



دانشکده‌ی فنی - مهندسی

گروه آموزشی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

**عنوان:**

**ارزیابی عملکرد استفاده از سیال‌های عامل مختلف در ترکیب سیکل تبرید آبشاری  
و سیکل ارگانیک رانکین**

استاد راهنما:

دکتر هادی غائبی

پژوهشگر:

سامان خلیل زاده

شهریور 1395

نام خانوادگی دانشجو: خلیل زاده	نام: سامان
عنوان پایان‌نامه: ارزیابی عملکرد استفاده از سیال های عامل مختلف در ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین	
استاد (اساتید) راهنما: هادی غائبی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک
گرایش: تبدیل انرژی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی - مهندسی	تاریخ دفاع: 1395/6/16
	تعداد صفحات: 148
چکیده:	
<p>در این پروژه یک سیستم تلفیقی جدید با هدف جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش توان مصرفی ارائه شده است. سیستم ارائه شده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری (سیکل تولید برودت) و سیکل ارگانیک رانکین (سیکل تولید توان) تشکیل شده است. دو سیکل نامبرده به وسیله یک مبدل حرارتی با هم ترکیب می‌شوند در واقع این مبدل حرارتی نقش کندانسور برای سیکل تبرید آبشاری و نقش اواپراتور برای سیکل ارگانیک رانکین را دارد به این ترتیب از حرارت اتلافی سیکل تبرید آبشاری برای تولید بخار در سیکل ارگانیک رانکین استفاده می‌شود. با استفاده از برنامه EES تحلیل ترمودینامیکی، آگزرژیکی و ترمواکونومیکی روی سیستم تلفیقی صورت گرفت. هدف اصلی این پروژه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری بود، به همین دلیل با انتخاب دمای اواپراتور، دمای تقطیر مبدل حرارتی 1، دمای تقطیر مبدل حرارتی 2، نسبت فشارها و دبی جرمی سیکل ارگانیک رانکین به عنوان پارامترهای انتخابی، سعی در کاهش هر چه بیشتر توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری داشتیم. نتایج بدست آمده نشان داد که در صورت استفاده از سیال‌های عامل R502، R717 و R141b به ترتیب در سیکل تبرید دما پایین، تبرید دما بالا و سیکل ارگانیک رانکین، ضمن ایجاد برودت در دمای 50- درجه سانتی‌گراد توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری تا 36/05 درصد کاهش خواهد یافت. در ادامه نتایج نشان داد که این سیستم تلفیقی باعث افزایش ضریب عملکرد کل سیستم خواهد شد. مطالعه پارامتریک بر روی تأثیر پارامترهای انتخابی بر روی عملکرد سیستم تلفیقی نشان داد که با افزایش دمای اواپراتور و دمای تقطیر مبدل حرارتی 1، ضریب عملکرد سیستم تلفیقی افزایش و با افزایش دمای مبدل حرارتی 2، نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین و سیکل تبرید دما بالا، ضریب عملکرد سیستم تلفیقی افزایش خواهند یافت.</p>	
کلید واژه‌ها: سیکل تبرید آبشاری، سیکل ارگانیک رانکین، آگزرژی، ترمواکونومیک	

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل 1</b>
1	مقدمه.....
144	1-1. حرارت اتلافی.....
144	1-1-1. کاربردها.....
145	1-2. سیکل تراکمی.....
146	1-3. سیستم جذبی آب-آمونیاک.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-4. سیکل تبرید جذبی لیتیم بروماید.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-5. مقایسه سیکل تبرید تراکمی با سیکل تبرید جذبی.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-6. سیستم تبرید ایجکتور.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-7. سیکل تبرید آبشاری.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-7-1. اجزای تشکیل دهنده.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	2-7-1. اساس عملکرد.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	3-7-1. نحوه عملکرد.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-8. سیکل ارگانیک رانکین.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-8-1. انواع سیکل‌های ارگانیک رانکین.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	2-8-1. اجزای تشکیل دهنده.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	3-8-1. اساس عملکرد.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	4-8-1. نحوه عملکرد.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	1-4-8-1. سیکل ارگانیک رانکین ساده:.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	2-4-8-1. سیکل ارگانیک رانکین به همراه مخزن تغذیه سیال:.....

**Error! Bookmark not defined.** 3-4-8-1. سیکل ارگانیک رانکین به همراه ریژنراتور و مخزن تغذیه سیال:

**Error! Bookmark not defined.** 1-9. انتخاب سیال عامل.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-9. ترکیب سیکل ارگانیک رانکین با سیکلهای تبرید.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-10. ضرورت و اهمیت تحقیق.....

## فصل 2

**Error! Bookmark not defined.** پیشینه پژوهش.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-2. مقدمه.....

**Error! Bookmark not defined.** 2-2. مروری بر تحقیقات.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-2-2. پژوهشهای صورت گرفته بر روی سیکل ارگانیک رانکین.....

**Error! Bookmark not defined.** 2-2-2. پژوهشهای صورت گرفته بر روی سیکل تبرید آبشاری.....

## فصل 3

**Error! Bookmark not defined.** مواد و روش پژوهش.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-3. مقدمه.....

**Error! Bookmark not defined.** 3-2. توضیح سیستم تلفیقی.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-2-3. ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین ساده.....

**Error! Bookmark not defined.** 2-2-3. ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال

**Error! Bookmark not defined.** 3-2-3. ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور

**Error! Bookmark not defined.**

**Error! Bookmark not defined.** 3-3. معادلات ترمودینامیکی.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-3-3. سیکل تبرید آبشاری.....

**Error! Bookmark not defined.** 2-3-3. سیکل ارگانیک رانکین.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-2-3-3. سیکل ارگانیک رانکین ساده.....

**Error! Bookmark not defined.**.....2-2-3-3. سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به ریژنراتور.....

**Error! Bookmark not defined.**.....3-2-3-3. سیکل ارگانیک رانکین به همراه مخزن تغذیه سیال.....

**Error! Bookmark not defined.**.....4-2-3-3. سیکل ارگانیک رانکین به همراه مخزن تغذیه سیال و ریژنراتور.....

**defined.**

**Error! Bookmark not defined.**.....3-4. تحلیل انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....1-4-3. تعریف انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....2-4-3. تفاوت انرژی و انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....3-4-3. تعریف محیط.....

**Error! Bookmark not defined.**.....4-4-3. حالت مرده یا سکون.....

**Error! Bookmark not defined.**.....5-4-3. حالت مرده محدود.....

**Error! Bookmark not defined.**.....6-4-3. روشهای انتقال انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....7-4-3. معادله موازنه انرژی در سیستم.....

**Error! Bookmark not defined.**.....8-4-3. اجزاء انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....9-4-3. بالانس انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....10-4-3. تخریب انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....11-4-3. اتلاف انرژی.....

**Error! Bookmark not defined.**.....12-4-3. محاسبات مربوط به سیکل مورد بررسی در پروژه.....

**Error! Bookmark not defined.**.....1-12-4-3. سیکل تبرید آبخاری.....

**Error! Bookmark not defined.**.....2-12-4-3. سیکل ارگانیک رانکین.....

**Error! Bookmark not defined.**.....3-12-4-3. ترکیب سیکل تبرید آبخاری و سیکل ارگانیک رانکین.....

**Error! Bookmark not defined.**.....3-5. تحلیل ترموآکونومیک.....

**Error! Bookmark not defined.**.....1-5-3. کاربرد ترموآکونومیک.....

**Error! Bookmark not defined.**.....2-5-3. اصول ترموآکونومیک.....

**Error! Bookmark not defined.**.....3-5-3. هزینه گذاری انرژی.....

4-5-3. معادلات کمکی هزینہا.....**Error! Bookmark not defined.**

1-4-5-3. تعیین جریان اگزرژی.....**Error! Bookmark not defined.**

2-4-5-3. تعیین سوخت و محصول.....**Error! Bookmark not defined.**

3-4-5-3. معادلات کمکی.....**Error! Bookmark not defined.**

5-5-3. طراحی مبدل‌های حرارتی.....**Error! Bookmark not defined.**

6-5-3. مدل‌های اقتصادی.....**Error! Bookmark not defined.**

1-6-5-3. مدل اقتصادی ساده.....**Error! Bookmark not defined.**

2-6-5-3. مدل اقتصادی کاملتر (TRR).....**Error! Bookmark not defined.**

7-5-3. محاسبات مربوط به سیکل مورد بررسی در پروژه.....**Error! Bookmark not defined.**

#### فصل 4

نتایج و یافته‌های پژوهش.....**Error! Bookmark not defined.**

4-1. مقدمه.....**Error! Bookmark not defined.**

4-2. تحلیل ترمودینامیکی.....**Error! Bookmark not defined.**

1-2-4. اعتبار سنجی.....**Error! Bookmark not defined.**

1-1-2-4. اعتبار سنجی سیکل تبرید آبشاری.....**Error! Bookmark not defined.**

2-1-2-4. اعتبار سنجی سیکل ارگانیک رانکین ساده.....**Error! Bookmark not defined.**

3-1-2-4. اعتبار سنجی سیکل ارگانیک رانکین به همراه مخزن تغذیه سیال **Error! Bookmark not defined.**

4-1-2-4. اعتبار سنجی سیکل ارگانیک رانکین به همراه مخزن تغذیه سیال و ریژنراتور **Error! Bookmark not defined.**

2-2-4. نتایج سیکل تبرید آبشاری و سیکل‌های ارگانیک رانکین با استفاده از سیال‌های عامل متفاوت **Error! Bookmark not defined.**

1-2-2-4. سیکل تبرید آبشاری برای سیال‌های عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

1-1-2-2-4. نتایج سیکل تبرید دما پایین برای سیال‌های عامل متفاوت **Error! Bookmark not defined.**

**Error! Bookmark not defined.** 2-1-2-2-4. نتایج سیکل تبرید دما بالا برای سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 2-2-2-4. نتایج سیکل تبرید آبشاری برای سیالهای عامل متفاوت.....

**Error! Bookmark not defined.** 3-2-4. نتایج سیکل ارگانیک رانکین برای سیالهای عامل متفاوت.....

**Error! Bookmark not defined.** 1-3-2-4. نتایج سیکل ارگانیک رانکین ساده برای سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 2-3-2-4. نتایج سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال برای سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 3-3-2-4. نتایج سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور برای سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 4-3-2-4. مقایسه سیکلهای ارگانیک رانکین با هم با استفاده از سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 4-2-4. نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین

**Error! Bookmark not defined.** 1-4-2-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکلهای ارگانیک رانکین

**Error! Bookmark not defined.** 1-1-4-2-4. ترکیب سیکل ارگانیک رانکین ساده با سیکل تبرید آبشاری مرسوم با استفاده از سیالهای عامل CO<sub>2</sub> و NH<sub>3</sub>

**Error! Bookmark not defined.** 2-1-4-2-4. ترکیب سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال با سیکل تبرید آبشاری مرسوم با استفاده از سیالهای عامل CO<sub>2</sub> و NH<sub>3</sub>

**Error! Bookmark not defined.** 3-1-4-2-4. ترکیب سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور با سیکل تبرید آبشاری مرسوم با استفاده از سیالهای عامل CO<sub>2</sub> و NH<sub>3</sub>

**Error! Bookmark not defined.** 2-4-2-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکلهای ارگانیک رانکین برای سیالهای عامل متفاوت

**Error! Bookmark not defined.** 1-2-4-2-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین ساده

**Error! Bookmark not defined.** 2-2-4-2-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال

3-2-4-2-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

5-2-4. اثر تغییرات نسبت فشار کمپرسور دما پایین سیکل تبرید آبخاری بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Bookmark not defined.**

6-2-4. اثر تغییرات نسبت فشار کمپرسور دما بالا سیکل تبرید آبخاری بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Bookmark not defined.**

7-2-4. اثر تغییرات دمای اواپراتور بر روی عملکرد سیستم تلفیقی.....  
**Error! Bookmark not defined.**

8-2-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1 بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Bookmark not defined.**

9-2-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما بالا در مبدل حرارتی 2 بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Bookmark not defined.**

4-3. تحلیل اگزرژی.....  
**Error! Bookmark not defined.**

1-3-4. سیکل تبرید آبخاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>.....  
**Error! Bookmark not defined.**

2-3-4. سیکل ارگانیک رانکین.....  
**Error! Bookmark not defined.**

1-2-3-4. سیکل ارگانیک رانکین ساده.....  
**Error! Bookmark not defined.**

2-2-3-4. سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

3-2-3-4. سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری با سیکل ارگانیک رانکین.....  
**Error! Bookmark not defined.**

1-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین  
**Error! Bookmark not defined.**

1-1-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Error! Bookmark not defined.**

2-1-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن  
**Error! Bookmark not defined.** تغذیه سیال.....

3-1-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبخاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن  
**Error! Bookmark not defined.** تغذیه سیال و ریژنراتور.....



2-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیالهای مشخص شده در این پروژه با سیکل ارگانیک رانکین برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

1-2-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Error! Bookmark not defined.**

2-2-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال  
**Error! Bookmark not defined.**

3-2-3-3-4. ترکیب سیکل تبرید آبشاری با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

4-3-4. اثر تغییرات نسبت فشار کمپرسور دما پایین سیکل تبرید آبشاری بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Error! Bookmark not defined.**

5-3-4. اثر تغییرات نسبت فشار کمپرسور دما بالا سیکل تبرید آبشاری بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Error! Bookmark not defined.**

6-3-4. اثر تغییرات دمای اواپراتور بر روی عملکرد سیستم تلفیقی.....  
**Error! Bookmark not defined.**

7-3-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**

8-3-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما بالا در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**

4-4- تحلیل ترموآکونومیک.....  
**Error! Bookmark not defined.**

1-4-4. اثر تغییرات نسبت فشار کمپرسور دما پایین سیکل تبرید آبشاری بر روی عملکرد سیستم تلفیقی  
**Error! Bookmark not defined.**

2-4-4. اثر تغییرات دمای اواپراتور بر روی عملکرد سیستم تلفیقی.....  
**Error! Bookmark not defined.**

3-4-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**

4-4-4. اثر تغییرات دمای تقطیر سیکل تبرید دما بالا در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**

## فصل 5

نتیجه گیری و پیشنهادات.....  
**Error! Bookmark not defined.**

<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	1-5
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	مقدمه
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	5-2
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	نتایج سیکل تبرید آبشاری
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	5-3
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	نتایج سیکل ارگانیک رانکین
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	5-4
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	نتایج سیستم تلفیقی
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	5-5
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	خلاصه نتایج
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	5-6
<b>Error! Bookmark not defined.....</b>	پیشنهادات

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-1 (الف) شماتیک سیکل تبرید تراکمی	145
شکل 1-1 (ب) شماتیک سیکل تبرید تراکمی	145
شکل 1-2 سیکل سردسازی آب-آمونیاک با استفاده از انرژی خورشیدی	147
شکل 1-3 (الف) شماتیک سیکل تبرید ایجکتور	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-3 (ب) شماتیک دیاگرام P_h سیکل تبرید ایجکتور	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-4 (الف) شماتیک سیکل تبرید آبشاری	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-4 (ب) شماتیک دیاگرام T_S سیکل تبرید آبشاری	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-5 (الف) شماتیک سیکل ارگانیک رانکین ساده	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-5 (ب) شماتیک دیاگرام T_S سیکل ارگانیک رانکین ساده	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-6 (الف) شماتیک سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-6 (ب) شماتیک دیاگرام T_S سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-7 (الف) شماتیک سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-7 (ب) شماتیک دیاگرام T_S سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-8 شماتیک ترکیب سیکل تبرید جذبی بخار و سیکل ارگانیک رانکین	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-9 شماتیک ترکیب سیکل ارگانیک رانکین با سیکل جذبی حرارتی	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-10 شماتیک ترکیب سیکل ارگانیک رانکین با سیکل تبرید ایجکتور	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-11 شماتیک ترکیب سیکل تبرید تراکمی بخار و سیکل ارگانیک رانکین	Error! Bookmark not defined.
شکل 1-3 (الف) شماتیک ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین ساده	Error! Bookmark not defined.

شکل 3-1ب) شماتیک دیاگرام T\_S، ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک ساده **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-2الف) شماتیک ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-2ب) شماتیک دیاگرام T\_S، ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-3الف) شماتیک ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-3ب) شماتیک دیاگرام T\_S، ترکیب سیکل تبرید آبشاری و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-4 شماتیک دیاگرام T\_S، کار واقعی و کار ایده آل برای کمپرسور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-5 شماتیک دیاگرام T\_S، کار واقعی و کار ایده آل توربین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-6 شماتیک سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به ریژنراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-7 شماتیک سیستم حرارتی کلی **Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-8 Chemical Engineering Plant Cost Index **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-1 نمودار توان مصرفی کل در سیکل تبرید آبشاری برای سیالهای عمل متفاوت در سیکل تبرید دما پایین و دما بالا **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-2 نمودار ضریب عملکرد کل در سیکل تبرید آبشاری برای سیالهای عمل متفاوت در سیکل تبرید دما پایین و دما بالا **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-3 نمودار گرمای اتلافی کل در سیکل تبرید آبشاری برای سیالهای عمل متفاوت در سیکل تبرید دما پایین و دما بالا **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-4 مقایسه بازده حرارتی سیکل‌های ارگانیک رانکین نسبت به هم، برای سیالهای عامل متفاوت **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-5 مقایسه توان تولیدی کل در سیکل‌های ارگانیک رانکین نسبت به هم، برای سیالهای عامل متفاوت **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-6 مقایسه گرمای اتلافی سیکل‌های ارگانیک رانکین نسبت به هم، برای سیالهای عامل متفاوت **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-7 مقایسه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری برای حالت قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین ساده، برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-8 مقایسه ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین ساده برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-9 مقایسه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری برای حالت قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال، برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-10 مقایسه ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-11 مقایسه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری برای حالت قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور، برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-12 مقایسه ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری قبل و بعد از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-13 مقایسه ضریب عملکرد سیستمهای تلفیقی (در صورت استفاده از سیکل تبرید آبشاری مرسوم CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-14 مقایسه بازده حرارتی سیکلهای ارگانیک رانکین نسبت به هم، در ترکیب با سیکل تبرید آبشاری مرسوم، برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-15 مقایسه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری مرسوم پس از ترکیب با سیکلهای ارگانیک رانکین، برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-16 مقایسه کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری مرسوم در حالت قبل و بعد از ترکیب با سیکلهای ارگانیک رانکین برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-17 تغییرات ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-18 تغییرات توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-19 تغییرات درصد کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-20 تغییرات بازده حرارتی سیکل ارگانیک رانکین با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-21 تغییرات توان تولیدی سیکل ارگانیک رانکین با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-22 تغییرات حرارت خروجی از سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-23 تغییرات ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-24 تغییرات کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-25 تغییرات بازده حرارتی سیکل ارگانیک رانکین با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-26 تغییرات توان مصرفی کل در سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-27 تغییرات توان تولیدی کل در سیکل ارگانیک رانکین با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-28 تغییرات حرارت خروجی از سیکل تبرید آبشاری با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-29 تغییرات ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری با دمای اواپراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-30 تغییرات کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با دمای اواپراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-31 تغییرات بازده حرارتی سیکل ارگانیک رانکین با دمای اواپراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-32 تغییرات توان مصرفی کل در سیکل تبرید آبشاری با دمای اواپراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-33 تغییرات توان تولیدی کل در سیکل ارگانیک رانکین با دمای اواپراتور  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-34 تغییرات حرارت خروجی از سیکل تبرید آبشاری با دمای اواپراتور.  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-35 تغییرات ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1

**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-36 تغییرات کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-37 تغییرات بازده حرارتی سیکل ارگانیک رانکین با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Bookmark not defined.**

شکل 4-38 تغییرات توان مصرفی کل در سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-39 تغییرات توان تولیدی کل در سیکل ارگانیک رانکین با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-40 تغییرات حرارت خروجی از سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 1  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-41 تغییرات ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-42 تغییرات درصد کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل  
حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-43 تغییرات بازده حرارتی سیکل ارگانیک رانکین با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-44 تغییرات توان مصرفی کل در سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-45 تغییرات توان تولیدی کل در سیکل ارگانیک رانکین با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-46 تغییرات حرارت خروجی از سیکل تبرید آبشاری با دمای تقطیر سیکل تبرید دما پایین در مبدل حرارتی 2  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-47 تغییرات تخریب انرژی کل سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-48 تغییرات تخریب انرژی کل سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین تجهیز  
شده به گرمکن تغذیه سیال  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-49 تغییرات تخریب انرژی کل سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین تجهیز  
شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور  
**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-50 تغییرات بازده اگزرژی سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین ساده **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل 4-51 تغییرات بازده اگزرژی سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-52 تغییرات بازده اگزرژی سیستم تلفیقی با تغییر سیالهای عامل متفاوت در سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-53 تغییرات بازده اگزرژی با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-54 تغییرات اگزرژی تخریب با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-55 تغییرات بازده اگزرژی با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-56 تغییرات تخریب اگزرژی با نسبت فشار سیکل تبرید دما بالا **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-57 تغییرات بازده اگزرژی با دمای اواپراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-58 تغییرات تخریب اگزرژی با دمای اواپراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-59 تغییرات بازده اگزرژی با نسبت مبدل حرارتی 2 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-60 تغییرات تخریب اگزرژی قطعات با دمای تقطیر مبدل حرارتی 1 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-61 تغییرات بازده اگزرژی سیستم تلفیقی با دمای تقطیر مبدل حرارتی 2 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-62 تغییرات تخریب اگزرژی قطعات با دمای تقطیر مبدل حرارتی 2 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-63 تغییرات هزینه مصرفی کل سیستم تلفیقی با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-64 تغییرات هزینه اولیه خرید قطعات با نسبت فشار سیکل تبرید دما پایین **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-65 تغییرات هزینه مصرفی کل سیستم با دمای اواپراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-66 تغییرات هزینه اولیه خرید قطعات با دمای اواپراتور **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-67 تغییرات هزینه مصرفی کل سیستم تلفیقی با دمای تقطیر مبدل حرارتی 1 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-68 تغییرات هزینه اولیه خرید قطعات با دمای تقطیر مبدل حرارتی 1 **Error! Bookmark not defined.**



شکل 4-69 تغییرات هزینه مصرفی کل سیستم تلفیقی با دمای تقطیر مبدل حرارتی 2 **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-70 تغییرات هزینه اولیه خرید قطعات با دمای تقطیر مبدل حرارتی 2. **Error! Bookmark not defined.**

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 1-1 مقایسه جوانب دو سیکل تبرید جذبی و سیکل تبرید تراکمی نسبت به هم	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 2-1 سیالهای عامل مورد بررسی در این پروژه.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 1-4 اعتبار سنجی مربوط به سیکل تبرید آبشاری برای مدل ارائه شده در این پروژه با کار رضاییان و بهبهانیا (2011).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 2-4 اعتبار سنجی مربوط به سیکل ارگانیک رانکین ساده برای مدل ارائه شده در این پروژه با کار صفریان و آرامون (2015).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 3-4 اعتبار سنجی مربوط به سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال برای مدل ارائه شده در این پروژه با کار صفریان و آرامون (2015).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 4-4 اعتبار سنجی مربوط به سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور برای مدل ارائه شده در این پروژه با کار صفریان و آرامون (2015).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 5-4 نتایج بدست آمده برای سیکل تبرید دما پایین برای سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ادامه جدول 5-4 نتایج بدست آمده برای سیکل تبرید دما پایین برای سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 6-4 نتایج بدست آمده برای سیکل تبرید دما بالا برای سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ادامه جدول 6-4 نتایج بدست آمده برای سیکل تبرید دما بالا برای سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
جدول 7-4 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین ساده با سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ادامه جدول 7-4 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین ساده با سیالهای عامل متفاوت	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

جدول 4-8 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال برای سیالهای عامل متفاوت  
**Error! Bookmark not defined.**

ادامه جدول 4-8 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال برای سیالهای عامل  
متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-9 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور برای سیالهای  
عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

ادامه جدول 4-9 نتایج بدست آمده برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور برای  
سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-10 نتایج بدست آمده برای سیکل تبرید آبشاری مرسوم با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده  
**Error!**  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-11 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری مرسوم و سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Error!**  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-12 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری مرسوم و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن  
تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-13 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری مرسوم و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن  
تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-14 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R32/R717 و سیکل ارگانیک رانکین ساده)  
برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-15 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R125/R717 و سیکل ارگانیک رانکین ساده)  
برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-16 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 و سیکل ارگانیک رانکین  
ساده) برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-17 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R502/R717 و سیکل ارگانیک رانکین ساده)  
برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-18 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R32/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز  
شده به گرمکن تغذیه سیال) برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-19 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R125/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز  
شده به گرمکن تغذیه سیال) برای سیالهای عامل متفاوت.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-20 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-21 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R502/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-22 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R32/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-23 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R125/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-24 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-25 نتایج بدست آمده برای سیکل تلفیقی (سیکل تبرید آبشاری R502/R717 و سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور) برای سیالهای عامل متفاوت.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-26 درصد کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری پس از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین ساده **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-27 درصد کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری پس از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-28 درصد کاهش توان مصرفی سیکل تبرید آبشاری پس از ترکیب با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-29 نتایج بدست آمده در تحلیل تخریب آگرژی برای سیکل تبرید آبشاری **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-30 نتایج بدست آمده در تحلیل تخریب آگرژی برای سیکل ارگانیک رانکین ساده **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-31 نتایج بدست آمده در تحلیل تخریب آگرژی برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-32 نتایج بدست آمده در تحلیل تخریب آگرژی برای سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-33 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین ساده **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-34 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-35 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-36 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R32/R717 با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-37 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-38 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R502/R717 با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-39 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R125/R717 با سیکل ارگانیک رانکین ساده  
**Bookmark not defined.**

جدول 4-40 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R32/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-41 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-42 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R502/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-43 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R125/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-44 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R32/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-45 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R404A/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-46 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R502/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-47 نتایج بدست آمده از ترکیب سیکل تبرید آبشاری R125/R717 با سیکل ارگانیک رانکین تجهیز شده به گرمکن تغذیه سیال و ریژنراتور.....  
**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-48 ضرایب انتقال حرارت به کار گرفته شده در این پروژه (مهر و همکارانش (2013)). **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-49 نتایج بدست آمده برای مبدلهای حرارتی سیکلهای ارگانیک رانکین **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-50 نتایج بدست آمده برای هزینه خرید قطعات مورد استفاده در سیکل تلفیقی **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-51 پارامترهای مورد استفاده در تحلیل اقتصادی قطعات..... **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-52 هزینه مصرفی کل سیستم تلفیقی..... **Error! Bookmark not defined.**

### فهرست علائم

$COP$	ضریب عملکرد سیکل تبرید آبشاری
$h$	آنتالپی (KJ/Kg)
$\dot{m}$	دبی جرمی (Kg/sec)
$\dot{Q}$	بار حرارتی (KW)
$R_p$	نسبت فشار
$s$	انتروپی (KJ/Kg.K)
$T$	دما (°C)
$W$	توان (KW)
	حروف یونانی
$\eta$	بازده
$\eta_{ch}$	بازده حرارتی
	زیرنویس
cas	سیکل تبرید آبشاری
cycle	کل سیکل
e	اوپراتور

H	اتلافی یا منبع گرم
HTC	سیکل تبرید دما بالا
II	شماره 2
III	شماره 3
in	ورودی
L	منبع سرد
LTC	سیکل تبرید دما پایین
M	میانی
net	خالص
out	خروجی
p	پمپ
R	سیکل رانکین
s	آیزنتروپیک
T	توربین
1_12	نقاط روی شکل

# فصل 1

مقدمه



## 1-1. حرارت اتلافی<sup>1</sup>

حرارت اتلافی یکی از تولیدات اجباری در ماشین‌ها<sup>۲</sup>، یخچال‌ها<sup>۳</sup> و پمپ‌های حرارتی<sup>۴</sup> می‌باشد. براساس قانون اول ترمودینامیک مقداری از حرارتی که وارد سیستم می‌شود صرف انجام و یا تولید کار سیستم می‌شود و مابقی آن وارد محیط می‌شود، اگر از این حرارت که وارد محیط می‌شود هیچ استفاده‌ای نشود به آن حرارت اتلافی می‌گویند. به عنوان مثال در یخچال‌ها ابتدا حرارت توسط اواپراتور جذب شده و باعث خنک شدن محیط سرد می‌شود و پس از صرف توان (کار) توسط کمپرسور، حرارت بدون هیچ استفاده‌ای از طریق کندانسور اتلاف می‌شود. این حرارت اتلافی دارای انرژی<sup>۵</sup> بسیار کم و انتروپی<sup>۶</sup> بسیار بالایی می‌باشد.

### 1-1-1. کاربردها

سیستم‌های تولید هم‌زمان: اگر از حرارت اتلافی برای راه اندازی سیستمی دیگر به صورت هم‌زمان استفاده کنیم، اتلاف حرارت کمتر می‌شود. از جمله مواردی برای تولید هم‌زمان، از حرارت اتلافی استفاده شده است می‌توان به سیستم‌های<sup>۷</sup> CHP و<sup>۸</sup> CCHP اشاره کرد.

پیش گرم کردن<sup>۹</sup>: پیش از اینکه حرارت اتلاف شود می‌توان از آن برای پیش گرم کردن سیالی که قرار است وارد بویلر یا اواپراتور شود استفاده کرد.

گلخانه‌ها: از حرارت اتلافی که سطح انرژی پایینی دارد می‌توان برای ایجاد شرایط مناسب در گلخانه‌ها استفاده کرد، به خصوص در فصل‌های سرد و مکان‌هایی با شرایط جوی سرد

تولید برق: با استفاده از سیال ارگانیک به جای آب در سیکل رانکین می‌توان از حرارت اتلافی برای تولید برق استفاده کرد.

---

Waste Heat<sup>1</sup>

Machines<sup>2</sup>

Refrigerators<sup>3</sup>

Heat Pump<sup>4</sup>

Exergy<sup>5</sup>

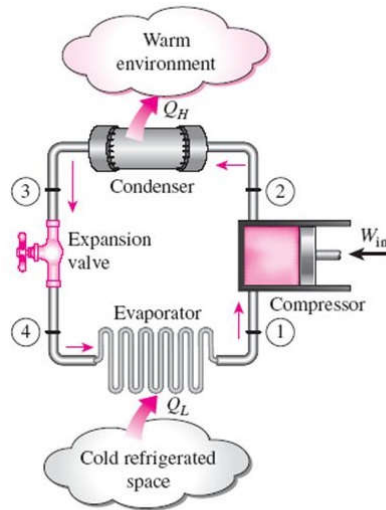
Entropy<sup>6</sup>

Combined Heat and Power<sup>7</sup>

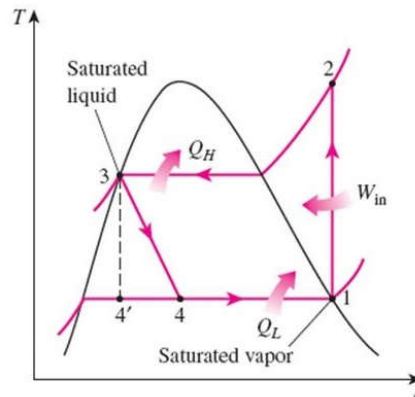
Combined Cooling, Heat and Power<sup>8</sup>

Pre-heating<sup>9</sup>

## 1-2. سیکل تراکمی



شکل 1-1الف) شماتیک سیکل تبرید تراکمی



شکل 1-1ب) شماتیک سیکل تبرید تراکمی

شکل 1-1 شماتیک سیکل تبرید تراکمی و دیاگرام  $T-s$  مربوطه

اختراع سیکل تبرید تراکمی به سال 1834 بر می‌گردد، زمانی که ژاکوب پرکینز انگلیسی اختراع خود را که ماشین یخ‌ساز با سیکل بسته بود و از اتر<sup>10</sup> به عنوان سیال فرار استفاده می‌کرد، به ثبت رساند. در سال 1850، الکساندر توئینگ شروع به طراحی و ساخت ماشین‌های یخ‌ساز با سیکل تراکمی کرد که در آن‌ها از ایل اتر، استفاده می‌شد (سونتاگ و همکارانش (2002)).

<sup>10</sup>Ether

به بیانی ساده سیکل‌های تبرید تراکمی از چهار جزء، کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط و اواپراتور تشکیل شده‌اند که در شکل 1-2، این اجزا و ارتباط میان آن‌ها نشان داده شده است.

سیکل تبرید تراکمی متداول‌ترین سیکلی است که در یخچال‌ها، سیستم‌های تهویه مطبوع و... به کار می‌رود.

این سیکل از چهار فرآیند تشکیل شده است که عبارتند از:

- تراکم آنتروپی ثابت در کمپرسور
- دفع گرما با فشار ثابت در کندانسور
- کاهش فشار در شیر انبساط
- جذب گرما با فشار ثابت در اواپراتور

در سیکل تبرید تراکمی (شکل 1-1)) مبرد در نقطه 1 به صورت بخار اشباع وارد کمپرسور می‌شود و به طور آنتروپی ثابت تا فشار کندانسور متراکم می‌شود. در این تراکم آنتروپی ثابت، دمای مبرد خیلی بیشتر از دمای محیط اطراف می‌شود. مبرد سپس در در نقطه 2 به صورت بخار فوق گرم وارد کندانسور شده و بر اثر دفع گرما به محیط اطراف، در نقطه 3 به صورت مایع اشباع از کندانسور خارج می‌گردد. دمای مبرد در این حالت هنوز بیشتر از محیط اطراف است. مبرد در حالت مایع اشباع در نقطه 3 با عبور از شیر انبساط یا لوله موئین تا فشار اواپراتور فشارشکنی می‌شود. دمای مبرد بعد از این فرآیند به کمتر از دمای محیط اطراف می‌رسد. مبرد در نقطه 4 به صورت مخلوط اشباع با کیفیت کم وارد اواپراتور می‌شود و با جذب گرما از محیط تبرید شده کاملاً تبخیر می‌شود. مبرد به صورت بخار اشباع از اواپراتور خارج و دوباره وارد کمپرسور می‌شود و چرخه تکمیل می‌گردد. برای درک بهتر مطالب این بند شکل (1-1) آورده شده است، که نشان دهنده نمودار  $T_S$  سیکل تبرید تراکمی می‌باشد.

مساحت زیر منحنی فرآیند در نمودار  $T_S$  انتقال گرما را برای فرآیندهای بازگشت‌پذیر داخلی نشان می‌دهد. مساحت زیر منحنی فرآیند 1-4 گرمای جذب شده توسط مبرد را در اواپراتور نشان می‌دهد. مساحت زیر منحنی در فرآیند 2-3 نشان دهنده گرمای دفع شده در کندانسور می‌باشد. البته ذکر این نکته که نمودارهای فوق‌الذکر برای حالت ایده‌آل می‌باشند ضروری است، چرا که سیکل تبرید تراکمی ایده‌آل با سیکل تبرید تراکمی واقعی چند تفاوت دارد، این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از بازگشت‌ناپذیری‌هایی است که در اجزاء مختلف روی می‌دهند. عوامل برگشت‌ناپذیری عبارتند از: اصطکاک سیال (که باعث افت فشار می‌شود) و انتقال گرما به (یا از) اطراف می‌باشد.

### 3-1. سیستم جذبی آب-آمونیاک

یک سیکل جذبی از این نظر که از مبرد فراری مانند آمونیاک استفاده کرده و مبرد تناوب با جذب حرارت نهان از مواد سرد شونده تحت فشار پایین در اواپراتور<sup>1</sup> تبخیر و با دادن حرارت نهان به عامل تقطیر تحت فشار بالاتر در کندانسور<sup>2</sup> تقطیر می‌شود به سیکل تراکمی تبخیری شباهت دارد. اختلاف اساسی سیکل‌های تبرید جذبی و تراکمی عامل جریان مبرد در سیستم است که اختلاف فشار لازم بین تحولات تبخیر و تقطیر را فراهم می‌کند. در سیستم جذبی یک جذب‌کننده<sup>3</sup> (برج جذب) و یک ژنراتور<sup>4</sup> (تولیدکننده بخار) جایگزین کمپرسور شده و تمامی وظایفی را که کمپرسور در سیکل تراکمی تبخیری بر عهده دارد انجام می‌دهند. علاوه بر این تفاوت اساسی دیگر بین سیکل جذبی و سیکل

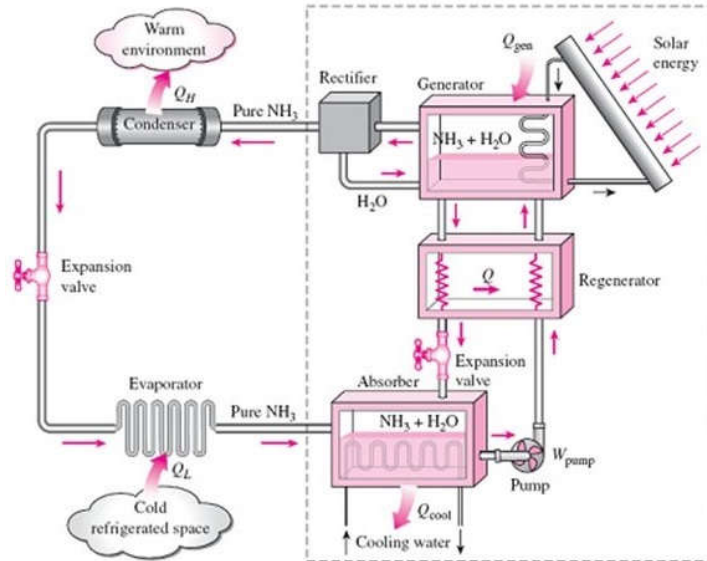
Evaporator<sup>1</sup>

Condenser<sup>2</sup>

Absorber<sup>3</sup>

Generator<sup>4</sup>

تراکمی تبخیری این است که انرژی ورودی لازم در سیکل تراکمی تبخیری با کار مکانیکی کمپرسور تأمین می‌شود در حالی که انرژی ورودی سیکل جذبی به صورت حرارت است و مستقیماً به ژنراتور داده می‌شود. در شکل 1-3 نمای کلی سیستم جذبی آب-آمونیاک نشان داده شده است (دسات، 1981).



شکل 1-2 سیکل سردسازی آب-آمونیاک با استفاده از انرژی خورشیدی

سیستم جذبی در حالت کلی به دو ناحیه فشار بالا و فشار پایین تقسیم می‌شود. ناحیه فشار بالا شامل مبدل حرارتی، ژنراتور، تجزیه کننده، تصحیح کننده و کندانسور می‌باشد. از طرف دیگر ناحیه فشار پایین شامل اواپراتور و جذب کننده است. شیرهای انبساط و پمپ ارتباط میان این دو ناحیه را فراهم می‌کند. در مبدل حرارتی هم جریان فشار بالا و هم جریان فشار پایین وجود دارند. تفاوت اصلی سیستم‌های جذبی با سیستم‌های تراکم بخار در نحوه‌ی افزایش فشار مبرد است، که در سیستم‌های تراکمی توسط کمپرسور انجام می‌شود و به دلیل بالا بودن حجم ویژه مبرد که در فاز بخار قرار دارد انرژی زیادی برای این کار صرف می‌شود اما در سیستم‌های جذبی مبرد در یک حلال حل شده و سپس توسط پمپ فشار آن افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه حجم ویژه محلول که در فاز مایع قرار دارد بسیار کمتر از بخار است انرژی کمتری برای این کار صرف می‌شود، ولی برای جداسازی مجدد مبرد از محلول در فشار بالا نیاز به انرژی حرارتی زیادی است.

دو سیال در این سیکل استفاده می‌شود:

- آب: در این سیکل از آب به دو منظور استفاده می‌شود. یکی به عنوان حلال (جاذب) و دیگری به عنوان سیال خنک کننده. مسیر جریان آبی که به عنوان جاذب به کار می‌رود همان‌طور که در شکل 1-3 نشان داده شده است از جذب کننده به مبدل حرارتی محلول، ژنراتور، مبدل حرارتی محلول، شیر انبساط و مجدداً جذب کننده است. آب خنک کننده نیز به جذب کننده وارد و پس از خروج به دو جریان تقسیم می‌شود که یک جریان به کندانسور و جریان دیگر به تصحیح کننده وارد می‌شود و پس از خروج، کل جریان آب از سیکل خارج می‌شود.
- آمونیاک: این سیال تقریباً در تمامی سیکل جریان داد.

در این سیکل مبرد مادون سرد شده با دما و فشار بالا وارد شیر انبساط می‌شود و فشار عبوری از شیر تا فشار اواپراتور کاهش می‌یابد. به دلیل عدم انجام کار و تبادل حرارت در شیر انبساط آنتالپی ثابت می‌ماند اما به دلیل کاهش فشار

Family name: Khalilzadeh	Name: Saman
Title of Thesis: Performance Analysis of Different Working Fluids in Integrated System of Cascade Refrigeration cycle and organic rankine cycle	
Supervisor: Dr. Hadi Ghaebi	
Graduate Degree: M.Sc.	
Major: Mechanical Engineering	Specialty: Energy Conversion
University: <b>Mohaghegh Ardabili</b>	Faculty: Engineering
Graduation date: 06/09/2016	Number of pages: 148
<p>Abstract:</p> <p>In the current study, a new integrated system is provided to prevent wasting energy and reducing power consumption. This system consists of cascade refrigeration system (cooling) and organic Rankine cycle (power generation). These two cycles are combined with each other by a heat exchanger. In fact, this heat exchanger plays the role of condenser for cascade refrigeration cycle and also evaporator for organic Rankine cycle. In this way, the waste heat in a cascade refrigeration cycle is used to generate steam in organic Rankine cycle. Using EES program, thermodynamic, exergetic and thermoeconomic analyses were applied. The main purpose of this study is to reduce the power consumption of a cascade refrigeration cycle. Thus, the evaporator temperature, condensing temperature of heat exchanger 1, condensing temperature of heat exchanger 2, the pressure ratio and mass flow of the organic Rankine cycle were selected as optional parameters in order to reduce power consumption in cascade refrigeration cycle. The results revealed that using the working fluids of R404A, R717 and R11 respectively in the low temperature refrigeration cycle, high temperature refrigeration cycle and organic Rankine cycle would produce cooling at <math>-50^{\circ}\text{C}</math> and also reduce the power consumption to 36.05% in the cascade refrigeration cycle. Furthermore, the findings showed that this integrated system would increase the coefficient performance of the whole system.</p> <p>Considering the parametric study of the impact of selected parameters on the performance of the integrated (combined) system showed that by increasing the temperature of the evaporator and the condensing temperature of heat exchanger 1, the coefficient performance of integrated system would enhance. In addition, increasing the heat exchanger 2, the pressure ratio in low temperature refrigeration cycle and high temperature refrigeration cycle, the coefficient performance of integrated system would increase.</p>	
Keywords: Cascade Refrigeration Cycle, Organic Rankine Cycle, , Exergy, Thermoeconomic	



**University of Mohaghegh Ardabili**

**Faculty of Engineering**

**Department of Mechanic**

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
M.Sc. In Mechanical Engineering - Energy Conversion**

Title:

Performance Analysis of Different Working Fluids in Integrated System  
of Cascade Refrigeration cycle and organic rankine cycle

Supervisor:

**Dr. Hadi Ghaebi**

By:

**Saman Khalilzadeh**

**August - 2016**