

مدلسازی عددی کوره پیش گرمکن و بررسی تاثیر زاویه چرخش هوا در مشعل‌ها بر پوسته‌زایی شمش فولاد در نورد گرم

علی سعیدی* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ali.saeedi@birjand.ac.ir
حسام عامری دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، hesam.ameri@birjand.ac.ir

چکیده

کوره پیش‌گرمکن قبل از شکل‌دهی شمش فولاد استفاده می‌شود که عموماً در خروجی کوره سطح شمش دارای لایه پوسته اکسید آهن است و غلظت گاز اکسیژن و دمای درون کوره بر ایجاد و رشد آن تاثیر دارد. در این پژوهش، مدل‌سازی عددی کوره پیش‌گرمکن شرکت فولاد خراسان جهت بررسی اثر زاویه چرخش هوا در مشعل‌ها بر رشد پوسته شمش فولاد در فرآیند نورد گرم انجام می‌شود. در همین راستا تاثیر زاویه چرخش در مشعل‌ها، به عنوان یک پارامتر مهندسی مستقل و قابل تغییر، بر توزیع دما، غلظت گونه اکسیژن، تابش برخوردی و کسر جرمی آلاینده NO درون محفظه کوره ارزیابی می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد افزایش زاویه چرخش از ۳۰ به ۶۰ درجه در کنار حفظ شرایط مطلوب توزیع دما و تابش، نفوذ گاز اکسیژن به لایه‌های پایین کوره را کاهش داده و غلظت آن را روی سطح شمش بسیار کاهش می‌دهد و همچنین باعث کاهش تولید و نشر گاز NO است. از این رو می‌توان افزایش زاویه چرخش در مشعل‌ها را عاملی موثر و مفید برای کاهش پوسته‌زایی و رشد آن دانست.

واژه‌های کلیدی: کوره پیش‌گرمکن، شمش فولاد، پوسته‌زایی، زاویه چرخش، غلظت اکسیژن.

Numerical Modeling of Preheating Furnace and Investigation of the Effect of Air Swirl Angle in Burners on Scale Formation of Steel Billets in Hot Rolling

A. Saeedi
H. Ameri

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

Preheating furnaces are used to prepare steel billets prior to shaping, but an oxide scale layer commonly forms on billet surfaces at the furnace outlet; its formation and growth are strongly influenced by the furnace temperature and local oxygen concentration. This study numerically models the preheating furnace at Khorasan Steel Company to investigate how burner swirl angle affects scale growth during hot rolling. The burner swirl angle, treated as an independent, adjustable engineering parameter, is evaluated for its influence on temperature distribution, oxygen concentration, incident radiative flux, and the mass fraction of NO within the furnace chamber. Results show that increasing the swirl angle from 30° to 60°, while maintaining favorable temperature and radiative conditions, reduces oxygen penetration into the lower furnace regions and substantially lowers oxygen concentration at the billet surface. The change also reduces NO formation and emission. Thus, increasing burner swirl angle is an effective strategy to mitigate scale formation and growth.

Keywords: Preheating Furnace, Steel Billet, Scale Formation, Swirl Angle, Oxygen Concentration.

مطلوب جلوگیری می‌کند؛ افزون بر این، گرمازا بودن این واکنش نیز اثر منفی بر جذب گرما کوره دارد [۴]. پوسته‌زایی روی شمش فولاد و رشد آن، با توجه به نقش مهم آن بر کیفیت محصول نهایی و همچنین بهره‌وری اقتصادی، مورد توجه پژوهشگران و صنایع فولادسازی بوده است.

ونتورینو و روبینی (۱۹۹۵) با شبیه‌سازی عددی انتقال گرما گذرا در کوره پیش‌گرم، نشان دادند که نرخ رشد پوسته تابع دمای فعال‌سازی و یک ضریب وابسته به آن است [۵]. کیم و هو (۲۰۰۰) با شبیه‌سازی عددی در کوره پیش‌گرمکن Walking-Beam، توزیع دمای گذرا در شمش را بررسی کردند و تأثیرات پیکربندی مشعل‌ها، شرایط سوخت و هوای تغذیه و هندسه کوره را هم‌زمان مدنظر قرار دادند [۶]. ماک و همکاران (۲۰۰۲) با شبیه‌سازی عددی توزیع دمای جریان گاز در کوره پیش‌گرم نشان دادند که رشد پوسته به‌طور مستقیم به فشار جزئی اکسیژن و دمای محیط کوره وابسته است. هنگامی که فشار جزئی اکسیژن بالاتر از فشار تعادلی باشد، تمایل به تشکیل و رشد پوسته افزایش می‌یابد. همچنین ترکیب فشار جزئی زیاد اکسیژن با

۱- مقدمه

فولاد به‌دلیل تنوع کاربرد در صنایع پیشرفته اهمیت بالایی دارد. برای تولید میلگرد، یکی از محصولات مهم فولادسازی، شمش پیش‌گرم‌شده در غلتک‌ها باید پیش از نورد گرم مجدداً در کوره پیش‌گرم شود تا قابلیت شکل‌پذیری مناسب پیدا کند. کوره پیش‌گرم‌کن نقش کلیدی در کیفیت محصول نهایی دارد، زیرا وظیفه ایجاد توزیع دمای با گرادین کمتر از ۵۰ کلوین بر متر در خروجی را بر عهده دارد [۱]. خروجی ایده‌آل کوره پیش‌گرم باید دمای حدود ۱۲۰۰°C، توزیع یکنواخت دما و بدون هیچ پوسته اکسیدی باشد؛ چرا که پوسته (لایه اکسید آهن) کیفیت شمش را به‌شدت کاهش می‌دهد [۲]. پوسته اکسید ایجاد شده بر روی سطح شمش شامل سه بخش درونی (Wustite)، میانی (Magnetite) و بیرونی (Hematite) می‌باشد که با توجه به سهم ۹۶ درصدی لایه درونی تمام لایه اکسید را از جنس وستایت در نظر می‌گیرند [۳]. پوسته با رسانایی گرمای پایین، مانع جذب گرما تابیده شده به شمش می‌شود و از رسیدن آن به دمای

* نویسنده‌گان مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: a-ali.saeedi@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۴

دمای پایین کوره، بیشینه رشد پوسته را به دنبال دارد [۷]. هریش و دوتا (۲۰۰۵) با تحلیل انتقال گرما در کوره Pusher-Type نشان دادند که تابش گرمای نقش اصلی را ایفا می‌کند [۸]. هیان و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش حجم محدود، رفتار گرمای گذرا و تأثیر تابش را بر گرمایش شمش‌ها در کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam بررسی کردند [۲]. آنها زمان سکون بین ۶۹۶۰ تا ۷۴۲۴ ثانیه را برای گرمایش بهینه و گرادیان دمایی مطلوب با دمای نهایی نزدیک هدف ارائه دادند. جانگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که ضخامت پوسته اکسیدی روی سطح شمش که با افزایش زمان ماند در کوره رشد می‌کند، رسانایی گرمای ناحیه سطحی را کاهش داده و منجر به کندی گرمایش و افت کارایی گرمای می‌شود [۹]. سینگ و تلوکدار (۲۰۱۳) با مقایسه مدل‌های مختلف انتقال گرما در کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam، نشان دادند که در حالی که مدل‌های ساده‌شده می‌توانند زمان حل را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند، دخالت سیستم تیر متحرک تأثیری اندک بر توزیع دمای شمش داشته و می‌توان آن را در مدل‌سازی صرف‌نظر کرد [۱]. سینگ و همکاران (۲۰۱۵) دو مدل انتقال گرما گذرا برای کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam را مقایسه کردند و نشان دادند که مدل ساده‌شده با صرفه‌جویی قابل توجه در زمان محاسبات، دقتی تقریباً برابر با مدل پیچیده‌تر ارائه می‌دهد [۱۰]. گارسیا و امل (۲۰۱۸) با شبیه‌سازی CFD نشان دادند که استفاده از مشعل‌های بازیاب گرما در کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam بهره‌وری کوره را از ۳۲/۷ به ۴۸/۵٪ افزایش و مصرف سوخت را تا ۳۱/۳٪ کاهش می‌دهد [۱۱]. گارسیا و همکاران (۲۰۱۹) با شبیه‌سازی CFD نشان دادند که جابجایی مشعل‌ها در کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam می‌تواند تا ۱۸٪ سرعت گرمایش را افزایش دهد، دمای آستین شدن یکنواخت‌تر حفظ شود و زمان نگهداری شمش‌ها برای دستیابی به توزیع دمای بهینه به میزان قابل توجهی کاهش یابد [۱۲]. رونگ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تحلیل انرژی و اکسرژی نشان دادند که کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam دارای بازده انرژی ۷۱٪ و بازده اکسرژی ۵۱٪ است، که بیانگر پتانسیل بالای بهبود مصرف انرژی در این تجهیز می‌باشد [۱۳]. سینگ و همکاران (۲۰۲۳) با مدل‌سازی عددی کوره پیش‌گرم‌کن Walking-Beam نشان دادند که ضخامت پوسته تقریباً ۲/۴ mm برای زمان ماند ۱۸۰ دقیقه برآورد می‌شود و رابطه‌ی مستقیمی بین افزایش زمان اقامت شمش و رشد پوسته وجود دارد. [۱۴].

مطالعه‌ی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌سازی عددی کوره پیش‌گرم‌کن مؤثرترین روش برای تحلیل تشکیل و رشد پوسته است و غلظت اکسیژن به همراه توزیع دما، دو عامل تعیین‌کننده در این پدیده هستند. بر این اساس، در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار CFD، کوره پیش‌گرم‌کن شرکت فولاد خراسان شبیه‌سازی شده و تأثیر زاویه چرخش مشعل‌ها (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه)، یک پارامتر مستقل و عملی برای تأثیر بر غلظت اکسیژن در نزدیکی سطح شمش، بر توزیع دما، غلظت اکسیژن، شار تابشی و انتشار NO بررسی گردیده است.

۲- هندسه مساله، مدل‌سازی و روش حل

برای مدل‌سازی عددی کوره پیش‌گرم‌کن به‌منظور بررسی رشد

پوسته در نورد گرم، از نرم‌افزار ANSYS R2/2023 و روش تفاضل محدود استفاده شد. هندسه دوبعدی ساده‌شده کوره شامل یک ردیف ۱۱ تایی مشعل (شکل ۱-ب)، محل قرارگیری آگزوز، مشعل‌های نواحی اول تا سوم و دیواره جداکننده (شکل ۱-الف و ۱-ج) ترسیم گردیده‌اند. در این شبیه‌سازی از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ ، مدل تابش P-1 و مکانیزم احتراق دومرحله‌ای متان-هوا همراه با NO گرمای بهره برده شد. دیواره‌های جانبی، کف و سقف کوره به‌عنوان سطوح دما ثابت و بدون لغزش با دمای ثابت $T_{wall} = 1000 \text{ K}$ تعریف شدند. ورودی گاز از مشعل‌ها (Velocity Inlet) با دمای 300 K ، سرعت‌های مندرج در جدول ۳، ۱۰٪ هوای اضافه و ۵٪ شدت آشفتگی وارد می‌شود و خروجی کوره به‌صورت Pressure Outlet با شرط نیومن برای دما مدل گردید.

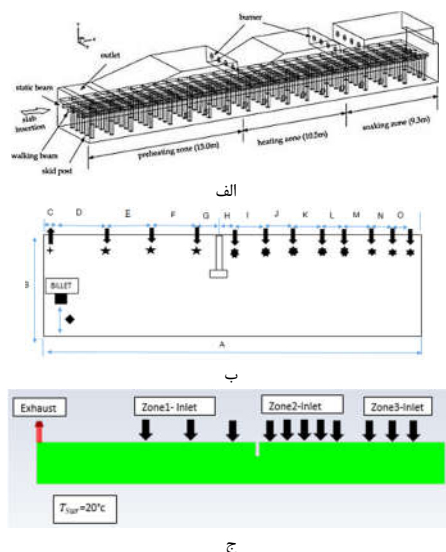
۳- نتایج و بحث

۳-۱- صحت سنجی مدل

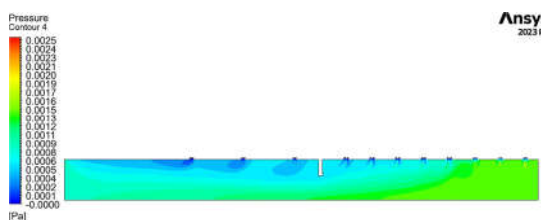
پیش از تحلیل اثرات پارامترهای مختلف، ضروری است استقلال از شبکه و صحت نتایج ارزیابی شود. در این پژوهش، شبکه‌های با المان متفاوت مورد آزمون قرار گرفت و پس از مقایسه نتایج عددی با داده‌های واقعی، بهترین پیکربندی شبکه انتخاب شد. جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش چگالی شبکه تا ۱۴۵۵۵۸ المان، نتایج دمای شبیه‌سازی با داده‌های تجربی تطابق خوبی دارد و هزینه محاسباتی هنوز معقول باقی می‌ماند. بنابراین، این تعداد المان برای مدل‌سازی دقیق و کارآمد کوره پیش‌گرم‌کن انتخاب شد.

۳-۲- میدان جریان و فشار در کوره

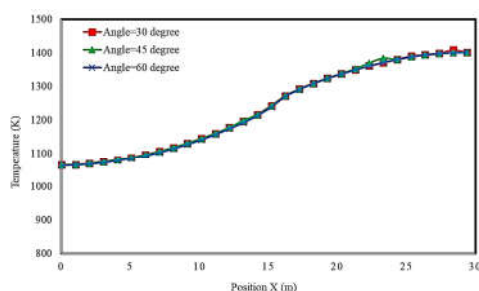
شکل ۲ نمایی کانتور سرعت هوا در سه ناحیه کوره است؛ بیشینه سرعت در ناحیه ۲ به‌دلیل تعداد و سرعت بالاتر مشعل‌ها متمرکز شده و سپس به‌تدریج تا ناحیه ۳ کاهش می‌یابد.



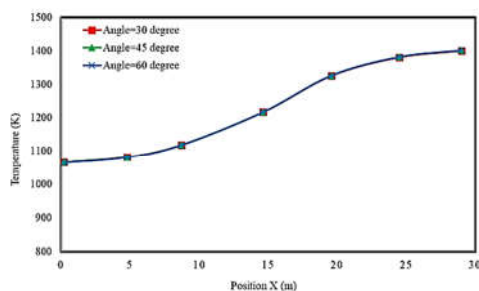
شکل ۱- (الف) طرحواره کوره پیش‌گرم‌کن [۱] (ب) طرحواره محل و نوع مشعل‌ها (ج) هندسه مدل شده



شکل ۳- کانتور فشار استاتیکی در کوره پیش گرم شمش فولادی با سه ناحیه گرمای



الف



ب

شکل ۴- نمودار تغییرات دما در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش (ب) با وجود شمش

در این شکل، جریان اصلی به سمت خروجی کوره حرکت کرده و در مجاورت دیواره‌ها و بخش فوقانی، الگوهای چرخشی ایجاد می‌شود که نواحی بازگردشی برای اختلاط و یکنواختی گرما را تقویت می‌کنند. همچنین، در نزدیکی کف کوره به‌ویژه اطراف شمش‌های ایستا، سرعت جریان به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد که با واقعیت عملکرد کوره‌های صنعتی همخوانی دارد. شکل ۳ کانتور فشار در سه ناحیه مطابق جدول ۳ را نشان می‌دهد؛ بیشینه فشار در ناحیه ۳ (سمت راست) و کاهش تدریجی آن تا خروجی کوره مشهود است، که هم‌راستا با جهت جریان غالب از ناحیه ۳ به ۱ و خروجی است. اختلاف فشار بین ورودی و خروجی، نیروی محرکه اصلی جریان را فراهم می‌کند و نواحی کم‌فشار بالای مشعل‌ها به‌دلیل اثر مکش نازل‌های سرعت‌بالا ایجاد می‌شوند.

۳-۳ توزیع دما درون محفظه کوره با زوایای چرخش ۳۰، ۴۵ و ۶۰

یکنواختی نسبی توزیع دما و کاهش حداکثر آن در کوره پیش گرم برای کنترل پوسته‌زایی و رشد آن در شمش فولاد اهمیت زیادی دارد.

جدول ۱- ابعاد نواحی مختلف کوره پیش گرمکن

ردیف	عنوان یا علامت	توضیحات	ابعاد (میلی متر)
۱	A	طول پیش گرمکن	۲۹۰۰
۲	B	ارتفاع پیش گرمکن	۳۰۱۰
۳	C	محل آگزوز	۴۰۰
۴	D	محل مشعل ۱	۷۵۰۰
۵	E	محل مشعل ۲	۳۲۰۰
۶	F	محل مشعل ۳	۳۲۰۰
۷	G	محل دیوار جداکننده	۱۶۰۰
۸	H	محل مشعل ۴	۱۶۰۰
۹	I	محل مشعل ۵	۱۶۰۰
۱۰	J	محل مشعل ۶	۱۶۰۰
۱۱	K	محل مشعل ۷	۱۶۰۰
۱۲	L	محل مشعل ۸	۱۶۰۰
۱۳	M	محل مشعل ۹	۱۶۰۰
۱۴	N	محل مشعل ۱۰	۱۶۰۰
۱۵	O	محل مشعل ۱۱	۱۵۵۰

جدول ۲- ابعاد دهانه مشعل‌ها و نواحی خاص

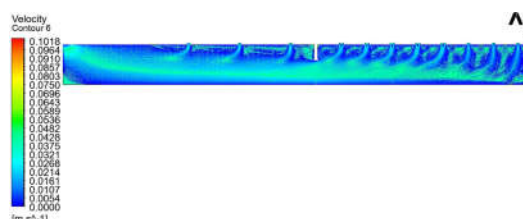
ردیف	توضیحات	دهانه مشعل (mm)
۱	مشعل ناحیه اول	۱۸۸
۲	مشعل ناحیه دوم	۲۵۸
۳	مشعل ناحیه سوم	۱۸۸
۴	آگزوز	۴۰۰
۵	ارتفاع کف کوره تا مسیر شمش‌ها	۹۱۰

جدول ۳- سرعت سوخت و هوا در مشعل‌های هر ناحیه

ردیف	عنوان	ناحیه اول	ناحیه دوم	ناحیه سوم
۱	سرعت سوخت (m/s)	۲/۴۷	۲/۲۲	۱/۹۵
۲	سرعت هوا (m/s)	۲۳/۹۷	۲۸/۳۳	۱۸/۸۰

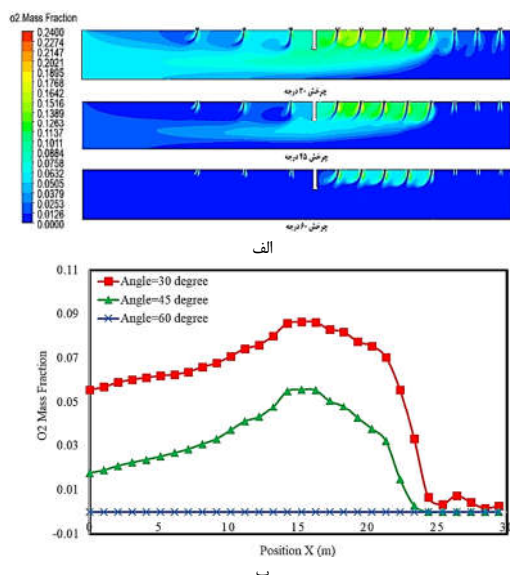
جدول ۴- صحت سنجی نتایج عددی-مقایسه میانگین دما (°C)

تعداد المان	عددی									تجربی			درصد خطا		
	ناحیه			ناحیه			ناحیه			ناحیه					
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳			
۱۰۲۳۵۴	۸۸۶	۱۱۱۵	۱۱۱۲	۹۲۰	۱۱۳۶	۱۱۳۴	۳/۶	۱/۸۳	۱/۹۰	۲/۴۷					
۱۴۵۵۵۸	۹۱۰	۱۱۲۵	۱۱۲۴	۹۲۰	۱۱۳۶	۱۱۳۴	۱/۰	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹۲					
۱۸۳۲۶۴	۹۱۸	۱۱۴۰	۱۱۳۷	۹۲۰	۱۱۳۶	۱۱۳۴	۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۲۸					



شکل ۲- کانتور سرعت جریان هوا در کوره پیش گرم شمش فولادی با سه ناحیه گرمای

درون کوره، کاهش مقادیر آن نشان‌دهنده بهبود کیفیت هوای محیط و مناسب‌بودن شرایط برای الزامات زیست‌محیطی است.



شکل ۵- (الف) توزیع کسر جرمی اکسیژن درون کوره پیش گرمکن در زوایای مختلف چرخشی (ب) نمودار تغییرات کسر جرمی اکسیژن در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰ mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش

از سویی کاهش میزان کسر جرمی آلاینده NO درون محفظه کوره نشان از افزایش بهره‌وری و بهبود کارایی انرژی درون محفظه کوره دارد. شکل ۷-الف کانتور کسر جرمی آلاینده NO برای ۳ زاویه چرخش مختلف جریان ورودی هوا در حالتی که شمش درون محفظه کوره قرار ندارد، نشان می‌دهد. واضح است که با افزایش زاویه چرخش، مقادیر آلاینده NO کاهش یافته و بهره‌وری و کارایی بهتر خواهد بود. نمودار شکل ۷-ب نمودار تغییرات آلاینده NO در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰ mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش را نشان می‌دهد. در ناحیه اول کوره پیش‌گرمکن بدلیل دمای پایین‌تر کوره شیب تغییرات کمتر و کسر جرمی NO پایین است. اما پس از عبور از دیواره جداکننده این شیب به سرعت افزایش پیدا کرده و بدلیل آشفته‌گی جریانی بیشتر ناشی از افزایش دبی سوخت ورودی در ناحیه دوم و افزایش دما، کسر جرمی آلاینده NO افزایش یافته است. آنچه در این نمودار همانند کانتور توزیع کسر جرمی NO مشخص است، کم شدن مقدار آلاینده NO با افزایش چرخش است که در کنار اثر مثبت افزایش چرخش بر کاهش غلظت اکسیژن، کاهش آلاینده NO را نیز به همراه دارد.

۴- نتیجه‌گیری

میلگرد یکی از محصولات اصلی خروجی کارخانه‌های فولادسازی است که در تولید آن از کوره پیش‌گرمکن قبل از شکل‌دهی استفاده می‌شود. تولید پوسته در سطح شمش خروجی از کوره پیش‌گرمکن محصولی ناخواسته و کاهنده بهره‌وری است که غلظت اکسیژن و توزیع دما درون کوره عوامل اصلی تشکیل و رشد آن هستند. در این پژوهش،

شکل ۴ نمودار تغییرات دما در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰ mm، که متناظر با روی سطح شمش فولاد است، را در دو حالت با شمش و بدون شمش نشان می‌دهد. همانطور که سینک و تلوکدار گزارش نمودند [۱۱]، نقش حضور شمش بر توزیع دمای داخل کوره بسیار ناچیز است و می‌توان از حضور شمش‌ها برای مدلسازی میدان دما در کوره صرف‌نظر کرد و به همین دلیل نتایج بر اساس حالت بدون شمش بررسی می‌گردد. از طرفی ملاحظه می‌شود که تغییر چرخش در شرایط مدل شده در مشعل‌های کوره نقش بسیار ناچیزی بر توزیع دما دارد و دو زاویه چرخش ۴۵° و ۶۰° نسبت به زاویه ۳۰°، که تقریباً برابر با زاویه چرخش در شرایط عملکردی است، نتایج بسیار نزدیکی به هم دارند.

۳-۴- توزیع اکسیژن درون محفظه کوره با زوایای چرخش ۳۰، ۴۵ و ۶۰

غلظت اکسیژن در کوره از عوامل مهم و تاثیرگذار بر ایجاد و رشد پوسته در شمش درون کوره پیش‌گرمکن است [۸]، در همین راستا در شکل ۵ توزیع کسر جرمی اکسیژن در کوره و نمودار تغییرات آن در ارتفاع ۱۰۴۰ mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۵-الف کانتور توزیع غلظت اکسیژن ملاحظه می‌گردد، با افزایش زاویه چرخش نفوذ اکسیژن به پایین کوره کمتر شده و در واقع زمان ماند هوا و سوخت در بالای کوره بیشتر می‌گردد. این نتیجه برای دور کردن اکسیژن از محدوده تولید پوسته روی شمش بسیار مناسب است و ایجاد و رشد پوسته را به تعویق می‌اندازد. همچنین بررسی نمودار تغییرات غلظت اکسیژن در شکل ۵-ب اثر افزایش زاویه چرخش را بر کاهش غلظت آن روی شمش تایید می‌نماید به طوری که بیشینه غلظت در زاویه ۳۰° از حدود ۰/۰۹ به ۰/۰۵ در زاویه ۴۵° و مقادیر بسیار ناچیز در زاویه ۶۰° کاهش یافته است. از این روی می‌توان افزایش زاویه چرخش از ۳۰° به ۶۰° را عاملی بسیار مفید بر کاهش تولید و رشد پوسته در شمش کوره پیش‌گرمکن دانست.

۳-۵- توزیع تابش درون محفظه کوره با زوایای چرخش ۳۰، ۴۵ و ۶۰

شکل ۶ نمودار تغییرات تابش برخوردی در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰ mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش را نشان می‌دهد. همانطور که از معادله تابش مشخص است، دما نقش کلیدی و تعیین‌کننده را در این معادله ایفا می‌کند، لذا انتظار است تابش برخوردی و نمودار تغییرات آن نیز رفتاری مشابه نمودار دما از خود نشان دهد که این مطلب در شکل ۶ تایید شده است. همچنین سه زاویه چرخش متفاوت نتایج بسیار نزدیکی از تابش ورودی به سطح شمش را نشان می‌دهند و می‌توان تابش ورودی به سطح شمش را تقریباً مستقل از زاویه چرخش دانست.

۳-۶- توزیع آلاینده NO درون محفظه کوره با زوایای چرخش ۳۰، ۴۵ و ۶۰

بررسی کسر جرمی NO ضمن ارائه اطلاعاتی درباره واکنش‌های

پوسته‌زایی و رشد آن می‌توان افزایش زاویه چرخش در مشعل‌ها از ۳۰ به ۶۰° را به عنوان یک عامل موثر و مفید دانست.

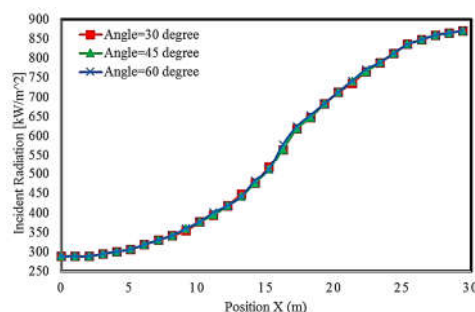
۵- سپاسگزاری

این تحقیق در راستای اعلان مساله توسط شرکت فولاد خراسان انجام شده است و از همکاری ایشان در ارائه مستندات لازم برای مدلسازی و اعتبار سنجی کمال سپاس و قدردانی دارد.

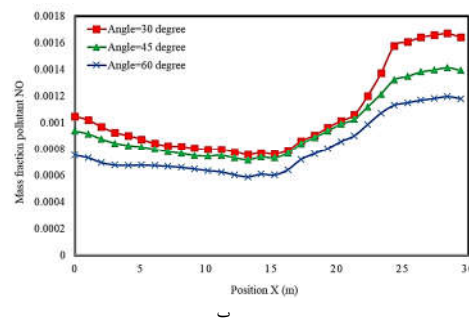
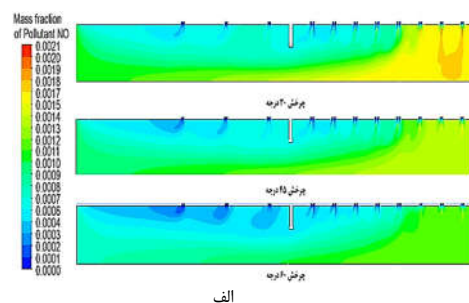
۶- مراجع

- [1] Singh VK, Talukdar P, Comparisons of different heat transfer models of a walking beam type reheat furnace, International communications in heat and mass transfer, 2013,47,20-6.
- [2] Han SH, Baek SW, Kim MY, Transient radiative heating characteristics of slabs in a walking beam type reheating furnace, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2009,52(3-4),1005-11.
- [3] Morgado T, Coelho PJ, Talukdar P, Assessment of uniform temperature assumption in zoning on the numerical simulation of a walking beam reheating furnace, Applied Thermal Engineering, 2015,76,496-508.
- [4] Torres M, Colás R, A model for heat conduction through the oxide layer of steel during hot rolling, Journal of Materials Processing Technology, 2000,105,258-63.
- [5] Venturino M, Rubini P., Coupled fluid flow and heat transfer analysis of steel reheat furnaces, 3rd Eur. InConf. Ind. Furn. Boil., no 1995 Apr (p. 8).
- [6] Kim JG, Huh KY. Prediction of transient slab temperature distribution in the re-heating furnace of a walking-beam type for rolling of steel slabs. ISIJ international. 2000 Nov 15;40(11):1115-23.
- [7] Mäki AM, Österman PJ, Luomala MJ, Numerical study of the pusher-type slab reheating furnace, Scandinavian Journal of Metallurgy, 2002,31,81-7.
- [8] Harish J, Dutta P, Heat transfer analysis of pusher type reheat furnace, Ironmaking & Steelmaking, 2005,32(2),151-8.
- [9] Jang JH, Lee DE, Kim MY, Kim HG, Investigation of the slab heating characteristics in a reheating furnace with the formation and growth of scale on the slab surface, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010,53(19-20),4326-32.
- [10] Singh VK, Talukdar P, Coelho PJ, Performance evaluation of two heat transfer models of a walking beam type reheat furnace, Heat Transfer Engineering, 2015,36(1),91-101.
- [11] García AM, Amell AA, A numerical analysis of the effect of heat recovery burners on the heat transfer and billet heating characteristics in a walking-beam type reheating furnace, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018,127,1208-22.
- [12] García AM, Colorado AF, Obando JE, Arrieta CE, Amell AA, Effect of the burner position on an austenitizing process in a walking-beam type reheating furnace, Applied Thermal Engineering, 2019,153,633-45.
- [13] Rong W, Li B, Qi F, Performance evaluation of a walking beam type reheating furnace based on energy and exergy analysis, Thermal Science, 2021, 25(6 Part B):4749-60.
- [14] Singh S, Kumar V, Ghose P, Computational Modeling of Walking Beam Type Reheat Furnace for the Prediction of Slab Heating and Scale Formation, ASME Journal of Heat and Mass Transfer. 2024;146(1).

مدلسازی عددی کوره پیش‌گرمکن شرکت فولاد خراسان انجام شد.



شکل ۶- نمودار تغییرات تابش برخوردی در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش



شکل ۷- (الف) توزیع غلظت آلاینده NO درون کوره پیش‌گرمکن در زوایای مختلف چرخشی (ب) نمودار تغییرات آلاینده NO در طول کوره در ارتفاع ۱۰۴۰mm از کف کوره در حالت بدون وجود شمش

در این بررسی تاثیر ۳ حالت زاویه چرخش ۳۰، ۴۵ و ۶۰° در مشعل‌ها، به عنوان یک پارامتر مهندسی مستقل و قابل تغییر، ارزیابی و نتایج زیر حاصل شد:

- افزایش زاویه چرخش از ۳۰ به ۶۰° نفوذ اکسیژن به پایین کوره را کم کرده و عاملی بسیار مفید بر کاهش تولید و رشد پوسته در شمش کوره پیش‌گرمکن است.
- تغییر زاویه چرخش بر توزیع تابش درون کوره تاثیری ندارد.
- افزایش زاویه چرخش از ۳۰ به ۶۰° غلظت آلاینده NO را کاهش می‌دهد به نحوی که در محدود تولید بیشینه غلظت آن بیش از ۳۰٪ کاهش می‌یابد.

بر اساس نتایج حاصل در جهت حفظ توزیع دما و تابش درون کوره و کاهش غلظت اکسیژن روی سطح شمش جهت کنترل