



تحلیل ترمودینامیکی چرخه‌های جذبی تک‌اثره و انواع مختلف دو اثره آب - لیتیوم بروماید و مقایسه بازده انرژی و انرژی در آنها

سعید صدیق - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، - دانشگاه علم و صنعت ایران

حمید رضا تالش بهرامی - کارشناس ارشد رشته تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه علم و صنعت ایران

حمید صفاری - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: saeed_sedigh@yahoo.com

چکیده: سیستم‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید تک اثره به طور وسیع و دواثره به طور محدود در تأسیسات تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین تحلیل‌های بسیاری بر روی سیکل‌های جذبی یک و دواثره صورت گرفته است اما اکثر تحلیل‌ها با تمرکز بر سیکل‌های همراه با یک کندانسور می‌باشند. در این مقاله به بررسی سیکل‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید دواثره سری و موازی همراه با دو کندانسور و مقایسه آنها با سیکل‌های تک اثره می‌پردازیم. بدین منظور قوانین بقای جرم، انرژی و غلظت حاکم بر سیستم‌ها نوشته شده و ضرایب عملکرد و بازده انرژی در شرایط یکسان مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: چیلر جذبی، ضریب عملکرد، انرژی، تحلیل ترمودینامیکی

Thermodynamical Analysis of the LiBr-H₂O Single and Double Effect Absorption Cooling Cycles and Comparisons of their Efficiency and Exergy

S. Sadegh, M. S. student in Energy Conversion, Iran University of Science and Technology

H. R. Talesh-e- Bahrami, M. S. student in Energy Conversion, Iran University of Science and Technology

H. Saffari, Dept. of Mech. Eng., Iran University of Science and Technology

Abstract: The single effect LiBr-H₂O absorption systems are utilized widely and double effect systems limited in HVAC systems. Therefore, many various studies have been done on the single and double effect absorption cycles, but many of them utilized are condensers. The aim of this study is the analysis of the parallel and series double effect LiBr-H₂O absorption cooling cycles which utilized two condensers. For that the equations of species, energy, and mass conservation laws have been derived for each system, after that this exergy and efficiency are compared in the same conditions.

Keywords: Absorption Cooling Cycles, LiBr-H₂O, Double Effect, Efficiency, and Exergy.

۱- مقدمه

بخش عمده زندگی بشر امروز در ساختمان می‌گذرد. ایجاد شرایط مطلوب زیست محیطی در ساختمان، اهمیت زیادی در عملکرد انسان دارد. امروزه با افزایش جمعیت شهرنشین، صنعت تهویه مطبوع گسترش یافته است. یکی از منابع سرمایش مرکزی در ساختمان‌ها، چیلر است که وظیفه خنک کاری آب مورد استفاده در سیستم تهویه مطبوع را برعهده دارد. سیستم‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید به طور وسیعی در تأسیسات تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

محققان زیادی به تحلیل سیکل جذبی یک اثره پرداخته‌اند [۱-۳]. بسیاری نیز سیکل جذبی دواثره را تحلیل نموده‌اند [۴-۶]. در اکثر مقالات به سیکل‌های سری همراه با یک کندانسور توجه شده است. در این مقاله سیکل‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید دواثره سری و موازی همراه با دو کندانسور تحلیل و با سیکل جذبی تک اثره مقایسه شده است.

۲- توضیح عملکرد سیکل‌ها

۱-۲- سیکل تک اثره

در سیکل یک اثره محلول رقیق خروجی از ابزوربر (absorber) به مبدل حرارتی پمپ شده، پیش گرم گشته و راهی دزوربر (desorber) می‌شود. در دزوربر مقداری از آب درون محلول آب - لیتیوم بروماید تبخیر شده و وارد کندانسور می‌شود، محلول آب - لیتیوم بروماید باقیمانده پس از عبور از مبدل حرارتی و شیر فشار شکن به صورت محلول غلیظ وارد ابزوربر می‌شود. از طرفی بخار آب کندانس شده پس از عبور از شیر وارد اواپراتور شده و بصورت بخار وارد ابزوربر می‌شود و توسط محلول غلیظ درون ابزوربر جذب شده و رقیق می‌شود و بدین ترتیب سیکل ادامه می‌یابد.

۲-۲ سیکل‌های دو اثره سری و موازی همراه با دو کندانسور

این نوع سیکل دو اثره شامل اواپراتور، ابزوربر، ژنراتور دما بالا، ژنراتور دما پایین، دو مبدل حرارتی و دو کندانسور می‌باشند. در سیکل سری محلول رقیق خروجی از ابزوربر به مبدل حرارتی دما پایین پمپ شده و سپس وارد مبدل حرارتی دما و آنگاه مستقیم وارد ژنراتور دما بالا می‌شود. مقداری از آب موجود در محلول آب - لیتیوم بروماید تبخیر و توسط خط ۱۷ وارد کندانسور دما بالا می‌شود. بقیه محلول آب - لیتیوم بروماید (خط ۱۴) نیز بعد از عبور از مبدل حرارتی دما بالا و گذشتن از شیر انبساط وارد ژنراتور دما پایین می‌شود. در این مرحله نیز مقداری از آب موجود در محلول آب - لیتیوم بروماید تبخیر و توسط خط ۷ وارد کندانسور شده و محلول آب - لیتیوم بروماید باقیمانده از مبدل حرارتی دما پایین گذشته و بعد از عبور از شیر بصورت محلول غلیظ وارد ابزوربر می‌شود. بخار آب خطوط ۷ و ۱۷ توسط کندانسورها، مایع شده و پس از عبور از اواپراتور تبخیر می‌شوند. بخار آب خروجی از اواپراتور مستقیم وارد ابزوربر شده و توسط محلول غلیظ درون ابزوربر جذب می‌شود و دوباره به صورت محلول رقیق از ابزوربر خارج می‌شود و این سیکل ادامه می‌یابد. ولی در سیکل موازی این محلول رقیق بطور همزمان وارد ژنراتور دما پایین و ژنراتور دما بالا می‌شود، آب تبخیر شده وارد کندانسورها می‌شود و محلول غلیظ همانند سیکل سری به ابزوربر باز می‌گردد. در هر دو سیکل سری و موازی بخار آب گرفته شده از محلول آب - لیتیوم بروماید در هر ژنراتور وارد یک کندانسور مجزا می‌شود.

۳- پایستگی جرم برای اجزاء چیلر

قانون پایستگی جرم برای هر جزء به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (1)$$

$$e = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (5)$$

مقدار انرژی انتقال یافته به یک حجم کنترل، اغلب از مقدار انرژی انتقال یافته از آن بیشتر است. اختلاف میان این دو مقدار نرخ اتلاف انرژی است. عامل این اتلافات می‌تواند اصطکاک، انتقال حرارت در اثر اختلاف درجه حرارت محدود و یا انبساط آزاد باشد.

بمنظور بررسی کمی و مقداری، از مرجع [۷] جهت استخراج خواص محلول آب - لیتیوم بروماید استفاده نموده، دمای محیط را ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار آن را یک اتمسفر در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه آب در چنین شرایطی مایع مادون سرد است پس خواص آن در شرایط محیطی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$h_{water-o} = h_f(25^\circ C) \quad (6)$$

$$s_{water-o} = s_f(25^\circ C) \quad (7)$$

طبق بیان مراجع [۸ و ۷] غلظت محلول لیتیوم بروماید در شرایط محیطی را ۵۰٪ در نظر می‌گیریم و بدین ترتیب داریم:

$$h_{LiBr-o} = h_{LiBr}(50\%, 25^\circ C) \quad (8)$$

$$s_{LiBr-o} = s_{LiBr}(50\%, 25^\circ C) \quad (9)$$

۷- شبیه سازی و نتایج کد کامپیوتری

در این بخش کد کامپیوتری تهیه و به کمک آن مدل سازی ترمودینامیکی انجام شده است. در شکل‌های زیر تغییرات تعدادی از پارامترهای مختلف بر حسب دبی جرمی عبوری از اواپراتور برای سه سیکل تک اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی نشان داده شده است. این دبی رابطه مستقیمی با بار سرمایشی دارد یعنی هرچه دبی عبوری از اواپراتور بیشتر باشد بار سرمایشی بیشتر است. شکل‌های (۲) تا (۱۴). از ارائه سایر نمودارها، به دلیل رعایت اختصار خودداری شده است.

۴- پایستگی غلظت برای اجزاء چیلر

$$\sum \dot{m}_i X_i = \sum \dot{m}_o X_o \quad (2)$$

۵- تحلیل قانون اول برای چیلر

قانون اول بیانگر بقای انرژی در اجزای سیستم است.

$$(\sum \dot{m}_i h_i - \sum \dot{m}_o h_o) + (\sum \dot{Q}_i - \sum \dot{Q}_o) + \dot{W} = 0 \quad (3)$$

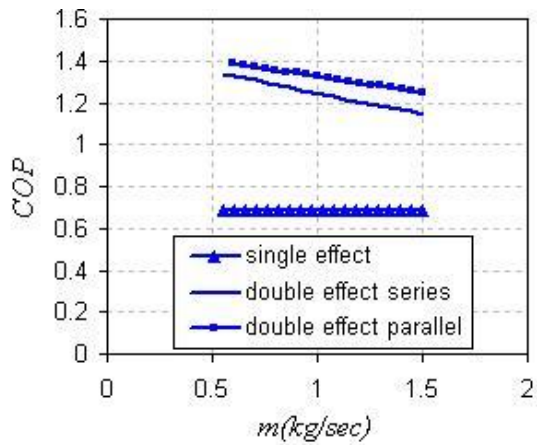
۶- تحلیل قانون دوم برای چیلر

به نظر بسیاری از محققان، بهترین روش برای ارزیابی یک فرآیند، تحلیل انرژی آن است. انرژی، بیشترین مقدار کاری است که یک جریان یا یک سیستم می‌تواند انجام دهد، وقتی که از حالت موجود به حالت تعادل با محیط برود. بخشی از انرژی در فرآیند های واقعی به هدر می‌رود. در حالت کلی بازده انرژی و انرژی به عنوان نسبت انرژی یا انرژی محصولات به انرژی یا انرژی ورودی ها تعریف می‌شود. در حالت پایا و با صرف نظر از تغییرات انرژی پتانسیل و جنبشی، تعادل انرژی برای یک سیستم بسته به صورت زیر نوشته می‌شود.

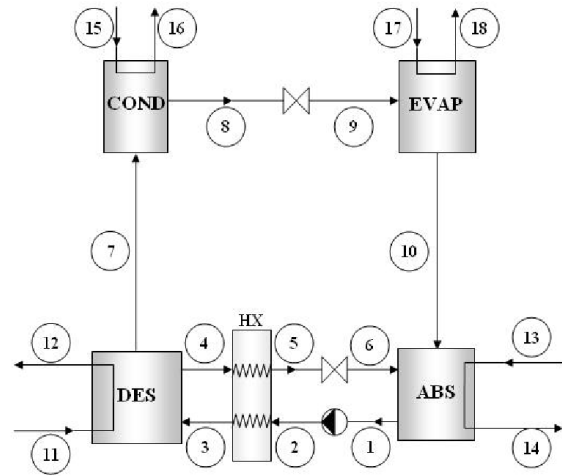
$$\dot{E}_D = \sum_j \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) \dot{Q}_j + (\sum_i \dot{m}_i e)_{in} - (\sum_j \dot{m}_j e)_{out} + \dot{W} \quad (4)$$

\dot{E}_D انرژی ناپذیری های داخلی است. جمله اول سمت راست معادله انرژی حرارت است که وقتی جریان حرارت به سیستم باشد، مثبت است و جملات دوم و سوم سمت راست معادله به ترتیب بیانگر مجموع جریان انرژی ورودی و خروجی است. T_o دمای محیط، T_j دمای منبع حرارتی و \dot{W} کار مکانیکی انتقال یافته به سیستم یا از آن است. وقتی که از انرژی های پتانسیل و جنبشی صرف نظر شود، e بیانگر انرژی مخصوص است به صورت زیر نوشته می‌شود:

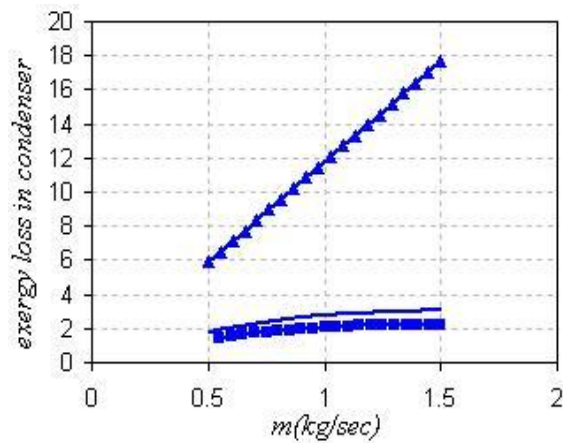
- series flow double effect water–lithium bromide absorption refrigeration systems, *International Journal of refrigeration*, 2009, 1–12.
- [2] Satha Aphornratana, Thanarath Sriveerakul, Experimental studies of a single-effect absorption refrigerator using aqueous lithium–bromide: Effect of operating condition to system performance, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2007, 658–669.
- [3] Muhsin Kilic, Omer Kaynakli, Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration system, *Energy* 32, 2007, 1505–1512.
- [4] Rabah Gomri, Riad Hakimi, Second law analysis of double effect vapour absorption cooler system, *Energy Conversion and Management* 49, 2008, 3343–3348.
- [5] Rabah Gomri, Second law comparison of single effect and double effect vapour absorption refrigeration systems, *Energy Conversion and Management* 50, 2009, 1279–1287.
- [6] Akhilesh Arora, y and S. C. Kaushik, Theoretical analysis of LiBr/H₂O absorption refrigeration systems, *International Journal of energy research*, *Int. J. Energy Res*, 2009.
- [7] Y. Kaita, Thermodynamic Properties of Lithium Bromide-Water Solution at High Temperatures, *International Journal of Refrigeration*, 2000.
- [8] H.T. Chua , H.K. Toh , A. Malek , K.C. Ng , K. Srinivasan, Improved thermodynamic property fields of LiBr+H₂O solution, *International Journal of Refrigeration*, 1999.
- ۸- نتیجه گیری
- در این مقاله سیکل‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید دو اثره سری و موازی همراه با دو کندانسور به‌همراه سیکل جذبی تک اثره مورد بررسی قرار گرفت. نخست تحلیل قانون اول و دوم بر روی آن انجام شد. سپس کدی محاسباتی تهیه گردید که بتواند این نتایج را شبیه سازی کند و در نهایت با کمک این کد، شرایط و عملکرد این سیستم در چند حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که ضریب عملکرد سیکل دو اثره موازی بیشتر از سیکل دو اثره سری و سیکل تک اثره می‌باشد. همچنین اتلاف انرژی در ابزوربر و کندانسور در سیکل تک اثره بیشتر از سیکل‌های دو اثره بوده و گرمای مبادله شده در اواپراتور و ابزوربر سیکل تک اثره کمتر از سیکل‌های دو اثره است. در مقایسه سیکل‌های دو اثره نیز اتلاف انرژی در اواپراتور، ابزوربر، کندانسور، ژنراتور دما پایین و مبدل حرارتی دما بالا، برای سیکل موازی کمتر از سیکل سری می‌باشد. اما در سیکل موازی برای مبدل حرارتی دما پایین اتلاف انرژی بیشتر از سیکل سری است. همچنین گرمای مبادله شده در اواپراتور، ابزوربر، کندانسور، ژنراتور دما بالا، مبدل حرارتی دما بالا و مبدل حرارتی دما پایین برای سیکل موازی کمتر از سیکل سری است. اما در سیکل موازی برای کندانسور دما بالا گرمای مبادله شده بیشتر از سیکل سری است.
- ۹- تشکر و قدردانی
- بدینوسیله از شرکت بهینه سازی مصرف سوخت که حمایت مالی از این پروژه را بر عهده دارد، تشکر و قدردانی می‌نماید.
- ۱۰- مراجع
- [1] S.C. Kaushika, Akhilesh Arorab, Energy and exergy analysis of single effect and



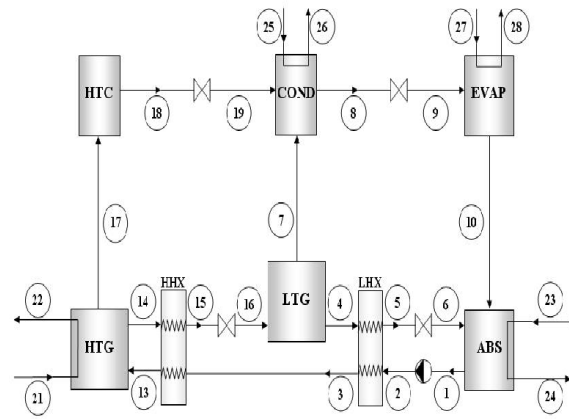
شکل (۴): روند تغییرات ضریب عملکرد بر حسب دبی عبوری از اوپراتور



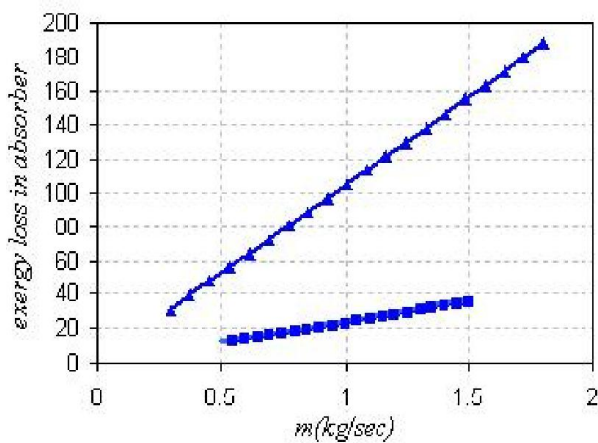
شکل (۱): سیکل تک اثره



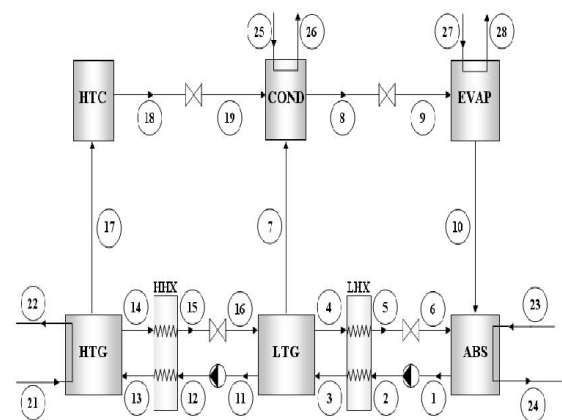
شکل (۵): مقایسه اتلاف انرژی در گذرشی در کندانسور مربوط به سه سیکل در دبی های یکسان



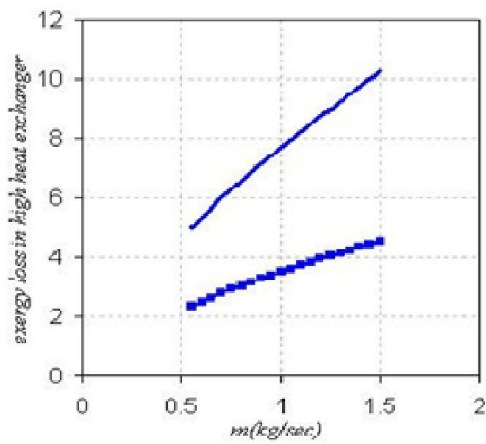
شکل (۲): سیکل دو اثره



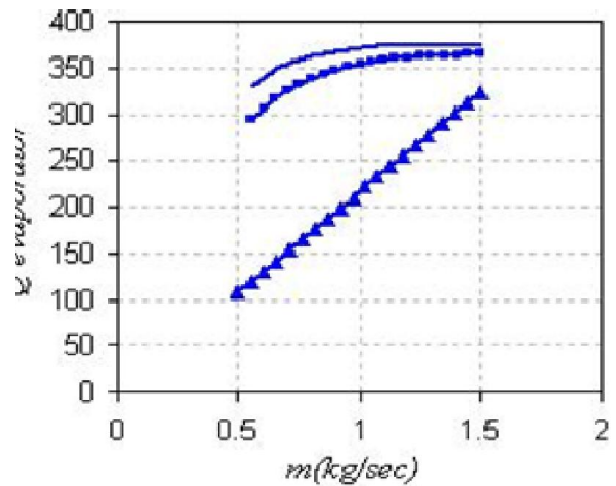
شکل (۶): مقایسه اتلاف انرژی در ابزوربر مربوط به سه سیکل در دبی های یکسان



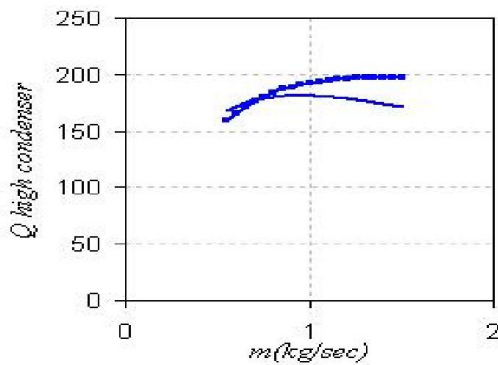
شکل (۳): سیکل دو اثره موازی



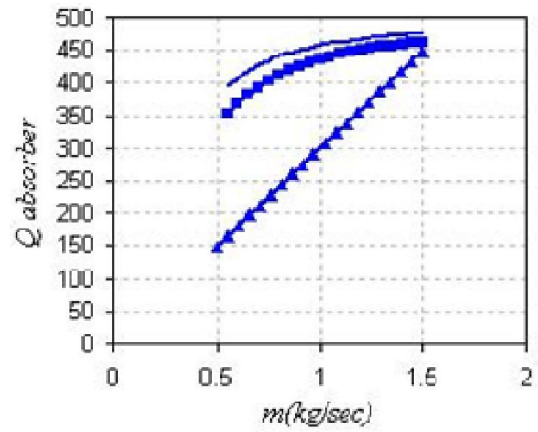
شکل (۱۰): مقایسه اتلاف انرژی در مبدل حرارتی دما بالا مربوط به سیکل‌های دو اثره در دبی‌های یکسان



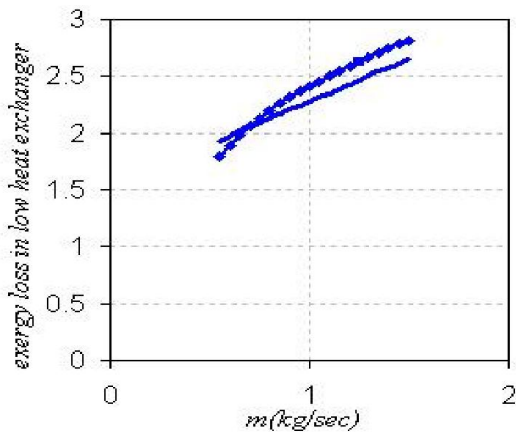
شکل (۷): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در اواپراتور مربوط به سه سیکل در دبی‌های یکسان



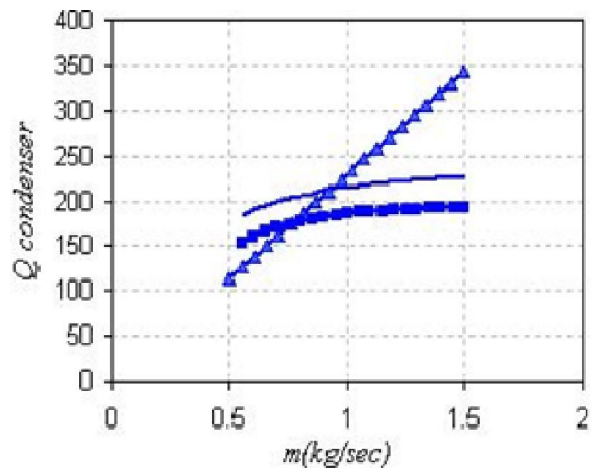
شکل (۱۱): مقایسه اتلاف انرژی در مبدل حرارتی دما پایین مربوط به سیکل‌های دو اثره در دبی‌های یکسان



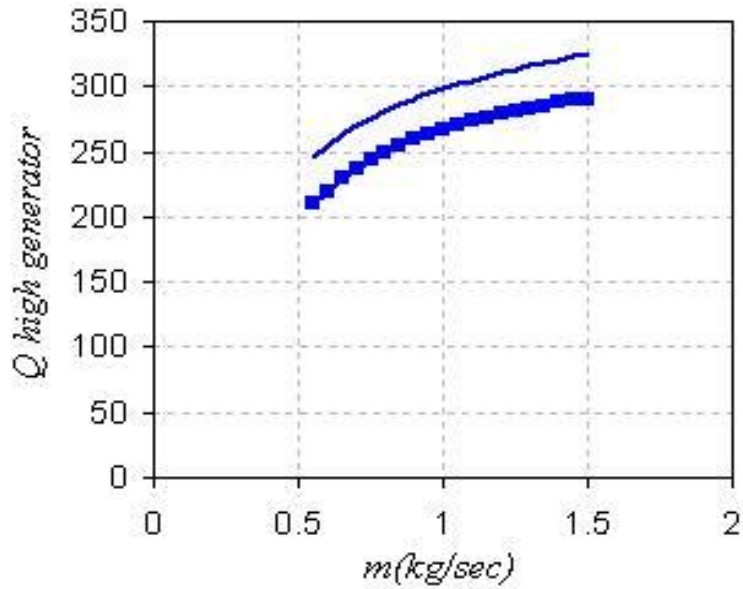
شکل (۸): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در ابزوربر مربوط به سه سیکل در دبی‌های یکسان



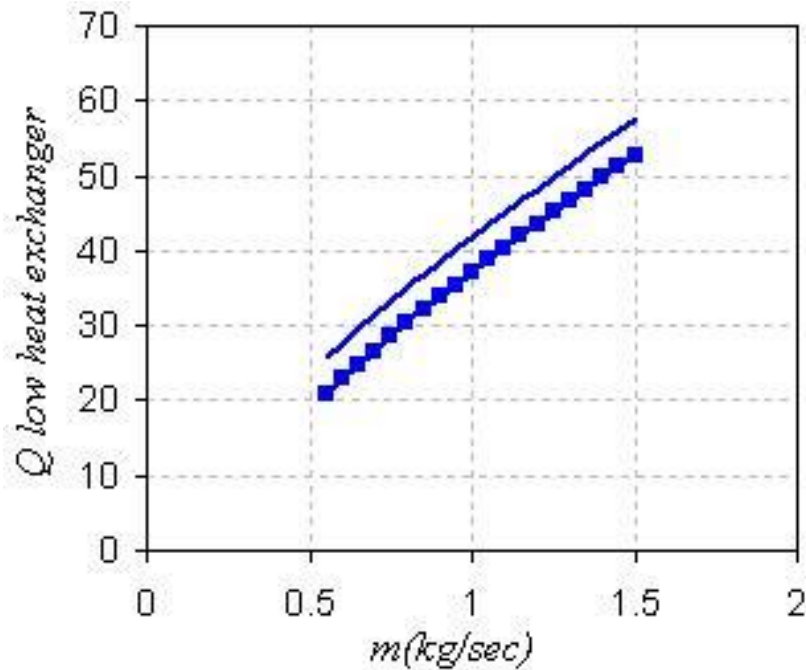
شکل (۱۲): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در مبدل حرارتی دما پایین مربوط به سیکل‌های دو اثره در دبی‌های یکسان



شکل (۹): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در کندانسور مربوط به سه سیکل در دبی‌های یکسان



شکل (۱۴) - مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در ژنراتور دما بالا مربوط به سیکل‌های دو اثره در دبی های یکسان



شکل (۱۳) - مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در کندانسور دما بالا مربوط به سیکل‌های دو اثره در دبی های یکسان

