

شبیه سازی آبگرمکن گازسوز خانگی و بررسی اثر کلاهدک تعدیل و موانع \wedge و \vee بر نرخ انتقال حرارت در تنوره

سید امیر کرمی نژاد^۱، حمید ممهدی هروی^۲، سبحان نبوی^۳، سید محمد جوادی^۴

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد مشهد
korminejad@mshdiau.ac.ir

چکیده

در این مقاله، احتراق در آبگرمکنهای گازی خانگی مخزن دار و تاثیر هندسه تنوره بر نرخ انتقال حرارت و راندمان حرارتی آن، به کمک شبیه سازی عددی مطالعه شده است. با توجه به راندمان بسیار پایین این نوع آبگرمکنها، راهکارهای مختلفی بصورت ایجاد موانع در مسیر جریان و استفاده از کلاهدک تعدیل جهت بهبود تبادل حرارت بین محصولات احتراق و مخزن مایع ارائه و شبیه سازی گردیده است. نتایج بررسیها نشان می دهد وجود موانع به شکلهای \wedge و \vee در مسیر محصولات احتراق با توجه به تشکیل جت سیال و گردابه در پشت موانع، سبب افزایش ضریب انتقال حرارت و زمان ماند محصولات احتراق داخل تنوره می گردد. همچنین کلاهدک تعدیل به دلیل کاهش میزان مکش هوا از کف آبگرمکن، ضمن افزایش زمان ماند محصولات احتراق در داخل تنوره، مانع کاهش دمای آنها به دلیل اختلاط با هوای سرد بیرون می شود.

واژه های کلیدی: شبیه سازی عددی - آبگرمکن گازسوز - افزایش راندمان - کلاهدک تعدیل - ایجاد مانع

1- مقدمه

احتراق قدیمی ترین فناوری بشر است، که بیش از یک میلیون سال است که استفاده می شود. در حال حاضر، حدود 90٪ انرژی سراسر جهان به وسیله احتراق تامین می شود. به همین دلیل مطالعه پدیده احتراق از اهمیت خاصی برخوردار است. بخاطر محدودیت منابع سوختهای فسیلی و آلودگی زیست محیطی ناشی از سوختن آنها، طراحی وسائل احتراقی با راندمان بالا بسیار ضروری می باشد [1]. از طرفی پیچیدگیهای حاکم بر پدیده احتراق سبب شده، تا مطالعه این پدیده نیاز به مدلسازی دقیق ریاضی و تحلیل های دقیق تئوری داشته باشد. از طرفی ارائه مدلی جامع که توانایی بررسی کامل پدیده احتراق را داشته باشد، بسیار مشکل است زیرا علاوه بر تحلیل واکنشهای پیچیده شیمیایی (اکسیداسیون هیدروکربنها، سازوکارهای واکنش سریع، ...) نیازمند تسلط بر ترمودینامیک (انجام محاسبه انتقال حرارت مبادله شده) و مکانیک سیالات (جریان مغشوش با تغییر چگالی و پتانسیل تولید اغتشاش در اثر آزاد شدن حرارت) می باشد [1]. در سالهای اخیر مطالعه احتراق در تجهیزات گازسوز خانگی بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. در این تجهیزات طراحی سنتی و نامناسب بخشهای اختلاط سوخت و هوا، تنوره، دودکش و مشعل سبب راندمان حرارتی پایین و اتلاف زیاد سوخت شده است. طراحی تنوره برای

- 1- مربی، مهندسی مکانیک - گرایش طراحی جامدات
- 2- استادیار، مهندسی مکانیک - گرایش احتراق
- 3- دانشجوی کارشناس ارشد مکانیک - تبدیل انرژی
- 4- دانشجوی دکتری مکانیک - تبدیل انرژی

جذب حرارت آزاد شده از احتراق سوخت به محیط مورد نظر یکی از بخشهای مهم و موثر بر راندمان حرارتی تجهیزات گازسوز خنکی مانند آبگرمکنهای گازی می باشد. در طرحهای نوین این آبگرمکنها، ظرفیت مخزن به مقدار زیادی کاهش یافته و از مبدل حرارتی جهت انتقال حرارت به آب استفاده شده است. این آبگرمکنها با وجود راندمان بالا، از معایب خاصی مانند عملکرد نامناسب در فشار آب کم و دبی های زیاد برخوردار می باشد.

سوخت مورد استفاده در این تجهیزات، متان می باشد. با توجه به ساختار گاز متان و نوع احتراق آن در سیستمهای مورد بررسی، احتراق کامل این نوع گاز با هوا به نسبت ده به یک و از رابطه شیمیایی زیر محاسبه می گردد [1]:



از احتراق ناقص متان گونه های دیگری نیز در میان محصولات مشاهده می شود که مهمترین آنها CO (منواکسید کربن) می باشد. این نوع گاز در دمای بالا، در صورت وجود اکسیژن کافی به CO₂ تبدیل می گردد. واکنش تبدیل CO به CO₂ گرمایی زیادی تولید کرده و سبب افزایش راندمان محصولات احتراق می شود.

در این مقاله انتقال حرارت و احتراق در آبگرمکنهای مخزن دار به کمک شبیه سازی عددی مطالعه می گردد. همچنین اثر قرارگیری موانع \wedge و \vee در داخل تنوره جهت افزایش انتقال حرارت و راندمان این تجهیزات در دو حالت با و بدون کلاهک تعدیل بررسی گردد.

2- معادلات حاکم

برای شبیه سازی احتراق آشفته باید معادلات حاکم بر پدیده شامل معادلات بقای جرم، اندازه حرکت، توربولنسی، انتقال گونه ها، تابش و انرژی بطور همزمان حل شوند. برای شبیه سازی جریان آشفته از مدل RNG k- ϵ و برای احتراق از مدل Eddy-Dissipation استفاده شده است [2].

در مدل آشفته RNG k- ϵ ضریب هدایت موثر (در معادله انرژی) بر اساس اثرات آشفته گی و ضریب هدایت سیال مطابق رابطه زیر محاسبه می گردد [2]:

$$\lambda_{eff} = \alpha C_p \mu_{eff} \quad (3)$$

لزجت موثر بصورت مجموع لزجت توربولنسی و لزجت سیال تعریف شده، که لزجت توربولنسی از رابطه زیر محاسبه می شود [3,4]:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

مقادیر پیش فرض ضرایب ثابت برای مدل k- ϵ به شرح زیر می باشند [3]:

$$C_\mu = 1.92 \quad \sigma_\epsilon = 1.3 \quad \sigma_k = 1.0 \quad C_{I\epsilon} = 1.44 \quad C_{2\epsilon} = 1.92 \quad (5)$$

معادلات انتقال گونه ها (به تعداد N-1 معادله که N تعداد گونه ها می باشد) عبارتند از [3]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i m_{i2}) = - \frac{\partial}{\partial x_i} J_{i^2,i} + R_{i^2} \quad (6)$$

که در آن J از رابطه زیر بدست می آید:

$$j_{i^2,i} = - \left(\rho D_{i^2,m} + \frac{\mu_i}{Sc_i} \right) \frac{\partial m_i}{\partial x_i} \quad (7)$$

فرم کلی معادله حرکت بصورت زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (8)$$

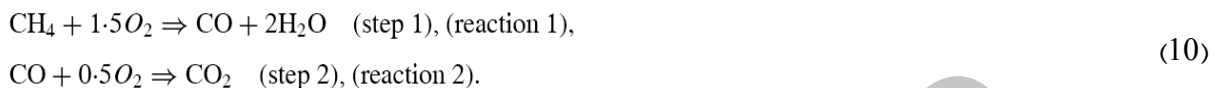
معادله بقاء انرژی همراه با معادله واکنش شیمیایی در زیر آورده شده است [5]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_{j^2} h_{j^2} J_{j^2} + u_j (\tau_{ij})_{eff} \right) + S_h \quad (9)$$

که S_h ترم چشمه ناشی از حرارت آزاد شده از واکنش شیمیایی می باشد.

3- احتراق

در این مقاله بدلیل اهمیت مطالعه CO، مکانیزم دو مرحله ای برای احتراق متان با هوا در نظر گرفته شده است [1]:



بر اساس این مکانیزم در مرحله اول از اکسیداسیون متان، گاز منواکسید کربن و بخار آب تشکیل می شود. سپس از اکسیداسیون منواکسید کربن، گاز دی اکسید کربن تشکیل می شود.

جرم سوخت ورودی (m_f) بر حسب ظرفیت حرارتی سوخت (LCV)، جرم مولی (M_f) و ظرفیت حرارتی آبگرمکن (ξ) محاسبه می شود:

$$m \xi_f = \xi \cdot M_f / LCV \quad (11)$$

که LCV بر حسب آنتالپی محصولات احتراق (H_p) و آنتالپی واکنش دهنده ها (H_R) محاسبه می شود.

اثر تابش محصولات احتراق نیز بصورت ضریب جذب موثر گازهای CO_2 و H_2O از روش WSGGM وارد محاسبات تابش گردیده است [6].

3-1- مدل احتراق

در جریان های آشفته همراه با واکنش های شیمیایی نرخ واکنش از مدل Eddy-Dissipation محاسبه شده و برای استفاده در ترم چشمه معادله انتقال گونه ها محاسبه می شود [7]. در این مطالعه نرخ واکنش از مدل Eddy-Dissipation بر پایه مدل مگنسن-هرتاگر [5] استفاده شده است. ترم چشمه گونه i در واکنش بر حسب تعداد مراحل واکنش k بصورت زیر محاسبه می شود:

$$R_{i^2} = M_{i^2} \sum_{k=1}^{N_R} R_{i^2,k} \quad (12)$$

اثر توربولنسی روی نرخ انجام واکنش بر مبنای مدل مگنسن-هرتاگر محاسبه می شود.

4- شبیه سازی عددی احتراق

در این مطالعه پس از تولید هندسه 3 بعدی مورد نظر و شبکه متناسب با آن، شرایط مرزی مسئله تعیین و دستگاه معادلات حاکم حل شده است.

4-1- مشخصات آبگرمکن

در این مقاله با هدف مطالعه یکی از نمونه های متداول و مورد استفاده اکثر خانواده های ایرانی، آبگرمکن با مشخصات زیر شبیه سازی شده است. حجم مخزن 200 لیتر و سوخت مصرفی آن $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ می باشد. در شکل 1 نمای سه بعدی آبگرمکن و محفظه احتراق آن، نشان داده شده است.

2-4- شرایط مرزی

محاسبه شرایط مرزی ورودی بخصوص نسبت سوخت و هوای ورودی از اهمیت خاصی برخوردار است. جهت احتراق کامل متان، 40٪ هوای اضافی نیز در ورودی وارد شده است. سرعت سیال با توجه به سطح مقطع و دبی محاسبه شده، بدست می آید. کسرهای جرمی گونه ها در ورود، بر حسب واکنشهای شیمیایی وارد معادلات میشوند. گازهای خنثی با وجود عدم شرکت در واکنش های شیمیایی بعلت تاثیر در انتقال حرارت در محاسبات وارد شده اند. دمای ورودی نیز 300 درجه کلوین در نظر گرفته شده است.

3-4- شناوری

جهت اعمال اثرات شناوری، تغییر چگالی محصولات احتراق با افزایش درجه حرارت و تاثیر جاذبه در نظر گرفته شده است. کاهش چگالی محصولات احتراق نسبت به هوای بیرون (نیروی شناوری) سبب خروج آسانتر محصولات احتراق از دودکش و مکیده شدن هوای بیرون بداخل محفظه از منافذ اطراف و پایین جدار آبگرمکن می شود. این هوای مکیده شده اکسیژن لازم جهت احتراق کامل را تامین می کند. به دلیل اثرات شناوری و نقش مهم دودکش بر آن، تعیین طول و قطر دودکش مناسب در وسایل گاز سوز نقش مهمی بر راندمان و تولید آلاینده های حاصل از احتراق دارد.

4-4- حل عددی

در این مقاله معادلات بقای اوپلری با در نظر گرفتن روش حجم کنترلی و با اعمال روش تکرار خط به خط و الگوریتم SIMPLE لحاظ شده است.

5- بررسی نتایج و بحث

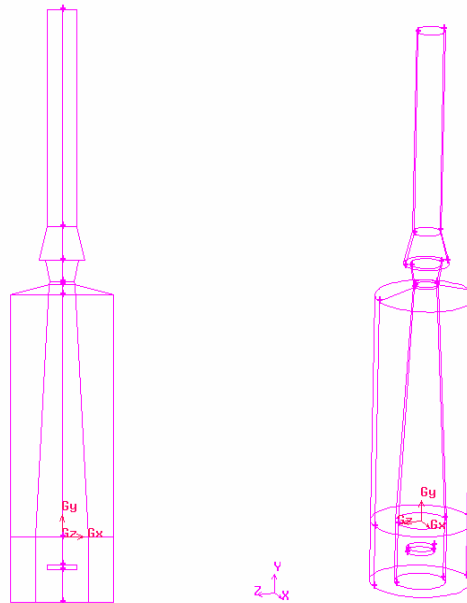
در شکل 2 مسیر خطوط جریان برای موانع مختلف و در حالت بدون موانع نشان داده شده است. وجود موانع سبب می شود تا تمام دبی ورودی (دبی محصولات احتراق) از فضای بین موانع و جدار تنوره عبور کرده، که این خود سبب افزایش سرعت سیال می شود. در شکل 3 و 4 بردارهای سرعت اطراف موانع فوق در داخل تنوره نشان داده شده است. در این شکلها بخوبی می توان افزایش سرعت سیال و گردابه پشت و جلوی موانع را مشاهده نمود. در شکل 5 سرعت جریان سیال در راستای جاذبه نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد در نمونه شبیه سازی شده با استفاده از موانع \vee شکل، انتقال حرارت تا 2/2 برابر و برای موانع \wedge شکل انتقال حرارت تا 2/27 برابر افزایش یافته است. در این مقاله تعداد موانع تا 4 عدد مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش تعداد موانع، نرخ افزایش راندمان کاهش یافته و افت فشار ناشی از آنها افزایش چشمگیری می یابند. اثر کلاهدک تعادل بر انتقال حرارت و میزان مکش هوا از کف در شکلهای 6 تا 8 مقایسه شده اند. در حالت استفاده از کلاهدک تعدیل همزمان با موانع فوق این افزایش به ترتیب به 2/34 و 2/38 برابر افزایش می یابد. تعداد، فاصله و ابعاد موانع می توانند نقش مهمی در میزان افزایش راندمان داشته باشند. موانع داخل دودکش در حالت بدون کلاهدک تعدیل، مکش هوا را تا 60٪ و با کلاهدک تعدیل تا 75٪ کاهش می دهد. این کاهش شدید هوای مکشی سبب افزایش زمان تبادل حرارت، افزایش دمای مخلوط محصولات احتراق و هوای مکشی و افزایش ضریب انتقال حرارت روی سطح تبادل حرارت می گردد. لازم به ذکر است که دمای بی بعد نسبت اختلاف دمای خروجی با دمای محیط به اختلاف دما خروجی در حالت بدون کلاهدک و مانع با محیط تعریف شده است.

6- نتیجه گیری کلی

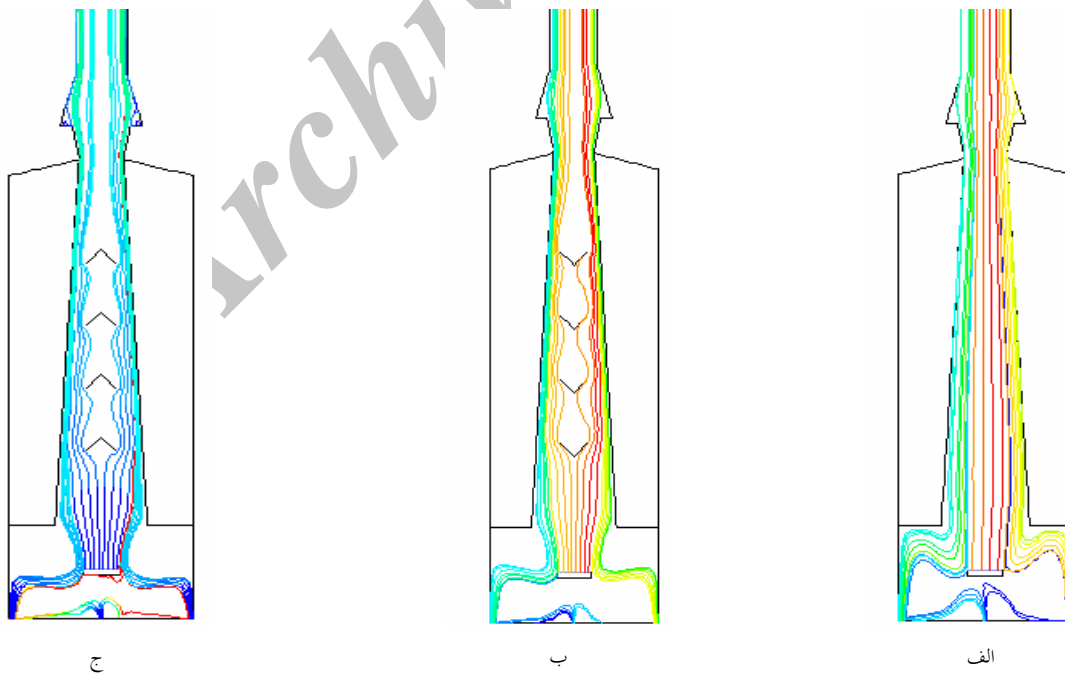
در این بخش اثر موانع \vee و \wedge شکل در دو حالت با استفاده از کلاهدک تعدیل و بدون کلاهدک تعدیل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد:

- قرار دادن موانع \wedge , \vee شکل داخل محفظه تنوره آبگرمکن، راندمان حرارتی آنرا تا حدود 2 برابر افزایش می دهند.
- وجود کلاهک تعدیل به دلیل کاهش مکش هوا از کف آبگرمکن سبب افزایش راندمان می گردد.
- افزایش زمان ماند محصولات احتراق و افزایش سرعت سیال در نزدیک سطح تنوره دو عامل مهم در افزایش انتقال حرارت می باشند.

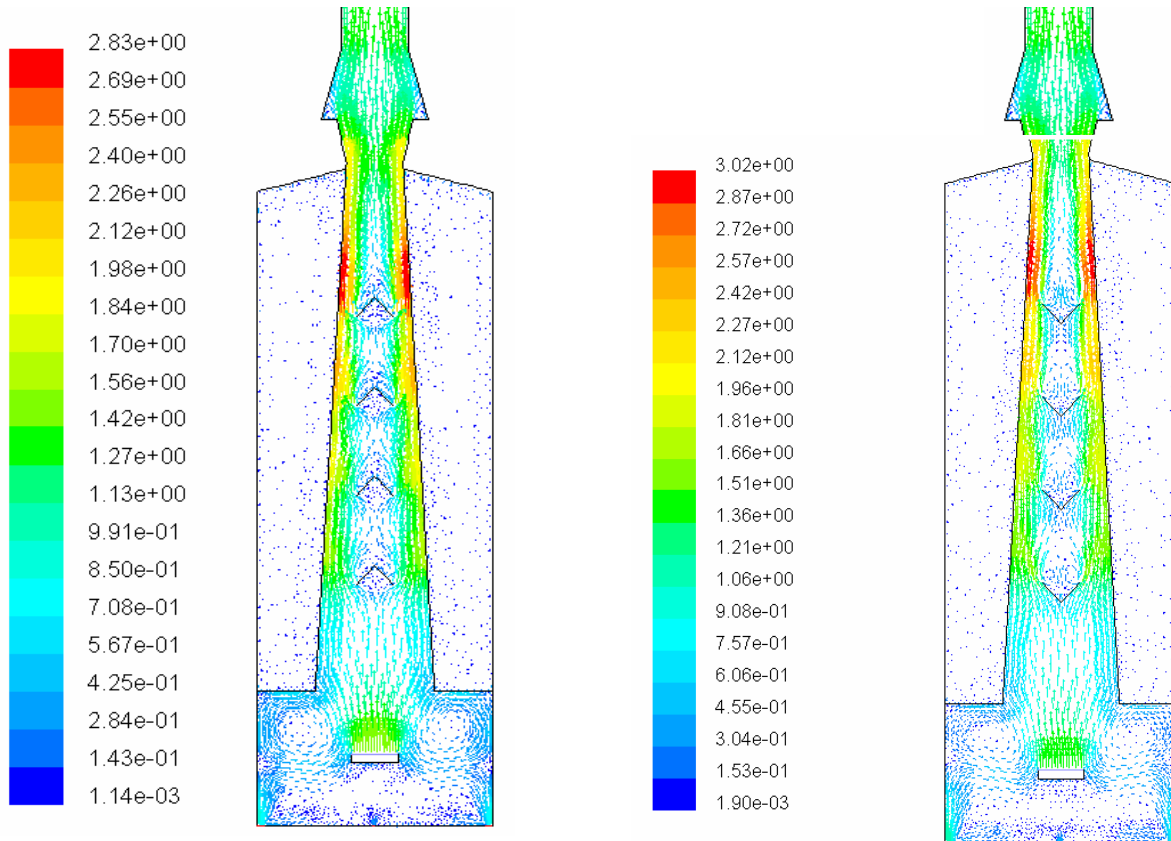
7- شکل‌ها و نمودارها



شکل 1- هندسه آبگرمکن مورد مطالعه با کلاهک تعدیل در دو نما

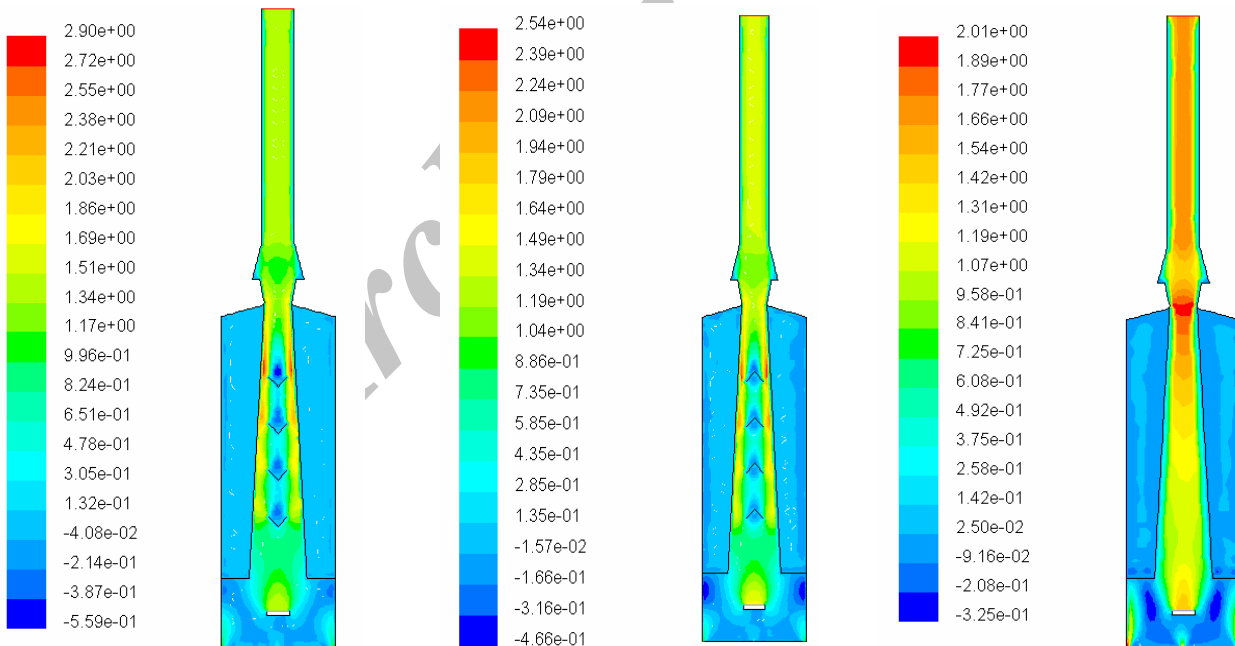


شکل 2- مسیر خطوط جریان در سه حالت الف) بدون مانع، ب) موانع \wedge (ج) موانع \vee

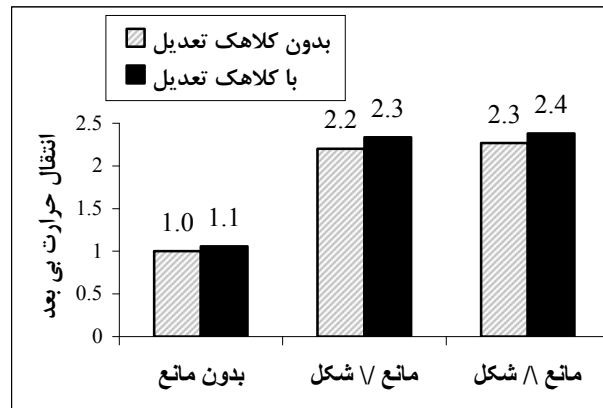
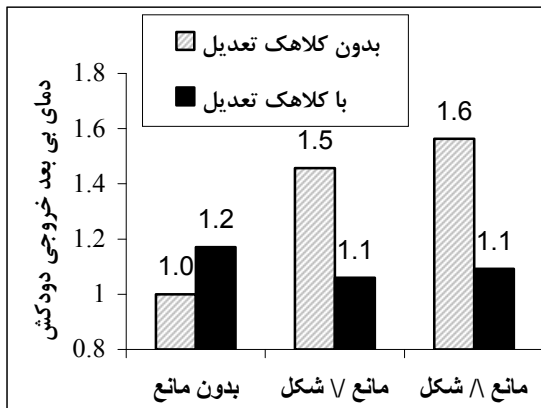


شکل 4- بردارهای سرعت در محفظه احتراق با موانع \wedge

شکل 3- بردارهای سرعت در محفظه احتراق با موانع \vee

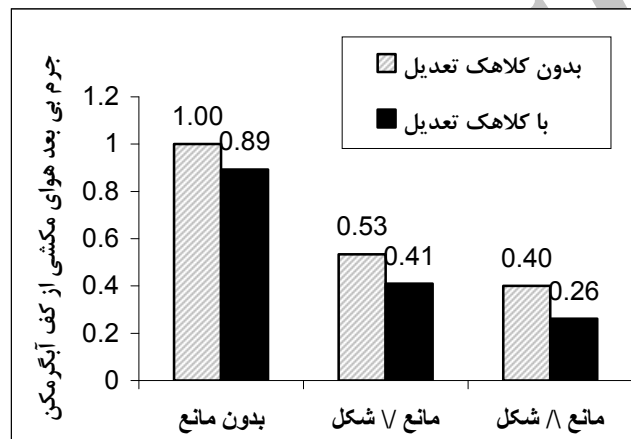


شکل 5- توزیع سرعت عمودی در داخل آبگرمکن در حالات بدون مانع، موانع \vee و موانع \wedge شکل



شکل 7- مقایسه دمای خروجی دودکش بی بعد در دو حالت با کلاهک تعدیل و بدون کلاهک تعدیل برای موانع مختلف داخل محفظه احتراق

شکل 6- مقایسه انتقال حرارت در دو حالت با کلاهک تعدیل و بدون کلاهک تعدیل برای موانع مختلف داخل محفظه احتراق (نسبت به حالت آبگرمکن بدون مانع و کلاهک تعدیل)



شکل 8- مقایسه جرم بی بعد هوای ورودی از کف آبگرمکن در دو حالت با و بدون کلاهک تعدیل (نسبت به حالت بدون کلاهک تعدیل و مانع)

مراجع

- 1- J. Warnatz, U. Maas, R.W. Dibble, "Combustion: Physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experimental, pollutant formation" 4th edition, pub. Springer, 2006
- 2- Subramaniam, S. and Howarth, D.C., "A PDF method for turbulent mixing and combustion on threedimensional unstructured deforming meshes," Int. J. Engine Res. 1: 171-190, 2000.
- 3- Pope, S.B. "Computations of turbulent combustion: progress and challenges," Proc. Combust. Inst. 23:591-612, 1990.
- 4- Muradoglu, M., Pope, S.B., Caughey, D.A., "The hybrid method for the PDF equation of turbulent reacting flows: consistency conditions and correction algorithms," J. Comput. Phys. 172: 841-878, 2001.
- 5- Magnussen B F, Hjertager B H, on mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. In 16th Int. Symposium on Combustion (Philadelphia, PA: The Combustion Institute), 1976.
- 6- M. Moghiman, "Measurement and modeling of flue height influence on air pollution emissions and thermal efficiency of natural-draught gas fire boiler", International Journal of engineering 15, Transaction B: Application, 2002
- 7- J. M. Rahin, R. J. Tucker, "Modeling of gas-Fired furnaces and boilers", McGraw-Hill, London, 1991