

اثر تخلخل بستر بر عملکرد پیش گرم کن آهن قراضه

احسان معراجی همدانی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تبدیل انرژی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
ehsan.meraji@yahoo.com

ابراهیم حاجی دولو

استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز
hajidae@scu.ac.ir

چکیده

یکی از روشهای مهم صرفه جویی انرژی، پیش گرمایش آهن قراضه توسط گازهای داغ خروجی از کوره قوس الکتریکی در سبدهای مخصوص انتقال آهن قراضه می باشد. در این پژوهش از فرض محیط متخلخل برای مدلسازی اجزای آهن قراضه درون سبد استفاده شده و عملکرد سبد پیش گرم کن با تغییر تخلخل بستر بررسی شده است، معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی در فاز جامد و گاز برای مدلسازی فرآیند انتقال حرارت گذرا استفاده شده است. و تغییرات دمای گاز داغ کوره و آهن قراضه در مدت زمان پیش گرمایش درون سبد با فرض عدم تعادل حرارتی و همسانگرد بودن محیط متخلخل سبد محاسبه شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد با افزایش تخلخل بستر تا مقدار ۰,۹۳ میزان صرفه جویی انرژی به مقدار 72 kwh/ton و متوسط دمای توده آهن قراضه بعد از ۲۰ دقیقه پیش گرمایش به 597°C خواهد رسید.

واژگان کلیدی: آهن قراضه، سبد پیش گرم کن، انتقال حرارت گذرا، محیط متخلخل

مقدمه

یکی از صنایع پرمصرف هم از نظر حرارتی و هم از نظر الکتریکی صنعت فولادسازی می باشد. استفاده از تکنولوژیهای نو در فولادسازی مانند کوره های قوس الکتریکی سبب شده که مصرف انرژی الکتریکی که از نوع انرژی های گران است، نسبت به انرژی حرارتی افزایش بیشتری یابد و زمینه را برای بالارفتن هزینه های تولیدی فولاد مساعد سازد. یکی از تکنیکهایی صرفه جویی انرژی در فرآیند فولادسازی، استفاده از انرژی حرارتی گازهای خروجی از کوره قوس الکتریکی می باشد. (بینش، ۱۳۹۳) آمارهای تجربی نشان می دهند که انرژی گاز خروجی از کوره های قوس الکتریکی حدود ۱۵ الی ۲۰٪ کل انرژی مصرفی در کوره ها را تشکیل می دهد و چنانچه بتوان از این انرژی در جهت پیش گرمایش مواد ورودی به کوره استفاده نمود می توان هزینه های تولید فولاد را کاهش داد. استفاده از سبدهای مخصوص جهت پیش گرمایش آهن قراضه در مقایسه با روشهای دیگر، به صورت گسترده ای استفاده می شود. در این روش یک ظرف فلزی بزرگ که محتوی آهن قراضه است درون یک اتاقک که مجهز به یک درپوش است قرار می گیرد، گازهای داغ که عمدتاً دی اکسید کربن می باشند از بالا وارد درپوش سبد می شوند و ضمن عبور از روی آهن قراضه سرد شده و از سمت دیگر سبد خارج می شوند. در شکل ۱ نمایی از یک نمونه سبد پیش گرم کن آهن قراضه مشاهده می شود.



شکل ۱: یک نمونه سبد پیش گرم کن آهن قراضه با متعلقات

یکی از پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد حرارتی سبد پیش گرم کن تخلخل بستر سبد می باشد، این موضوع از آن جهت مهم می باشد که آهن های قراضه شارژ شده در سبد، چگالی ظاهری متفاوتی دارند لذا این موضوع بر تخلخل بستر تاثیر گذار می باشد، هدف از این تحقیق بررسی تغییرات دمای آهن قراضه و گازهای داغ درون سبد با تغییرات تخلخل بستر در مدت زمان پیش گرمایش می باشد.

در زمینه پیش گرمایش آهن قراضه، بدست آوردن دمای توده آهن قراضه و صرفه جویی حاصل از پیش گرمایش آهن قراضه تحقیقات تجربی و اقدامات عملیاتی صورت پذیرفته است، که در اینجا به بعضی از این تحقیقات اشاره می شود. (Bobos and Martegani, 1998) به بررسی مشکلات پیش گرمایش آهن قراضه از جمله اکسایش قراضه، ذوب موضعی قراضه و... پرداختند و با تعیین پارامترهای مهم جهت بهبود پیش گرمایش آهن قراضه، اقدام به ساخت یک نمونه پیش گرم کن سبد دوتایی کردند و ضمن رفع موانع بررسی شده، میزان 24 kwh/ton صرفه جویی در انرژی الکتریکی و به کاهش ۵ تا ۸ دقیقه ای زمان ذوب تا ذوب رسیدند.

(Fior, 2000) به معرفی سیستم پیش گرمایش آهن قراضه در شرکت ای بی اس^۱ ایتالیا پرداخت. این سیستم که به پروژه دانارک پلاس^۲ معروف است توسط شرکت دانیلی به اجرا در آمده است. در این سیستم از پیش گرم کن سبد با ظرفیت ۱۰۰

تن استفاده شده است، که در مدت زمان عملکرد کوره، گازهای داغ خروجی، از روی آهن قراضه عبور کرده و از سمت دیگر خارج می شوند. در این فرآیند که به مدت ۲۰ دقیقه طول می کشد از سه مشعل ۳,۵ مگاوات درون سبد استفاده شده است، که در نهایت حدود 55 kwh/ton تا ۶۰ صرفه جویی در انرژی الکتریکی حاصل می شود و همچنین دمای متوسط توده آهن قراضه به حدود ۶۰۰ درجه سانتی گراد خواهد رسید.

(Hajidavalloo and Alagheband, 1994) با انجام آنالیز انرژی و اکسرژی کوره های قوس الکتریکی ۱۸۰ تنی مجتمع فولاد خوزستان دریافتند که گازهای داغ خروجی کوره ها در حدود ۱۸,۳۳ درصد کل انرژی ورودی به کوره و ۱۲,۱۵ درصد اکسرژی کل را به فضای بیرون منتقل می کنند. همچنین با پیش گرمایش آهن قراضه تا دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد به میزان 140 Mj در انرژی الکتریکی کوره ها صرفه جویی می شود.

(Fontana, 2000) با بالانس انرژی کوره های قوس الکتریکی که آهن قراضه به عنوان ماده ورودی در آنها مصرف می شود دریافت، انرژی گازهای خروجی ۲۲ درصد از انرژی کوره ای قوس الکتریکی و ۵۰ درصد کل انرژی حرارتی هدر رفته از کوره را تشکیل می دهد. همچنین طبق این تحقیق با افزایش دمای آهن قراضه در محدوده ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد و بازده کلی ذوب در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد به اندازه 80 kwh/ton تا ۱۲۰ صرفه جویی انرژی حاصل خواهد شد.

(مقیمیان و همکاران، ۱۳۸۶) با در نظر گرفتن این موضوع که دمای آهن قراضه شارژ نباید از ۳۷۰ درجه سانتی گراد بیشتر شود به محاسبه میزان انرژی حرارتی مورد نیاز پیش گرمایش آهن قراضه کوره ۵۰ تن شرکت فولاد خراسان پرداخته اند و مقدار انرژی حرارتی پیش گرمایش را با توجه به اینکه دمای گاز ورودی به سبد شارژ ۶۵۰ درجه سانتی گراد، دمای خروجی ۴۰۰ درجه سانتی گراد و دبی گاز ۱۶۰۰۰۰ متر مکعب بر ساعت می باشد در حدود ۸ MW برآورد کرده اند. آنها با محاسبه انرژی گرفته شده از گازهای خروجی کوره قوس الکتریکی مدت زمان پیش گرمایش آهن قراضه را حدود ۲۷,۵ دقیقه برآورد کرده اند.

(نجف زاده و همکاران، ۱۳۸۶) به بررسی و تحلیل فنی - اقتصادی پیش گرم کردن آهن قراضه ورودی به کارخانه فولاد آلیاژی یزد که دارای دو کوره قوس الکتریکی هر کدام با ظرفیت ۴۰ تن می باشند پرداخته اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که برای کارخانه فولاد آلیاژی یزد با میزان ۴۰ تن آهن قراضه و مدت زمان پیش گرمایش یک ساعت و ۶ دقیقه، دمای گرمایش آهن قراضه در حدود ۲۶۸ درجه سانتی گراد و میزان خالص انرژی الکتریکی قابل صرفه جویی 2856 Mwh/Day برآورد شده است.

در این تحقیق سعی می شود با استفاده از دیدگاهی متفاوت و در نظر گرفتن یک محیط متخلخل به مدل سازی و شبیه سازی انتقال حرارت در سبد پیش گرم کن پرداخته شود، در ابتدا به مقایسه نتایج تجربی و آزمایشگاهی برای کوره دانارک پلاس پرداخته می شود و صحت شبیه سازی تایید کرده است و سپس تاثیر تغییرات ضریب تخلخل بستر بر عملکرد حرارتی سبد پیش گرم کن بررسی می گردد.

مدل سازی هندسی

هندسه مساله با استفاده از نقشه و ابعاد سبد پیش گرم کن پروژه دانارک پلاس در نرم افزار سالید ورک تولید شده است. در شکل ۲ نمایی از سبد پیش گرم کن به همراه درپوش آن مشاهده می شود. برای ترسیم هندسه در نرم افزار ابتدا بایستی ترسیمه اولیه از مدل کشیده شود و سپس با استفاده از دستورات کشیدن، دوران و برش ترسیمه اولیه، مدل نهایی ساخته می شود.

¹ ABS

² Danarc Plus



شکل ۲: هندسه تولیدی سبد پیش گرم کن

معادلات حاکم

برای شبیه سازی محیط درونی سبد از فرض محیط متخلخل استفاده شده است. علت انتخاب این فرض ابعاد کوچک و میلیمتری بین آهن قراضه و ابعاد چند متری سبد پیش گرم کن می باشد. که باعث ایجاد اختلاف زیادی در طول مقیاس شبکه می شود. اختلاف موجود فواصل، در شبیه سازی عینی آهن های قراضه باعث افزایش بسیار زیاد محاسبات می گردد که زمان و حجم محاسبات را به حد غیرقابل تحلیل می رساند. در چنین شرایطی با توجه به مساله و اهداف شبیه سازی می توان از فرض محیط متخلخل^۱ در مورد سبد پیش گرم کن استفاده نمود. با توجه به پیچیدگی معادلات و محیط مورد بررسی، برای حل معادلات از نرم افزار تجاری انسیس سی اف ایکس استفاده شده است. معادلات حاکم در محیط متخلخل در حالت عدم تعادل حرارتی بین فاز جامد و گاز عبارتند از:

$$\gamma \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \nabla(\rho_f \bar{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho_f \left[\gamma^{-1} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \gamma^{-2} (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{v} \right] = -\nabla P - \frac{\mu}{\alpha} \bar{v} - C_2 \frac{1}{2} \rho |\bar{v}| \bar{v} \quad (2)$$

$$(1-\gamma)(\rho c)_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = (1-\gamma) \nabla \cdot (k_s \nabla T_s) + (1-\gamma) q_s''' + h(T_f - T_s) \quad (3)$$

روابط حاکم در محیط متخلخل برگرفته از آزمایش های تجربی می باشند، این روابط به ترتیب معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و معادله انرژی در فاز جامد و گاز می باشند. به علت دید ماکروسکوپی معادلات حاکم بر محیط متخلخل از ضرایبی چون تخلخل^۲، نفوذپذیری^۳ و ضریب فورچهیمر^۴ برای تطبیق شرایط تئوری با شرایط واقعی استفاده می گردد.

¹ Porous Media

² procity

³ Permeability

⁴ Forchheimer

استفاده از نتایج آزمایشگاهی بهترین راه برای تخمین این ضرایب می باشد. اما در بعضی موارد امکان یا شرایط آزمایش های تجربی موجود نمی باشد. در این باره (Ergun, 1952) با ارائه روابط ریاضی برای بسترهای حاوی ذرات کروی اقدام به پیش بینی این ضرایب نموده است. این روابط عبارتند از:

$$\gamma = \frac{V_f}{V_f + V_s} = \frac{V_f}{V_{total}} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{D_p^2 \gamma^3}{150 (1-\gamma)^2} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{3.5 (1-\gamma)}{D_p \gamma^3} \quad (7)$$

که به ترتیب تخلخل، ضریب نفوذ پذیری و ضریب فورچهمیر می باشند. به دلیل آنکه اجزا تشکیل دهنده در سبب پیش گرم کن شکل کروی ندارند و همچنین اجزای بستر به صورت غیر یکنواخت توزیع شده اند ابتدا مطابق با جدول ۱ اقدام به تعیین اجزا تشکیل دهنده سبب پیش گرم کن و درصد وزنی هر کدام از اجزا شده است. سپس با استفاده از رابطه ۹ قطر معادل هر یک از اجزا تشکیل دهنده سبب (Ergun, 1952) محاسبه شده است. با توجه به آنکه قطر معادل هر یک از اجزا با هم متفاوت هستند جهت انتخاب قطر متوسط بستر از رابطه ۱۰ استفاده شده و قطر معادل ذرات کروی بدست آمده است (Koekemoer and Luckos, 2015).

$$a_{vs} = \frac{A}{V} \quad (8)$$

$$D_p = \frac{6}{a_{vs}} \quad (9)$$

$$D_{p,eq} = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{d_{p,i}}} \quad (10)$$

جهت تعیین رژیم جریان از رابطه ۱۱ استفاده شده است. که نشان می دهد رژیم جریان مغشوش می باشد. جهت مدل سازی جریان مغشوش از مدل k-ε بهره گرفته شده است.

$$Re_p = \frac{\bar{v} \rho D_p}{\mu (1-\gamma)} \quad (11)$$

همچنین انتقال حرارت انتقال یافته به آهن قراضه در مدت زمان پیش گرمایش از رابطه ۱۲ بدست می آید.

$$q = mc_p \Delta T \quad (12)$$

جهت افزایش چگالی ظاهری و یا سهولت در حمل و نقل و جابجائی، آهن قراضه بسته بندی می شود لذا چگالی ظاهری آهن قراضه مطابق با استاندارد ملی شماره ۳۸۱۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سه گروه سبک بار با مقدار ۰.۵، تا ۰.۸، و متوسط بار ۰.۸ تا ۱ و سنگین بار بیشتر از ۱ تن بر مترمکعب تقسیم بندی شده است. در این تحقیق با توجه به اینکه از اطلاعات پروژه دانارک پلاس استفاده شده است، میزان آهن قراضه ۱۰۰ تن، ابعاد سبب مطابق جدول ۲ واز چهار نمونه آهن قراضه مطابق جدول ۳ استفاده شده است. تغییر مقدار چگالی ظاهری آهن قراضه موجب تغییر حجم واقعی آهن قراضه در سبب می شود که این موضوع با توجه به ثابت بودن قطر سبب به صورت مستقیم بر ارتفاع آهن قراضه در سبب تاثیر می گذارد. حجم واقعی آهن قراضه در سبب از رابطه ۱۳ و تخلخل بستر که با چگالی ظاهری تغییر می کند از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$V_s = \frac{\text{Weight's Scrapiron}}{\rho_s} \quad (13)$$

جدول ۱: اجزا تشکیل دهنده سبد پیش گرم کن

اجزا	درصد وزنی
تختال، شمشه و شمال	٪۱۰
صفحات ضخیم	٪۵
ورق و تسمه	٪۵
مقاطع نوردی	٪۱۰
لوله و پروفیل	٪۱۰
قراضه لقمه	٪۲۰
قراضه اسقاطی و سائل نقلیه	٪۱۰
قراضه بسته	٪۳۰

جدول ۲: ابعاد سبد

ابعاد	اندازه (m)
طول سبد	۸
قطر سبد	۵,۵

جدول ۳: نمونه قراضه استفاده شده

نوع چهارم	نوع سوم	نوع دوم	نوع اول	آهن قراضه
۱۱۰۰	۹۰۰	۷۰۰	۶۰۰	چگالی ظاهری (Kg/m ³)
۰,۸۶	۰,۸۸	۰,۹۱	۰,۹۳	تخلخل بستر

شرایط مرزی

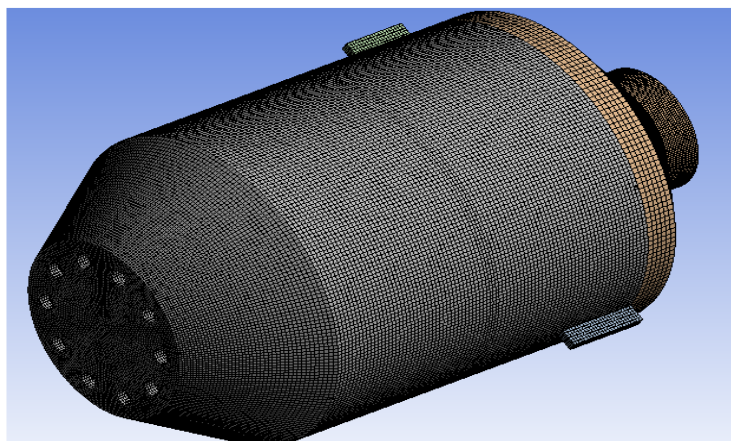
برای حل عددی فرم گسسته معادلات دیفرانسیل پاره ای، تعیین شرایط مرزی و اولیه الزامی می باشد. در شبیه سازی عددی جریان سیال نیز، علاوه بر مطرح بودن بحث ریاضی معادلات، باید نوع و فیزیک جریان نیز در مرزهای دامنه محاسباتی تعیین شوند. بنابراین هدف از تعریف شرایط مرزی در دینامیک سیالات عددی، مقید ساختن فرم گسسته معادلات برای حل آن در یک چارچوب خاص و نیز تعریف ویژگی جریان در مرزهای دامنه محاسباتی می باشد. در مسئله حاضر برای جریان گاز ورودی از شرط مرزی سرعت ورودی، در خروجی از شرط مرزی باز شو و در دیواره های مشترک بین مرز جامد و سیال که صفحات داخلی سبد می باشد از شرط مرزی انتقال حرارت مزدوج یا همان معادلات کوپل شده استفاده شده است برای صفحات بیرونی سبد نیز شرط مرزی انتقال حرارت جابه جایی اجباری با آب که درون یک پوسته دوم دور سبد با ضریب انتقال حرارت و دمای مشخص جاری است، استفاده شده است. همچنین گاز داغ خروجی تحت مکش فنهای سیستم غبارگیر کوره قرار دارد. شرایط مرزی و مقادیر آنها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۴: شرایط مرزی

۵۴۱۳۳	دبی گاز داغ ورودی به سبد (m ³ /h)
۱۳۰۰	دمای گاز داغ ورودی به سبد (°C)
۲۰	دمای آب دور سبد (°C)
۱۰۰۰۰	ضریب انتقال حرارت جابه جایی آب (W/m ² .k)
۷۰۰۰۰	فشار مکش فن در خروجی سبد (Pa)

تولید شبکه

برای گسسته سازی میدان محاسباتی در سید پیش گرم کن ابتدا باید نواحی محاسباتی را ایجاد کرد. همدسه ای که توسط نرم افزارهای طراحی تولید شده شامل محیط متخلخل، دیواره سید، فضای خالی بالای سید و در پوش می باشد که با وارد کردن همدسه به درون نرم افزار انسیس مشینگ محیط متخلخل، سیال و جامد شبکه بندی شده است. یک شبکه بی سازمان با سلولهای به شکل چهار ضلعی می باشند.



شکل ۳: شبکه بندی مدل هندسی

شبکه بندی مدل هندسی در شکل ۳ نشان داده شده است. این شبکه دارای ۱۱۶۸۴۸۰ سلول می باشد که کیفیت آن با استفاده از معیار کیفیت تعامد^۱ سلولها مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس دسته بندی این معیار که در جدول ۲ آورده شده است، طبق این معیار حدود ۹۳ درصد از سلولها دارای کیفیت عالی می باشند.

جدول ۳: دسته بندی کیفیت سلولها بر اساس معیار کیفیت تعامد

معیار کیفیت تعامد سلولها		کیفیت
$0,75 < OQ < 1$	۹۲,۵۶٪	عالی
$0,5 < OQ < 0,75$	۲,۴۴٪	خوب
$0,25 < OQ < 0,5$	۴,۶۸٪	متوسط
$0 < OQ < 0,25$	۰,۳۲٪	ضعیف

یافته ها

برای شبیه سازی بایستی از شرایط حلی متناسب با فیزیک مسئله استفاده کرد. در جدول ۳ این شرایط حل آورده شده است.

جدول ۴: شرایط حل

گذرا	حالت زمانی
آشفته	رژیم جریان
k-ε	مدل آشفتگی
اویلر پسر دو مرتبه دوم	گسسته سازی معادلات
مونت کارلو	مدل انتقال حرارت تشعشعی

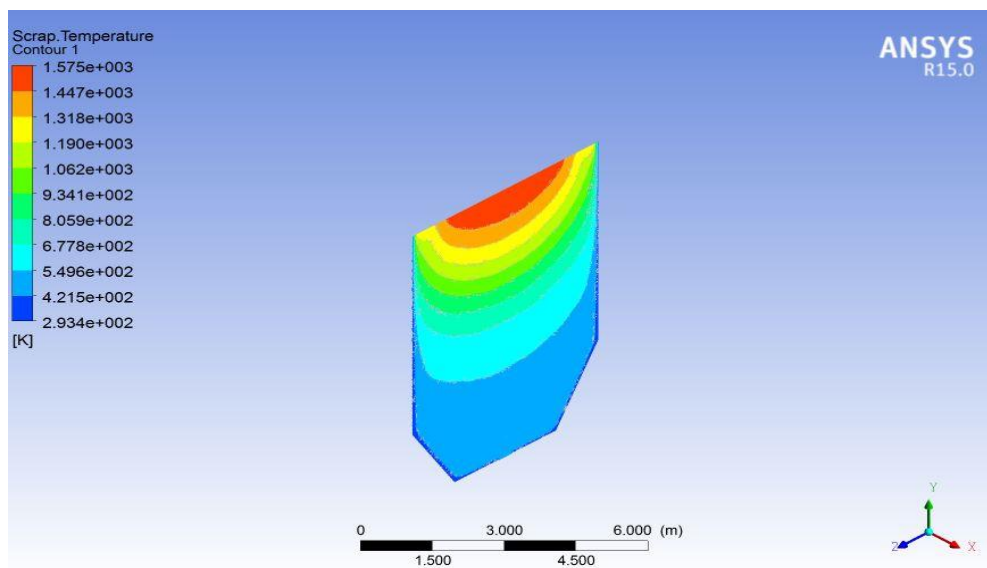
¹ Orthogonal Quality

مشخصات جنس مواد بکارگرفته شده برای بدنه و درپوش در جدول ۵ نشان داده شده است.

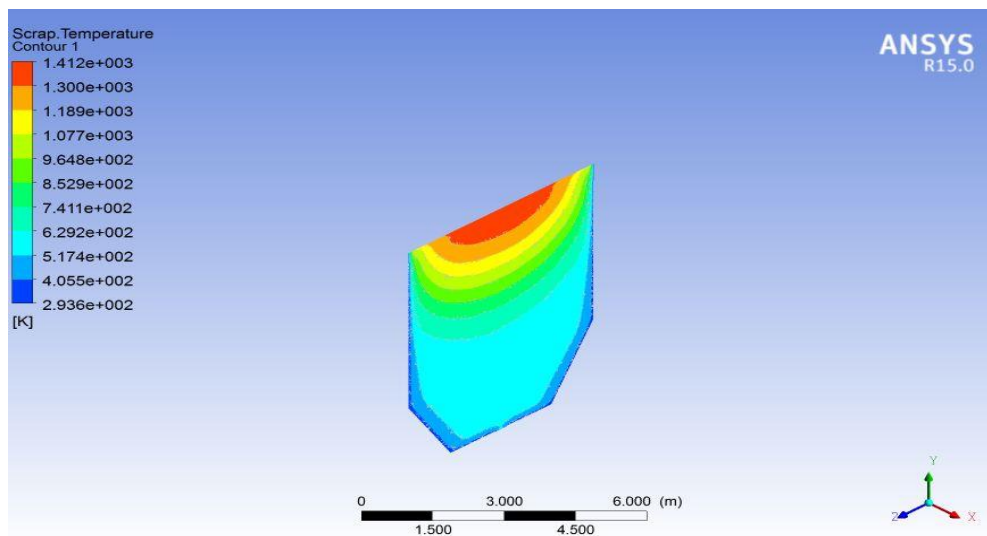
جدول ۵: اطلاعات مواد

ASTM A106GR.B	جنس بدنه و درپوش
۵۱	هدایت حرارتی فلز (W/m.k)
۴۶۱	گرمای ویژه فلز (j/kg.k)
۷۸۵۰	چگالی فلز (kg/m^3)

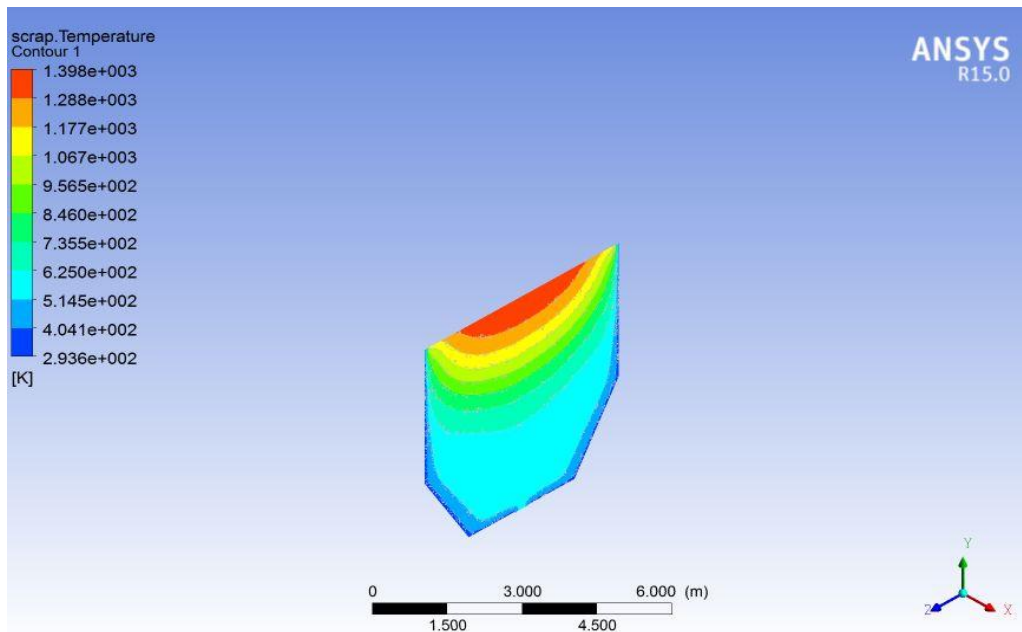
همچنین به دلیل تغییرات زیاد خواص گاززدی اکسید کربن با دما خواص گاز ورودی به صورت یک تابع متغییر با دما در نظر گرفته شده است



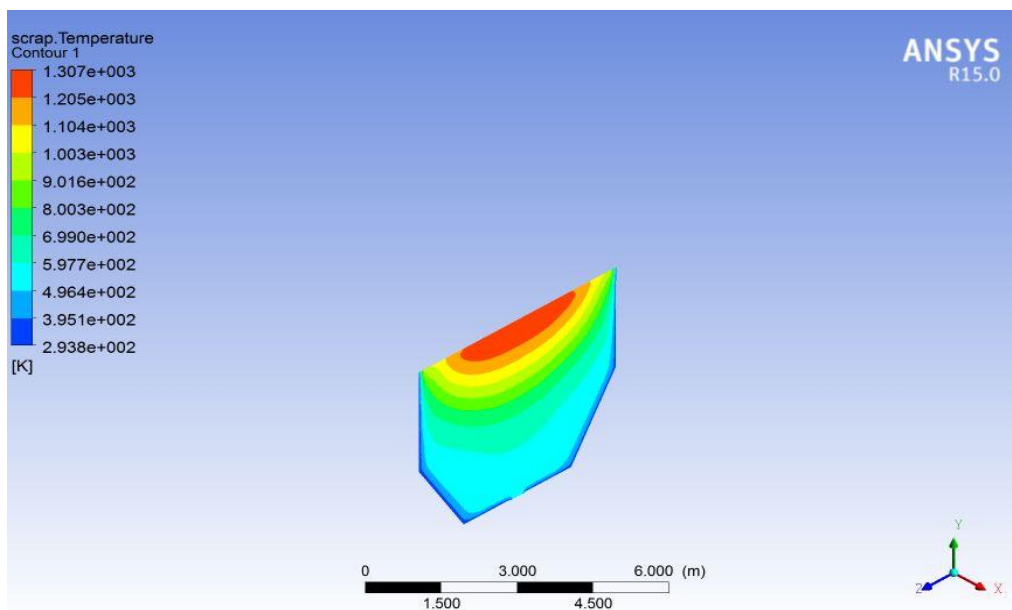
شکل ۴: توزیع دما در آهن قراضه برای چگالی ظاهری (kg/m^3) ۶۰۰ و تخلخل ۰,۹۳



شکل ۵: توزیع دما در آهن قراضه برای چگالی ظاهری (kg/m^3) ۷۰۰ و تخلخل ۰,۹۱



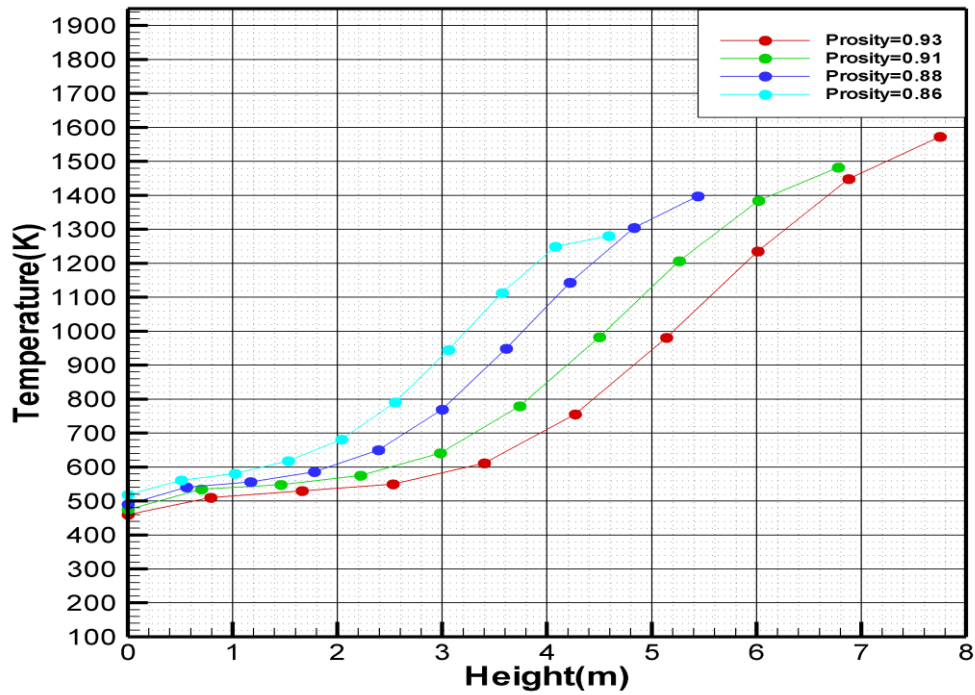
شکل ۶: توزیع دما در آهن قراضه برای چگالی ظاهری (kg/m^3) ۹۰۰ و تخلخل ۰,۸۸



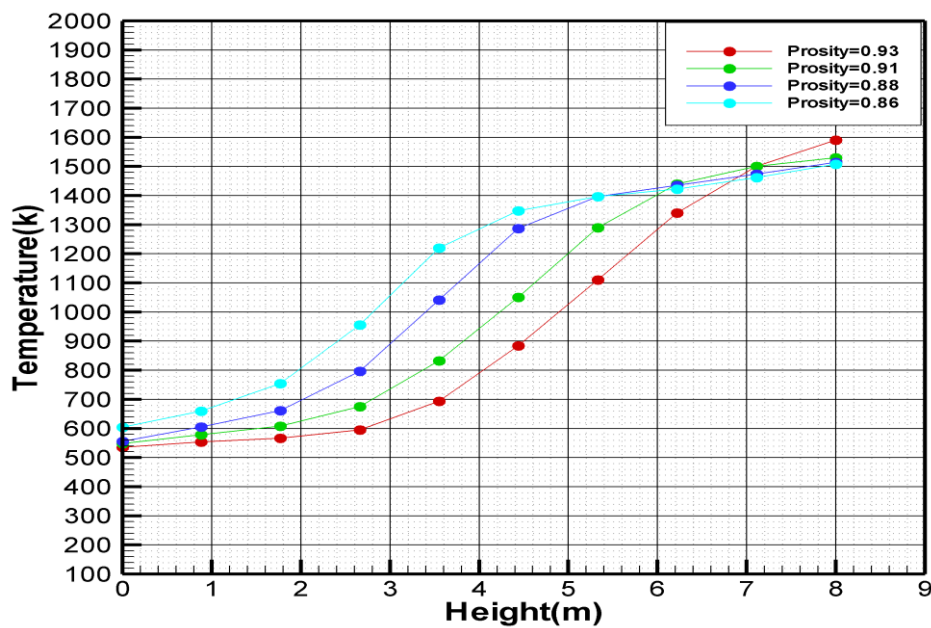
شکل ۷: توزیع دما در آهن قراضه برای چگالی ظاهری (kg/m^3) ۱۱۰۰ و تخلخل ۰,۸۶

نتایج این شبیه سازی برای دمای توده آهن قراضه و تخلخل های مختلف بعد از گذشت ۲۰ دقیقه در مقطع وسط سبد پیش گرم کن در شکل های ۴ تا ۷ آورده شده است. همچنین برای تشخیص نحوه تغییرات دمای توده آهن قراضه و گازداغ ورودی به سبد پیش گرم کن، به ترتیب از ابتدا تا انتهای محیط متخلخل و از ابتدا تا انتهای سبد با توجه به چگالی های ظاهری مختلف

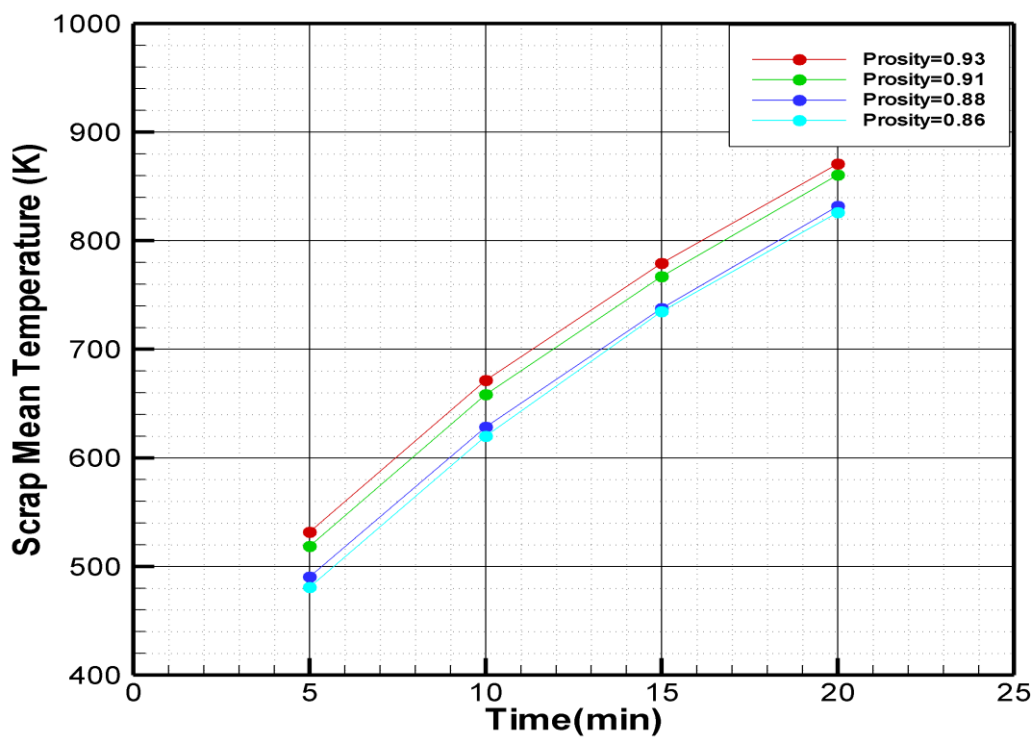
نموداری با زمان رسم گردیده است. این نمودارها را در شکل ۸ و ۹ مشاهده می کنید. در شکل ۱۰ تغییرات دمای متوسط توده آهن قراضه با زمان نشان داده شده است و در شکل ۱۱ میزان بازیافت انرژی مشخص شده است.



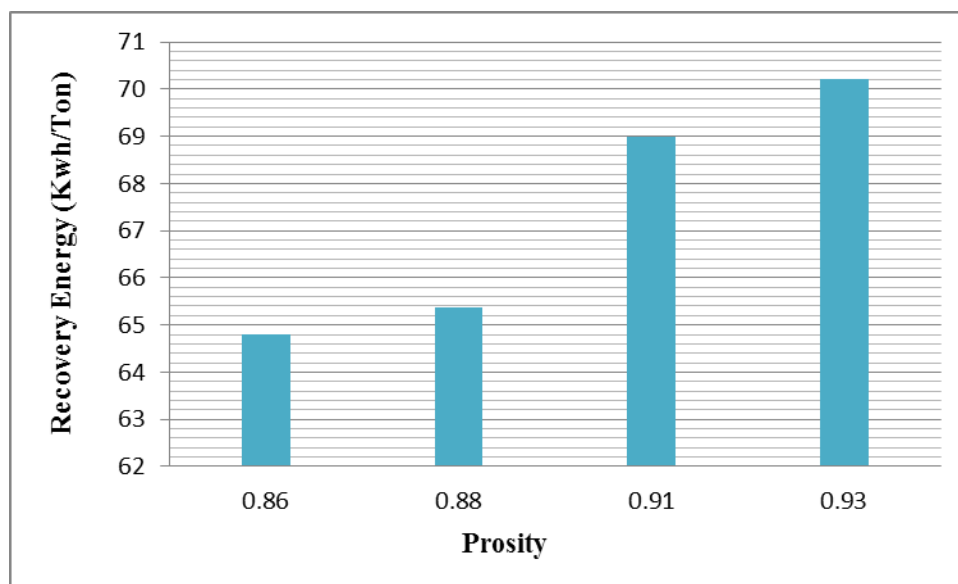
شکل ۸: توزیع دمای آهن قراضه برحسب ارتفاع برای تخلخل های مختلف بستر



شکل ۹: توزیع دمای گاز برحسب ارتفاع درسید برای تخلخل های مختلف بستر



شکل ۱۰: تغییرات متوسط دمای آهن قراضه بر حسب زمان برای تخلخل های مختلف بستر



شکل ۱۱: میزان بازیافت حرارت بر حسب تخلخل های مختلف بستر

بحث و نتیجه گیری

۱- با مقایسه نتایج شبیه سازی با مقادیر تجربی که در اولین مرجع لاتین ذکر شده است، مطابق با جدول ۶ صحت شبیه سازی تایید می گردید.

جدول ۶: صحت سنجی شبیه سازی

حاضر	دانارک پلاس	پروژه پارامتر
۱۱۲۰	۱۱۰۰-۱۲۰۰	دمای لایه بالای آهن قراضه (°C)
۲۰۹	۲۰۰	دمای لایه پایین آهن قراضه (°C)
۳۰۲	۳۰۰-۴۰۰	دمای گاز خروجی از سبد (°C)
۵۸۷	۶۰۰	دمای متوسط آهن قراضه (°C)

۲- همانطور که در شکل شماره ۸ مشاهده می شود با کاهش تخلخل بستر ارتفاع موثر آهن قراضه در سبد کاهش یافته است و دمای سطح آهن قراضه با کاهش تخلخل کاهش یافته است و این به دلیل آن است که گاز در برخورد با سطح آهن قراضه به دلیل طی کردن فضای خالی بالای آهن قراضه در سبد دمایش کاهش یافته است.

۳- در شکل ۹ مشاهده می کنیم که در ابتدای سبد که برای تمام حالتها تا ارتفاع مشخص خالی می باشد با کاهش تخلخل دمای گاز کاهش یافته است ولی در ادامه حرکت گاز و نفوذ در محیطهای متخلخلی که ضریب تخلخل بیشتری دارند کاهش دما بیشتر می باشد به عبارتی با افزایش تخلخل بستر کاهش دمای گاز بیشتر شده است.

۴- در شکل ۱۰ مشاهده می کنیم بیشترین دمای متوسط توده آهن قراضه با افزایش تخلخل بستر بیشتر شده است و برای تخلخل ۰,۹۳، این مقدار ۵۹۷°C می باشد.

۵- در شکل ۱۱ مشاهده می کنیم که با افزایش تخلخل بستر میزان بازیافت انرژی بیشتر شده است و برای تخلخل ۰,۹۳ این مقدار ۷۲kwh/ton می باشد.

در تحقیق فرض شده است که ابعای سبد بدون تغییر بماند، این امر موجب شده است که با کاهش ضریب تخلخل بستر فضای خالی بالای آهن قراضه در سبد بیشتر شود و بر توزیع دمای گاز ورودی و توزیع دمای آهن قراضه تاثیر بگذارد لذا پیشنهاد می شود با اصلاح اندازه سبد و به حداقل رساندن فاصله بالای آهن قراضه در سبد نتایج بررسی شود.

منابع

- بینش، مسعود، ۱۳۹۳، متالورژی تهیه فولاد در کوره های قوس الکتریکی و پائیلی، چاپ اول، تهران، انتشارات فدک ایستاتیس
مقیمان، محمد، ضابط، احد، خاوری، محمد، اثر احتراق بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی در کوره های قوس الکتریک، دومین کنفرانس احتراق ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۸۶
نجف زاده، کیان، کبریای طبری، غلامرضا، بیاتی، غلامرضا، بازیافت حرارت در صنایع فولاد و ریخته گری به منظور پیشگرم کردن قراضه ورودی به کوره های ذوب، ششمین همایش ملی انرژی، تهران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۶
استاندارد ملی شماره ۳۸۱۷، ۱۳۹۴. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چاپ دهم

- Toulouevski,& Zinurov. (2013). Innovation in Electricarc Furnaces. 114-118.
- Bobos, Martegani. (1998).Energy Conservation and Recovery in Electric Arc Furnaces Dedusting Plants. Energy Convers. Mgmt. Vol. 25.No. 4. 347–355.
- Hajidavalloo., Alagheband. (1994).Thermal analysis of sponge iron preheating using waste energy of EAF. Journal of materials processing technology. Vol. 14. No. 1-3.336–341.
- Fontana.(2012) . EAF Scrap Preheating Technologies. 4th Annual High Temperature Processing Symposium. Australia. 6 –7 February.
- Ergun, (1952).Fluid flow through packed columns. ChemEngng Prog.Vol. 48. 89-94.
- Koekemoer, Luckos.(2015). Effect of material type and particle size distribution on pressure drop in packed beds of large particles. Fuel, Vol.158. 232-238.
- Nield, Bejan.(2006). Convection in porous media. Springer. New York