



## تحلیل حرارتی چرخه‌های جذبی تک اثره و دو اثره آب - لیتیوم بروماید و مقایسه بازده انرژی آنها

سعید صدیق - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران  
حمید رضا طالش بهرامی - کارشناس ارشد رشته تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران  
حمید صفاری - استادیار گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: [saeed\\_sedigh@yahoo.com](mailto:saeed_sedigh@yahoo.com)

**چکیده:** سیستم‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید تک‌اثره به‌طور وسیع و دو‌اثره به‌طور محدود در تأسیسات تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین تحلیل‌های بسیاری بر روی این سیکل‌های جذبی صورت گرفته‌است اما اکثر تحلیل‌ها با تمرکز بر سیکل‌های با یک چگالنده می‌باشند. در این مقاله به بررسی سیکل‌های جذبی آب - لیتیوم بروماید دو‌اثره سری و موازی همراه با دو چگالنده و مقایسه آنها با سیکل جذبی تک‌اثره 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:** سیکل‌های جذبی لیتوم برماید- آب، تک‌اثره و دو‌اثره، چیلر جذبی، ضریب عملکرد، انرژی، تحلیل ترمودینامیکی.

## Thermal Analysis of Single and Double Effects LiBr-H<sub>2</sub>O Absorption Cycles and Comparison of their Energy Efficiency

S. Sadigh, MS. Student in Energy Conversion, Faculty of Mech. Eng., IUST

H.R. Taleshe Bahrami, MS. in Energy Conversion, Faculty of Mech. Eng., IUST

H. Saffari, Ass. Prof., Dept. of Energy Conversion, Faculty of Mech. Eng., IUST

**Abstract:** Single effects LiBr-H<sub>2</sub>O absorption cycles are utilized widely, and double effects systems with a limitation in HAVAC systems. Therefore many analyses have been carried out on these cycles but most of them have been done only with a condenser. In this study, we analyze double effects cycle in series and parallel configurations with two condensers and then compare with single effects cycles. Our analysis include the governing equations for each case and estimating of coefficient of performance and comparing with other.

**Keywords:** LiBr-H<sub>2</sub>O absorption cycles, single and double effects, COP, Exergy, and thermal analysis.

## ۱- مقدمه

این نوع سیکل دواثره شامل تبخیرکننده، جاذب، مولد دما بالا، مولد دما پایین، دو مبدل حرارتی و دو چگالنده می باشند. در سیکل سری محلول رقیق خروجی از جاذب به مبدل حرارتی دما پایین پمپ شده و سپس وارد مبدل حرارتی و آنگاه مستقیم وارد مولد دما بالا می شود. مقداری از آب موجود در محلول آب - لیتیوم بروماید تبخیر و توسط (حالت ۱۷) وارد چگالنده دما بالا می شود. بقیه محلول آب - لیتیوم بروماید (حالت ۱۴) نیز بعد از عبور از مبدل حرارتی دما بالا و گذشتن از شیر انبساطی وارد مولد دما پایین می شود. در این مرحله نیز مقداری از آب موجود در محلول آب - لیتیوم بروماید تبخیر و توسط (حالت ۷) وارد چگالنده شده و محلول آب - لیتیوم بروماید باقیمانده از مبدل حرارتی دما پایین گذشته و بعد از عبور از شیر بصورت محلول غلیظ وارد جاذب می شود. بخار آب موجود در حالت-های (۷) و (۱۷) توسط چگالنده ها، مایع شده و پس از عبور از تبخیرکننده تبخیر می شوند. بخار آب خروجی از تبخیرکننده مستقیم وارد جاذب شده و توسط محلول غلیظ درون جاذب جذب می شود و دوباره به صورت محلول رقیق از جاذب خارج می شود و این سیکل ادامه می یابد. ولی در سیکل موازی این محلول رقیق بطور همزمان وارد مولد دما پایین و مولد دما بالا می شود، آب تبخیر شده وارد چگالنده ها می شود و محلول غلیظ همانند سیکل سری به جاذب باز می گردد. در هر دو سیکل سری و موازی بخار آب جدا شده از محلول آب - لیتیوم بروماید در هر مولد وارد یک چگالنده مجزا می شود.

## ۳- معادلات حاکم

## ۳-۱- قانون پیوستگی برای اجزاء سیکل جذبی

قانون پیوستگی برای هر جزء به صورت زیر نوشته می شود:

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

بخش عمده زندگی بشر امروز در ساختمان می گذرد. 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 ساختمان ها، چیلر است که وظیفه خنک کاری آب مورد استفاده در سیستم تهویه مطبوع را برعهده دارد. سیستم های جذبی آب - لیتیوم بروماید به طور وسیعی در تأسیسات تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می گیرند. محققان زیادی به تحلیل سیکل جذبی یک اثره پرداخته اند [۱-۳]. بسیاری نیز سیکل جذبی دواثره را تحلیل نموده اند [۴-۶]. در اکثر مقالات به سیکل های سری همراه با یک کندانسور توجه شده است. در این مقاله سیکل های 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 سیکل ها

## ۲-۱- سیکل تک اثره

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

## ۲-۲- سیکل های دواثره سری و موازی همراه با دو چگالنده

### ۲-۳- قانون پیوستگی غلظت برای اجزاء سیکل جذبی

وقتی که از انرژی های پتانسیل و جنبشی صرف نظر شود،  $e$  که بیانگر انرژی مخصوص است به صورت زیر نوشته می شود:

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

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

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 می تواند اصطکاک، انتقال حرارت در اثر اختلاف دمای محدود و یا انبساط آزاد باشد.

### ۳-۳- تحلیل قانون اول برای سیکل جذبی

قانون اول بیانگر بقای انرژی در اجزای سیستم است:

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

### ۴-۳- تحلیل قانون دوم برای سیکل جذبی

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 می گیریم. با توجه به اینکه آب در چنین شرایطی مایع مادون سرد است پس خواص آن در شرایط محیطی به صورت زیر بدست می آید:

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

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

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

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

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

### ۴- شبیه سازی و نتایج کد کامپیوتری

در این بخش کد کامپیوتری تهیه و به کمک آن مدل سازی ترمودینامیکی انجام شده است. در شکل های (۴) الی (۱۴) روند

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 می تواند انجام دهد، وقتی که از حالت موجود به حالت تعادل با محیط برود. بخشی از انرژی در فرآیند های واقعی به هدر می رود. در حالت کلی بازده سیکل به عنوان نسبت انرژی یا انرژی محصولات به انرژی یا انرژی ورودی ها تعریف می شود. در حالت پایا و با صرف نظر از تغییرات انرژی پتانسیل و جنبشی، تعادل انرژی برای یک سیستم بسته به صورت زیر نوشته می شود:

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

$\dot{E}_D$  انرژی ناپدید شده در اثر بازگشت 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.

کندانسور دما بالا گرمای مبادله شده بیشتر از سیکل سری است. شبیه سازی و نتایج کد کامپیوتری

#### ۶- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شرکت بهینه سازی مصرف سوخت که حمایت مالی از این پروژه را بر عهده دارد، تشکر و قدردانی می‌نماید.

#### ۷- مراجع

- [1] S.C. Kaushika, Akhilesh Arorab, Energy and exergy analysis of single effect and 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
- [4] Absorption refrigeration system, *Energy* 32, 2007, 1505–1512.
- [5] Gomri, Riad Hakimi, Second law analysis of double effect vapour absorption cooler system, *Energy Conversion and Management* 49, 2008, 3343–3348.
- [6] Rabah Gomri, Second law comparison of single effect and double effect vapour absorption refrigeration systems, *Energy Conversion and Management* 50, 2009, 1279–1287.
- [7] Akhilesh Arora,y and S. C. Kaushik, Theoretical analysis of LiBr/H<sub>2</sub>O absorption refrigeration systems, *International Journal of energy research*, Int. J. Energy Res, 2009.

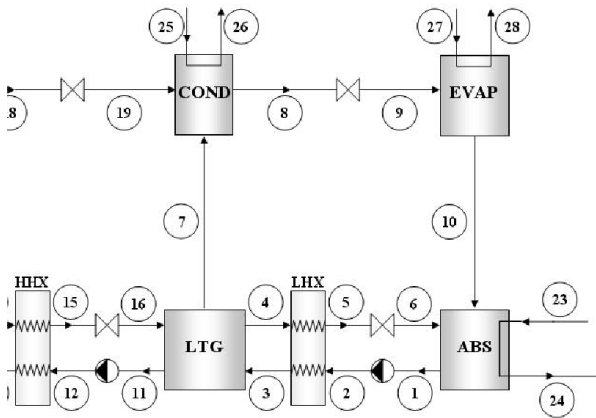
تغییرات پارامترهای عملکردی سیکل در حالت‌های مختلف؛ سه سیکل تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی برحسب دبی جرمی عبوری از تبخیرکننده نشان داده شده‌است. این دبی رابطه مستقیمی با بار سرمایشی دارد بدین معنی هرچه دبی عبوری از تبخیرکننده بیشتر باشد بار سرمایشی بیشتر است. از ارائه سایر نمودارها، به دلیل رعایت اختصار خودداری شده است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

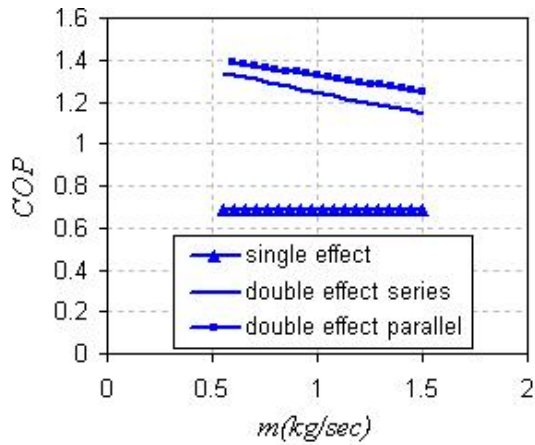
در این مقاله سیکل‌های جذبی آب – لیتیوم بروماید دو اثره سری و موازی همراه با دو کندانسور به‌همراه سیکل جذبی تک اثره مورد بررسی قرار گرفت. نخست تحلیل قانون اول و دوم بر روی آن انجام شد. سپس کدی محاسباتی تهیه گردید که بتواند این نتایج را شبیه سازی کند و در نهایت با کمک این کد، شرایط و عملکرد این سیستم در 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 ایزوربر و کندانسور در سیکل تک اثره بیشتر از سیکل‌های دو اثره بوده و گرمای مبادله شده در اواپراتور و ایزوربر سیکل تک اثره کمتر از سیکل‌های دو اثره است. در مقایسه سیکل‌های دو اثره نیز نتیجه می‌شود که:

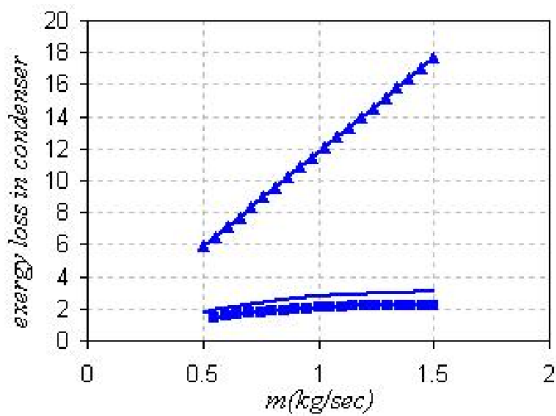
اتلاف انرژی در اواپراتور، ایزوربر، کندانسور، ژنراتور دما پایین و مبدل حرارتی دما بالا، برای سیکل موازی کمتر از سیکل سری می‌باشد. اما در سیکل موازی برای مبدل حرارتی دما پایین اتلاف انرژی بیشتر از سیکل سری است. همچنین گرمای مبادله شده در اواپراتور، ایزوربر، کندانسور، ژنراتور دما بالا، مبدل حرارتی دما بالا و مبدل حرارتی دما پایین برای سیکل موازی کمتر از سیکل سری است. اما در سیکل موازی برای



شکل (۳): طرحواره سیکل جذبی دو اثره موازی



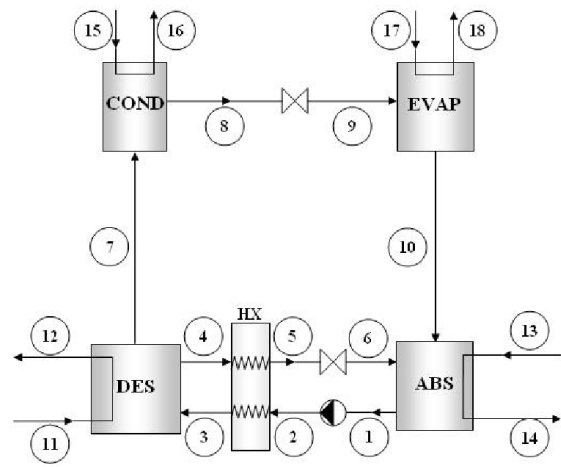
شکل (۴): روند تغییرات ضریب عملکرد بر حسب دبی عبوری از تبخیرکننده در سیکل تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی



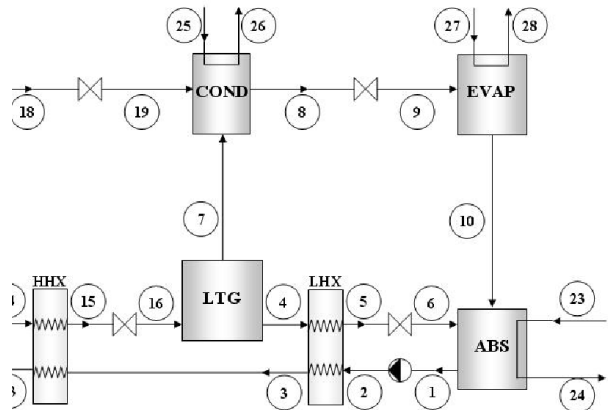
شکل (۵): مقایسه اتلاف انرژی در سیکل تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی

[8] Y. Kaita, Thermodynamic Properties of Lithium Bromide-Water Solution at High Temperatures, International Journal of Refrigeration, 2000.

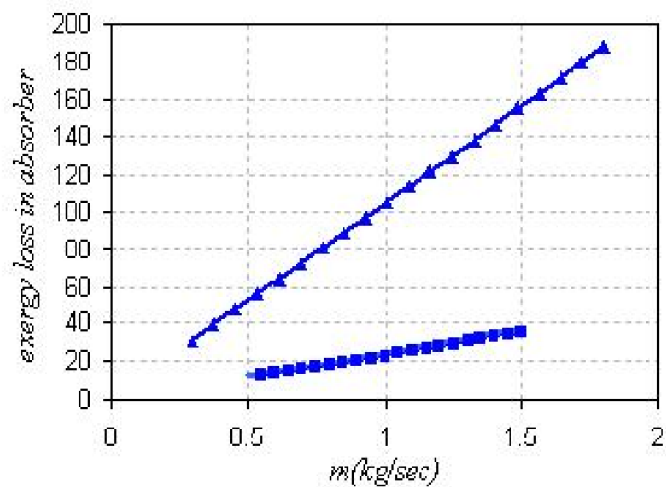
[9] H.T. Chua , H.K. Toh , A. Malek , K.C. Ng , K. Srinivasan, Improved thermodynamic property fields of LiBr+H<sub>2</sub>O solution, International Journal of Refrigeration, 1999.



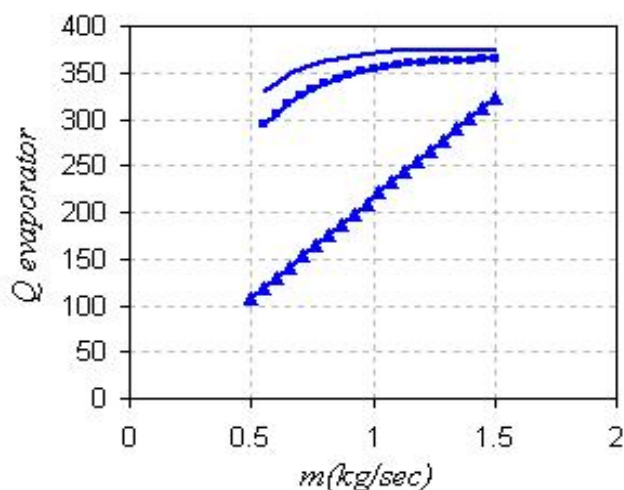
شکل (۱): طرحواره سیکل جذبی تک اثره



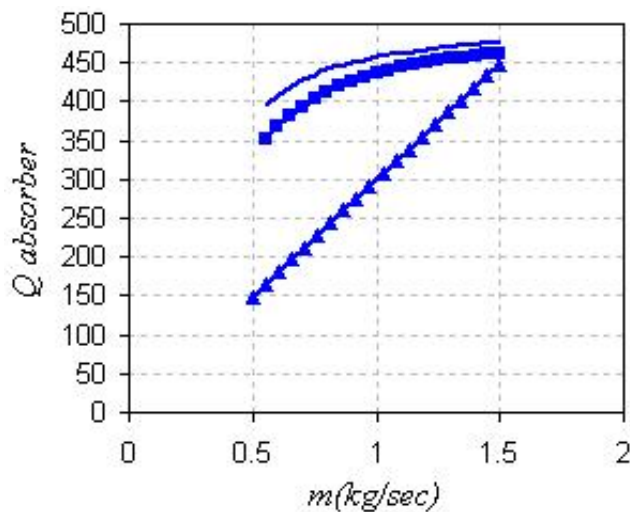
شکل (۲): طرحواره سیکل جذبی دو اثره سری



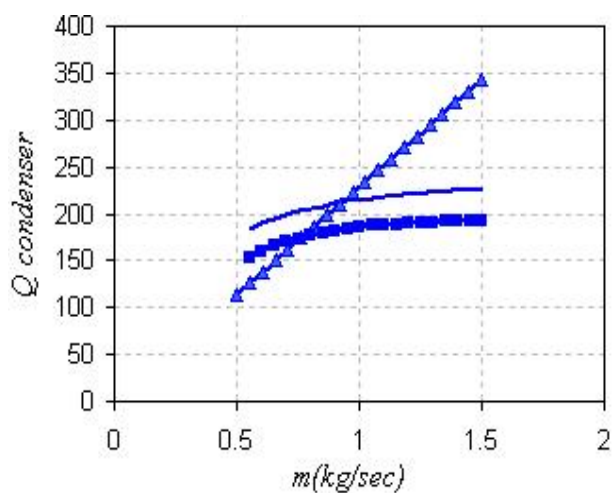
شکل (۶): مقایسه اتلاف انرژی در اجزای مربوط به سه سیکل (تک اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



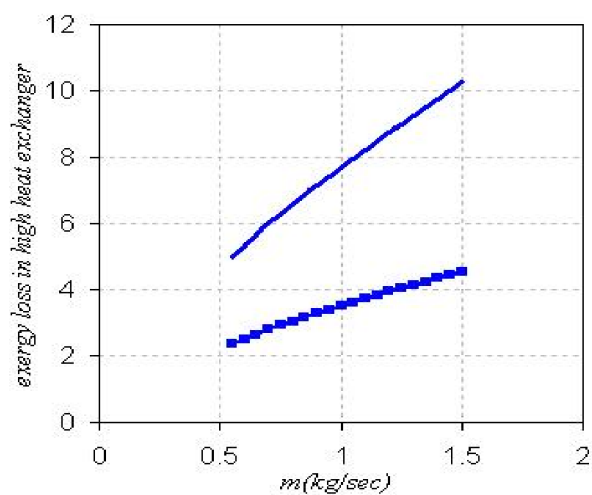
شکل (۷): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در تبخیرکننده در سه سیکل (تک اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



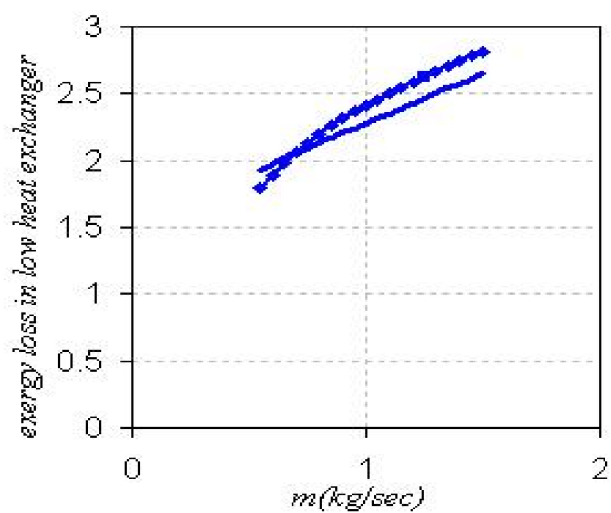
شکل (۸): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در جاذب در سه سیکل (تک اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



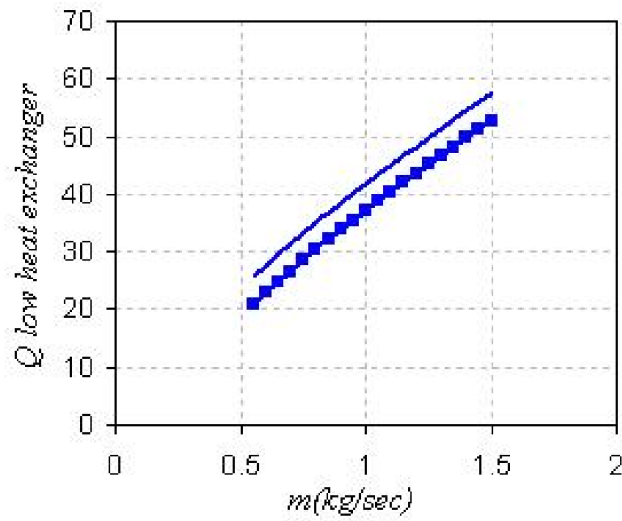
شکل (۹): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در چگالنده در سه سیکل (تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



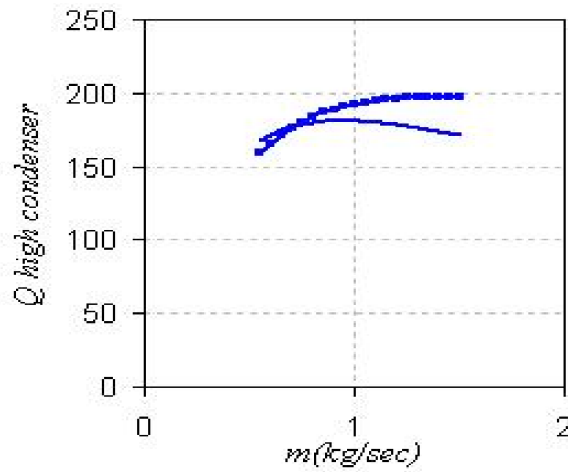
شکل (۱۰): مقایسه اتلاف انرژی در مبدل‌های دما بالا در سه سیکل (تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



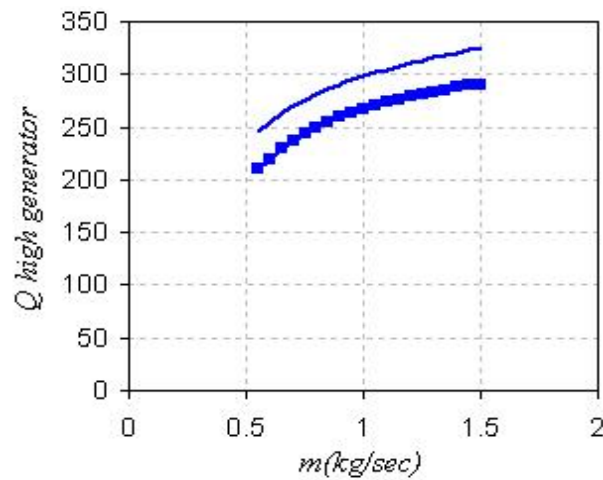
شکل (۱۱): اتلاف انرژی در مبدل‌های دما پایین در سه سیکل (تک‌اثره، دو اثره سری و دو اثره موازی)



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



شکل (۱۳): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در چگالنده دما بالا مربوط به سیکل‌های دو اثره



شکل (۱۴): مقایسه تغییرات گرمای مبادله شده در ژنراتور دما بالا مربوط به سیکل‌های دو اثره