ISME

بررسي تجربي عملكرد يك مبدل حرارتي تماس مستقيم (سوپرمايزر) و اثر آن در بازيافت حرارت و كاهش آلاينده ها

حسن رحيم زاده[۱]
دانشيار

رضاحسيني ابرده[۲]
دانشيار

آرزو خليلي[۳]
كارشناس ارشد

ايمان روحي دهكردي
كارشناس ارشد

بيشترين ميزان اتلاف حرارت در بويلر، هنگام خروج گازهاي داغ از دودكش آن روي مي دهد. وظيفه اصلي اكونومايزر، بازيافت اين حرارت است. برخي از اكونومايزرها، به گونه اي طراحي شده اند كه در آنها گرمايش آب، از طريق برقراري تماس مستقيم بين گازهاي داغ خروجي از بويلر و آب، صورت مي گيرد و سوپرمايزر نام دارند. سوپرمايزرها در مقايسه با ساير انواع اكونومايزرها، قابليت بازيافت حرارت بالاتر و جذب آلاينده هاي موجود در گازهاي داغ خروجي از بويلر، در آنهاست. در اين مقاله، يک نمونه سوپرمايزر، مورد بررسي تجربي قرار گرفته است. سپس، داده هاي حاصل از آزمايش با نتايج محاسباتي، مقايسه شده است. نتايج آزمايش نشان مي دهد كه سوپرمايزر مذكور مي تواند ميزان مونو اكسيد كربن و هيدروكربنهايي كه به همراه گازهاي حاصل از احتراق وارد جو مي شوند را به ترتيب به ميزان ۳۳/۳% و ۵۴/۵% كاهش دهد و راندمان حرارتي آن ۹۵/۲% است.

واژه هاي راهنما: اكونومايزر تماس مستقيم، اسپري، پكينگ، سوپرمايزر.

۱- مقدمه

امروزه ديگهاي بخار، بخش مهمي از تجهيزات صنعتي را تشكيل مي دهند به طوريكه، حذف آنها از چرخه صنعت غير ممكن مي باشد. به همين دليل، همواره سعي شده است شيوه هايي اتخاذ شود كه منجر به كاهش مصرف سوخت و نهايتاً بهينه سازي مصرف انرژي شود.

از سوي ديگر، مصرف انرژيهاي فسيلي در بخشهاي مختلف صنعتي، خانگي و تجاري موجب پراكنده شدن گازهاي آلاينده در محيط زيست مي شود كه اثرات نامطلوبي بر موجودات زنده و طبيعت دارد.

[۱] دانشيار، دانشكده مهندسي مكانيك، دانشگاه صنعتي اميركبير rahimzad@aut.ac.ir
[۲] دانشيار، دانشكده مهندسي مكانيك، دانشگاه صنعتي اميركبير hoseinir@aut.ac.ir
[۳] نويسنده مسئول، كارشناس ارشد، عضو هيئت علمي دانشگاه آزاداسلامي واحدساوه، arezookhalili1050@gmail.com
[٤] كارشناس ارشد مهندسي هوافضا، مدرس دانشگاه آزاداسلامي واحدساوه imanroohi@aut.ac.ir

این مقاله، به ارائه راهکاري جهت بازيافت انرژي از گازهاي حاصل از احتراق، تـوأم بـا کـاهش آلاينـده هـاي محيط زيست، مي پردازد.

بخش عمده اي از انرژي حرارتي سوختي که جهت گرمايش و تبخير آب، در کوره ديگهاي بخار و آب داغ مورد استفاده قرار مي گيرد، از طريق دودکش به هدر مي رود.

قديمي ترين روش بازيافت حرارت از دودکش بويلرها، استفاده از اکونومايزر تماس غير مستقيم مي باشد. اکونومايزر، يک مبدل حرارتي لوله اي فين دار است که بر سـر راه دودکـش نصـب مـي شـود. آب سـرد وارد لوله ها شده و با عبور دود داغ از روي مجموعه لوله ها، گرم مي شود. آب گرم وارد بويلر مي شـود و بـه ايـن ترتيب، براي تبخير آب در بويلر، انرژي سوخت کمتري مصرف خواهد شد. چون مقدار ضريب انتقال حـرارت در اين مبدلها، پايين است، به منظور افزايش ميزان انتقال حرارت، بايد سطح آنها را تا حد امکان افزايش داد. علاوه بر اين، طراحي آنها بايد به شکلي صورت گيرد که دماي دود خروجي، بـالاتر از نقطـه شـبنم باشـد. در غير اين صورت، بخار موجود در محصولات احتراق به صورت قطرات ريز بر روي لوله هاي اکونومايزر چگاليده شده و باعث خوردگي مي شود.

به منظور حل مشکلاتي که در اکونومايزرهاي تماس غير مستقيم وجود دارد، مي تـوان مبـدلهاي تمـاس مستقيم را جايگزين آنها نمود. در يك مبدل تماس مستقيم، حرارت از طريق تماس مستقيم بـين دو سـيال گرم و سرد، منتقل مي شود. به دليل حذف ديواره هاي جدا کننده، مشکل تشکيل رسوب روي ديـواره هـا از بين رفته و انتقال حرارت با نرخ بالايي انجام مي شود. فرايند ديگري که مي تواند در نتيجه تماس مسـتقيم دو سيال صورت گيرد، انتقال جرم است. از اين ويژگي، به منظور حـذف مـواد نـامطلوب موجـود در يکـي از سيالها استفاده مي شود.

مبدلهاي تماس مستقيم، براي متبلور سازي، بازيافت انرژي از اتلافهاي صنعتي و نمک زدايـي از آب نيـز، مورد استفاده قرار مي گيرند. مطالعاتي در زمينه جريانهاي خلاف جهت مايع- مايع هم در اين وسـايل انجـام گرفته است.

Seetharamu و Battya [۱]، يک بار نرمال پنتان و بار ديگر $R113$ را به عنوان فـاز ناپيوسـته و آب را بـه عنوان فاز پيوسته در يك مبدل حرارتي تماس مستقيم به کار گرفته و روابطي را بـراي تعيـين مـايع ذخيـره شده در مبدل به صورت تابعي از نرخ جريان فاز ناپيوسته و قطر قطرات، ارائه کردنـد. آنهـا نتـايج زيـر را بـه دست آوردند:

۱. فاز ناپيوسته سبک تر (پنتان)، ميزان مايع ذخيره شده بيشتري در شرايط نرخ جريان ثابت ايجاد مي کند.
۲. در جريانهاي خلاف جهت، به دليل افزايش آشفتگي، ميزان ضريب انتقال حرارت حجمي افزايش مي يابد.
۳. با افزايش نرخ جريان فاز ناپيوسته، ضريب انتقال حرارت حجمي تقريباً به صورت خطي افزايش مي يابد.

Goodwin و همکارانش [۲]، پنتان و آب را در حاليکه در خلاف جهت يکديگر جريان داشته و در تمـاس مستقيم با يکديگر قرار داشتند، براي يک ستون پيش گرم کن به کار گرفته و نشان دادند که ضـريب انتقـال حرارت حجمي، با افزايش نرخ جرمي پنتان به عنوان فاز ناپيوسته، افزايش مي يابد.

Siqueiros و Bonilla [۳]، يک نمونه آزمايشگاهي مبدل جريان مسـتقيم سـه فـازي را سـاخته و مـورد بررسي قرار دادند. آنها نيز نرمال پنتان را به عنوان فاز ناپيوسته و آب را به عنوان فاز پيوسته، به کار گرفتند.

آنها همچنين دريافتند كه ضريب انتقال حرارت حجمي و نرخ انتقال حرارت(Q)، توابعي از دبي جرمي نرمال پنتان هستند. با افزايش دبي جرمي فاز ناپيوسته و ميزان مايع ذخيره شده، ضريب انتقال حرارت حجمي، افزايش مي يابد

Andres و همكارانش [۴]، به بررسي عملكرد مبدلهاي حرارتي تماس مستقيم داراي پكينگ كـه بخـار و گازهاي غير قابل تقطير داغ خروجي از نيروگاه را از طريق تماس با آب، خنک مي كردند، پرداختند. آنها ادعا كردند راندمان حرارتي اين مبدلهاي تماس مستقيم از مبدلهاي تماس غير مستقيم بالاتر است و اطلاعاتي در زمينه تعيين راندمان حرارتي اين مبدلها ارائه دادند. مدلهاي به كار گرفته شده مدلهايي يک بعدي بودند كـه با فرض وجود شرايط پايدار مورد استفاده قرار گرفتند.

Tadrist و همكارانش [۵]، مبدلهاي تماس مستقيم را به منظور تغيير فاز مايع- جامد، به كار گرفتند. آنها در بررسي خود، اظهار داشتند كه مبدلهاي تماس مستقيم اشكالاتي هم دارند كه از آن جمله مـي تـوان بـه محدوديت انتخاب سيالهايي كه در تماس مستقيم قرار مي گيرند، اشاره كرد. اين سيالها بايد از نظر شيميايي نسبت به هم بي اثر بوده و قابل حل در يكديگر نباشند. همچنـين، ضـرايب انتقـال حـرارت حجمـي كـه در آزمايش با مبدلهاي تماس مستقيم به دست آمدند، از ضرايب حجمي مربوط به مبدلهاي تماس غير مستقيم، بالاتر بودند.

همانطور كه اشاره شد، از تماس مستقيم دو سيال علاوه بر انتقال حرارت، مي توان براي انتقال جـرم نيـز استفاده كرد. به عنوان مثال، هوازداها از اين ويژگي، جهت حذف اكسيژن و گازهاي نـامطلوب موجـود در آب استفاده مي كنند.

Costa و همكارانش [۶]، يك دستگاه هوازدا را بـه منظـور حـذف اكسـيژن از آب دريـايي كـه وارد يـك سيستم نمك زدا مي شد، به كار گرفتند. آنها هوازدا را به صورت ستوني عمودي با مقطـع مسـتطيل در نظـر گرفتند كه قسمت زيرين آن با پكينگ پر شده بود. آب گرم از بالا توسط يك اسپري روي پكينگ ها ريختـه مي شد و پس از تماس مستقيم با جريان خلاف جهت بخار، اكسيژن آن زدوده مي شد. آنهـا دريافتنـد بخـار آزاد شده در مخزن هوازدا در فرايند تبخير آب، براي انجام فرايند هوازدايي كفايت مي كند و اين فرضيه كـه در صورت عدم تزريق بخار به درون هوازدا راندمان آن صفر است، نادرست است، اما بـا افـزايش نسـبت دبـي بخار به مايع، ميزان اكسيژن جذب شده از مايع و به دنبال آن راندمان هوازدا افزايش مي يابد.

Kunz و Baade [۷]، از سيستمي براي جذب متـانول و اتـانول اسـتفاده كردنـد. در فراينـدي كـه مـورد بررسي آنها قرار گرفت، درنتيجه واكنشـي كـه ميـان متـان و بخـار آب روي مـي داد، مقـاديري بخـار آب، مونو اكسيد كربن و دي اكسيد كربن توليد مي شد. در اين ميان واكنشهاي جانبي نيز انجام مي گرفت كه به توليد متانول و اتانول مي انجاميد. متانول و اتانول توليدي وارد آبي مي شـدند كـه بايـد در مرحلـه بعـد بـه عنوان آب تغذيه بويلر مورد استفاده قرار مي گرفت. آنها از يك دستگاه مشابه هوازدا استفاده كردند و با ايجاد تماس مستقيم بين آب و بخار، موجبات جذب متانول، اتانول و اكسيژن موجود در آب را فراهم كردند.

مروري بر تحقيقات انجام شده نشان مي دهـد كـه عملكـرد دو گانـه مبـدلهاي تمـاس مسـتقيم (انتقـال همزمان جرم و حرارت)، در شرايطي كه يكي از سيالات، گاز داغ و ديگري آب باشـد، تـاكنون چنـدان مـورد توجه قرار نگرفته است. حال آنكه به نظر مي رسد چنين مبدلي، از يك سو پتانسـيل بازيافـت انـرژي بـالايي

داشته باشد و بتواند حرارت قابل توجهي را از گازهاي داغي كه در فرايندهاي مختلف به هدر مي روند، جذب كند و از سوي ديگر در زمينه كاهش آلاينده هاي محيط زيست، مؤثر واقع شود. بـه منظـور بررسـي تجربـي نحوه عملكرد مبدلهاي تماس مستقيم و اثر آنها در كاهش آلاينده ها و بازيافت انرژي، در مقاله حاضـر، يـک نمونه مبدل حرارتي تماس مستقيم كه در آن گاز خروجـي از بـويلري بـا ظرفيـت $۸۰۰۰۰ ^{kcal}/_{hr}$، در تمـاس مستقيم با آب قرار مي گيرد، ساخته شده و مورد آزمايش قرار گرفته است.

در مبدل حرارتي مذكور، با انجام همزمان فرايندهاي انتقال جرم و حرارت، زمينـه لازم بـراي انجـام سـه فرايند زير به صورت همزمان فراهم مي گردد:

۱. جلوگيري از ورود بخشي از آلوده كننده هاي موجـود در گازهـاي حاصـل از احتـراق بـه هـوا بـه منظـور حفاظت از محيط زيست.

۲. گرمايش آب با استفاده از گاز داغ در راستاي بهينه سازي مصرف انرژي.

۳. جذب اكسيژن محلول در آب، به منظور كاهش اثرات خوردگي.

۲- بررسي عملكرد سوپرمايزر

سوپرمايزر، شامل دو بخش اصلي پاشش آب سرد (اسپري) و پكينگ است كه در شكل (۱)، نشان داده شده است.

اساس كار سوپرمايزر، بر انتقال حرارت مستقيم بين محصولات احتراق و آب استوار اسـت. آبـي كـه بايـد گرم شود، از طريق يک سيستم انتقال كنترل شده، به سمت نازل اسپري هدايت شـده و بـه صـورت قطـرات ريزي فرو مي ريزد. گازهاي داغ حاصل از احتراق، از قسمت پائين دستگاه وارد شده و به سـمت بـالا حركـت مي كند. آب پس از گذر از اسپري به قطرات ريزي تبديل مـي شـود كـه بـا سـرعت از ميـان گـاز داغ عبـور مي كند. علاوه بر انتقال حرارت صورت گرفته از طريق هدايت، بخار آب موجود در محصولات احتراق نيـز بـر روي قطرات آب چگاليده مي شود و به اين ترتيب، انرژي نهان تبخير كه در اكونومايزر تمـاس غيـر مسـتقيم قابل بازيافت نبود، جذب مي شود. قطرات آب قبل از رسيدن به پكينگ ها، دماي گاز خروجـي از سـوپرمايزر را تا دمايي در حدود $۱۵-۱۰^{\circ}C$، بالاتر از دماي آب ورودي به سيستم، كاهش مي دهند. به اين ترتيب، گـاز خروجي، كمترين مقدار ممكن حرارت را به همراه خود از سيستم خارج مي كند.

آب گرمی كه بااين فرآيند بدست مي آيد قابل استفاده مستقيم برای شستشو ومصارف ديگر نمـي باشـد، اما ميتوان از يک مبدل حرارتی ديگر استفاده كرد كه حرارت احذ شده را به آب قابل مصرف منتقـل نمايـد. لذا، سوپرمايزر دستگاهي است كه با ابعاد نسبتاً كوچک و عمر بسيار طولاني ميتواند انرژي حرارتی زيـادي را بازيافت كند. علاوه بر بازيافت حرارت ، با توجه به آنكه بخشی از هيـدروكربنهای نسـوخته ومونواسـيد كـربن توسط آب در سوپرمايزر جذب مي شود. لذا، سوپرمايزر مي تواند در كاهش آلاينده هاي محيط زيست، مـؤثر واقع شود.

۳- شرح آزمايش

طرح شماتيك سوپرمايزر ساخته شده، در شكل (۲)، ارائه شده است.

همانطور كه مشاهده مي شود، سوپرمايزر نمونه، يك مخزن استوانه اي عمودي، به قطر $۱۵۶ mm$ و ارتفاع $۶۷۳ mm$، است كه به منظور جلوگيري از مشكلات ناشي از خوردگي از جنس فولاد ضد زنگ ساخته شده است و در مسير گازهاي داغ حاصل از احتراق خروجي از بويلري با ظرفيت $۸۰۰۰۰ \frac{kcal}{hr}$ قرار گرفته است. در هر دو طرف سوپرمايزر ۵ سوراخ با قطر ۵ ميليمتر تعبيه شده اند كه براي جاي گذاري سنسورهاي اندازه گيري دما به كار مي روند. سنسورهاي مذكور، ترموكوپلهاي نوع K با دقت اندازه گيري ± 0.1 درجه سانتيگراد مي باشند و محل قرار گرفتن آنها در شكل (۳) نمايش داده شده است.

نازل اسپري مورد استفاده براي پاشش آب، به شكل مخروطي با زاويه ۴۵ درجه و قطر $۱/۴ mm$، است و در قسمت فوقاني سوپرمايزر واقع شده است.

پكينگهاي انتخابي از نوع راشينگ فلزي بوده و به شكل استوانه هايي با قطر و ارتفاع $۱۳ mm$ و ضخامت ديواره $۱/۶ mm$، مي باشند.

دبي آب ورودي به سوپرمايزر كه به وسيله دبي سنج متصل به لوله ورودي اندازه گيري شده درمحدوده $۰/۰۲ \frac{kg}{s}$ وبا دقت $۰/۰۰۱ \frac{kg}{s}$ و دماي آن $۱۷/۸^{\circ}C$ مي باشد. دبي گاز داغ حاصل از احتراقي كه از بويلر خارج شده و به درون سوپرمايزر، راه مي يابد، $۰/۰۰۳۸ \frac{kg}{s}$ و دماي آن $۳۵۰^{\circ}C$، است. آب ورودي براي كاهش دماي گازهاي داغ مورد استفاده قرار مي گيرد. سرانجام پس از گذشت ۱۵ دقيقه شرايط پايدار حاصل مي گردد. شكل (۴)، نمودار جرياني[4] سوپرمايزر را نشان مي دهد.

پس از روشن شدن بويلر، گازهاي داغ خروجي از آن وارد سوپرمايزر شده و سپس وارد اتمسفر مي گردند. پس از ۲۰ دقيقه دماي گازهاي مذكور به مقدار ثابت $۳۵۰^{\circ}C$ مي رسد. در اين لحظه آبي كه بايد گرم شود، از طريق يک سيستم كنترل هدايت شده وارد نازل شده و به صورت قطرات ريز فرو مي ريزد. شرايط پايدار زماني حاصل مي شود كه دماي گاز و آب ورودي و خروجي سوپرمايزر در مدت زمان ۳ دقيقه تغييراتي در بازه $\pm 0.1^{\circ}C$ داشته باشد. اين شرايط در حدود ۱۲ دقيقه بعد از آغاز فرايند اسپري آب حاصل مي شود.

پس از جريان يافتن آب، دبي آب ورودي و دما در نقاطي كه سنسورهاي اندازه گيري قرار دارند، در فواصل زماني ۳۰ ثانيه اندازه گرفته مي شوند.

٤- نتايج حاصل از آزمايش

نتايج حاصل از آزمايش در قالب دو بخش بازيافت حرارت و كاهش آلاينده هاي محيط زيست، ارائه مي شوند.

٤-١ بازيافت حرارت

دماي آب از $T_i = ۱۷/۸^{\circ}C$، در ورودي سوپرمايزر، به ميزان $T_{L2} = ۵۴/۸^{\circ}C$، در خروجي بخش حاوي پكينگ مي رسد.

روند اين تغييرات دما، تا زماني كه شرايط، پايدار شده و دما ثابت گردد، در شكل (۵)، نمايش داده شده است.

[4] - Flow Diagram

ميزان حرارتي كه آب در حين عبور از سوپرمايزر، از گاز داغ بازيافت مـي كنـد، بـا بـه كـارگيري رابطـه (۱) تعيين مي شود.

$$Q_1 = \dot{m}_{L1} C_{PL} (T_{L1} - T_i) = 3045.3W \qquad (۱)$$

آزمايش نشان مي دهد كه دماي گاز خروجي از سوپرمايزر در شرايط پايدار به $33.8^\circ C$ مي رسد. حال، با استفاده از رابطه (۲)، ضريب تاثير (راندمان حرارتي) سوپرمايزر را تعيين مي كنيم [۴].

$$\varepsilon_h = \frac{(T_{G1} - T_{G3})}{(T_{G1} - T_i)} = \frac{350 - 33.8}{350 - 17.8} = 95.2\% \qquad (۲)$$

مقدار ضريب تاثير (راندمان) به دست آمده بـراي سـوپرمايزر سـاخته شـده، حكايـت از كـارايي مطلـوب دستگاه مذكور دارد.

۴-۱-۱- بررسي صحت نتايج

همانطوركه در مقدمه ذكر شد، سيكوئيروس و بونيلا در آزمايش خود، پنتان را به عنوان فاز ناپيوسـته (فـازي كه اسپري مي شود)، در نظر گرفته و در تماس مستقيم با آب قرار دادند. آنان با بـه كـار گيـري رابطـه (۳)، نمودار شكل (۶) را براي تغييرات ضريب انتقال حرارت حجمي با دبي جرمي فاز ناپيوسته ارائه كردند[۳].

$$U_V = \frac{Q}{(V)(LMTD)} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، V نماد حجم بخشي است كه انتقال حرارت در آن روي مي دهد.

در اين مقاله نيز، با به كار گيري رابطه (۳)، مقادير ضريب انتقال حرارت حجمي را يافته و نمودار تغييرات آن را بر حسب دبي آب ورودي رسم مي كنيم.

مقايسه نمودار شكلهاي (۶) و (۷)، نشان مي دهد كه روند تغييرات ضرايب انتقال حرارت حجمي بـا دبـي فاز ناپيوسته در اين مقاله با نتايج Siqueiros و Bonilla كه پنتان را در تماس مستقيم با آب قرار دادند [۳]، همخواني دارد. امكان مقايسه كمي دو منحني به علت تفاوت اساسي در سيال بكاربرده شده و دبي آنها وجود ندارد وفقط روند تغييرات با هم مقايسه شده اند كه مطابقت و سازگاري دارند.

٤-۲- كاهش آلاينده هاي محيط زيست

يكي ديگر از كاربردهاي سوپرمايزر ساخته شده، كاهش دادن ميزان آلاينده هايي است كه به همراه گازهـاي حاصل از احتراق، وارد محيط زيست مي شوند. از آنجا كه اين امر، با توجه بـه اهميـت زيـادي كـه در حفـظ سلامتي موجودات زنده دارد، در سالهاي اخير، بسيار مورد توجه قرار گرفته است، كاربرد مذكور را مـي تـوان يكي از مزاياي شايان توجه اين دستگاه به شمار آورد.

به منظور اثبات اين ادعا، از يك دستگاه تحليـل گـر موتـور[5] كـه مـي توانـد بـه منظـور سـنجش ميـزان مونو اكسيد كربن و هيدروكربنهاي نسوخته موجود در گازهاي خروجي حاصل از احتراق، مورد اسـتفاده قـرار گيرد، استفاده شده است.

[5] - Engine Analyzer

پراب دستگاه، يك بار در مسير گازهاي خروجي از بويلر، بدون حضور سوپرمايزر و بار ديگر در مسير گازهاي خروجي از بويلري كه از سوپرمايزر عبور كرده اند، قرار داده شده و نتايج حاصل از آزمايش در هر مرحله، در جدول (۱)، ارائه شده است.

همانطور كه نتايج بيان شده در جدول (۱) نشان مي دهد، با به كارگيري سوپرمايزر در مسير گازهاي خروجي از بويلر، مونو اكسيد كربن و هيدرو كربنهاي نسوخته اي كه وارد محيط زيست مي شوند، به ترتيب، به ميزان ۳۳/۳% و ۵۴/۵% كاهش مي يابد.

نتايج مذكور، تأييد مي كند كه سوپرمايزر ساخته شده، مي تواند به عنوان يك كاهش دهنده آلودگي محيط زيست، در مسير خروجي بويلرها و دستگاههاي آلاينده ديگر، قرار گيرد.

٤-۳- تحليل اقتصادي طرح

دبي حجمي گاز طبيعي مورد نياز براي تأمين حرارت محاسبه شده در رابطه فوق، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه مي شود.

$$\dot{V}_1 = \frac{Q_1}{H.H.V} = \frac{3045.3}{39710} = 0.077\ {}^{m^3}\!/_{s} \qquad (۴)$$

$H.H.V$ نماد ارزش حرارتي بالاي سوخت است [8].

با فرض اينكه سوپرمايزر نمونه در مسير خروجي بويلري قرار بگيرد، كه در طول يك شبانه روز به مدت ۱۶ ساعت، فعال بوده و گاز طبيعي مصرف مي كند، حجم گاز طبيعي مصرف شده در مدت يك سال، با به كارگيري رابطه (۵)، محاسبه مي شود.

$$V_1 = 0.077\ {}^{m^3}\!/_{s} \times 365\,day \times 16\ hr \times 3600\ {}^{s}\!/_{hr} = 1618848\,m^3 \qquad (۵)$$

تعرفه گاز طبيعي براي واحدهاي مختلف مصرف كننده در جدول (۲)، ارائه شده است.

به اين ترتيب با فرض استفاده از اكونومايزر در يكي از بخشهاي صنعتي يا هتلها، مبلغ صرفه جويي ريالي در عرض يك سال را مي توان از رابطه (۶) محاسبه كرد.

$$Saving = 1618848\,m^3 \times 158.5\ {}^{Rial}\!/_{m^3} = 256587408\,Rials \qquad (۶)$$

جدول (۳)، ميزان صرفه جويي خالص ريالي را در عرض يك سال براي يك واحد صنعتي يا واحدي با تعرفه گاز طبيعي مشابه واحد صنعتي، كه در آن يك نمونه از سوپرمايزر ساخته شده، به كار گرفته شده است، نشان مي دهد.

همانطور كه داده هاي جدول (۳) نشان مي دهد، واحد صنعتي مورد نظر با به كارگيري سوپرمايزر نمونه، قادر خواهد بود به صرفه جويي ريالي معادل با ۲۴۶۵۸۷۴۰۸ ريال، دست يابد.

۵- جمع بندي

نتايج حاصل از آزمايش، نشان داد كه راندمان سوپرمايزر ساخته شده، ۹۵/۲% و ميزان حرارت بازيافت شده توسط آب از گازهاي داغ حاصل از احتراق، ۳۰۴۵/۳W، مي باشد.

با افزايش دبي آب ورودي (فاز ناپيوسته)، ميزان حرارت بازيافت شده و ضريب انتقال حرارت حجمي

افزايش مي يابد.

از سوي ديگر، سوپرمايزر ساخته شده ميزان مونو اكسيد كربن و هيدرو كربنهاي نسوخته اي كه همراه با گازهاي داغ حاصل از احتراق، وارد محيط زيست مي شوند را به ترتيب، به ميزان ۳۳/۳% و ۵۴/۵% كاهش مي دهد.

تحليل اقتصادي طرح، نيز نمايانگر صرفه جويي ريالي به مبلغ ۲۴۶۵۸۷۴۰۸ ريال در سال مي باشد.

نتايج فوق، نشان دهنده نقش مؤثر سوپرمايزر در بازيافت حرارت و كاهش آلاينده هايي است كه وارد محيط زيست مي شوند.

با توجه به نتايج به دست آمده، مي توان مزاياي ذيل را براي سوپرمايزر بر شمرد:

۱. مي توان شرايطي را فراهم كرد كه آب داغ در هر زمان و به مقدار مورد نياز، موجود باشد.
۲. قابليت بازيافت حرارت بالايي دارد.
۳. محدوديت مكانيكي و يا حرارتي براي سيستم وجود ندارد.
۴. از آنجا كه اين سيستم در فشار اتمسفر كار مي كند، خطرات ناشي از فشار عملكرد بالا (انفجار و ...)، در آن حذف شده و ضريب ايمني بالايي دارد.
۵. از هر گازي مي توان به عنوان سوخت استفاده كرد (گاز طبيعي، بيو گاز[6] و...).
۶. شرايط و لوازم خاصي، براي تعمير و نگهداري مورد نياز نمي باشد.
۷. سيستم مي تواند در حفاظت از محيط زيست، تأثير بسزايي داشته باشد.
۸. تجهيزات موجود مي توانند با ذخيره انرژي و كاهش مصرف سوخت و هزينه راه اندازي، هزينه هاي خود را تأمين كنند.

مراجع

[1] Seetharamu, K.N., and Battya, P., “Direct Contact Evaporation Between Two Immiscible Liquids in Spray Column”, J. Heat Transfer, Vol. 111, pp. 780-785, (1989).

[2] Goodwin, P., Coban, M., and Boehm, R., “Evaluation of the Flooding Limits and Heat Transfer of a Direct Contact Three Phase Spray Column”, 22nd. National Heat Transfer Conference, Denver, (1985).

[3] Siqueiros, J., and Bonilla, O., “An Experimental Study of a Three-phase Direct-contact Heat Exchanger”, J. Applied Thermal Engineering, Vol. 19, pp. 477-493, (1999).

[4] Andres, M. C., DE., Hoo, E., and Zangrando, F., “Performance of Direct-contact Heat and Mass Exchangers with Steam-gas Mixtures at Subatmospheric Pressures”, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 39 (5), pp. 965-973, (1996).

[5] Tadrist, L., Seguin, P., Santini, R., and Pantaloni, J., “Experimental and Numerical Study of Direct Contact Heat Exchangers”, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 28 (6), pp. 1215-1227, (1985).

[6] - BIOGAS

[6] Costa, P., Ferro, A., Ghiazza, E., and Bosio, B., “ Seawater Deaeration at Very Low Steam Flow Rates in the Stripping Section ”, J. Desalination, Vol. 201, pp. 306–314, (2006).

[7] Kunz, R.G., and Baade, W.F., “Vapor–liquid Activity Coefficients for Methanol and Ethanol from Heat of Solution Data: Application to Steam–Methane Reforming”, J. Hazardous Materials, Vol. B88, pp. 53–62, (2001).

[8] Ford, J.D., and Lekic, A., “Rate of Growth of Drops During Condensation”, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 16, pp. 61-64, (1973).

[9] Treybal, R., “*Mass Transfer Operations”*, McGraw-Hill New York, International Edition, (1980).

[10] http://www.nigc-fars/ir/site.aspx?partree=111A111816&LnkIdn=31462

[11] http://www.nigc-khrz.ir/customers/gascost.htm

فهرست نمادهاي انگليسي

C_{PL}: گرماي ويژه آب$\left(\frac{j}{kg.^{\circ}K}\right)$

$H.H.V$: ارزش حرارتی بالای سوخت (J/m^3)

$LMTD$: اختلاف دماي لگاريتمي آب و گاز

$\dot{m}_L$: دبي جرمي آب$\left(\frac{kg}{s}\right)$

Q_1: حرارت انتقالی (W)

T_i: دماي آب ورودي به سوپرمايزر$(^{\circ}K)$

T_{G1}: دماي گاز ورودي به بخش حاوي پكينگ$(^{\circ}K)$

T_{G3}: دماي گاز خروجي از سوپرمايزر$(^{\circ}K)$

T_{L1}: دماي آب خروجي از بخش حاوي پكينگ$(^{\circ}K)$

U_v: ضريب انتقال حرارت حجمي$\left(\frac{W}{m^3.^{\circ}K}\right)$

V: حجمی که انتقال حرارت در آن صورت میگیرد (m^3)

$\dot{V}_1$: دبی حجمی گاز (m^3/s)

ε_h: راندمان حرارتي سوپرمايزر

جدولها

جدول۱- میزان آلاینده هاي موجود در گاز خروجي بویلر قبل و بعد از نصب سوپرمایزر

میزان کاهش	پس از نصب سوپرمایزر	بدون سوپرمایزر	
%۳۳/۳	%۰/۰۴	%۰/۰۶	مقدار مونو اکسید کربن
%۵۴/۵	۱۰ *ppm*	۲۲ *ppm*	مقدار هیدروکربنهاي نسوخته

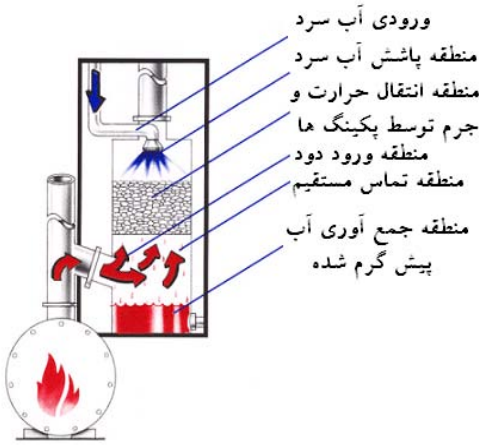
جدول۲- تعرفه گاز طبیعي مصرفي براي واحدهاي مختلف [9]

بخشهاي مختلف	تعرفه فروش هر متر مکعب گاز طبیعي (ریال)
واحدهاي صنعتي، هتلها	۱۵۸/۵
نیروگاهها	۴۹/۳
خانگي	۲۰۰

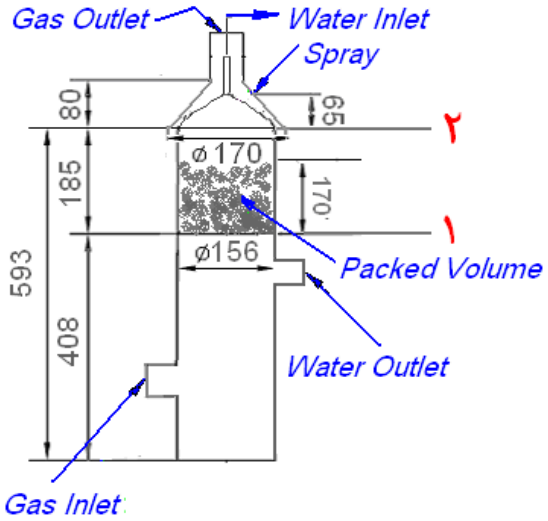
جدول۳- میزان صرفه جویي ریالي انجام شده درسال با به کار گیري سوپرمایزر در یك واحد صنعتي

ریال	عنوان
۲۵۶۵۸۷۴۰۸	صرفه جویي هزینه با کاهش مصرف سوخت (R_1)
۱۰۰۰۰۰۰۰	هزینه ساخت دستگاه (R_2)
۲۴۶۵۸۷۴۰۸	صرفه جویي ریالي خالص $(R_{net} = R_1 - R_2)$

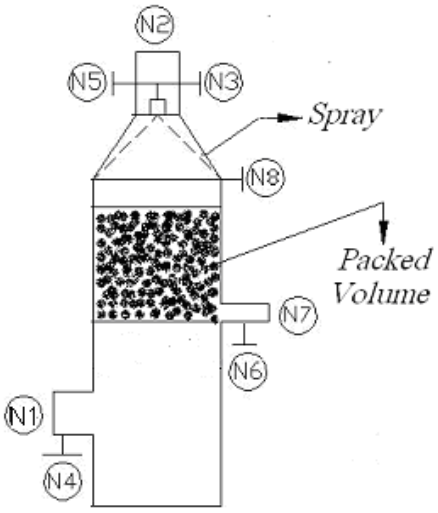
شکلها



شکل۱- نمایي از یك سوپرمایزر

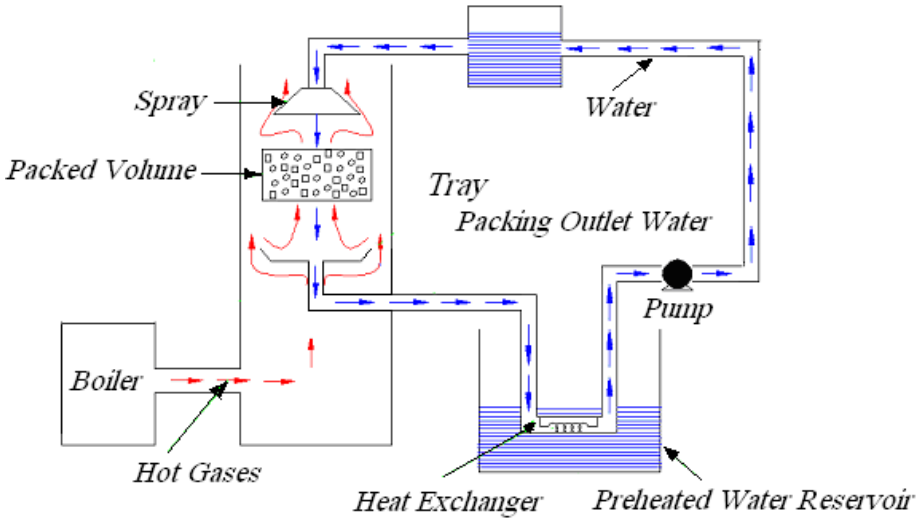


شكل۲- طرح شماتيک سوپرمايزر ساخته شده

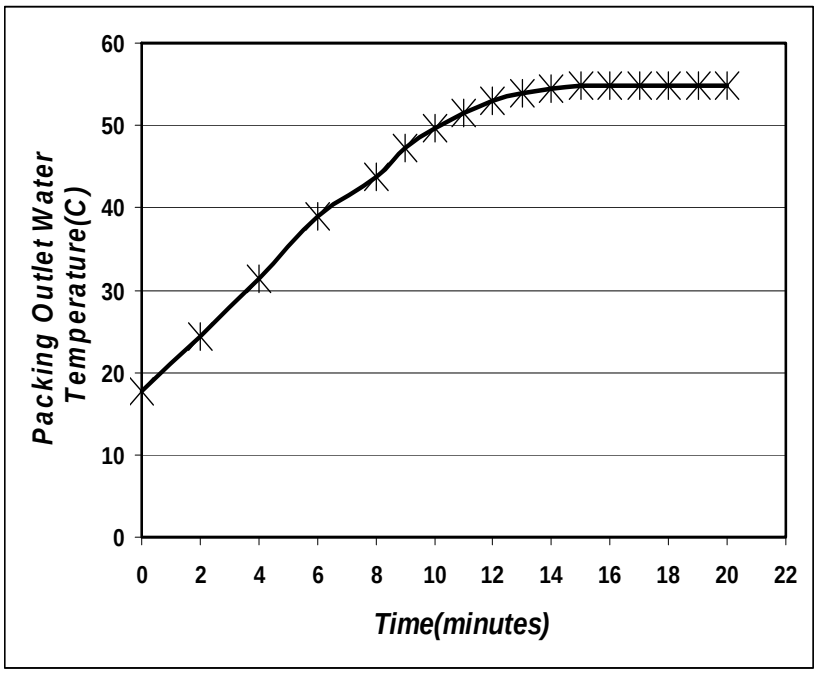


شكل۳- محل قرار گرفتن سنسورها

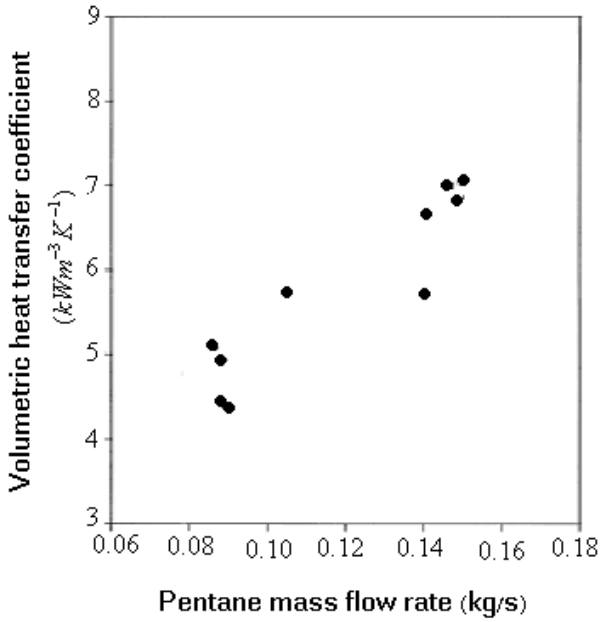
(N1) ورودي گاز، (N2) خروجي گاز و ورودي آب، (N3) ترموكوپل اندازه گيري دماي آب ورودي، (N4) ترموكوپل اندازه گيري دماي گاز ورودي، (N5) ترموكوپل اندازه گيري دماي گازخروجي، (N6) ترموكوپل اندازه گيري دماي آب خروجي، (N7) خروجي آب، (N8) ترموكوپل اندازه گيري دماي گاز خروجي از بخش حاوي پكينگ



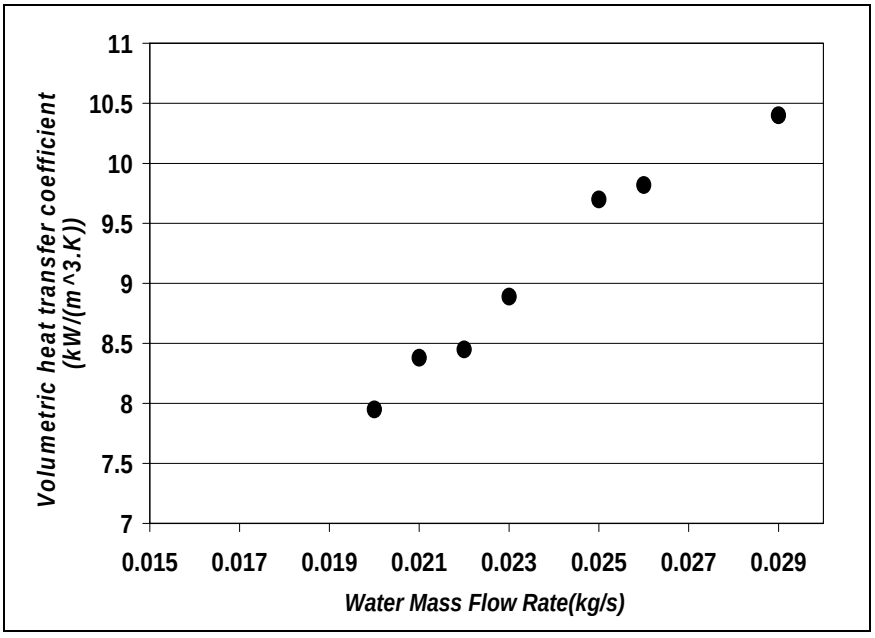
شکل۴- نمودار جرياني سوپرمايزر



شکل۵- نمودار تغييرات دماي آب خروجي از بخش حاوي پکينگ با زمان، در مقاله حاضر



شكل۶- نمودار تغييرات ضريب انتقال حرارت حجمي با دبي پنتان در تماس مستقيم آب و پنتان [۳]



شكل۷- نمودار تغييرات ضريب انتقال حرارت حجمي با دبي آب ورودي در تماس مستقيم آب و گازهاي داغ (مقاله حاضر)

Abstract

The biggest heat loss in a boiler is, what goes up the stack. Recovering some of this heat for pre-heating water is, what economizer does. There is a class of economizers designed to heat water through bringing the boiler exhaust hot gases into direct contact with water. They have called supermizers. Supermizers have capability of higher heat recovery than other type of economizers and can reduce atmospheric pollutants contained in boiler exhaust hot gases.
In this paper, a supermizer has been studied experimentally. Then, the experimental data are compared with computational results. The experimental results indicate that, this Supermizer can reduce uncombusted Hydrocarbons and Carbon monoxide entering atmosphere by 54.5% and 33.3% respectively and its thermal effectiveness is 95.2% .