

بازیابی انرژی حرارتی زمین با استفاده از مدارهای نیروی

سیالهای مبرد

نوشته

زین العابدین نجات

دانشیار

و

حامد امام جمعه زاده و عزراسا سون

دانشجویان دوره فوق لیسانس

دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده:

مخازن آبگرم زیرزمینی و چشمه های آبگرم سطحی وقتی دارای درجه حرارت پائین تر از نقطه جوش آب باشند مستقیماً نمیتوانند در سیکل های تولید نیرو مورد استفاده قرار گیرند. برای بازیابی گرمای این منابع انرژی حرارتی زمین ممکن است از سیکل رانکین سیالهای مبرد استفاده بعمل آورد. مطالعات لازم بر روی شش سیال مبرد انجام گرفته و نتایج آن در این مقاله آمده است. برای تکمیل مطالعه حداکثر درجه حرارت مولد بخار سیال متناسب با نوع و با توجه به نقطه بحرانی انتخاب شده است.

۱- معرفی:

انرژی حرارتی زمین که در نقاط مختلف کره زمین آثار و نشانه های آن دیده میشود گاهی بصورت مخازن زیر زمینی آبگرم و یا چشمه های ظاهر شده میباشد*(۱). این آبگرم وقتی که درجه حرارت آن پائین تر از نقطه جوش باشد قابل استفاده مستقیم در سیکل های تولید نیرو نبوده و بیشتر در کاربردهای دیگر از آن استفاده میگردد(۲). با توجه باینکه سیکل سرمازای سیال های مبرد کاملاً شناخته شده می باشد از مدتها پیش این فکر که شاید بتوان از این سیالها در سیکل های رانکین نیروزا استفاده بعمل آورد قوت گرفته است(۳). مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده و موضوع چه از نظر ترمودینامیکی و انتقال حرارت و چه از نظر

* اعداد داخل پارانتر اشاره به منابع مراجعه ای می نمایند که لیست آنها در آخر مقاله آمده است.

مکانیک سیالات و دینامیک توربو ماشینها مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است. بعضی از مطالعات انجام شده بعلت اینکه وسیله مؤسسات خصوصی انجام گرفته نتایج آنها بطور کامل منتشر نگردیده است.

در این گزارش سیکل رانکین شش سیال مبرد از نوع فرئون و بشماره های ۱۱-۱۲-۲۱-۲۲-۱۱۳ و ۱۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است. سپس قدرت مخصوص آنها بازای ضریب انبساط توربین رسم گردیده و سیال مناسب توصیه شده است.

۲- سیکل نیروزا و محاسبات آن:

در شکل شماره (۱) شکل نیروزای یک سیال مبرد بطور نمونه نشان داده شده است.

خط ۱-۲ نظیر تلمبه کردن مایع از کندانسره مولد بخار میباشد. مایع سپس از نقطه ۲ تا نقطه ۲' گرم شده و سپس عمل تبخیر انجام خواهد گرفت. در حالتیکه سیال بصورت بخار اشباع به توربین ارسال گردد نقطه ۳ ورودی به توربین بوده و در موقعیکه سیال بصورت بخار داغ مورد استفاده قرار گیرد نقطه ۳' مشخصات بخار ورودی به توربین را تعیین خواهد نمود. خطوط ۱-۲ یا ۱-۲' عملکرد کندانسر جهت تقطیر بخار را نشان میدهد.

کار انجام شده بر روی سیال جهت تلمبه کردن آن از کندانسر به مولد بخار از رابطه زیر میآید:

$$W_{12} = \frac{M^0}{J} \frac{P_2 - P_1}{\rho_{1a}} \frac{1}{\eta_c} \quad (1)$$

که در آن M^0 گذر جرمی سیال در سیکل - P_1 و P_2 فشارهای کندانسر و مولد بخار - ρ_{1a} جرم مخصوص متوسط مایع و η_c بازده تلمبه است. برای گذر جرمی واحد رابطه بالا ساده تر خواهد شد.

$$W_{12} = \frac{1}{J} \frac{P_2 - P_1}{\rho_{1a}} \frac{1}{\eta_c} \quad (2)$$

کار تولید شده وسیله توربین و در اثر انبساط بخار سیال را میتوان بشکل زیر نوشت:

$$W_{34} = M^0 (H_3 - H_4) \eta_t \quad \text{حالت بخار اشباع} \quad (3)$$

$$W_{3'4'} = M^0 (H_{3'} - H_{4'}) \eta_t \quad \text{حالت بخار داغ} \quad (4)$$

در این روابط η_t بازده توربین و H نشان دهنده آنتالپی بخار سیال میباشد که از جداول مخصوص استخراج خواهد شد. کار مفید از تفاضل کار تولید شده وسیله توربین و کار جذب شده توسط تلمبه بدست میآید:

$$W = W_{34} - W_{12} \quad \text{حالت بخار اشباع} \quad (5)$$

$$W = W_{3'4'} - W_{12} \quad \text{حالت بخار داغ} \quad (6)$$

ولذا:

$$W = \left[(H_3 - H_4) \eta_t - \frac{1}{J} \frac{P_2 - P_1}{\rho_{1a}} \frac{1}{\eta_c} \right] \eta_m \quad \text{حالت بخار اشباع} \quad (7)$$

$$W = \left[(H_{3'} - H_{4'}) \eta_t - \frac{1}{J} \frac{P_2 - P_1}{\rho_{1a}} \frac{1}{\eta_c} \right] \eta_m \quad \text{حالت بخار داغ} \quad (8)$$

ضریب انبساط توربین از رابطه:

$$R = \frac{P_2}{P_1} \quad (9)$$

بدست میآید که در آن فشارهای P_1 و P_2 فشار مطلق میباشد.

برای درجه حرارت کندانسر ۸۰ درجه فارنهایت انتخاب گردید که ثابت می باشد. این درجه حرارت با توجه باینکه کندانسر از طریق آب برج خنک کن خنک میشود برای شرایط ایران منطقی بنظر می آید. درجه حرارت تبخیر از ۱۰۰ درجه فارنهایت شروع شده و بمراحل ازدیاد ۲ درجه تا ۳۸ درجه فارنهایت رسانده شده است. خط تبخیر نهائی طوری انتخاب شده است که تا حدود مجاز از نقطه بحرانی سیال بدور باشد و نوسانات احتمالی در درجه حرارت، تولید اختلال در سیکل رانکین را ننماید. جدول شماره (۱) این درجات حرارت را همراه با درجات حرارت بحرانی سیالهای مورد نظر نشان میدهد.

محاسبات بوسیله برنامه ای که برای رایانه (کمپیوتر) نوشته شده بود انجام گردید و پارامترهای ثابتی نظیر بازده مکانیکی سیستم ($\eta_m = 0.95$) بارده تلمبه ($\eta_c = 0.85$) - بازده توربین ($\eta_t = 0.82$) انتخاب شد. از دیگر پارامترهای مولیه و جداول مشخصات فیزیکی سیالها منبع مراجعه (۴) در محاسبات استفاده بعمل آمده است.

پس از انجام محاسبات نتایج بصورت تغییرات کار مفید با ضریب انبساط توربین برای سیالهای شش گانه رسم گردید، شکل (۲). چون در بعضی از سیالها نظیر فریون های ۱۱ و ۱۲ درجه حرارت بیشینه تبخیر در درجات کمتری بدست می آید لذا محاسبات برای حالت بخار داغ نیز انجام شد که نتایج آن در شکل شماره (۳) نشان داده شده است.

۳- بررسی مطالعات و نتیجه گیری

بمراجعه به نتایج مطالعات که در روی شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده اند میتوان دید که بعضی از سیالها در حالت اشباع و برای ایجاد قدرت های زیاد دارای ضریب انبساط بیشتری هستند. از این میان میتوان فریون ۱۳ را نام برد که دارای ضریب انبساطی حدود ۰.۴ است. جهت استفاده از این ضریب انبساط طرح توربینی با طبقات متعدد ضروری است. فریونهای نظیر ۱۲ و ۲۲ از طرف دیگر در حالت اشباع دارای قدرت دهی و ضریب انبساط کمتری هستند. با ثابت نگهداشتن ضریب انبساط میتوان از بخار داغ این فریونها استفاده بعمل آورد. شکل (۳) نشان میدهد که با ثابت نگهداشتن ضریب انبساط میتوان قدرت دهی سیکل را با ازدیاد درجه داغی سیالها افزونی داد. و قتیکه ضریب انبساط رقم کمتری باشد میتوان تعداد طبقات توربین مورد نظر را تقلیل داد و از هزینه های تولید آن کاست. با توجه باینکه ضریب انبساط حدود ۰.۴/۰.۵ میباشد حتی میتوان از توربینهای ضربه ای یک طبقه نوع محوری یا شعاعی ۰.۹ درجه نیز استفاده نمود.

وقتیکه بخار داغ به توربین ارسال گردد امکان ایجاد قطرات مایع در انتهای انبساط بر روی پره های توربین کمتر خواهد بود. وجود این قطرات مایع باعث اختلال در کار توربین بوده و معمولا توسط مکنده های به پیرون ارسال میگردد. طبیعی است در حالتیکه بخار اشباع به توربین ارسال می گردد امکان تولید قطرات مایع بمراتب بیشتر خواهد بود.

بعلت بالا بودن نسبی ضریب انتقال حرارت حالت جوش و تبخیر نسبت به گرم کردن بخار، سطح حرارتی لازم برای تولید بخار اشباع کمتر از تولید بخار داغ می گردد و لذا اندازه مولدهای بخار در سیکل های با بخار داغ بزرگتر از مولدهای بخار در سیکل های با بخار اشباع خواهد بود. سطح حرارتی بیشتر باعث بزرگ شدن اندازه و گرانی مولد بخار خواهد بود. از بحث های بالا میتوان نتایج زیر بدست آورد:

۱- از نظر طراحی توربو ماشینها بعلت ضریب انبساط کم مربوط به فریونهای ۱۲ و ۲۲ توربین ساده تر و هزینه تولید آن ارزانتر خواهد بود.

۲- استفاده از بخار داغ سیال مشکلات مربوط به ایجاد بخار تر در انتهای انبساط را کم نموده و لوازم جذب قطرات مایع شده را از جدار خارجی توربین حذف خواهد نمود.

۳- بعلت تولید بخار داغ احتیاج به سطح حرارتی بیشتری بوده و لذا ابعاد مولد بخار بزرگتر و در نتیجه هزینه ساخت آن گرانتر خواهد بود.

۴- فریونهای ۱۲ و ۲۲ با توجه به ردیف های ۱ و ۳ و ۳ مناسبتر از بقیه سیالهای مبرد که در این مطالعه مدنظر بوده اند میباشد و برای این نوع سیکلها توصیه می گردد.

ع- پیوست: نامهای شیمیایی و فرمولهای فریونهای بکار رفته در این مطالعه در پائین درج میگردد:

CCl_3F Trichloromonofluoromethane	۱ - فریون ۱۱
CCl_2F_2 Dichlorodifluoromethane	۲ - فریون ۱۲
CCl_2FH Dichlorofluoromethane	۳ - فریون ۲۱
CClF_2H Chlorodifluoromethane	۴ - فریون ۲۲
$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$ Trichlorotrifluoroethane	۵ - فریون ۱۱۳
$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$ Dichlorotetrafluoroethane	۶ - فریون ۱۱۴

و- علائم بکار رفته

الف - حروف لاتین و یونانی

- H - آنتالپی- بی تی یو برای پوند جرم
- J - ضریب تبدیل کار مکانیکی به کار حرارتی
- M° - گذر جرمی- پوند در ثانیه
- P - فشار- پوند نیرو بر اینچ مربع
- R - ضریب انبساط توربین
- W - کار واحد - پوند جرم برای یک پوند جرم سیال
- ρ - جرم مخصوص- پوند جرم به فوت مکعب
- η - بازده

ب- زیر نویس ها

- a - متوسط
- c - تلمبه
- l - مایع
- m - مکانیکی
- t - توربین

۱ و ۲ و ۳ - نقاط مختلف روی دیاگرام مولیه

منابع

- ۱- زمین‌العابدین نجات: انرژی حرارتی زمین (قسمت دوم)- انواع منابع انرژی و ساختمان آنها- نشریه دانشکده فنی- شماره ۳۱- خردادماه ۱۳۵۴
- ۲- زمین‌العابدین نجات: انرژی حرارتی زمین (قسمت سوم)- کاربرد انرژی - نشریه دانشکده فنی - شماره ۳۶ اسفند ۲۵۳۵

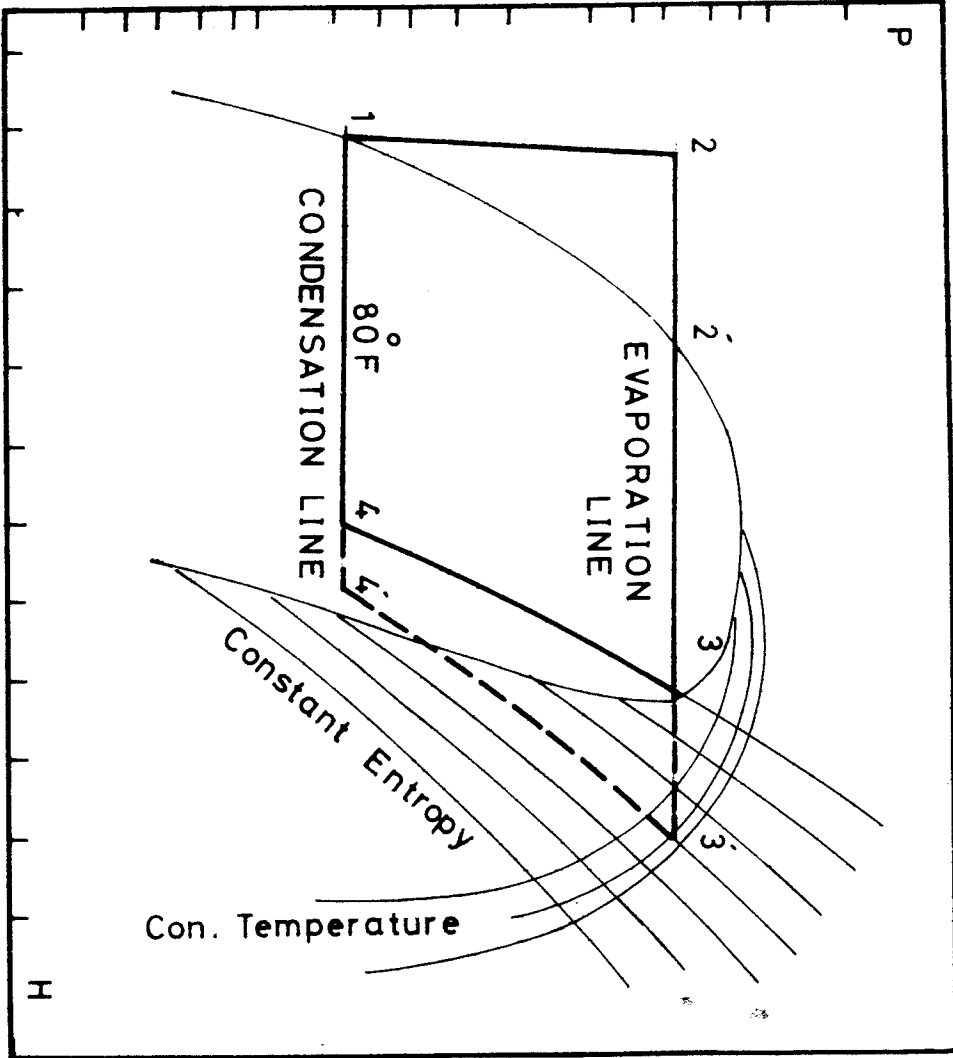
3 — UNESOC : Geothermal Energy, Review of Research and Development, Paris, 1973.

4 — ASHRAE, GUIDE: Handbook of Fundamentals, 1972.

جدول شماره (۱): مشخصات سیکل‌های رانکین سیالهای مبرد

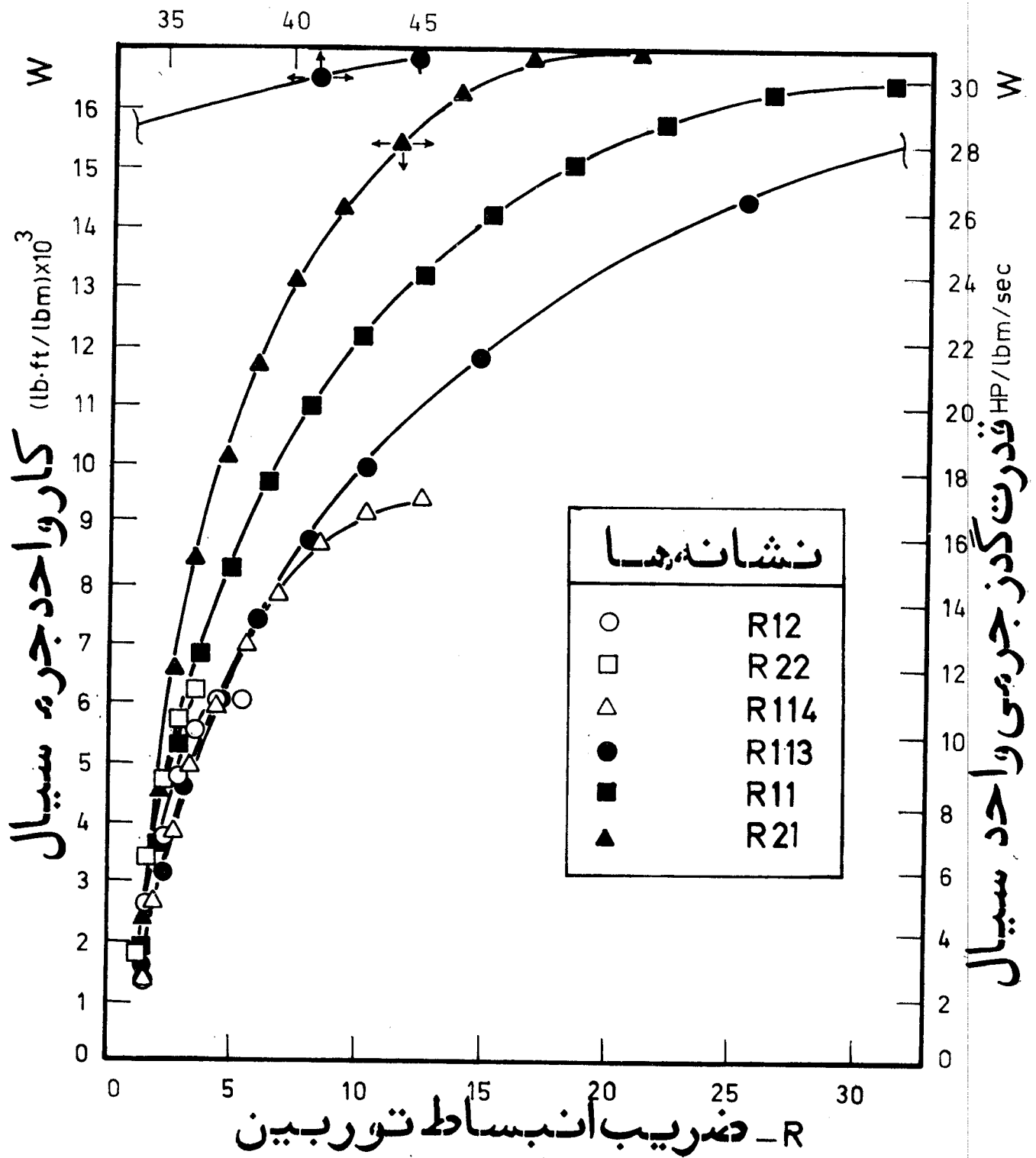
درجه حرارت تقطیر درجه فارنهایت	سطالعه بخار داغ	درجه حرارت بیشینه تبخیر برای حالت اشباع درجه فارنهایت	درجه حرارت بحرانی درجه فارنهایت	سیال مبرد
۸۰	—	۳۶۰	۳۸۸٫۴	فریون ۱۱
۸۰	بلی	۲۲۰	۲۳۳٫۶	فریون ۱۲
۸۰	—	۳۲۵	۳۵۲٫۲۹	فریون ۲۱
۸۰	بلی	۱۸۰	۲۰۴٫۸۱	فریون ۲۲
۸۰	—	۳۸۰	۴۱۷٫۴	فریون ۱۱۳
۸۰	—	۲۸۰	۲۹۴٫۳	فریون ۱۱۴

فشار

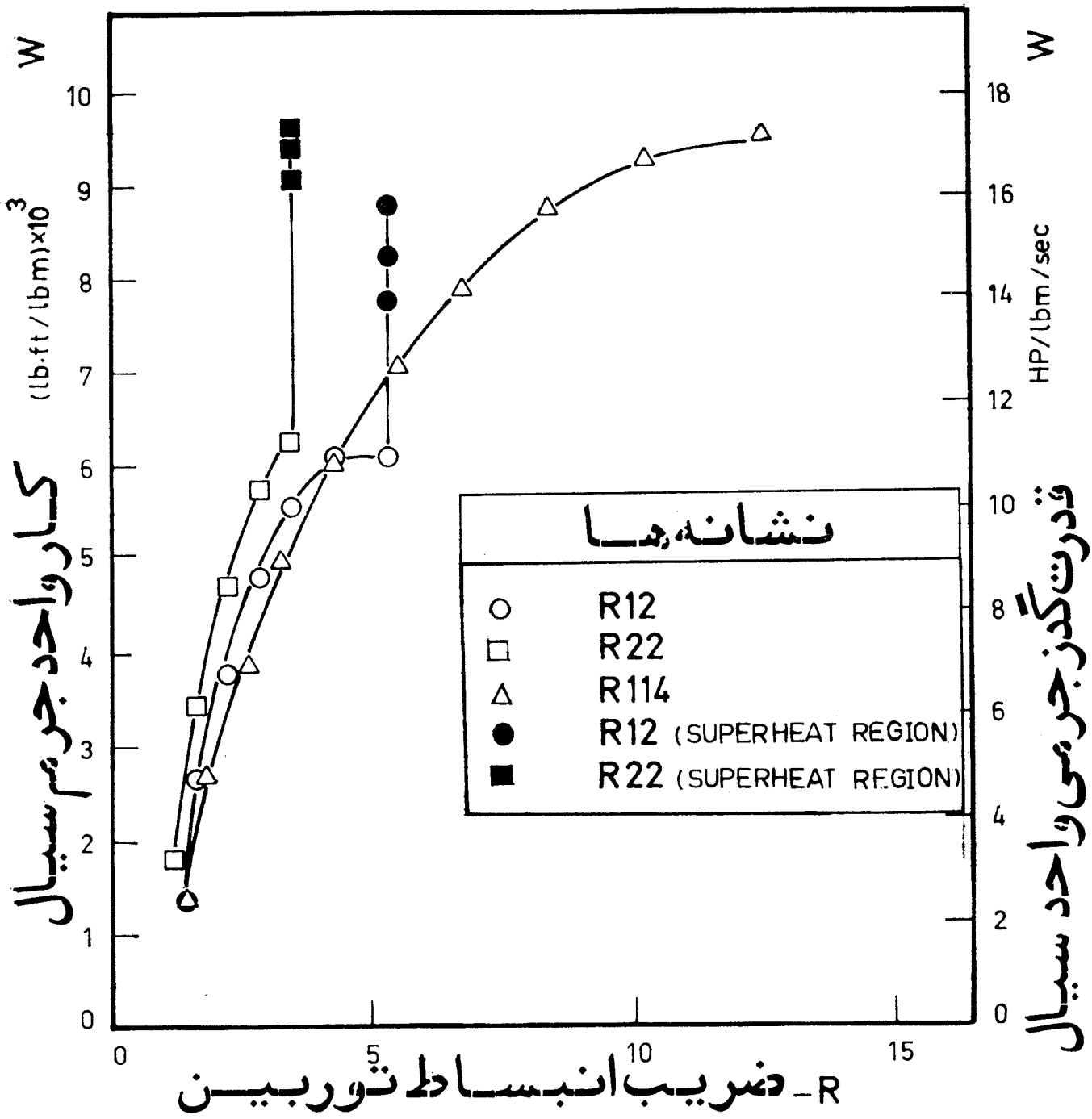


آنتالپی

شکل (۱) - سیکل نیروزای یک سیال مبرد



شکل (۲) تغییرات قدرت مفید بر حسب ضریب انبساط توربین - حالت اشباع



شکل (۳) - تغییرات قدرت مفید بر حسب ضریب انبساط توربین - حالت های اشباع و داغ