# مقایسه سیکلهای رانکین وکالینا و بررسی اکسرژی در سیکل کالینا

محمدرضا محمدى نائينى

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

چکيده

منحنیهای مصرف انرژی روشی ترسیمی برای توصیف افتهای اکسرژی (exergy) در تحولهای صنعتی میباشند. در این پژوهش از همین روش برای سیکل پایه کالینا با قدرت <sub>MW</sub> ۳ استفاده شده است. سیکل کالینا تحولی است که در آن انرژی حرارتی به مکانیکی تبدیل میشود و در آن میتوان حرارت اتلافی در دمای پائین را به انرژی مفید مکانیکی در راندمانی بهتر از دیگر انواع ماشینهای حرارتی تبدیل کرد. در این سیکل بر خلاف سیکل رانکین، از مخلوط آب و آمونیاک بعنوان سیال سیکل استفاده میشود لذا با تنظیم مناسب این دو سیال در نقاط مختلف سیکل میتوانیم بهترین شرایط را برای لازم است تجهیزات اضافی در سیکل در نظر بگیریم. سیکل کالینا بعنوان رقیبی اصلاح شده برای سیکل رانکین بخار، تکامل یافته است. با استفاده از مخلوط آب و آمونیاک پعنوان سیال سیکل و سیستم چگالندهای براساس اصول تبرید جذبی، راندمان سیکل پایه کالینا حدود ۱۰٪ بیشتر از سیکل معمولی رانکین خواهد بود. منحنی مصرف انرژی سیکل کالینا خیلی فشرده است این سیکل بخوبی بهینه میشود.

واژههای کلیدی: سیکل، کالینا، رانکین، اکسرژی، خواص ترمودینامیکی

مقدمه

Ţ

-

اولین بار سیکل کالینا در سال ۱۹٤۸ میلادی مطرح گردید و در آن از یک مخلوط دو جزئی با دو نقط به جوش متفاوت استفاده شد. لذا این مخلوط دارای یک محدوده جوش میباشد و در نتیجه در حالتی که دما و انرژی منبع گرم متغیر باشد سیکل میتواند خود را برای بدست آوردن بهترین راندمان تطبیق دهد. در این حالت پروفیل دمای سیال به پروفیل بار حرارتی منبع نزدیکتر میشود و در میعان نیز عیناً چنین انعطاف پذیری بوجود خواهد آمد. مخلوط دو گانه به ما اجازه میدهد با دادن حرارت بصورت افزایشی، ازدیاد دمای افزایشی داشته باشیم در حالیکه در سیال یگانه این افزایش بصورت تغییر فاز (مثلاً از فاز مایع به فاز بخار) خودنمائی میکند. این مخلوط را در سیکلهائی که از منبع حرارتی سوخت فسیلی، انرژی زمین گرمائی و یا حتی انرژی هسته ای استفاده میکند، میتوان بکار برد[۱].

در موقع سردکردن سیال سیکل توسط آب خنککننده، مخلوطی بوجود میآید که مقدار زیادی آب و مقدار کمی آمونیاک دارد و بـر عکس در موقـع فرسـتادن سـیال بـه توربین بخار، مقدار زیادی آمونیاک و مقدار کمی آب در مخلوط ایجاد میشود.

نه<sup>۴.</sup> یک واحد نمونه از سیکل کالینا در حدود سال ۱۹۹۰ طراحی و ساخته شد و در حومه لوس آنجلس شروع بکار نمود که در آن ۲۳ مگاوات برق از حرارت اتلاقی با دمای °۵۶۳ تولید شد. با کار این نیروگاه اصول تئوری کالینا مورد تأئید قرار گرفت.

در این سیکل سه سطح فشار وجود دارد یکی سطح بالائی که فشار ورودی به توربین است، دیگری که سطح متوسط است و فشار مایع اشباع خروجی از چگالنده میباشد و دیگری که سطح یائینی است و عبارتست از سیال خروجی از توربین که حالت آن توسط شرایط مایع اشباع خروجی - از برج جاذب ثابت نگه داشته میشود.

محاسبات سیکل ترکیبی کالینا نشان میدهد که راندمان حرارتی بجای حدود ٤٠ درصد در سیکلهای بخار متعارف به حدود ٥٣ درصد میرسد ولی بدلیل اضافه شدن یکسری تجهیزات، هزینه این سیکل بیشتر از سیکلهای متعارف بخارخواهد بود.

الله المعني المعنيكل از مخلوط ۷۰ درصد آمونياک و ۳۰ درصد آب بعنوان سيال استفاده می شود و به معني علت میتوان از اين سيكل برای بازيافت حرارت از گازهای ورودی در دماهای كم تا متوسط المتفاده نمود. المعنان استفاده نمود.

توربینهای گاز در سیکلهای ترکیبی با استفاده از مخلوط آب و آمونیاک، راندمانی ۲ تا ۳ درصد بیشتر از سایکلهای ترکیبی چند فشاری که تنها از آب بعنوان سیال سیکل استفاده میکنند را، دارا میباشند.

در بازیافت حرارتی از گازهای با دمای پائین مثل گازهای خروجی موتور دیزل، سیکل کالینا باعث افـزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی انرژی بازیافتی میشود. دلیل اصلی این مزیت آن است که بر خلاف بخار آب نقطـه جـوش مخلوط آب و آمونیاک در یک محدوده دمائی رخ میدهد و لذا مقدار انرژی بازیافتی از جریان گازی خیلی بیشتر خواهد بود[۲]. در ایـن مقاله معادله حالت مناسب برای مخلوط آب و آمونیاک، با توجه به دادههای تجربی انتخاب و سـپس سـیکل شبیهسازی و راندمان آن محاسبه گردیده و بهینهسازی روی آن صورت میگیرد و منحنی مصرف انرژی بعنوان بیانی از میزان افت اکسرژی در سیکل کالینا ترسیم میشود .

## مقایسه بین سیکل کالینا و رانکین

سیکل کالینا نسبت به سیکلهای رانکین در دمای کم راندمان بهتری دارد زیرا سیال سیکل مخلوط آب و آمونیاک است و این مخلوط در سیکل تغییر کرده و انرژی حرارتی بیشتری را برای تولید الکتریسیته جذب نموده و برگرداندن انرژی در سطح بالاتری انجام میگیرد، لذا توان تولیدی بیشتری به ازاء سوخت مصرفی یا حرارت ورودی مشخص ارائه خواهد نمود. درصد اختلاط آب و آمونیاک در سیکل، مشابه سیکلهای تبرید تغییر می کند و لذا درجه آزادی آن را بالا میبرد.

خواص ترموفیزیکی مخلوط آب و آمونیاک میتواند با تغییر غلظت آمونیاک در مخلوط تغییر کرده و باعث شود که در سیستم تراکم، بازیافت انرژی داشته باشیم. بهینه کردن سیستم تراکم نیز بوسیله استفاده از تغییر غلظت آمونیاک امکانپذیر بوده و از گازهای خروجی اگزوز میتوان انرژی بیشتری را بازیافت نمود[۱] و [۳].

از آنجا که در خروجی توربین سیکل رانکین، بخار مرطوب پدید می آید، باید تمهیداتی به جهت جلوگیری از خوردگی در مراحل انتهائی توربین اندیشید، در حالیکه انبساط در توربین سیکل کالینا، بخار اشباع ایجاد نموده و مشکل خوردگی بوجود نمی آید. علاوه بر این بدلیل فشار بیشتر بخار و حجم مخصوص کمتر، ابعاد سیستم خروجی توربین در سیکل کالینا میتواند کوچکتر از سیستم با آب در سیکل رانکین انتخاب شود. تجهیزات مرسوم مثل توربینهای بخار در سیکل کالینا نیز میتوانند بکار روند زیرا جرم ملکولی آمونیاک و آب شبیه به هم است [٤] و [٥].

مخلوط آب و آمونیاک در یک محدوده دمائی به نقطه جوش میرسد در حالیکه آب خالص در یک دمای معین می جوشد و این دمای متغیر جوشش به سیال سیکل اجازه می دهد تا به دمائی نزدیکتر به آنچه گازهای داغ در دیگ بخار دارند برسد لذا راندمان اکسرژی افزایش می ابد. اما در عمل راه مناسبی برای تقطیر مخلوط آب و آمونیاک به یک سیال برای تکرار سیکل تا ابداع سیکل کالینا وجود نداشت. با جریان مخلوط در درصدهای مختلف اختلاط آب و آمونیاک در نقاط مختلف سیکل، تقطیر (جذب) می تواند در فشاری بالاتر از اتمسفر ولی با غلظت کم آمونیاک رخ دهد، در حالیکه حرارت برای عملکرد بهینه سیکل در غلظت بیشتر آمونیاک ایتقال می اید. مغلوط دو فازی مایع و بخار برای عملکرد بهینه سیکل در غلظت بیشتر آمونیاک انتقال می یابد. مخلوط دو فازی مایع و بخار بسیار فرار است. اگر مخلوطی با غلظت مشخص، که بصورت کسر مولی آمونیاک بیان میشود و استیار فرار است. اگر مخلوطی با غلظت مشخص، که بصورت کسر مولی آمونیاک بیان میشود و نابت اعمام بخار است را بتدریج سرد کنیم، میعان در نقطه شبنم شروع می شود و برعکس وقتی تمام مایع مخلوط بندریج گرم شود، تبخیر در دمای حباب شروع خواهد شد. در حین تبخیر (در فشار ثابت) دمای مخلوط افزایش می یابد زیرا ترکیب مایع آن تغییر کرده است. اگر منبع گرما، خروجی یک توربین گاز باشد، افزایش دمای بخار مخلوط آب و آمونیاک بهتر می تواند با گاز سرد حاصل از توربین را تری به دانش دمی به درمای ثابت به جوش می تواند با گاز سرد حاصل از موربین گاز باشد، افزایش دمای بخار مخلوط آب و آمونیاک بهتر می تواند با گاز سرد حاصل از توربین را ترکیب متغیر، بدین ترتیب که چون جدول خواص ترمودینامیکی در سه بعد تغییر میکند، میان یابی از آن دشوار است اما اگر خواص مشخص بصورت مستقل از متغیرها بصورت جدول در آورده شوند، این کار ساده خواهد شد[۸] و [۱۱].

## اکسرژی در سیکل کالینا

اندازه گیری می شود. هنگامیکه انرژی بوسیله اکسرژی (exergy) اندازه گیری می شود. هنگامیکه انرژی در یک تحول مورد استفاده قرار می گیرد کیفیت آن افت می کند و این به معنی کاهش اکسرژی در آن است. این مورد استفاده قرار می گیرد کیفیت آن افت می کند و این به معنی کاهش اکسرژی در آن است. (EUD) ابزار مهم مهندسی برای بهبود راندمان اکسرژی در سیستمهای تبدیل انرژی میباشند [٦]. افت های اکسرژی در سیستم بوسیله نمایش گرافیکی که تحولهای کلی مفید را توصیف می کند ، نشان داده می شوند. استفاده از مخلوط چند سیال بعنوان سیال سیکل امکان جدیدی را برای بهبود راندمان در سیکلهای قدرت و تبرید با تجهیزات با قیمت کمتر فراهم می آورد. مخلوطها می توانند با این استفاده از مخلوط آب و آمونیاک، راندمان اکسرژی را نسبت به سیکل رانکین معمولی اینا با در مدی می مولی می دهد. استفاده از مخلوط چند سیال بعنوان سیال سیکل امکان مدیدی را برای بهبود در می می می می می مواند ایند و مسائل زیست محیطی را کاهش دهند. سیکل کالینا با در مستفاده از مخلوط آب و آمونیاک، راندمان اکسرژی را نسبت به سیکل رانکین معمولی ۱۰ تا کار در مدر این می دهد. (۷].

سیکل ساده شده کالینا در شکل شماره (۱) ترسیم شده است که میتواند یک سیکل الحاقی به ۲۲ سیکل اصلی باشد که با گازهای خروجی اگزوز دیگ بخار تغذیه شده است (نقاط۱و۲). مخلوط آمونیاک و بخار آب در حالت مافوق گرم (۳) در توربین منبسط شده و کار تولید میکند (٤) و

۲: ۲۰ ۲۰ ۲۰ جاذب توسط آب سرد (۱۲و ۱۲) تقطیر میشود (۱۱).

مایع اشباع خارج شده از جاذب توسط پمپ تا فشار میانی متراکم (۱٤) و سپس در سه مرحله گرم (۲۰ می شود (۱۰ و ۲۸). مخلوط اشباع در جداکننده به مایع با آمونیاک کم (۱۹) که در دو مرحله سرد آب می شود (۱۰ و ۲۱) و در تحول خفگی فشارش افت میکند (۹)، و بخار با آمونیاک زیاد (۲۲) که در یک آب مسرحله سرد (۲۰ و ۲۱) و در تحول خفگی فشارش افت میکند (۹)، و بخار با آمونیاک زیاد (۲۲) که در یک آب مسرحله سرد (۲۰ و ۲۱) و در تحول خفگی فشارش افت میکند (۹)، و بخار با آمونیاک زیاد (۲۲) که در یک آب مسرحله سرد (۲۰ و ۲۱) و در تحول خفگی فشارش افت میکند (۹)، و بخار با آمونیاک زیاد (۲۲) که در یک آب مسرحله سرد شده (۲۲) و به آن مقداری از سیال غلیظ اولیه اضافه می شود (۲۵) تا تقریباً به نزدیک آب مرحله سرد شده (۲۲) و به آن مقداری از سیال غلیظ اولیه اضافه می شود (۲۵) تقریباً به نزدیک آب مرحله سرد شده (۲۲) و به آن مقداری از سیال غلیظ اولیه اضافه می شود (۲۵) تقریباً به نزدیک آب مرحله سرد شده (۲۲) و به آن مقداری از سیال غلیظ اولیه اضافه می شود (۲۲) تقریباً به نزدیک آب مرحله سرد شده (۲۲) و به آن مقداری از سیال غلیظ اولیه اضافه می شود (۲۲) و ۲۰ منه با غلظت مرحله می شود (۲۵) تقطیر می گردد (۲۷). آنگاه بوسیله آب مرد نیاک در (۲۱) و به دیگ بخار پس از عبور از هیتر آب تغذیه فرستاده (۲۳). می شود (۲۱). آنگاه مرد از می می شود (۲۱). آنگاه بوسیله می شود (۲۱). آنگاه بوسیله آب سرد (۲۱) می می می می در (۲۱). آنگاه بوسیله (۲۳) می می می در (۲۱).



شكل ۱ ـ سيكل ساده شده كالينا

جـرم جـریان یافـته بیـن جداکنـنده و جـاذب حدود چهار برابر جریان جرم توربین است، که باعث ایجاد مقداری کار پمپ تغلیظ اضـافی میشود. این چرخه امکان تغییر در ترکیب بین اختلاط اولیه در جاذب و دادن حرارت در دیگ بخار را فراهم میآورد.

بـا تغیـیر نقطه شبنم مخلوط، حرارت اتلافی از خروجی توربین که در سیکل رانکین هدر میرود را میتوان برای رقیق کردن مخلوط بخار آب و آمونیاک توسط یک جریان آب مورد استفاده قرار داد، بنابرایـن تولید مخلوطی با غلظت کمتر آمونیاک که بتواند در دمای خیلی بالاتر غلیظ شود، امکانپذیر میگردد.

معمولاً خواص ترمودینامیکی سیالات خالص و اطلاعات بدست آمده از محلولهای ایدهآل برای تعیین خواص مخلوط کافی است. البته پایداری، واکنشهای ثانویه، قابلیت اطمینان و... نیز باید در نظر گرفته شوند [۹] و [۱۰].

# منحنى مصرف انرزى

به منظور ترسیم منحنی مصرف انرژی، قوانین اول و دوم ترمودینامیک را نوشته و اکسرژی را که مبین میزان اتلاف در تحولها میباشد را بدست میآوریم.

در این مقاله، فرض میکنیم که یک سیستم، ترکیبی از تعدادی زیر سیستمها، شامل تحولهای از دست دادن و بدست آوردن انرژی میباشد. با در نظر گرفتن تحولها در یک زیر سیستم، قانون اول ترموديناميک بيان ميکند که کل انرژي بقاء دارد:

 $\Delta H_{\rm k}=0$  (K = 1,...K') در این معادله K تعداد تحولهای زیر سیستم مورد نظر است. با در نظر گرفتن انرژیهای داده (1)مقايسه شده و گرفته شده، ین معادله بصورت زیر در میآید: Ţ های رانکین و ..

$$\sum \Delta H_k^* + \sum \Delta H_k^* = 0 \tag{Y}$$

که اندیسهای e و i بهترتیب به معنای انرژی خروجی و ورودی میباشند. قانون دوم ترمودینامیک بیان میدارد که آنتروپی کل افزایشی است:

$$\sum \Delta S_k = \sum \Delta S_k^e + \sum \Delta S_k^i \ge 0 \tag{(r)}$$

$$\sum_{k} \Delta E_{k} = \sum_{k} \Delta H_{k} - T_{0} \sum_{k} \Delta S_{k} = -T_{0} \sum_{k} \Delta S_{k} \le 0 \qquad (\varepsilon)$$

با در نظر کرفتن ضریب قابلیت استفاده به صورت متغیر  $A = \Delta E \, / \, \Delta H$  میتوان معادله اخیر را بتج: بفرم زیر نوشت: 24

$$-\sum \Delta E_k = \sum \Delta H_k^i (A_k^e - A_k^i)$$
 (°)  
وقتی K به سمت بینهایت میل کند داریم:

$$F_{i}:$$
 وقتی  $K$  به سمت بینهایت میل کند داریم:  
 $\int_{C_{r}}^{F_{r}} (r) = \int (A^{e} - A^{i}) dH^{i}$  (٦)  
 $\int_{C_{r}}^{F_{r}} C^{e} = \int (A^{e} - A^{i}) dH^{i}$  (٦)  
 $\int_{C_{r}}^{C_{r}} c_{r}$  در نتیجه با ترسیم  $A^{e}$  و  $A^{i}$  برحسب  $H^{i}$  ، افت اکسرژی در زیر

در نتیجه با ترسیم  $A^e$  و $A^e$  برحسب  $H^i$ ، افت اکسرژی در زیر سیستم بوسیله سطح بین  $A^e$  و A<sup>i</sup>نمایش داده میشود که آنرا منحنی مصرف انرژی میگوئیم [۱۲] و [۱۳].

# روش محاسبه خواص در سيكل كالينا

ايران

/سال هشتم

للبنا

مدل سادهای برای خواص ترمودینامیکی مخلوط آب و آمونیاک در سیکل کالینا بکار میرود. در فاز گاز، بالای دمای اشباع آب T<sub>SW</sub> فرض میکنیم که مخلوط مافوق گرم رفتاری مشابه محلول ایده آل آمونیاک مافوق گرم و بخار آب داشته باشد (شکل شماره ۲). وقتی درجه حرارت بین دمای اشباع آب خالص T<sub>sw</sub> و دمای شبنم مخلوط T<sub>d</sub> در فاز گازی باشد، فرض میکنیم که آب در حالت بخار ماوراء پایدار (Meta-stable) در فشار مورد نظر میباشد. متشابهاً در ناحیه مایع، بین دمای اشباع آمونیاک خالص T<sub>sa</sub> و نقطه حباب مخلوط T<sub>b</sub> فرض میکنیم که حالت مایع ماوراء پایدار را برای آمونیاک داشته باشیم. در ناحیه مخلوط دارای بخار مرطوب Td>Tb ، مخلوط بخار اشباع با کسر جرمی آمونیاک Xg و مخلوط مایع اشباع با کسر جرمی آمونیاک X<sub>f</sub> را داریم. در ناحیه مایع، زیر نقطه حباب مخلوط Tb، تابع گیبس اضافی برای انحراف از رفتار محلول ایدهآل در نظر گرفته می شود[۹].

با توجه به منحنیهای T-X وT-S در شکل شماره (۲) و فرضیات ارائه شده در قسمت قبل، روابط ترمودینامیکی زیر مورد نیاز میباشند[۱۶] و [۱۵]:

الف) برای آمونیاک و آب خالص: (A,T) CC(T)

$$P = P(\rho, T), C_{\nu} = C(T) \tag{V}$$

$$\rho_f = \rho(T_{sat}), P_{sat} = P(T_{sat}) \tag{A}$$

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = h_{fg} \left( Tv_{fg} \right) \tag{9}$$

مقايسه سيكل هاي رانكين و ١٠٠ محمدرضا محمدي نائيني خواص مواد خالص در جداول یا بوسیله معادلات قابل دسترسی است و اقتباسی از ٤٠ ماده بدست آمده توسط رینولدز در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است[۱۱].



T-S شکل ۲-حالتهای مختلف روی منحنیهای T-X و

نشريه انرژى ايران /سال هشتم/شماره ١٩/ ارديبهشت ١٨٩٢ انرژی، انتروپی، انتالپی و اکسرژی در واحد جرم با استفاده از معادله شماره (۷) و روابط ترمودینامیکی زیر محاسبه میشوند:

$$u = u_0 + \int_0^T c_{\nu\nu} dT + \int_0^\rho \frac{1}{\rho^2} (p - T(\frac{\partial P}{\partial T})_\rho) d\rho$$
(\vdots)
$$(v \cdot)$$

$$s = s_0 + \int_0^T c_{\nu\nu} / T dT + \int_0^\rho \frac{1}{\rho^2} (\rho R - (\frac{\partial P}{\partial T})_\rho) d\rho - R \ln \rho$$
 (17)

h = u + pv $e = h - T_0 S$ 

و  $u_0$  و  $u_0$  طوری در نظر گرفته می شوند که حالت مبنای انتخاب شده برای مایعات اشباع خالص  $s_0$ در  $T_0=\cdot \mathbb{C}$  دارای انتالپی و انرژی صفر باشند. اندیس بینهایت مربوط به گاز ایده آل و e به معنای  $T_0=\cdot \mathbb{C}$ اکسرژی در واحد جرم میباشد.

ب) برای مخلوط آمونیاک و آب:

$$T_b = T(P, X) \tag{(17)}$$

$$I_d = I(P, X) \tag{12}$$

 $g_{sol} = g(P,T,X)$ (10)

۲۵

نقطه حباب و  $T_d$  نقطه شبنم و  $g_{sol}$  انرژی آزاد گیبس محلول میباشند. اطلاعات لازم برای این معادلات از مرجع [۲] بدست آمده است.

حال میتوان روابطی برای مخلوط آب و آمونیاک در نواحی مختلف نشان داده شده در شکل ب<sup>ق</sup> شماره (۲) بدست آورد. برای ناحیه بخار مافوق گرم T>T<sub>sw</sub> داریم:

$$h_{y_m} = X h_a (1 - X) h_{y_m}$$

$$s_{vms} = X s_a + (1-x) s_{vw} - R_m$$
(1A)

$$(X_m \ln X_m + (1 - X_m) \ln (1 - X_m))$$

 $v_{vm} = X_{V_a} + (1-X)v_{vm}$  برای ناحیه ماوراء بخار  $T_{sw} > T < T_d$  سه معادله اخیر و معادلات زیر صادقند:

$$h_{vw} \approx h_{gw} - c_{pw} \Delta T \tag{(14)}$$

$$s_{vw} \approx s_{gw} - c_{pw} \ln(T_{sw}/T)$$
(71)

$$v_{vw} \approx v_{gw} \left( T / T_{sw} \right) \tag{(YY)}$$

$$\Delta T = T_{sw} - T \tag{(1)}$$

$$c_{pw} = \left( (h_{vw})_{T_{sw} + \Delta T} - h_{gw} \right) / \Delta T$$

 $T_{i}$  برای ناحیه بخار مرطوب  $T_{d} > T_{d} > T_{d}$  طبق شکل شماره (۲) یک مخلوط بخار اشباع با کسر جرمی  $V_{i}$  آمونیاک  $X_{f}$  و یک مخلوط مایع اشباع با کسر جرمی آمونیاک  $X_{f}$  اتفاق میافتد.  $V_{i}$  آمونیاک پاک و یک مخلوط مایع اشباع با کسر جرمی آمونیاک  $V_{f}$  اتفاق میافتد.  $V_{i}$  آمونیاک مادلات فوق و برای مایع اشباع معادلات زیر را بکار می بریم.  $F_{i}$  برای آمونیاک ماوراء مایع داریم:  $F_{i}$  (۲٤)  $F_{ia} \approx h_{fa} + \overline{C}_{pa}\Delta T$ 

$$s_{la} = s_{fa} + C_{pa} \ln(T/T_{sa}) \tag{(11)}$$

$$v_{la} \approx v_{fa}$$

$$\Delta T - T - T$$
(11)

$$\Delta T = T - T_{sa}$$

$$\overline{C}_{pa} = (h_{fa} - (h_{la})_{T_{sa} - \Delta T}) / \Delta T$$

در مخلوط مايع اشباع داريم:

$$h_{lm} = Xh_{la} + (1 - X)h_{lw} + h_{sol} \tag{YA}$$

$$s_{lm} = Xs_{la} + (1 - X)s_{lw} - R_m(X_m \ln X_m + (Y + Y))$$

$$(1 - X_m)\ln(1 - X_m)\ln(1 - X_m)) + s_{sol} \qquad (\mathbf{r} \cdot)$$

$$v_{lm} = Xv_{la} + (1 - X)v_{lw} + v_{sol}$$
(71)

$$h_{sol} = -T^2 \partial (g_{sol}/T) / \partial T \tag{(17)}$$

$$S_{sol} = (h_{sol} - g_{sol})/T$$

$$v_{sol} = \partial g_{sol} / \partial P$$

همچنین معادلات ارائه شده برای بخار مرطوب در ناحیه ماوراء مایع Tb>T>Tsa نیز صادقند و برای ناحیه مایع متراکم T<sub>sa</sub>>T نیز معادلات ارائه شده برای مخلوط مایع اشباع فوق صادقند. معادله کلاپیرون در مورد تغییر فاز بصورت زیر نیز مورد استفاده قرار میگیرد:

$$h_{fg} = (v_g - v_f)T_s(\partial P / \partial T)_s \tag{(re)}$$

$$S_{fg} = h_{fg} / T_s \tag{10}$$

یک برنامه رایانهای بر مبنای این معادلات برای بدست آوردن خواص مخلوط نوشته شده است. در این معادلات اندیس ها به قرار زیر هستند، f مایع اشباع، g بخار اشباع، l مایع متراکم، m کسر مولى يا مخلوط، v بخار سوپر هيت، s اشباع، sol محلول.

### منحنی انرژی مصرفی برای سیکل کالینا:

نشريه انرثى ايران /سال هشتم/شماره ١٨/ ارديبهشت ٣٨٣ با نوشتن برنامه رایانه ای خواص مخلوط را با در نظر گرفتن حالتهای مختلف مخلوط آب و آمونیاک و درصدهای متنوع اختلاط آن دو طبق معادلات ارائه شده در قسمت قبل بدست می آوریم. آنگاه با داشتن خواص ترمودینامیکی مخلوط در نقاط معلوم سیکل کالینا طبق شکل شماره (۱)، برنامه رایانهای دیگری برای محاسبه خاصیتها در نقاط دیگر سیکل با استفاده از اعمال قوانین بقاء در تک تک المانهای سیکل نوشته و مقدار کمیت A (ضریب قابلیت استفاده) که کمیتی بدون بعد است در همه المانها برای سیال سیکل بدست آورده شده است.

در نهایت شکل شماره (۳) که مبین منحنی انرژی مصرفی برای سیکل کالینای معرفی شده در قسمت قبل میباشد ترسیم گردیده است.

این منحنی با ترسیم مقدار انرژی تبدیل شده و همچنین طبقهبندی سطوح انرژی در تحولهای از دست دادن انرژی  $A^{ed}$  و بدست آوردن انرژی  $A^{ea}$ ، وضعیت انتقال انرژی را در قسمتهای مختلف سيكل نمايش مىدهد.

در تعدادی از نقاط وضع بحرانی به چشم میخورد و لذا طراحی سیستم چندان آسان نیست و دقت زیادی مخصوصاً در این نقاط باید بکار برده شود. توزیع یکنواخت افت اکسرژی نشان میدهد که این سیستم خوب بهینهسازی شده است.

مقايسه سيكل هاي رانكين و …/ محمدرضنا محمدي

نائينى

27

این منحنی به قسمتهای مختلف براساس اجزاء سیکل کالینا طبق شکل شماره (۱) تقسیم شده است. این شکل بوضوح نشان میدهد که آیا کیفیت انرژی تولیدی (اکسرژی) مناسب است یا خیر و علاوه بر آن میزان اضافی بودن آنرا نیز معین میکند.

کل افت اکسرژی در هر زیر سیستم بصورت مساحت بین خطوط انرژی گرفته شده و داده شده  $A^{ea}$  و  $A^{ea}$  بصورت سطوح تیره شده ، نمایش داده می شوند. 3 در دیگ بخار اکسرژی ناشی از گازهای خروجی بصورت خط انرژی داده شده با منحنی نزولی، Ţ

به مخلوط آب و آمونیاک منتقل شده است و مشاهده می شود که جو شش در دمای متغیر در قسمت میانی خط انرژی گرفته شده، ترسیم شده است.

برای گاز منبسط شده در توربین، انرژی توسط سیال از دست داده میشود و در نتیجه در توربین کار بوجود میآید و سطح این انرژی به بالاتر از واحد میرسد I<A، در حالیکه کار با A=1 مبین دريافت انرژی توسط سيکل میباشد.

مساحت بین این دو سطح انرژی داده شده و گرفته شده توسط سیال مبین افت اکسرژی در توربین بوده و کار تولید شده بصورت عرض  $\Delta H^{ea}$  محاسبه می شود. چون کمیت A بدون بعد نائية است لذا میتوانیم با ترسیم این منحنی وضعیت تمام سیکلهای کالینا را ارائه دهیم و به سادگی بتوانيم سيكلهاى مختلف را با هم مقايسه نمائيم.

۲۸ بقیه قسمتهای این منحنی نشان دهنده تبادل حرارت بین سیال سیکل و محیط در باقیمانده زیر سیستمها که شامل گرمکن مجدد شماره (۱) و شماره (۲)، تقطیر کننده، چگالنده، جاذب، گرمکن آب نشريه انرژى ايران /سال هشتم/شماره ١٩/٩٩دييهشت ١٨٣٣



شکل شمارہ ۳۔منحنی مصرف انرژی برای سیکل کالینا

نتيجەگىرى

هاي)

سیکل کالینا دارای راندمانی حداقل ۱۰ درصد بیشتر از بقیه انواع ماشینهای حرارتی بوده و در عمل ساده و قابل دسترس و دارای هزینه های تعمیرات و نگهداری و بهرهبرداری بسیار پائین میباشد و اثرات تخریبی آن روی محیط زیست نیز اندک است. راندمان حرارتی بالاتر، هزینههای تولید کمتر، کاهش انرژی خروجی، انرژی کمتر لازم برای گرم کردن سیال سیکل، مصرف سوخت کمتر، برگرداندن انرژی بیشتر، قیمت کمتر الکتریسیته تولیدی در هر کیلووات ساعت، از مزایای سیکل قدرت کالینا میباشند. روابط ترمودینامیکی نیز در سیکل کالینا دقیقاً طبقهبندی شده است و تمام اجزاء سیکل کالینا مشخص و معلوم و غیر راکد هستند.

مخلوط آب و آمونیاک از نظر قابلیت اشتعال کم خطرتر از بقیه سیالهاست و نشت آمونیاک با توجه به بوی آن مبین اعلام نشتی گاز میباشد. سیال سیکل متشکل از مخلوط آب و آمونیاک خیلی بهتر انرژی حرارتی را در مبدلهای حرارتی جریان مخالف منتقل میکند تا هیدروکربنهای از دستهٔ متان یا سایر سیالهای ارگانیک(ORC)، لذا سیکل کالینا بر سیکل رانکین ارگانیک (ORC) نیز برتری دارد. و علاوه بر آن راندمان سیکل کالینا نیز نسبت به سیکل (ORC) حدود ۲۰ تا۰۸ درصد بیشتر است (راندمان بیشتر در دماهای کمتر منابع سرد و گرم). میعان مخلوط آب و آمونیاک نیز در یک محدوده دمائی رخ میدهد لذا امکان بازیافت انرژی اضافی را در سیستم پدید میآورد. بر خلاف سیکل رانکین که دمای پائین (متأثر از محیط)، فشار چگالنده را محدوده کرده و توان تولیدی سیستم را کم میکند، فشار چگالنده در سیکل کالینا میتواند خیلی بیشتر باشد و دمای آب سردکننده روی

در این مقاله سیکل کالینا تبیین شده و مشخصات تبدیل انرژی در سیکل کالینا، بوسیله ترسیم منحنی مصرف انرژی توضیح داده شده است و نشان میدهد که سیکل کالینا خیلی خوب بهینهسازی شده است. همچنین روش منحنی مصرف انرژی بطور مؤثر رفتارهای داخلی سیکل را با نشان دادن توزیع افت اکسرژی برای هر تبدیل انرژی بوضوح نمایش میدهد. افت اکسرژی در دیگ بخار بیشترین مقدار در تمام زیر سیستمها میباشد اما از این منحنی مشاهده میکنیم که برای بهبود آن مطالعات بیشتری لازم است.

ىقايسە سيكل هاى رانكين و …/ محمدرضا محمدى

نائين

حجم مخصوص =v کسر مولی آمونیاک = Xm کسر جرمی آمونیاک = X جرم مخصوص = P

- 1- El- Sayed, Y.M. and Tribus, M., 1985a, " A Theoretical comparison of the Rankine and Kalina Cycle", ASME publication AES-Vol. 1.
- 2- El- Sayed, Y.M. and Tribus, M., 1985b, "Thermodynamic properties of Water-Ammonia Mixtures Theoretical Implementation for Use in power Cycles Analysis", ASME publication AES-Vol. 1, 1985.
- 3- Isson, E.K. et alia, Analysis of Kalina Cycle Designs, Internationa Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exposition, May 1993.
- 4- Haar, L. and Gallagher, J. S., 1978, "Thermodynamic properties of Ammonia", J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 7, no. 30, pp.635-792.
- 5- Ishida, M. and Kawamura, K., 1982, Ind. Engng Chem., Process Des. Dev. 21, 960.
- 6- Ishida. M. and Zheng, d., 1986. "Graphic exergy analysis of chemical process systems by a graphic simulator, GSCHEMER", Computers and Chem. Eng., vol. 10, no. 6, pp. 7.525-532.
- 7- Ishida, M., Zheng, D., and Akehata, T., 1987, " Evaluation of chermical-loopingcombustion power – generation system by graphic exergy analysis ", Energy, vol. 12, no. 2, pp. 147-154.
- 8- Kalina, A.L., 1984, "Combined Cycle system with Novel Bottoming Cycle", ASME Journal of Engineering for power, vol. 106, no. 4, Oct. 1984, pp.737-742 or ASME 84-GT-135, Amsterdam.
- 9- Kalina, A. I., Tribus, M., and El-Sayed, Y.M., 1986, "A Theoretical Approach to the Thermodynamic properties of Two-Miscible-Component Mixtures for the purpose of power-Cycle Analysis ", presented at the Winter Annual Meeting, ASME, Anaheim, California, December 7-12, publ. no. 86-WA/HT-54.
- 10- Keenan, J.H., Keyes, F. G., Hill, P.C., and Moore, J. G., 1969, Steam Tables, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Reynolds, W. C., 1980, Thermodynamic properties in SI- graphs, tables and computational equations for 40 substances, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Sanford, CA 94305.
- 12- Jurgen, R.K., The promise of the kalina cycle, IEEE Spectrum, Ap. 1986.
- Marstone, C.H., Parametric Analysis of the kalina Cycle, J. of Eng. For Gas turbines & Power, Jan 1990.
- 14- Marstonc, C.H., Advanced Energy System, Development of Adjustable Proportion Fluid Mixture Cycle, Mech. Eng., Sept 1992.
- 15- Olsson, E.K. & E.B. Thorin, Kalina cycle for power generation from industrial waste Heat, Proceeding of Florence World Energy Research Symp., July 1994.

نائينو