

تأثير ظروف الدخول على كفاءة وفعالية مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب

عبد الرحمن أحمد أبو شنب^{1*}، علي أحمد المطردي²

¹المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا، abdrahman_aboshanab@yahoo.com

²جامعة مصراته، مصراته، ليبيا، ali.mutordi@eng.misuratau.edu.ly

الملخص

تبحث هذه الورقة تأثير ظروف الدخول على كل من كفاءة وفعالية المبادلات الحرارية من نوع الأسطوانة والأنبوب متوازية ومتضادة السريان. تناولت الدراسة حالتين تعتمدان على القيمة النسبية لمعدل السعة الحرارية للمائع البارد مقارنة بالمائع الساخن. وسيط التشغيل للمبادل الحراري هو الماء، وصُنعت الأسطوانة والأنابيب من الزجاج والفولاذ المقاوم للصدأ على التوالي. أجريت الدراسات التجريبية على المبادل الحراري بقيم متغيرة لمعدلات تدفق كتلة الماء الساخن والبارد ودرجات حرارة دخول الماء الساخن والبارد. لكلا النوعين من المبادلات الحرارية، عندما يكون معدل السعة الحرارية للماء البارد أقل من معدل السعة الحرارية للماء الساخن، أظهرت النتائج زيادة في فعالية وكفاءة المبادل الحراري مع زيادة درجة حرارة دخول الماء البارد. أيضاً عند زيادة معدل تدفق كتلة الماء الساخن، أظهر النوعان انخفاضاً في الفعالية والكفاءة عندما يكون معدل السعة الحرارية للماء البارد أكبر من معدل السعة الحرارية للماء الساخن. خلصت النتائج التجريبية أيضاً إلى أن كفاءة وفعالية المبادل الحراري المتضاد السريان أكبر من مثيلتها في المبادل الحراري المتوازي السريان.

الكلمات الدالة:

أسطوانة وأنبوب.
فعالية .
كفاءة .
مبادل حراري.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: abdrahman_aboshanab@yahoo.com

1. المقدمة

يتكون المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب من عدد من الأنابيب المتوازية المحاطة بغلاف أسطواني. تنتقل الحرارة بين مائع يتدفق عبر حزمة الأنابيب والمائع الآخر الذي يتدفق عبر الأسطوانة حول الأنابيب. يتم تثبيت حواجز داخل الأسطوانة لزيادة اضطراب مائع الأسطوانة وبالتالي زيادة نقل الحرارة. أشق أبو شنب [1] علاقات رياضية جديدة تصف كفاءة المبادلات الحرارية مزدوجة الأنابيب متوازية ومتضادة السريان. وجد أن الكفاءة تعتمد على نسبة السعة الحرارية، وعدد وحدات الانتقال للسريان المتوازي والمتضاد. أستخدم تشوكودي وأوغونيدو [2] ديناميكا الموائع الحسابية لتحسين ظروف الدخول لمبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب، وللنموذج المقدم في الدراسة وجد ظروف الإدخال المُحسَّنة لكل من معدل تدفق الكتلة للماء البارد، معدل تدفق الكتلة للماء الساخن، سرعة الماء البارد، وسرعة الماء الساخن. ارتفعت كفاءة المبادل نتيجة القيم المثلى لحالة المدخل إلى 86.11% مقابل 4.43% في الظروف الأولية. صمم دوبي وآخرون [3] نموذج مبسط لمبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب باستخدام طريقة كيرن لتبريد الماء من 55°C إلى 45°C باستخدام ماء عند درجة حرارة

الغرفة. وتم تصنيع نموذج للمبادل واختباره تحت ظروف تدفق مختلفة باستخدام عوازل من مواد مختلفة مثل رقائق الألومنيوم، الصوف القطني، والورق. كذلك أختبر النموذج عند درجات حرارة محيطية مختلفة لمعرفة تأثيرها على أداء المبادل الحراري. قدم نوغيرا [4] حل تحليلي للحصول على درجات حرارة خروج السائل الساخن والسائل البارد في مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب، لتدفق سائل نانوي بارد في الأسطوانة وتدفق الماء الساخن في الأنبوب. قام كيشور وآخرون [5] بتغيير معدن الأنبوب وتباعد الحواجز في مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب وإيجاد كل من معامل نقل الحرارة والفعالية. الهدف من هذه الدراسة معرفة تأثير التغير في حالات الدخول على كفاءة وفعالية مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب. تم إجراء العمل التجريبي على مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب لسريان متوازي ومتضاد عند قيم مختلفة لدرجات حرارة الدخول ومعدلات تدفق الكتلة لكل من الماء الساخن والبارد.

2. جهاز التجارب

الجهاز المستخدم لبيان تأثير حالات الدخول على كفاءة وفعالية مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب مبين في الشكل 1. يتكون المبادل الحراري من سبعة أنابيب مصنوعة من الصلب المقاوم للصدأ قطرها الخارجي 0.00476m وسمك جدارها 0.0006m بطول فعال 0.205m محاطة بأسطوانة زجاجية قطرها الداخلي 0.075m وسمك جدارها 0.01m. يتدفق المائع الساخن من المسخن ليمر خلال أنابيب المبادل الحراري ثم يعود مرة أخرى إلى المسخن خلال دورة مغلقة بينما يتحرك ماء التبريد داخل الأسطوانة حول الأنابيب التي يمر بها الماء الساخن، ويوجد حاجزان في الأسطوانة لتعزيز الاضطراب. تقاس درجة حرارة دخول وخروج الماء البارد والساخن بواسطة مزدوجات حرارية من النوع K بينما يقاس معدل تدفق الماء بواسطة مقياسين للتدفق مدى قياسهما من 4g/s إلى 50g/s. يمكن عكس اتجاه التدفق للتيار البارد بالنسبة للتيار الساخن عن طريق تغيير موقع أنابيب الدخول والخروج.



شكل 1 صورة لجهاز الاختبار التجريبي.

3. معالجة البيانات

حُسبت البيانات في هذه التجارب بمساعدة العلاقات التحليلية لانتقال الحرارة والمتوفرة في المراجع [6-8]:

لحساب معدل انتقال الحرارة، تستخدم العلاقتين:

$$Q_h = m_h c_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (1)$$

$$Q_c = m_c c_{pc} (T_{co} - T_{ci}) \quad (2)$$

حيث Q معدل انتقال الحرارة، m معدل تدفق الكتلة، c_p الحرارة النوعية عند ضغط ثابت، T درجة الحرارة، h مائع ساخن، c مائع بارد، i دخول، و o خروج. يتم تحديد الفعالية ϵ من خلال المعادلتين:

$$\epsilon = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (4)$$

تُطبق المعادلة (3) عندما يكون معدل السعة الحرارية للمائع الساخن C_h أقل من معدل السعة الحرارية للمائع البارد C_c ، بينما تُطبق المعادلة (4) عندما يكون معدل السعة الحرارية للمائع البارد أقل من معدل السعة الحرارية للمائع الساخن، وتُعرّف السعة الحرارية C بالعلاقة:

$$C = mc_p \quad (5)$$

تُحسب كفاءة المبادل الحراري η من العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_h} \quad (6)$$

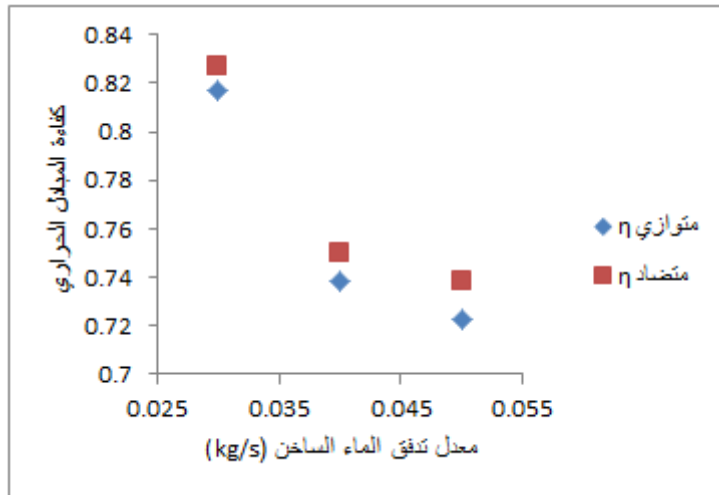
4. النتائج و المناقشة

أُجريت تجارب معملية لدراسة تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد والساخن ودرجة حرارة دخول الماء البارد والساخن على كفاءة وفعالية المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب ذو السريان المتوازي والمتضاد تحت ظروف المدخل المتغيرة للحالتين، الحالة الأولى عندما تكون السعة الحرارية للماء البارد أقل من نظيرتها للماء الساخن، والحالة الثانية عندما تكون السعة الحرارية للماء الساخن أقل من نظيرتها للماء البارد. ويمكن تغيير معدل السعة الحرارية للماء بتغيير معدل تدفق كتلة الماء، فنحصل على معدل سعة حرارية أكبر للماء البارد من نظيره للماء الساخن عندما يكون معدل تدفق الماء البارد أكبر من مثيله للماء الساخن.

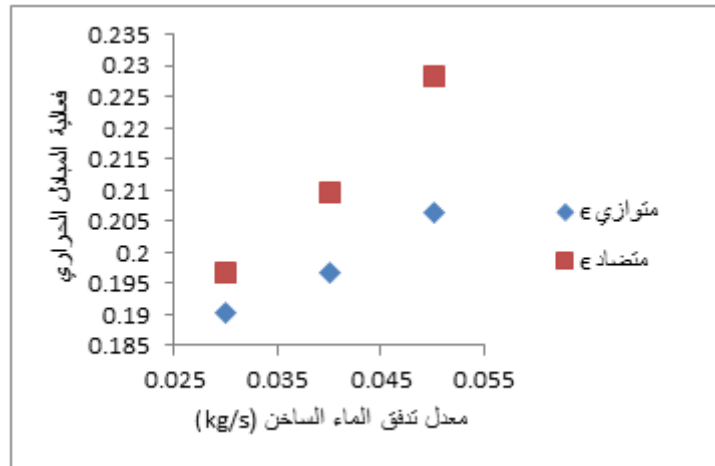
1.4 تأثير ظروف الدخول للحالة الأولى

لدراسة تأثير تغير معدل تدفق كتلة الماء الساخن، ثُبِتت درجة حرارة دخول الماء الساخن ومعدل تدفق كتلة الماء البارد عند 48°C و 20g/s على الترتيب، وأُجريت التجارب عند درجة حرارة دخول للماء

البارد مقدارها 16.5°C ، وأختبر المبادل الحراري عند معدلات تدفق 30 و 40 و 50g/s للماء الساخن. يوضح الشكل 2 تأثير تغير معدل تدفق كتلة الماء الساخن على كفاءة المبادل الحراري للسريان المتوازي والمتضاد. يُلاحظ من الشكل أن كفاءة المبادل الحراري انخفضت مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء الساخن. يوضح الشكل 3 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء الساخن على فعالية المبادل الحراري المتوازي والمتضاد السريان. يُلاحظ من الشكل أن فعالية المبادل الحراري زادت مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء الساخن.



شكل 2 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء الساخن على كفاءة المبادل الحراري للحالة الأولى.

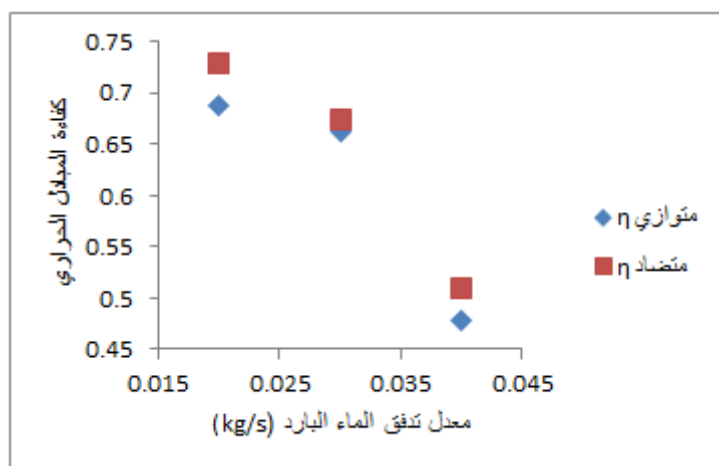


شكل 3 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء الساخن على فعالية المبادل الحراري للحالة الأولى.

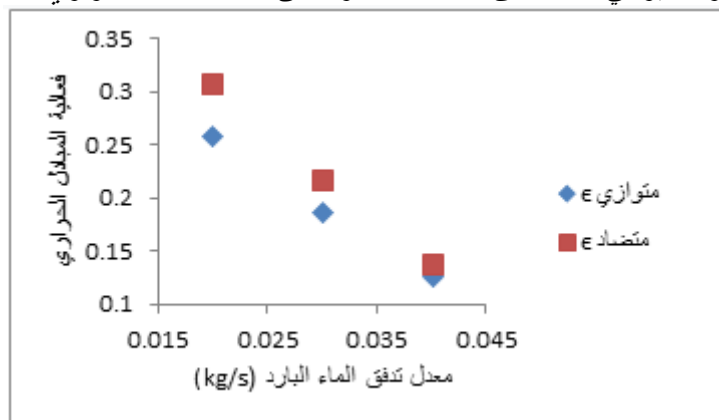
لدراسة تأثير تغير معدل تدفق كتلة الماء البارد، تُثبت درجة حرارة دخول ومعدل تدفق كتلة الماء الساخن عند 50°C و 50g/s على الترتيب، وكانت درجة حرارة دخول الماء البارد 33.4°C ، وأختبر المبادل الحراري عند معدلات تدفق 20 و 30 و 40g/s للماء البارد. يتضح من الشكلين 4 و 5 أن كفاءة المبادل

الحراري انخفضت مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء البارد، كذلك انخفضت فعالية المبادل الحراري مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء البارد لحالتي السريان المتوازي والمتضاد.

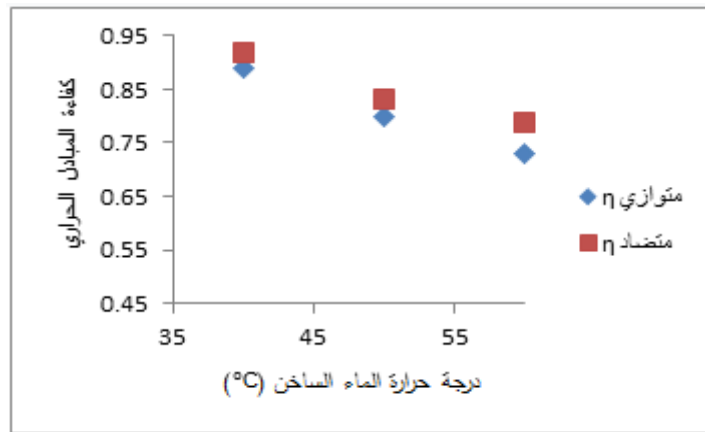
لدراسة تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن، ثبت معدل تدفق كتلة الماء البارد والساخن عند 20 و 25g/s على الترتيب وكانت درجة حرارة دخول الماء البارد 31°C ، وتغيرت درجة حرارة دخول الماء الساخن من 40 إلى 50 ثم 60°C . يُلاحظ من الشكلين 6 و 7 أنه عند زيادة درجة حرارة الماء الساخن انخفضت كفاءة المبادل الحراري وزادت فعاليته.



شكل 4 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على كفاءة المبادل الحراري للحالة الأولى.

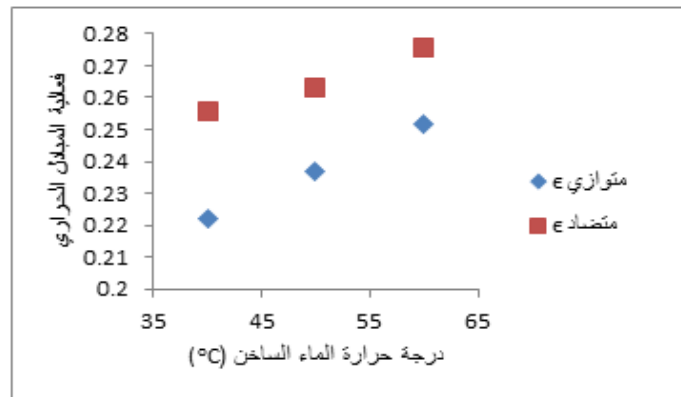


شكل 5 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على فعالية المبادل الحراري للحالة الأولى.

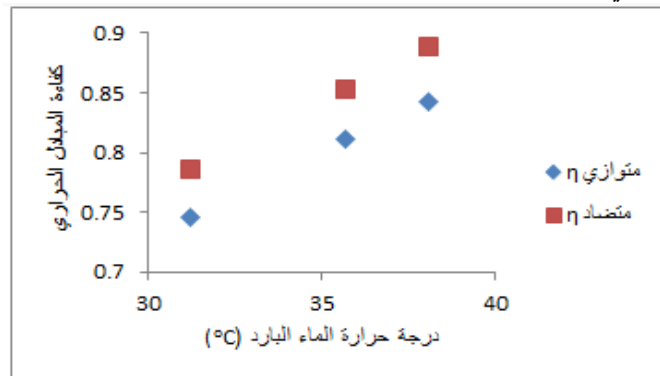


شكل 6 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن على كفاءة المبادل الحراري للحالة الأولى.

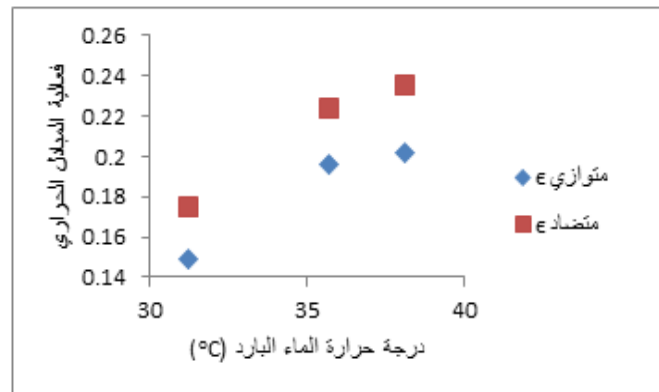
لدراسة تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد، ثبتت درجة حرارة دخول ومعدل تدفق كتلة الماء الساخن عند 50°C و 30g/s على الترتيب، وثبت معدل تدفق كتلة الماء البارد عند 20g/s ، وأجريت التجارب عند درجات حرارة مختلفة لدخول الماء البارد وهي 31.2°C و 35.7°C و 38.1°C . يتبين من الشكلين 8 و 9 أن كفاءة وفعالية المبادل الحراري زادت مع زيادة درجة حرارة دخول الماء البارد.



شكل 7 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن على فعالية المبادل الحراري للحالة الأولى.



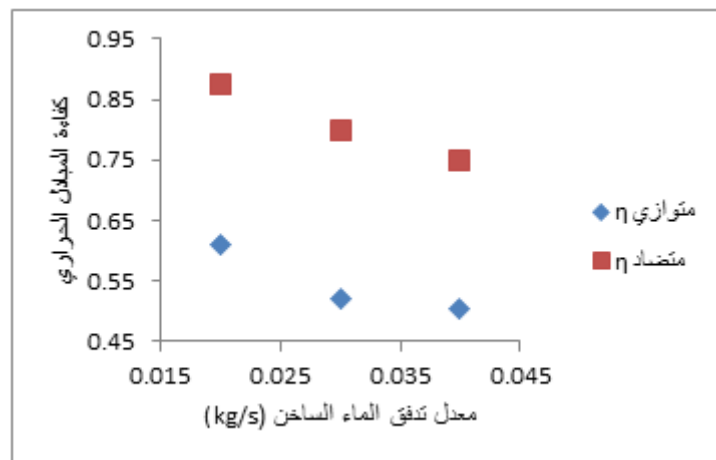
شكل 8 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد على كفاءة المبادل الحراري للحالة الأولى.



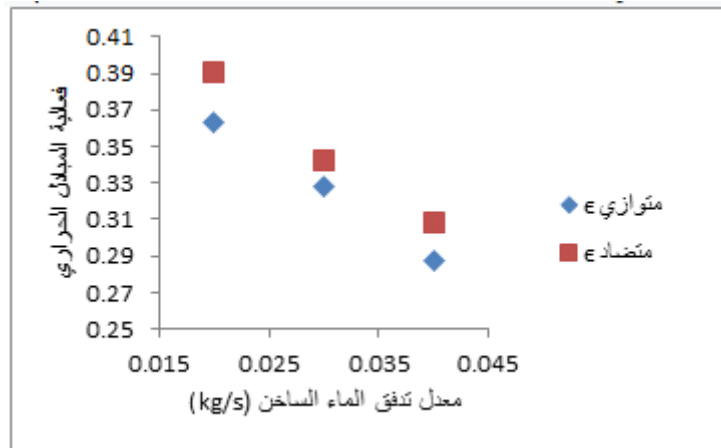
شكل 9 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد على فعالية المبادل الحراري للحالة الأولى.

2.4 تأثير ظروف الدخول للحالة الثانية

لدراسة تأثير تغير معدل تدفق كتلة الماء الساخن، ثبتت درجة حرارة دخول الماء الساخن ومعدل تدفق كتلة الماء البارد عند 50°C و 50g/s على الترتيب، وأُجريت التجارب عند درجة حرارة دخول للماء البارد مقدارها 35.4°C ، وأختبر المبادل الحراري عند معدلات تدفق 20 و 30 و 40g/s للماء الساخن. يُلاحظ من الشكلين 10 و 11 انخفاض كفاءة وفعالية المبادل الحراري مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء الساخن للسريان المتوازي والمتضاد.

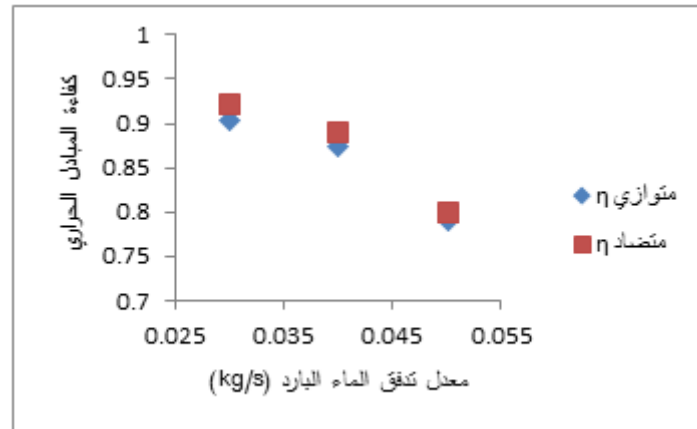


شكل 10 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء الساخن على كفاءة المبادل الحراري للحالة الثانية.

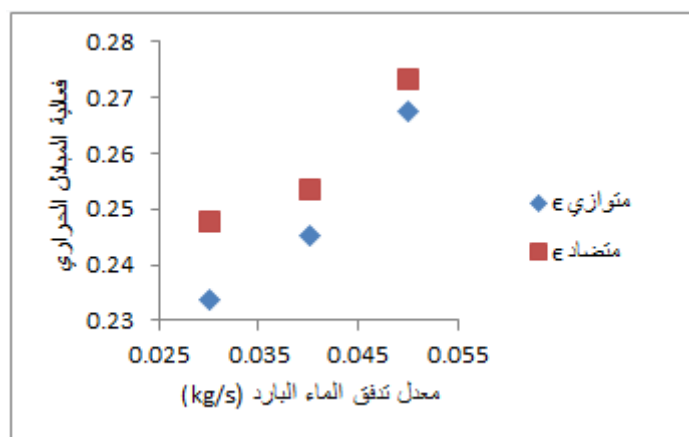


شكل 11 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء الساخن على فعالية المبادل الحراري للحالة الثانية.

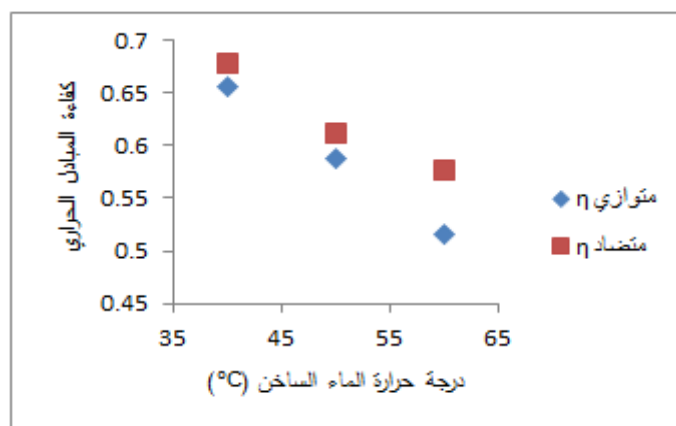
لدراسة تأثير تغير معدل تدفق كتلة الماء البارد، تُبنت درجة حرارة الدخول ومعدل تدفق كتلة الماء الساخن عند 50°C و 20g/s على الترتيب، وكانت درجة حرارة دخول الماء البارد 14.5°C ، وأُختبر المبادل الحراري عند معدلات تدفق 30 و 40 و 50g/s للماء البارد. يوضح الشكل 12 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على كفاءة المبادل الحراري للسريان المتوازي والمتضاد. يُلاحظ من الشكل أن كفاءة المبادل الحراري انخفضت مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء البارد. يوضح الشكل 13 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على فعالية المبادل الحراري المتوازي والمتضاد السريان. يُلاحظ من الشكل أن فعالية المبادل الحراري زادت مع زيادة معدل تدفق كتلة الماء البارد.



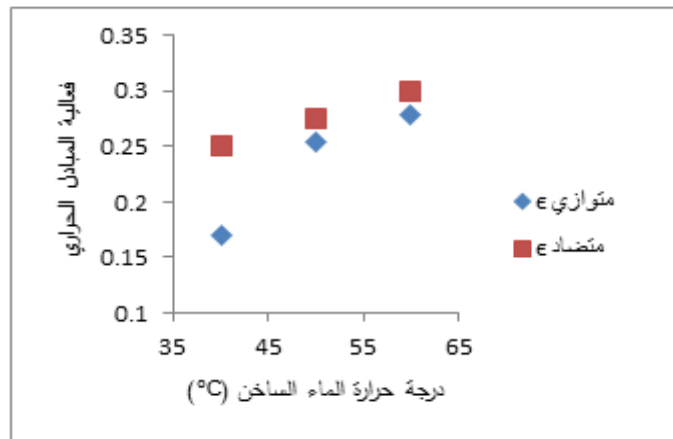
شكل 12 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على كفاءة المبادل الحراري للحالة الثانية.



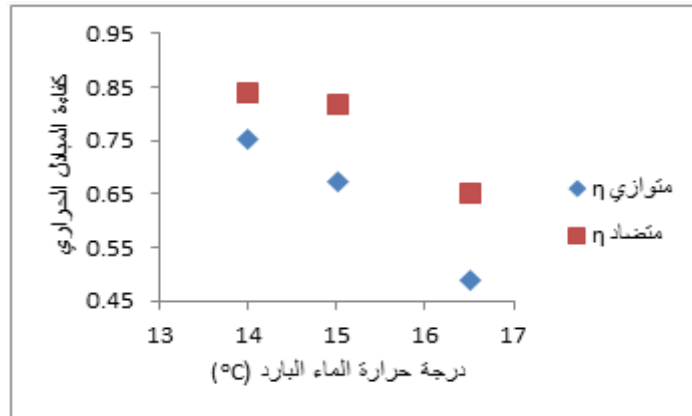
شكل 13 تأثير التغير في معدل تدفق كتلة الماء البارد على فعالية المبادل الحراري للحالة الثانية. لدراسة تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن، ثبت معدل تدفق كتلة الماء البارد والساخن عند 25 و 20g/s على الترتيب، وكانت درجة حرارة دخول الماء البارد 16.5°C ، وتغيرت درجة حرارة دخول الماء الساخن من 40 إلى 50 ثم 60°C . يُلاحظ من الشكلين 14 و 15 أنه عند زيادة درجة حرارة دخول الماء الساخن انخفضت كفاءة المبادل الحراري وزادت فعاليته.



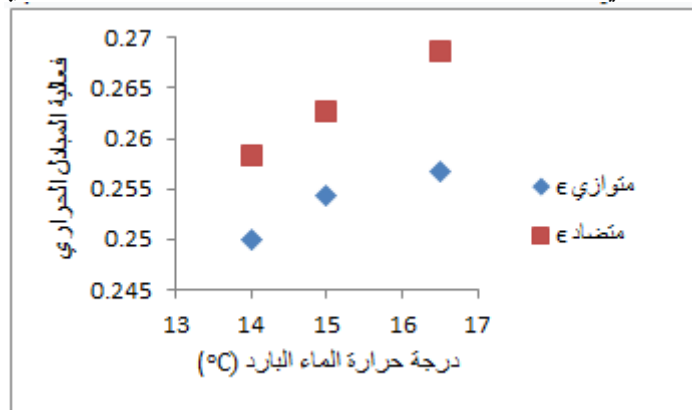
شكل 14 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن على كفاءة المبادل الحراري للحالة الثانية. لدراسة تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد، ثبتت درجة حرارة دخول ومعدل تدفق كتلة الماء الساخن عند 50°C و 20g/s على الترتيب، وُثبت معدل تدفق كتلة الماء البارد عند 30g/s، وأُجريت التجارب عند درجات حرارة مختلفة لدخول الماء البارد وهي 14 و 15 و 16.5°C . يتبين من الشكلين 16 و 17 أن كفاءة المبادل الحراري انخفضت بينما زادت فعاليته عند زيادة درجة حرارة دخول الماء البارد.



شكل 15 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن على فعالية المبادل الحراري للحالة الثانية.



شكل 16 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد على كفاءة المبادل الحراري للحالة الثانية.



شكل 17 تأثير التغير في درجة حرارة دخول الماء البارد على فعالية المبادل الحراري للحالة الثانية.

لكل حالات الدخول المبينة في الورقة يلاحظ أن كفاءة وفعالية المبادل الحراري ذو السريان المتضاد أكبر من مثيلتها للسريان المتوازي كما هو موضح في الاشكال من 2 إلى 17. أظهرت القراءات المتحصل عليها من التجارب أنه عند زيادة معدل تدفق كتلة الماء البارد للحالتين انخفضت درجة حرارة خروج

الماء البارد والساخن، بينما زادت درجة حرارة خروج الماء البارد والساخن للحالتين عند زيادة معدل تدفق كتلة الماء الساخن ودرجة حرارة دخول الماء البارد والساخن.

صمم ع. باشيريو وآخرون [9] مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب وبعد تصنيعه أُجريت عليه تجارب عند سعة حرارية للماء البارد أقل من نظيرتها للماء الساخن، أظهرت القراءات المتحصل عليها من التجارب أنه عند زيادة درجة حرارة دخول الماء الساخن زادت درجة حرارة خروج الماء البارد والساخن، بينما أظهرت النتائج المتحصل عليها أن العلاقة طردية بين التغير في درجة حرارة دخول الماء الساخن وفعالية المبادل الحراري، وذلك من نتائج هذه الورقة.

5. الخلاصة

في هذه الورقة، دُرِسَ عملياً تأثير ظروف المدخل المتغيرة على كفاءة وفعالية مبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب ذو السريان المتوازي والمتضاد عندما يكون معدل السعة الحرارية للماء البارد أقل أو أكبر من معدل السعة الحرارية للماء الساخن. فعندما كان معدل السعة الحرارية للماء البارد أقل من معدل السعة الحرارية للماء الساخن، وُجِدَ أنه عند زيادة كل من درجة حرارة دخول الماء الساخن ومعدل تدفق الماء الساخن زادت فعالية المبادل الحراري وقلت كفاءته، بينما زادت فعالية وكفاءة المبادل الحراري عند زيادة درجة حرارة دخول الماء البارد، وانخفضت فعالية وكفاءة المبادل الحراري عند زيادة معدل تدفق الماء البارد. وعندما كان معدل السعة الحرارية للماء البارد أكبر من معدل السعة الحرارية للماء الساخن، زادت فعالية المبادل الحراري و انخفضت كفاءته عند زيادة كل من درجة حرارة دخول الماء البارد والساخن ومعدل تدفق الماء البارد، بينما انخفضت فعالية وكفاءة المبادل الحراري عند زيادة معدل تدفق الماء الساخن. ووُجِدَ أن كفاءة وفعالية المبادل الحراري المتضاد السريان أكبر من نظيرتها للمبادل الحراري المتوازي السريان في جميع حالات الدخول المبينة في الورقة.

6. المراجع

- [1]. ع. أبو شنب. كفاءة مبادل حراري مزدوج الأنبوب. في وقائع المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية، صبراته، ليبيا.
- [2]. بي. تشوكودي و إم. أوغونيدو. تحسين ظروف مدخل المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب. المجلة الدولية للبحوث والمراجعة، 2018، 5، ص 145.
- [3]. في. دوبي وآخرون. تحليل أداء المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب تحت تأثير ظروف التشغيل المتنوعة. مجلة الهندسة الميكانيكية والمدنية، 2014، 11، ص 8.
- [4]. إي. نوغيرا. مفاهيم الكفاءة والفعالية المطبقة في المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب باستخدام مائع أساسه إيثيلين غليكول المائي في الأسطوانة مع جزيئات نانوية من أكسيد النحاس. مجلة علوم المواد والهندسة الكيميائية، 2020، 8، ص 1.
- [5]. إن. كيشور وآخرون. أداء المبادل الحراري من نوع الأسطوانة والأنبوب في ظل ظروف تشغيل متنوعة. المجلة الدولية للبحوث المبتكرة في العلوم والهندسة والتكنولوجيا، 2016، 5، ص 9544.
- [6]. جي. هولمان. انتقال الحرارة، الطبعة العاشرة. نيويورك: ماكجرو هيل، 2010، ص 531-541.
- [7]. تي. بيرجمان وآخرون. أساسيات انتقال الحرارة والمادة، الطبعة السابعة. نيويورك: وايلي، 2011، ص 711-724.
- [8]. آر. راجبوت. انتقال الحرارة والمادة، الطبعة الخامسة. نيودلهي: إس تشاند المحدودة، 2012، ص 580-627.
- [9]. ع. باشيريو وآخرون. تصميم وتصنيع وتقييم الأداء لمبادل حراري من نوع الأسطوانة والأنبوب للتطبيق العملي. المجلة الأوروبية للبحوث الهندسية والعلوم، 2020، 5، ص 840.

Effect of Inlet Conditions on Shell and Tube Heat Exchanger Efficiency and Effectiveness

A. A. Abu-shanab^{1,*}, A. A. Mutordi²

¹Higher Institute of Engineering Technology, Zliten, Libya, abdurahman_aboshanab@yahoo.com

²Misurata University, Misurata, Libya, ali.mutordi@eng.misuratau.edu.ly

ABSTRACT

This paper investigates the effect of inlet conditions on both efficiency and effectiveness of parallel and counter flow shell and tube heat exchangers. The study considered two cases depending on the relative value of the heat capacity rate of the cold fluid compared to that of the hot fluid. The heat exchanger working media is water, and the shell and tubes were made from glass and stainless steel respectively. The experimental investigations were performed on the heat exchanger at variable values of hot and cold water mass flow rates and hot and cold water inlet temperatures. For both types of heat exchangers, when the heat capacity rate of the cold water is smaller than that of the hot water, results revealed an increase in the effectiveness and efficiency of the heat exchanger with increasing inlet cold water temperature. Also for an increasing hot water mass flow rate, both types showed a decrease in the effectiveness and efficiency when heat capacity rate of the cold water is greater than that of the hot water. Experimental results concluded also that the efficiency and effectiveness of the counter flow heat exchanger are greater than those for the parallel flow heat exchanger.

Keywords:

Shell and tube.

Effectiveness.

Efficiency.

Heat exchanger.

*Corresponding Author Email: abdurahman_aboshanab@yahoo.com
