بازیابی انرژی حرارتی زمین با استفاده از مدارهای نیروزای سیالهای مبرد

نوشته

زین‌العابدین نجات

دانشیار

و

حامد امام جمعه زاده و عزراساسون

دانشجویان دورهٔ فوق لیسانس

دانشکده‌فنی ـ دانشگاه تهران

چکیده:

مخازن آبگرم زیرزمینی وچشمه‌های آبگرم سطحی وقتی دارای‌درجه حرارت پائین‌تر ازنقطه جوش‌آب باشند مستقیماً نمیتوانند در سیکلهای تولید نیرو مورد استفاده قرارگیرند. برای بازیابی گرمای این منابع‌انرژی حرارتی زمین ممکن است از سیکل رانکلین سیالهای مبرد استفاده بعمل آورد. مطالعات لازم برروی شش سیال مبرد انجام گرفته ونتایج‌آن دراین مقاله‌آمده‌است. برای تکمیل مطالعه حداکثر درجه حرارت مولد بخار سیال متناسب بانوع و باتوجه به‌نقطه بحرانی انتخاب شده است.

۱ـ معرفی:

انرژی حرارتی زمین که درنقاط مختلف کره زمین‌آثار ونشانه‌های آن دیده میشود گاهی بصورت مخازن زیر زمینی آبگرم ویا چشمه‌های ظاهرشده میباشد*(۱). این آبگرم‌وقتی که درجه‌حرارت آن‌پائین تراز نقطه‌جوش باشد قابل‌استفاده‌مستقیم در سیکل‌های تولید نیرو نبوده وبیشتر درکاربردهای دیگرازآن استفاده میگردد(۲). باتوجه باینکه سیکل سرمازای‌سیال‌های مبرد کاملا شناخته شده می‌باشد ازمدتها پیش این فکرکه شاید بتوان ازاین‌سیالهادرسیکل‌های رانکین نیروزا استفاده‌بعمل آورد قوت‌گرفته‌است(۳). مطالعات اندکی دراین زمینه انجام شده وموضوع چه‌از نظر ترمودینامیکی وانتقال حرارت وچه‌ازنظر

*ـ اعداد داخل پارانتز اشاره به‌منابع مراجعه‌ای می‌نمایندکه لیست آنها درآخر مقاله آمده است.

مکانیک سیالات ودینامیک توربوماشینها مورد بررسی دقیق قرار نگرفته‌است. بعضی از مطالعات انجام شده بعلت اینکه‌وسیله مؤسسات خصوصی انجام‌گرفته نتایج آنها بطورکامل منتشرنگردیده‌است.

دراین‌گزارش سیکل رانکین شش سیال مبرد ازنوع فرئون وبشماره‌های ۱۱- ۱۲- ۲۱- ۲۲- ۱۱۳و۱۱٤ مورد بررسی قرارگرفته‌است . سپس قدرت مخصوص آنها بازای ضریب انبساط توربین رسم‌گردیده‌وسیال مناسب توصیه‌شده است.

۲- سیکل نیروزا ومحاسبات آن:

درشکل شماره (۱) شکل نیروزای یکسیال مبرد بطورنمونه نشان داده‌شده است.

خط ۲-۱ نظیر تلمبه کردن مایع ازکندانسربه مولد بخار میباشد.مایع سپس‌از نقطه ۲ تانقطه ۲′گرم شده وسپس عمل تبخیر انجام خواهدگرفت. در حالتیکه سیال بصورت بخار اشباع به‌توربین ارسال‌گردد نقطه ۳ورودی به‌توربین‌بوده ودر موقعیکه سیال بصورت بخار داغ مورد استفاده قرارگیردنقطه′۳ مشخصات‌بخارورودی به‌توربین‌راتعیین خواهدنمود. خطوط ٤-۱ یا ٤′-۱ عملکرد کندانسر جهت تقطیر بخار را نشان میدهد.

کار انجام شده برروی سیال جهت تلمبه کردن آن ازکندانسر به‌مولد بخار از رابطه زیر میآید :

$$W_{12} = \frac{M^\circ}{J} \frac{P_2 - P_1}{\rho_{la}} \frac{1}{\eta_c} \qquad (1)$$

که‌درآن M° گذر جرمی سیال درسیکل - P_1 و P_2 فشارهای کندانسر ومولد بخار- ρ_{la} جرم مخصوص متوسط مایع وη_c بازده تلمبه است. برای‌گذر جرمی واحد رابطه بالا ساده‌تر خواهد شد.

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

کارتولید شده وسیله توربین ودر اثر انبساط بخارسیال رامیتوان بشکل زیر نوشت.:

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

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

دراین روابط η_t بازده توربین و H نشان دهنده آنتالپی بخارسیال میباشدکه‌از جداول مخصوص‌استخراج‌خواهد شد. کار مفید از تفاضل کار تولیدشده وسیله توربین وکارجذب‌شده توسط تلمبه بدست میآید:

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

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

ولذا :

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

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

ضریب انبساط توربین از رابطه :

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

بدست میآیدکه‌درآن فشارهای P_2 و P_1 فشار مطلق میباشند .

برای درجه حرارت کندانسر ۸۰ درجه فارنهایت انتخاب گردید که ثابت میباشد. این درجه حرارت باتوجه باینکه کندانسر از طریق آب برج خنک کن خنک میشود برای شرایط ایران منطقی بنظر میآید. درجه حرارت تبخیر از ۱۰۰ درجه فارنهایت شروع شده وبمراحل ازدیاد ۲ درجه تا ۳۸ درجه فارنهایت رسانده شده است. خط تبخیر نهائی طوری انتخاب شده است که تاحدود مجاز از نقطه بحرانی سیال بدور باشد ونوسانات احتمالی در درجه حرارت، تولید اخلال در سیکل را نکین راننماید. جدول شماره (۱) این درجات حرارت راهمراه بادرجات حرارت بحرانی سیالهای مورد نظر نشان میدهد.

محاسبات بوسیله برنامه‌ای که برای رایانه (کمپیوتر) نوشته شده بود انجام گردید وپارامترهای ثابتی نظیر بازده مکانیکی سیستم ($\eta_m = ۰٫۹۵$) بازده تلمبه ($\eta_c = ۰٫۸۵$) - بازده توربین ($\eta_t = ۰٫۸۲$) انتخاب شد. از دیاگرام های مولیه وجداول مشخصات فیزیکی سیالها منبع مراجعه (٤) در محاسبات استفاده بعمل آمده است.

پس از انجام محاسبات نتایج بصورت تغییرات کار مفید باضریب 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 میآید لذا محاسبات برای حالت بخار داغ نیز انجام شد که نتایج آن درشکل شمار (۳) نشان داده شده است.

۳- بررسی مطالعات ونتیجه گیری

بامراجعه به نتایج مطالعات که در روی شکلهای (۲) و (۳) نشان داده شده اند میتوان دید که بعضی از سیالها در حالت اشباع وبرای ایجاد قدرت های زیاد دارای ضریب انبساط بیشتری هستند. ازاین میان میتوان فریون ۱۱۳ رانام برد که دارای ضریب انبساطی حدود ٤٥ است. جهت استفاده ازاین ضریب انبساط طرح توربینی باطبقات متعدد ضرور ری است. فریونهائی نظیر ۱۲ و ۲۲ از طرف دیگر در حالت اشباع دارای قدرت دهی وضریب انبساط کمتری هستند. باثابت نگهداشتن ضریب انبساط میتوان ازبخار داغ این فریونها استفاده بعمل آورد. شکل (۳) نشان میدهد که باثابت نگهداشتن ضریب انبساط میتوان قدرت دهی سیکل را باازدیاد درجه داغی سیالها افزونی داد. وقتیکه ضریب انبساط رقم کمتری باشد میتوان تعداد طبقات توربین مورد نظر را تقلیل دادواز هزینه های تولید آن کاست. باتوجه باینکه ضریب انبساط حدود ٤/٥ میباشد حتی میتوان از توربینهای ضربه‌ای یک طبقه ونوع محوری یا شعاعی ۹۰ درجه نیز استفاده نمود.

وقتیکه بخارداغ به توربین ارسال گردد امکان ایجاد قطرات مایع در انتهای انبساط برروی پره های توربین کمتر خواهد بود. وجود این قطرات مایع باعث اخلال در کار توربین بوده ومعمولا توسط مکنده هائی به بیرون ارسال میگردد. طبیعی است در حالتیکه بخار اشباع به توربین ارسال می گردد امکان تولید قطرات مایع بمراتب بیشتر خواهد بود.

بعلت بالابودن نسبی ضریب انتقال حرارت حالت جوش وتبخیرنسبت به گرم کردن بخار، سطح حرارتی لازم برای تولید بخار اشباع کمترازتولید بخار داغ می گردد ولذا اندازه مولدهای بخار در سیکلهای با بخار داغ بزرگتراز مولدهای بخار در سیکلهای ابخار اشباع خواهدبود. سطح حرارتی بیشتر باعث بزرگ شدن اندازه وگرانی مولد بخار خواهد بود.

ازبحث 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 تروهزینه تولید آن ارزانتر خواهد بود.

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

۳- بعلت تولید بخار داغ احتیاج به سطح حرارتی بیشتری بوده ولذا ابعاد مولد بخار بزرگتر ودر نتیجه هزینه ساخت آن گرانترخواهد بود.

٤- فریونهای ۱۲ و ۲۲ باتوجه به ردیف های ۱ و ۲ و ۳ مناسبتراز بقیه سیالهای میباشد که دراین مطالعه مدنظربوده اند میباشد وبرای این نوع سیکلها توصیه می گردد.

٤-پیوست: نامهای شیمیایی وفرمولهای فریون‌های بکار رفته دراین مطالعه در پائین درج میگردد:

۱ — فریون ۱۱ CCl_3F

Trichloromonofluomethane

۲ — فریون ۱۲ CCl_2F_2

Dichlorodifluoromethane

۳ — فریون ۲۱ CCl_2FH

Dichlorofluoromethane

٤ — فریون ۲۲ $CClF_2H$

Chlorodifluoromethane

٥ — فریون ۱۱۳ $C_2Cl_3F_3$

Trichlorotrifluoroethane

٦ — فریون ۱۱٤ $C_2Cl_2F_4$

Dichlorotetrafluoroethane

٥- علائم بکار رفته

الف- :حروف لاتین ویونانی

H — آنتالپی- پی‌تی یو برای پوند جرم

J — ضریب تبدیل کار مکانیکی به کار حرارتی

M° — گذر جرمی- پوند درثانیه

P — فشار- پوند نیرو براینچ مربع

R — ضریب انبساط توربین

W — کار واحد - پوند جرم برای یک پوندجرم سیال

ρ — جرم مخصوص- پوندجرم به‌فوت‌مکعب

η — بازده

ب- :زیرنویس ها

a — متوسط

c — تلمبه

l — مایع

m — مکانیکی

t — توربین

۱ و ۲ و ۳ ..... - نقاط مختلف روی دیاگرام مولیه

منابع

۱-زین‌العابدین نجات: انرژی حرارتی زمین (قسمت دوم)- انواع منابع انرژی وساختمان آنها- نشریه دانشکده فنی- شماره ۳۱- خردادماه ۱۳۵٤

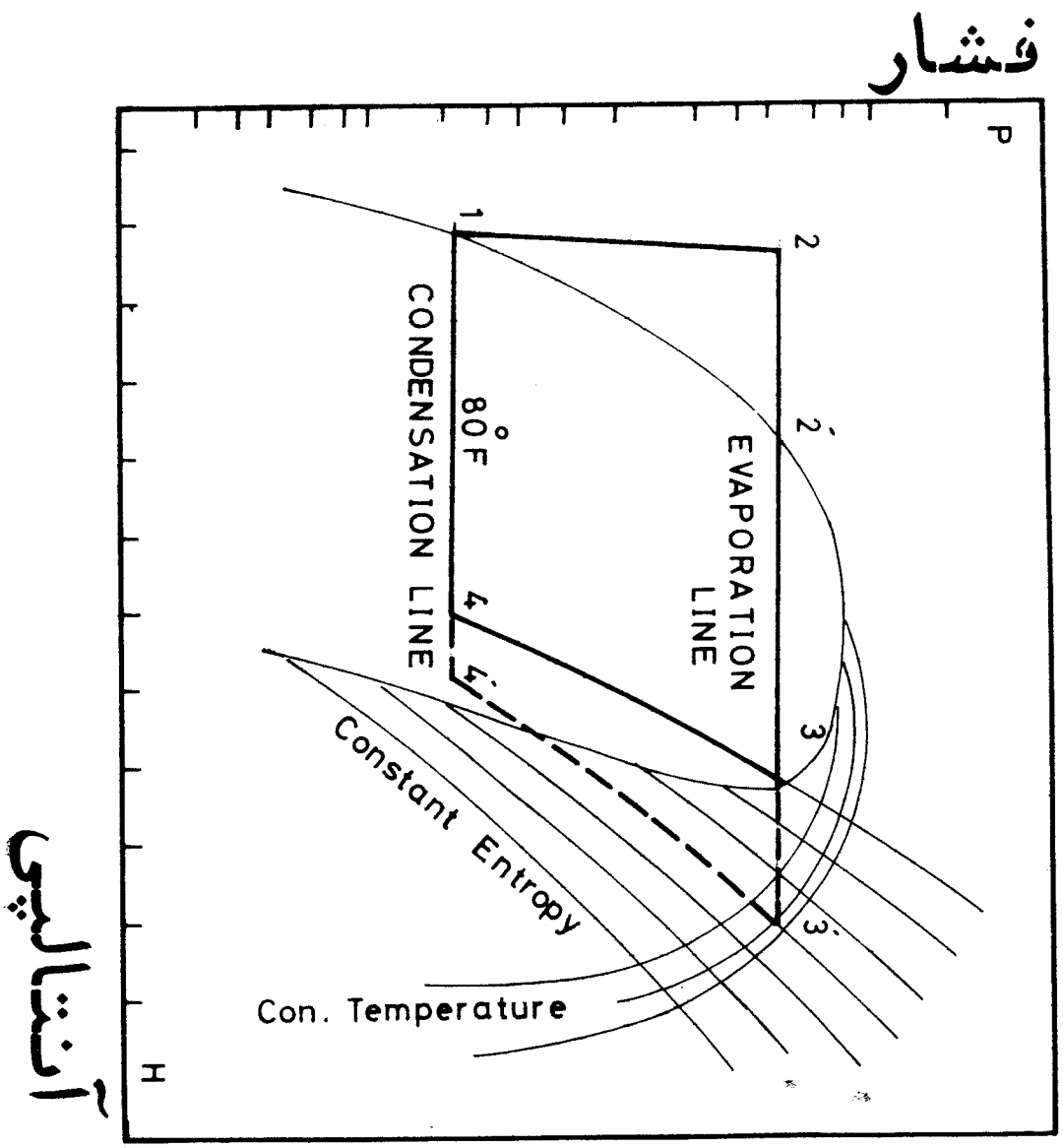
۲- زین‌العابدین نجات: انرژی حرارتی زمین (قسمت سوم)- کاربرد انرژی - نشریه دانشکده فنی - شماره ۳٦ اسفند ۲۵۳۵

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

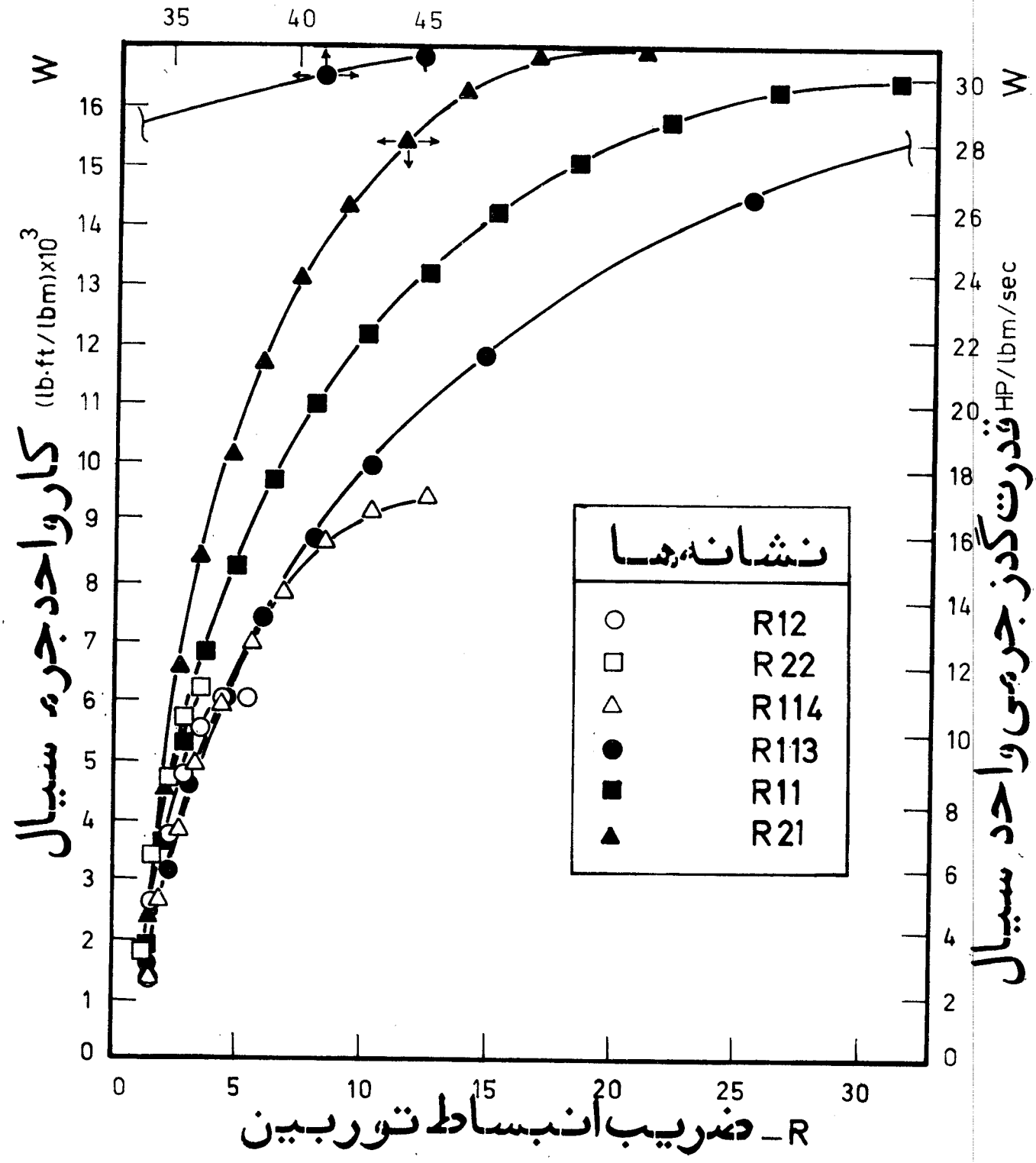
4 — ASHRAE, GUIDE: Handbook of Fundementals, 1972.

جدول شماره(۱): مشخصات سیکل‌های رانکین سیالهای مبرد

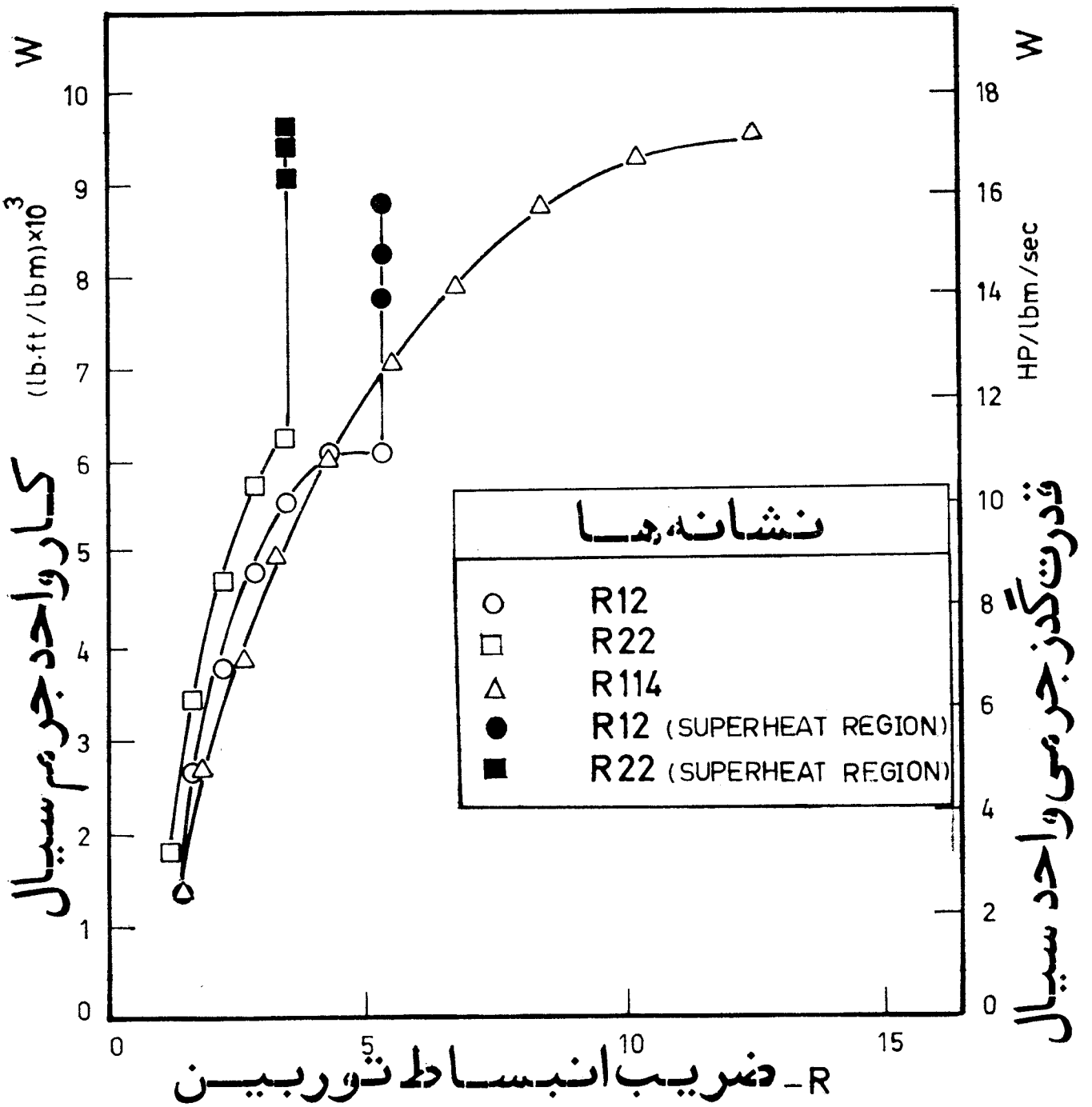
سیال مبرد	درجه حرارت بحرانی درجه فارنهایت	درجه حرارت بیشینه‌تبخیر برای حالت اشباع درجه فارنهایت	مطالعه بخار داغ	درجه حرارت تقطیر درجه فارنهایت
فریون ۱۱	۳۸۸ر٤	۳٦۰	—	۸۰
فریون ۱۲	۲۳۳ر٦	۲۲۰	بلی	۸۰
فریون ۲۱	۳۰۲ر۲۹	۳۲۵	—	۸۰
فریون ۲۲	۲۰٤ر۸۱	۱۸۰	بلی	۸۰
فریون ۱۱۳	٤۱۷ر٤	۳۸۰	—	۸۰
فریون ۱۱٤	۲۹٤ر۳	۲۸۰	—	۸۰



شکل (۱)- سیکل نیروزای یک سیال مبرد



شکل (۲) تغییرات قدرت مفید برحسب ضریب انبساط توربین ـ حالت اشباع



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