



مطالعه تجربی و تحلیلی بازیافت حرارتی از ریخته گری پیوسته شمش فولادی با هدف تامین گرمایش و آب

گرم مصرفی

حامدحسینی^۱، محمد نیکیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، قزوین، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، قزوین، ایران

Hamed5448@hotmail.com

چکیده:

در همه فرآیندهای تولید فولاد، مقدار زیادی حرارت ایجاد می‌گردد؛ با بازیافت و استفاده از این حرارت می‌توان در مصرف منابع طبیعی و هزینه‌ها صرفه جویی نمود. هدف این نوشتار بیان یک روش اجرایی و تاثیر آن در میزان بهره‌وری انرژی در ریخته‌گری پیوسته می‌باشد. در این مقاله مقدار حرارت بازیافتی از ریخته‌گری پیوسته در ناحیه قبل از برشکاری شمش مورد بررسی قرار گرفته است. برای جذب این گرما، یک کلکتور حرارتی مشابه کلکتورهای تخت خورشیدی (با استفاده از تجهیزات موجود در شرکت ذوب آهن البرز غرب) ساخته شد. پس از نصب کلکتور در محل مورد نظر و راه اندازی سیستم گردش آب، 5216 kcal/h گرما بازیافت گردید؛ با توجه به این مقدار، می‌توان 0.65 m³/h در مصرف گاز طبیعی صرفه جویی نمود. پس از انجام آزمایش، داده‌ها را با حاصل یک روش عددی و نتایج سایر محققان مقایسه نمودیم. سپس با توجه به محدودیت‌های اپراتوری و فضای در اختیار، سیستم پیشنهادی افزایش حرارت بازیافتی طراحی گردید. با تعمیم حاصل روش عددی در نتیجه آزمایش، توانستیم مقدار گرمای سیستم پیشنهادی را تخمین زده و مزایای حاصل از آن را ارائه نماییم. در نهایت مقدار گرمای بازیافتی از 12 m² سطح کلکتور برابر با 121086 kcal/h خواهد بود. در همه مراحل فوق دمای سطح شمش با استفاده از ترموگرافی تخمین زده شده است.

کلید واژگان: بازیافت حرارت، ریخته‌گری پیوسته فولاد، تولید آب گرم.

Experimental and analytical study of heat recovery from continuous casting billet production with aim of heating and domain hot water

Hamed Hassani¹, Mohammad nikian²

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

†Corresponding Author Email: Hamed5448@hotmail.com

Abstract:

In the all processes of steel production, a lot of heat is created; recovering and using this heat can save on natural resources and costs. The purpose of this paper is to describe an executive method and its impact on the amount of energy efficiency in continuous casting. In this paper, the amount of recovered heat from continuous casting in the pre-shear section has been investigated. To absorb this heat, a similar collector was made of solar collector collectors (using the equipment at the West Alborz Steel Company). After installing the collector at the desired location and setting up the circulating water system, 5216 kcal/h heat was recovered; according to this amount, 0.65 m³/h can be saved for natural gas consumption. After the experiment, we compared the data with the result of a numerical method and the results of other researchers. Then, due to operator and space constraints, the recommended system for recovering heat was designed. By generalizing the numerical method in the result of the experiment, we were able to estimate the amount of heat of the proposed system and provide the benefits of it. Eventually, the recovered heat of 12 m² collector area will be equal to 121086 kcal/h. At all stages, the temperature of the billets surface is estimated using thermography.

Keywords: Heat recovery, continues casting, Hot water generation.

۱- مقدمه

یکی از سیستم های تولید شمش فولادی، ریخته گری پیوسته می باشد. این روش یک سیستم بسیار مهم و پیشرفته متالورژیکی است که در آن سرعت تولید شمش بسیار افزایش یافته و کیفیت متالورژیکی شمش ها نیز به دلیل یکنواختی و همگونی تولید بهبود می یابد. یکنواختی و بی عیب بودن شمش ها در این روش، سبب کاهش ضایعات در هنگام نورد گردیده و تولیدی اقتصادی را بوجود می آورد. همین امر باعث شده تا در سال ۲۰۱۴ بیش از ۹۵.۹ درصد از محصول فولاد خام جهانی از این روش تولید گردد [۱].

جهت کنترل و بهبود کیفیت محصولات فولادی مانند شمش، ورق و ...، طراحی مدل های محاسباتی که بتواند رفتار حرارتی فولاد را توصیف نماید دارای اهمیت می باشد. در خصوص محاسبه و مدل سازی ریاضی دمای سطح شمش مطالعاتی توسط محققان انجام شده است.

سلمان متقیان [۲] به شبیه سازی فرآیند خنک کاری ثانویه در ریخته گری پیوسته فولاد پرداخته است. وی توسط نرم افزار فلوننت و به صورت سه بعدی با مدل کردن فرآیند انجماد نشان داد که سرعت ریخته گری در دبی آب ثابت تاثیر فراوانی در توزیع دمای شمش و طول متالورژیکی آن دارد.

حامد حسین زاده [۳] با استفاده از مدل سازی ریاضی برای انتقال حرارت و انجماد در ریخته گری پیوسته به این نتیجه دست یافت که با افزایش عدد استفان، ضخامت لایه جامد و سرعت انجماد نیز افزایش می یابد. وی تغییر فاز و انتقال حرارت در ریخته گری پیوسته را مورد تحلیل قرار داد. برای این منظور سطح مقطع قالب را مربع و شار خروجی از قالب و شرایط آب خنک کننده از قبیل دمای ورودی و پروفیل تغییر دمای آن در طول فرآیند را معلوم فرض نمود. سپس جهت ساده سازی حل، معادلات حاکم بر قسمتهای مذاب و جامد و قالب را از حالت دو بعدی به یک بعدی تبدیل کرده و با استفاده از روش تفاضل محدود، گسسته سازی و بصورت عددی مورد تحلیل قرار داد.

حسین آهنگری [۴] فرآیند انجماد فلزات را به روش تفاضل محدود شبیه سازی نمود. وی با در نظر گرفتن مدلی سه بعدی از شمش فولادی و گرمای نهان انجماد و حل معادلات دیفرانسیل فوریه توانست یک مدل عددی ارائه نماید و آن را با روش تفاضل محدود حل کند. حاصل حل عددی توزیع دما را با نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و بیان کرد می توان توزیع دما در زمان های مختلف، گرادیان دمایی و چندین پارامتر موثر دیگر را با مدل ارائه شده محاسبه نمود.

کاظم ابطی [۵] انتقال حرارت در سیستم ریخته گری مداوم را شبیه سازی نمود. ایشان با استفاده از نرم افزار و با بهره گیری از روش المان های محدود و پس از تعریف معادلات حاکم و بیان شرایط مرزی

مختلف توانست مقطع شمش را به صورت دوبعدی آنالیز نماید. نتایج حاصله بیانگر تاثیر دمای ریخته گری و سرعت ریخته گری بر سایر پارامتر ها همچون ضخامت پوسته جامد شده و ... می باشند.

آنا ایوانووا [۶] تغییر فاز لایه مرزی در ریخته گری پیوسته را محاسبه نمود. وی با استفاده از روش تفاضل محدود و حل معادلات غیرخطی حاکم بر مساله و اعمال دمای شمش، سرعت ریخته گری را بسیار با اهمیت توصیف نمود.

آدان رامیرز لویز و همکاران [۷] انتقال حرارت شمش فولادی در ریخته گری پیوسته را شبیه سازی نمودند. هدف آنها ساخت نرم افزاری جهت تعیین دمای شمش در هر نقطه از خط ریخته گری می باشد. آنها از روش تفاضل محدود جهت حل معادلات دوبعدی استفاده کرده و اثر انتقال حرارت های تشعشعی و هدایتی را در معادلات منظور نمودند.

آرتور ویلار و همکاران [۸] با مطالعه تبدیل انرژی بلااستفاده در ریخته گری پیوسته، بیان کردند که ۲۰ تا ۵۰ درصد انرژی دریافتی در پروسه، بصورت حرارت از صفحه های داغ و فرآیندهای گرمایش، بدون استفاده تلف می شود. آنها با مطالعه انرژی قابل بازیافت از فرآیند ریخته گری تعدادی از کارخانه ها و میزان تاثیر آن بروی نشر گازهای گلخانه ای تحقیق خود را انجام دادند.

آرتور ویلار و همکاران [۹] بازیافت حرارت از ریخته گری پیوسته ورق فولادی پس از برش توسط ماشین برش اکسیژن را در محل خنک کاری ورق بررسی نموده اند. هدف از این کار ایجاد راه حل جدیدی برای کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار تشعشعات بوده است. آنها ورق های فولادی که توسط لوله های حاوی جریان آب خنک می شوند را برای جذب حرارت تشعشعات بکار برده و توانستند با توجه به محدودیت های موجود که اجازه استفاده ۷۷ درصد تشعشعات را می دهند، به اختلاف دمای آب ورودی و خروجی ۹۰ درجه سانتیگراد برسند.

ماکوتو شیمیزو و همکاران [۱۰] بروی جاذب های انرژی خورشیدی که توانایی جذب حرارت بیش از ۶۰۰ درجه سلسیوس را دارند مطالعه نمودند. هدف از این کار استفاده از امواج مادون قرمزی است که دارای حرارتی بیش از ۶۰۰ درجه سانتیگراد می باشند. چرا که جاذب های خورشیدی استاندارد توانایی جذب طول موجهایی که بیش از ۱۵۰ درجه سلسیوس حرارت دارند را ندارند. براساس مدل سازی ریاضی و داده های آزمایشگاهی، آنها بیان کردند که پوشش از جنس تانتالیوم باعث افزایش میزان جذب امواج توسط کلکتور خواهد بود.

جووانا تارس و همکاران [۱۱] بروی بازیافت حرارت توسط جاذب های خورشیدی از تیر آهن های داغ که در محل خنک کاری هستند مطالعه نمودند. بر اساس یافته های آنها با توجه به دمای محیط ۷۰ درجه سلسیوس و بازتاب حرارت از محصول، تا 1 kw/m^2 می توان گرما جذب کرد. آنها ابتدا با بررسی امواج مادون قرمز گسیل شده از



شکل (۲): وضعیت هندسی شمش و موقعیت نصب جاذب حرارت ضریب دید ϕ_{21} نیز از رابطه دو طرفه کابلاک بدست می آید. این ضریب را باید بصورت جداگانه برای هر وجه شمش که بروی صفحه جاذب تابش دارد، محاسبه نمود.

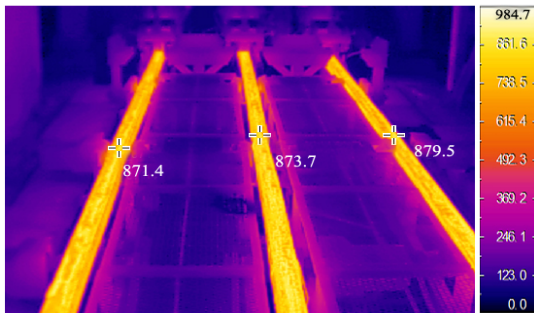
$$\phi_{12}A_1 = \phi_{21}A_2 \quad (۴)$$

همچنین با استفاده از فرمول های ریاضی داریم.

$$\cos \beta_1 = \frac{\vec{N}_1 \cdot \vec{S}}{|\vec{N}_1| |\vec{S}|} \quad (۵)$$

۳- تخمین دمای شمش و محاسبه کل حرارت گسیل شده

با توجه به شکل (۳) که حاصل تصویر ترموگرافی خط تولید است، دمای سطح شمش در محدوده مورد مطالعه دارای اکسید آهن، حدود ۸۷۰ درجه سانتیگراد می باشد. در برخی نقاط از سطح شمش، دمای ۹۸۰ درجه سانتیگراد نیز مشاهده می گردد



شکل (۳): تصویر ترموگرافی خط تولید

حال با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن برای جسم سیاه خواهیم داشت:

$$q = \sigma \varepsilon (T_{I,J}^4 - T_{Amb}^4) \\ q = 5.6704 \times 10^{-8} \times 0.85 \\ \times (1143^4 - 307^4) = 81837 \text{ W/m}^2 \quad (۶)$$

در رابطه فوق دمای محیط ۳۴ درجه سانتیگراد می باشد که قبل از فرآیند تولید اندازه گیری شده است. بنابراین با وجود سه خط تولید، مقدار ماکزیمم حرارت گسیل شده از شمش ها معادل W/m^2 245511 خواهد شد.

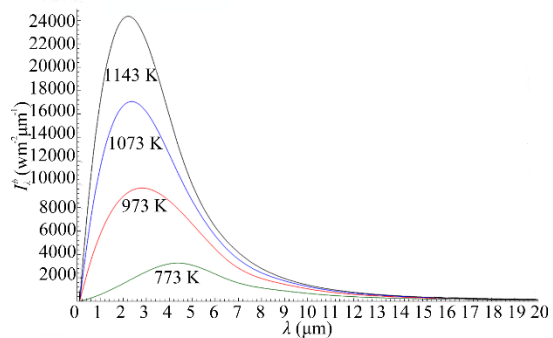
۴- محاسبه عددی حرارت جذب شده توسط کلکتور

سطح مقطع شمش تولیدی 125×125 میلی متر بوده و طول موثر آن ۶ متر فرض شده است. محاسبات این قسمت با استفاده از معادله (۲) و داده های جدول (۱)، در نرم افزار EES انجام شده و

تیر آهن ها دریافتند که بیشترین گرما در طول موج ۲.۵ تا ۱۰ میکرون است. سپس برای جمع آوری این گرما از کلکتور خورشیدی استفاده نمودند. پس از جذب گرما آن را توسط یک سیستم انتخابی جهت مصرف هدایت نمودند. کلکتور را در زوایا و ارتفاعات مختلف نصب کرده و نتایج ذکر شده را ارائه نمودند.

۲- جذب تشعشع توسط کلکتور

پرتوهای گسیل شده از فولاد را می توان بعنوان رفتاری از جسم خاکستری فرض کرده و براساس داده های ارائه شده توسط کابلاک [۱۲]، $\varepsilon = 0.85$ را بصورت میانگین در صنایع فولاد در نظر گرفت. در شکل (۱) شدت تابش طیفی فولاد در دماها و طول موج های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۱): شدت تابش طیفی فولاد در دماها و طول موج های مختلف

براساس شکل (۱) بیشترین گسیل در دمای 1143 K در طول موج $2.25 \mu\text{m}$ خواهد بود. جهت محاسبه مقدار گسیل سایر طول موج ها می توان از معادله (۱) نیز استفاده نمود.

$$F_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda} \quad (۱)$$

همچنین مقدار انتقال حرارت بین شمش ها و صفحات جاذب را می توان از معادله (۲) بدست آورد [۱۲].

$$\dot{Q}_{12} = \frac{\sigma \varepsilon_1 \varepsilon_2 A_1 \phi_{12} \times (T_1^4 - T_2^4)}{1 - (1 - \varepsilon_1) - (1 - \varepsilon_2) \phi_{12} \phi_{21}} \quad (۲)$$

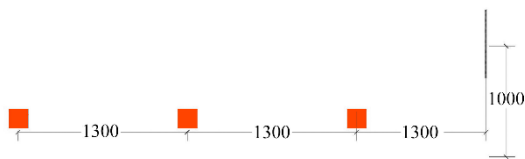
که در معادله فوق اندیس های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به شمش و صفحه جاذب هستند. ϕ_{12} ضریب دید بوده که مقدار آن کاملاً به شکل هندسی اجسام و تابش گسیل شده از سطح A_1 و تابش دریافتی سطح A_2 بستگی داشته و از معادله (۳) محاسبه می شود.

$$\phi_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{S^2} dA_1 dA_2 \quad (۳)$$

در معادله (۳)، S خط فرضی فاصله مرکز سطح A_1 تا مرکز سطح A_2 ، β_1 یا β_2 زاویه بین S و خط عمود (N_2 و N_1) بر صفحه A_1 و A_2 می باشند که در شکل (۲) نشان داده شده است.

۵-۱- روش مدلسازی

کلکتور ساخته شده را به فاصله تقریباً ۲ متر (فاصله افقی) از ناحیه خنک کاری ثانویه و ۱.۳ متر از مرکز اولین شمش مطابق با شکل (۵) نصب نمودیم.



شکل (۵): موقعیت نصب کلکتور

در فاصله تقریباً ۶ متری از محل نصب کلکتور و دور از تشعشعات، مخزن ۱۰۰ لیتری آب قرار دارد. ۳ متر از این فاصله لوله آهنی بدون عایق به قطر خارجی ۱۲ میلی‌متر و مابقی مسیر توسط شیلنگ منجیدار مقاوم در برابر حرارت نصب شده است. مشخصات پمپ مورد استفاده جهت سیرکوله آب مخزن و دماسنج استفاده شده مطابق جدول (۳) می‌باشد.

جدول (۳) مشخصات تجهیزات مورد استفاده در آزمون

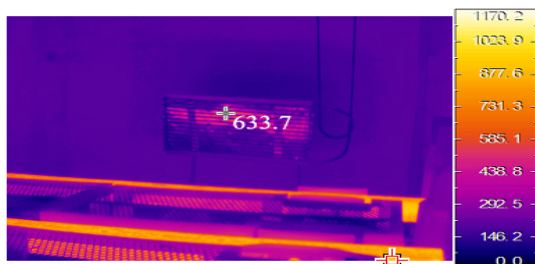
مشخصات	نام تجهیز
PEDROLLO***H=40-5 m Q=0.12-7.6 l/m***P550W	پمپ سانتیفریوژ
ASHE***DX400***0-100 °c	نمایشگر دما
ASHE***RTD PT-100***3Wire	سنسور دما

هدف از این آزمون، تعیین مدت زمان گرم شدن آب مخزن تا دماهای مورد نظر با استفاده از سطح جاذب ساخته شده و تعمیم آن به یک مجموعه بزرگتر می‌باشد.

قبل از شروع فرآیند ریخته گری دمای محیط و آب درون منبع ۳۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. با استارت ریخته گری آب درون منبع شروع به گرم شدن می‌کند و پس از ۳۰ دقیقه دمای آن از ۳۸ درجه سانتیگراد به ۵۲ درجه سانتیگراد می‌رسد. در مجموع پس از ۵۸ دقیقه دمای آب به ۹۰ درجه سانتیگراد رسید. آب که در کل این پروسه سیال عامل است توسط الکتروپمپ بین کلکتور و مخزن در جریان می‌باشد.

۵-۲- ترموگرافی مدل تجربی

در این بخش تصویر گرمایی گرفته شده از کلکتور، حین فرآیند ریخته گری ارائه شده است. همانطور که از شکل (۶) مشخص است دمای سطح کلکتور با ضریب گسیل ۰.۸۵ برابر با ۶۳۳ درجه سانتیگراد می‌باشد.



شکل (۶): تصویر گرمایی کلکتور هنگام آزمایش

حاصل آنها بصورت جدول (۲) ثبت گردیده است. زوایا و فاصله‌های مندرج در جدول (۲) نیز توسط نرم افزار Autocad استخراج شده‌اند.

جدول (۱): پارامترهای ثابت مورد نیاز جهت محاسبات

عنوان	T(K)	ε	A (m ²)
پارامترهای کلکتور	907	0.94	0.5
پارامترهای شمش	1143	0.85	0.9

جدول (۲): متغیرها و محاسبات حاصل از آنها

موقعیت	β ₁	β ₂	S (m)	∅ ₁₂	Q ₁₂ (w)
خط ۱ وجه بالا	63	27	1.116	0.3360	16842
خط ۱ وجه روبرو	58	32	1.087	0.3935	19830
خط ۲ وجه بالا	78	12	2.352	0.0380	1879
خط ۲ وجه روبرو	76	14	2.298	0.0459	2273
خط ۳ وجه بالا	82	8	3.633	0.0108	533.7
خط ۳ وجه روبرو	81	9	3.570	0.0125	619.6
مجموع					41977.3

۵- مدل تجربی

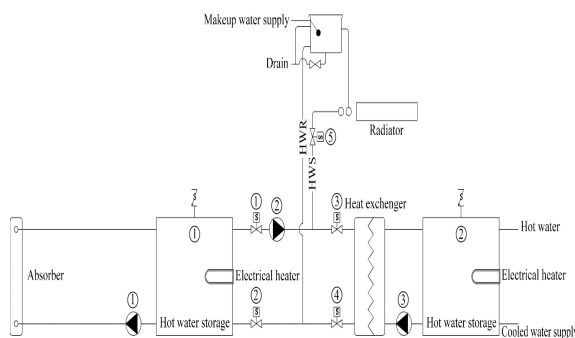
برای این منظور از کلکتور صفحه‌ای تخت بدون پوشش استفاده کرده‌ایم. بدین صورت که ابتدا لوله‌های مسی بطول ۱ متر و با ضخامت ۱ میلی‌متر و قطر خارجی ۱۰ میلی‌متر را به تعداد ۱۴ شاخه آماده کرده و بصورت رفت و برگشتی به یکدیگر جوشکاری نمودیم. سپس مجموعه لوله‌ها بروی یک صفحه آلومینیومی با ضخامت ۲ میلی‌متر مونتاژ گردید. در آخر کل مجموعه را به یک ورقه از جنس آربست که هم دارای مقاومت حرارتی و هم مقاومت فیزیکی مناسبی می‌باشد ثابت نمودیم. بین مجموعه لوله‌ها و ورق آربستی از چندین فاصله‌انداز نسوز عایق به ضخامت ۳ سانتی‌متر استفاده شده است. سازه ثابت کننده مجموعه دارای پایه‌هایی است که مرکز کلکتور را یک متر بالاتر از سطح زمین قرار می‌دهد. همچنین امکان تغییر زاویه تا ۴۵ درجه پیش بینی شده است.

شکل (۴) کلکتور ساخته شده در محل نصب و طریقه قرار گیری آن کنار خط تولید را نشان می‌دهد.



شکل (۴): تصویری از کلکتور ساخته شده در محل نصب

۳-۵- دياگرام استفاده از آب گرم توليد شده



شكل (۷): دياگرام پيشنهادهى توليد و توزيع آب گرم

در شكل (۷) روش پيشنهادهى جهت استفاده از آب گرم توليد شده بصورت كلى آماده شده است. در اين دياگرام از آبي كه توسط كلكتور ساخته شده گرم مى‌شود، براى مصرف بهداشتى و سيستم گرمايى استفاده مى‌گردد. اين سيستم داراى يك مخزن انبساط و دو مخزن ذخيره آب گرم مى‌باشد. بروى هر کدام از اين مخازن يك شيريكترفه سوپاپى نصب شده تا در صورت لزوم از ايجاد خلاء جلوگیری کند.

با شروع فرآيند ريخته گرى پمپ شماره ۱ روشن مى‌شود و آب داخل مخزن را درون كلكتور جاذب به گردش در مى‌آورد. تا زمانيكه دماى آب داخل مخزن به دماى مورد نياز نرسيده شيربرقى‌هاى شماره ۱ و ۲ بسته مى‌باشند. بروى مخازن ذخيره يك گرمكن برقى نيز نصب مى‌شود تا در صورت نياز مانند زمانيكه فرآيند ريخته گرى وجود ندارد و يا اينكه مى‌خواهيم سريعتر آب داخل مخزن را گرم كنيم از آن استفاده كرد. پس از گرم شدن آب تا دماى مورد نياز شيربرقى‌هاى ۱ و ۲ باز مى‌شود. حال سه حالت امكان پذير است. يكي استفاده از آب گرم شده بعنوان سيال سيستم گرمايى در فصل سرما؛ دومى استفاده از آب گرم شده بعنوان سيال واسط سيستم آب گرم بهداشتى و سومين حالت تركيب دو مورد فوق مى‌باشد. در حالت اول شيربرقى‌هاى ۳ و ۴ بسته بوده و پمپ شماره ۲ روشن است. در حالت دوم شيربرقى شماره ۵ بسته بوده و مابقى شيربرقى‌ها باز مى‌باشند. در حالت پمپ شماره ۳ نيز روشن مى‌باشد. در حالت آخر تمامى شيربرقى‌ها باز بوده و همه پمپ‌ها روشن هستند. در اين حالت چون احتمال کاهش دما وجود دارد بروى مخزن ۲ يك گرمكن الكتريكى نصب مى‌شود تا جبران كننده اين کاهش باشد. آب جبرائى سيستم مدار ۱ نيز توسط مخزن انبساط تامين مى‌شود.

۶- مقايسه نتايج بازيافت تجربى و محاسباتى

در اين بخش نتايج تجربى مقدار حرارت بازيافتى توسط مدل طراحى شده با مقدار عددى بخش ۴ مقايسه مى‌گردد. با توجه به بخش ۳ مقدار كل حرارت گسيل شده از سطح شمس هر سه خط توليد برابر با 245513 W مى‌باشد. همچنين از معادله ۲ براى مدل

طراحى شده و برحسب شرايط محل نصب، مقدار حرارت بازيافتى محاسباتى براى شمس ۶ مترى برابر با 41977 W مى‌باشد. نهايتا در شرايط يکسان براى كلكتور مذکور مقدار حرارت بازيافتى تجربى W 6066 است.

براساس مطالعات، جونا تارس و همكاران [۱۱] تا 4000 W را در محل خنك كارى نهايى شمس بازيافت کردند كه دماى فرضى آنها 50°C درجه سانتیگراد بوده است. ضمن اينكه ارتفاع نصب كلكتورهاى آنها كمى بيشتر از كلكتور ما مى‌باشد. بنا بر اين با توجه به داده‌هاى فوق ما توانسته‌ايم ۱۵ درصد حرارت تئورى را كه به سطح كلكتور مى‌تابد را در شمس ۶ مترى بصورت تجربى جذب نماييم.

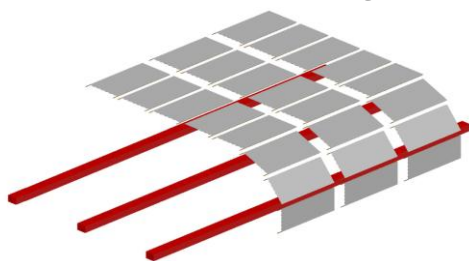
۷- مقدار صرفه جويى گاز طبيعى

عمده ترين سوخت مورد استفاده در محل آزمايش گاز طبيعى مى‌باشد. هرچه مقدار متان موجود در تركيب گاز طبيعى بيشتر باشد، ارزش حرارتى بالاترى خواهد داشت. با توجه به اينكه ارزش حرارتى متوسط گاز طبيعى در ايران حدود 8600 kcal/m^3 بوده و مقدار گرما بازيافت شده توسط كلكتور، به ازاي هر نيم مترمربع از صفحه جاذب مى‌توان مقدار $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ گاز طبيعى را صرفه جويى نمود. از طرفى هزينه هر مترمربع گاز طبيعى در منطقه حدود ۱۷۰۰ ريال مى‌باشد. بنا بر اين هر مترمربع از صفحه جاذب مبلغ ۲۲۱۰ ريال را در يك ساعت کاهش مى‌دهد. با افزايش تعداد كلكتورها يا بعبارت ديگر با افزايش سطح جاذب، ميزان صرفه جويى در مصرف گاز طبيعى افزايش و گازها کاهش مى‌يابد.

۸- نتايج گيرى

با توجه به فضاى در اختيار و نيز شرايط اپراتورى محل آزمايش، مى‌توان از سطحى معادل 12 m^2 بهره برد. اين فضا در شكل (۸) نشان داده شده است.

حال با استفاده از معادله (۲) براى طرح پيشنهادهى مى‌توان مقدار حرارتى كه قابل بازيافت است را تخمين زد. با تناسب مقدار تجربى و مقدار محاسباتى و تعميم آن به كل مجموعه، مقدار حرارتى كه امكان بازيافت در اين محل وجود خواهد داشت تقريبا 121086 kcal/h مى‌باشد. در اين حالت ميزان صرفه جويى گاز طبيعى برابر با $14.1 \text{ m}^3/\text{h}$ خواهد بود. اين مقدار صرفه جويى هزينه اى معادل ۲۳۹۷۰ ريال را در هر ساعت کاهش مى‌دهد.



شكل (۸): مدل نهايى و تعداد كلكتورها

[۵] ابطیحی، کاظم؛ شبیه سازی انتقال حرارت در سیستم ریخته گری مداوم، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۰.

[6] Ivanova A (2013) Calculation of Phase-Change Boundary Position in Continuous Casting. Archives of foundry engineering 13(4): 57-62.

[7] Ramírez-López A, Aguilar-López R, Palomar-Pardavé M, Romero-Romo A, MuñozNegrón D (2010) Simulation of heat transfer in steel billets during continuous casting. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials 17(4): 403-416.

[8] Villar A, Arribas J, Parrondo J (2011) Waste to energy technologies in continuous process industries. Clean Technologies and Environmental Policy 14(1): 29-41.

[9] Villar A, Arribas J, Parrondo J (2015) Waste heat recovery technology in continuous casting. Clean Technologies and Environmental Policy 17(2): 555-562.

[10] Shimizu M, Suzuki M, Iguchi F, Yugami H (2014) High-temperature solar selective absorbers using transparent conductive oxide coated metal. Energy Procedia 27: 418-426.

[11] Tarrés J, Mass S, Scholzen F, Zürbes Z (2014) Simulated and experimental results on heat recovery from hot steel beams in a cooling bed applying modified solar absorbers. Journal of Cleaner Production 68: 261-271.

[12] Kabelac S, Vortmeyer D (2010) K1 radiation of surfaces VDI Heat Atlas. Second Edition. Springer, Berlin.

با توجه به مطالب فوق الذکر، می توان در هر ساعت حداقل ۲ درصد در مصرف گاز طبیعی و هزینه آن در شرکت ذوب آهن البرز غرب صرفه جویی نمود.

۹- فهرست علائم

A	مساحت، m
C	ظرفیت گرمایی ویژه آب، $kJ/kg.K$
$F_{\lambda_1-\lambda_2}$	انرژی گسیل شده یک جسم در فاصله بین دو طول موج، w/m^2
I_{λ}	شدت طیفی جسم واقعی، w/m^2
m	جرم آب، kg
N	خط عمود بر صفحه
q	انتقال حرارت جسم سیاه، w/m
Q	گرمای انتقال یافته، $kcal$
\dot{Q}_{12}	نرخ انتقال حرارت، w
S	فاصله مرکز کلکتور تا مرکز شمش، m
T	دما، K

۹-۱- علائم یونانی

β	زاویه مابین خط فرضی بین شمش و کلکتور، deg
ε	ضریب نشر جسم
\emptyset_{12}	ضریب دید
λ	μm طول موج،
σ	ثابت استفان بولتزمن $5.6704 \times 10^{-8} (j/sm^2K^4)$

۹-۲ زیرنویس ها

Amb	محیط
I. J	جسم

۱۰- مراجع

[1] (2015) Steel Statistical Yearbook 2015. World Steel Association, Brussels.

[۲] متقیان، سلمان؛ شبیه سازی فرآیند خنک کاری ثانویه در ریخته گری مداوم فولاد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۴.

[۳] حسین زاده، حامد؛ مدلسازی ریاضی برای انتقال حرارت و انجماد در ریخته گری پیوسته، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۲.

[۴] آهنگری، حسین؛ شبیه سازی عددی فرآیند انجماد فلزات به روش تفاضل محدود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۰.