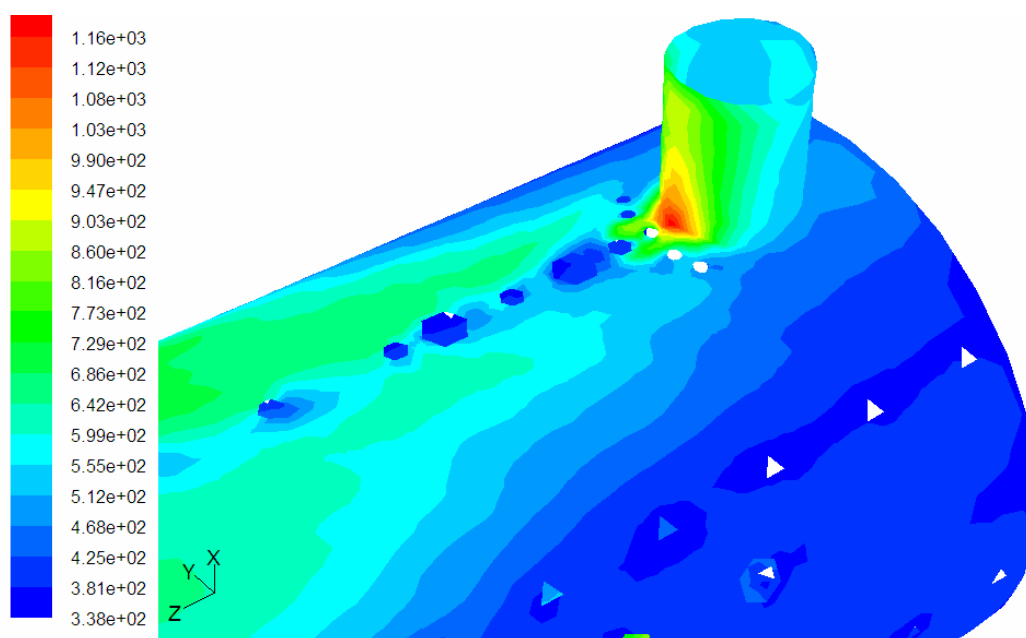
شکل ۴ - شبکه بندی محیط حل



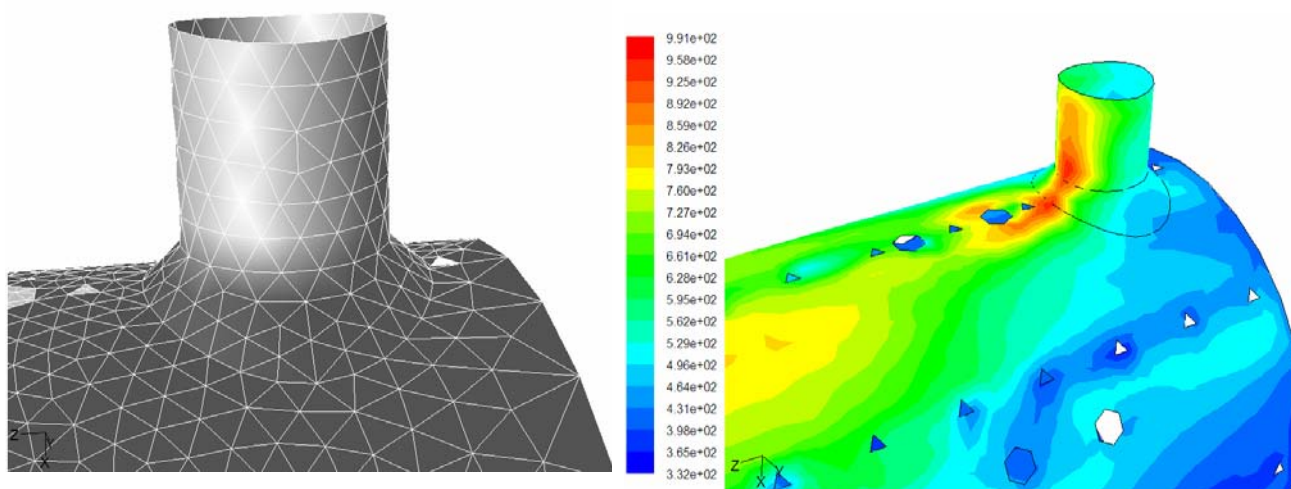
شکل ۵ - توزیع دما بر روی جدار لاینر



شکل ۶- ناحیه سوختگی لاینر در محل تقاطع با کراس فایر تیوب



شکل ۷- کانتور دمای جدار لاینر در حالت افزایش سوراخهای هوا در محل سوختگی



شکل ۸- ایجاد پخ ۴۵ درجه در مدل هندسی و کانتور دما بر روی بدنه لاینر

نتیجه گیری نهایی

در این مقاله راهکارهای مختلف جهت کاهش شدت سوختگی و افزایش عمر لاینر بررسی شده است. بررسی ها نشان می دهد مکش شعله داخل کراس فایر تیوب در لحظه راه اندازی واحد دلیل عمده سوختگی می باشد. یکی از راهکارهای ارائه شده، افزایش تعداد سوراخها در ناحیه سوختگی بوده که نتایج نشان می دهد سبب افزایش دما به میزان ۲۰۰ درجه می شود. از طرفی حذف سوراخهای هوا اطراف ناحیه سوختگی، دمای سطح لاینر را ۱۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می دهد. ایجاد پخ در محل تقاطع لاینر با کراس فایر تیوب باعث کاهش دمای حداکثر می شود اما این کاهش نمی تواند مانع از آسیب دیدگی و سوختگی لاینر شود. همچنین می توان ناحیه سوختگی را با مواد مناسب که بتوانند تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را تحمل کنند، پوشش داد.

مراجع

- [۱] بررسی سوختگی لاینرهای نیروگاههای گازی در محل تقاطع با کراس فار تیوب، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق
- [2] Schlichting, H, "Boundary-Layer Theory", 2000
- [3] Warnatz J., Maas R., Dibble W., "Combustion: Physical and chemical fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation", Springer, 4th Edition, 2006
- [۴] پتنکار، س، ترجمه دکتر مقیمان، محمد، "محاسبات عددی- کامپیوتری انتقال حرارت و حرکت سیالات"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۳۳، ۱۳۷۷
- [۵] ورستیگ، مالالاسکرا، ترجمه دکتر شجاعی فرد، محمد حسن، نورپور هشترودی، علیرضا، "مقدمه ای بر دینامیک سیالات محاسباتی *cfd*، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹
- [6] G. D. Raithby and E. H. Chui. A Finite-Volume Method for Predicting a Radiant Heat Transfer in Enclosures with Participating Media. J. Heat Transfer, 112:415-423, 1990