جایگزینی فشاربخار بجای پمپ در سیکل رانکین

محسن کهرم[۱] امیرجوان[۲]
دانشگاه فردوسی مشهد-دانشکده مهندسی-گروه مکانیک
E_mail:kahrom_m@yahoo.com

چکیده

در این مقاله نشان داده می شود که می توان پمپ را از سیکل رانکین حذف کرد و همراه با کاهش سرمایه گذاری اولیه و هزینه های تعمیر ونگهداری بیش از نیم در صد راندمان حرارتی سیکل را افزایش داد. این روش برای سیکل حرارتی نیروگاه توس در مشهد بکار گرفته شد و درستی نظریه تایید می شود. از مزایای دیگر بکارگیری این روش حذف قسمتی از خرید خارجی و جایگزینی آن با تجهیزات ساده و کم هزینه تر داخلی است .

واژه های کلیدی : پمپ ، سیکل رانکین ، فشار بخار

مقدمه

از متداولترین انواع نیروگاههای تولیدبرق، نیروگاههای بخار هستند که بر اساس سیکل رانکین عمل می کنند. سیکل رانکین از ۴ جزء اصلی دیگ بخار، توربین، کندانسور و پمپ تشکیل می شود. برای بالا بردن راندمان سیکل رانکین معمولاً طرحهایی مانند استفاده از بازیابی، صرفه جو، پیش گرمکن هوا، گرمکنهای آب تغذیه باز و بسته و... استفاده می شود[۱]. اما یکی از قسمتهای اصلی سیکل رانکین که انرژی زیادی مصرف می کند، پمپ تغذیه است که آب خروجی از کندانسور را در فشار پایین به دیگ بخار در فشار بالا منتقل می کند و در کاهش راندمان سیکل بسیار موثر است. هیچ طرح عملی تاکنون برای کاهش مقدار این انرژی که توسط پمپ مصرف می شود صورت نگرفته است. اضافه بر این تعمیر و نگهداری این پمپها دارای تکنولوژی بسیار پیشرفته بوده و هزینه سرمایه گذاری اولیه و هزینهٔ نگهداری زیادی را به نیروگاه تحمیل می کنند.

تئوری

در این طرح، آب خروجی از کندانسور به وسیلهٔ پمپ به مخزنی که در ارتفاعی بالاتر از دیگ بخار قرار دارد رسانده می شود. این مخزن از ۲ مجرا در بالا و پایین مخزن به ترتیب به بالا و پایین دیگ بخار متصل می شود ، شکل (۱) . با باز شدن همزمان این ۲ مجرا، اختلاف فشار در بالا و پایین ، آب داخل مخزن را به داخل دیگ بخار می راند که به این ترتیب آب بر اثر اختلاف تراز موجود (ارتفاع مخزن) به داخل دیگ بخار تزریق می شود.

این طرح ابتدا دارای ۳ مشکل اساسی است :

۱ - پس از تزریق آب به داخل دیگ بخار، بخار با فشار بالا، داخل مخزن را فرا می گیرد و پمپاژ آب خروجی کندانسور را به داخل مخزن در مرحلهٔ بعد مشکل می کند.

۲ - در هر مرتبه تزریق آب به داخل دیگ بخار، مقدار زیادی بخار از دیگ بخار خارج می شود که باعث کاهش راندمان در سیکل می شود.

۳ - تزریق آب به داخل دیگ بخار به صورت منقطع انجام می شود .

لذا برای اصلاح مشکلات فوق، بجای استفاده از ۱ مخزن، از ۴ مخزن استفاده می شود(شکل۲)که هریک از مخازن به صورت زیر وارد مدار می شوند.

۱- مخزن ۱ حاوی بخار مافوق گرم خروجی از دیگ بخار می باشد(تزریق آب از داخل مخزن به دیگ در مرحله قبل صورت گرفته است)،

۲- مخزن ۲ حاوی آب خروجی از کندانسور است(که در مرحله بعدی باید به دیگ تزریق شود)،

۳- مخزن ۳ در حال تخلیه آب به دیگ بخار (در مرحلهٔ بعد حاوی بخار مافوق گرم خواهد بود.

۴- و مخزن ۴ در حال پرشدن با آب خروجی از کندانسور می باشد. (در مرحلهٔ بعد آب داخل آن به وسیلهٔ مخزن حاوی بخار مافوق گرم، پیش گرم می شود)

هر مخزن از قسمت بالا به بالای دیگ بخار و از قسمت پایین ، به پایین دیگ بخار متصل است و فرمان قطع و وصل را توسط شیرهای کنترل دریافت می کند .

در هر مرحله ۲ مخزن همیشه با هم در ارتباطند، مخزنی که حاوی بخار مافوق گرم بوده و مخزنی که حاوی آب خروجی از کندانسور می باشد، این ارتباط از طریق یک مبدل Run-around انجام می گیرد(شکل۳). این مسأله باعث پیش گرم شدن آب تزریقی به دیگ بخار شده که یک بازیافت حرارتی از بخار خروجی دیگ بخار را به همراه داشته و از طرفی باعث کم شدن فشار بخار مافوق گرم شده و پمپاژ آب به داخل مخزن را در مراحل بعد میسر می سازد.

در هر مرحله یک مخزن در حال تخلیه به دیگ بخار می باشد که مانع از منقطع شدن تزریق آب به دیگ بخار می گردد.

کلیات طرح در شکل ۴ نمایش داده شده است .

طرح فعلی

در مطالعه نیروگاه توس برای نمونه ، کار خروجی توربین، انرژی مصرفی در دیگ بخار، دبی جرمی آب، فشار کندانسور و فشار دیگ بخار در حالت بار کامل مطابق مقادیر زیر می باشد[۲]:

$$W_{Turbine} = ۱۵۱۱۴۵ \quad (kW)$$
$$Q_{Boiler} = ۳۸۳۲۹۴ \quad (kW)$$
$$P_{Condenser} = ۴۰ (kPa)$$
$$P_{Boiler} = ۱۲.۵ (MPa)$$
$$m = ۱۵۲ \quad \left(\frac{kg}{s}\right)$$

بر اساس اطلاعات فوق کار مورد نیاز پمپ به صورت زیر است [۳] :

$$W_{Pump} = \frac{m \times \Delta P}{\rho \times \eta} \qquad (۱)$$
$$W_{Pump} = ۲۵۹۵ / ۸ \quad (kW)$$

راندمان فعلی نیروگاه برابر است با:

$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{W_{Turbine} - W_{Pump}}{Q_{Boiler}} \qquad (۲)$$
$$\eta = ۳۸ / ۷۵$$

توازن حرارتی

حداکثر انرژی بازیافتی در هر مرحله، زمانی بدست می آید که ۲ مخزن مرتبط با یکدیگر به دمای تعادل برسند. برای بدست آوردن این دما، مخزن حاوی آب را مخزن اول و مخزن حاوی بخار مافوق گرم را به عنوان مخزن دوم در نظر می گیریم . رابطه تعادلی به صورت زیر است (مطابق قانون اول ترمودینامیک):

$$(m\Delta u)_۱ = (m\Delta u)_۲ \Rightarrow \left(\frac{\Delta u}{v}\right)_۱ = \left(\frac{\Delta u}{v}\right)_۲ \qquad (۳)$$

بخار مافوق گرم در فشار (MPa) ۱۲/۵ و دمای (C) ۵۵۰ و دمای آب داخل مخزن (C) ۵۰ می باشند[۲]. فرآیند موجود در مخزن ۲ (حاوی بخار مافوق گرم) یک فرآیند حجم مخصوص ثابت است[۱]. طبق رابطه ۳ دمای تعادل ۲ مخزن با استفاده از سعی و خطا بدست خواهد آمد.

دمای تعادل ۲ مخزن (C) ۷۴ می باشد. در این دما یک خلأ نسبی در مخزن حاوی بخار مافوق گرم ایجاد می شود که هزینه پمپاژ آب خروجی کندانسور به مخزن را می تواند کمی کاهش دهد.

با توجه به مقدار دمای فوق، مقدار انرژی بازیافت شده از بخار خروجی دیگ بخار طبق قانون اول ترمودینامیک بصورت زیر است:

$$Q_{Recover} = m \times (\Delta u)_1 \qquad (۴)$$
$$Q_{Recover} = ۱۵۲۵۵ \ (kW)$$

مقدار انرژی خروجی از سیستم توسط بخار مافوق گرم در هر مرحله بصورت زیر است: $Q_{out} = m \times (u_{out} - u_{in})$

$$Q_{out} = ۱۶۵۷۷ \ (kW) \qquad (۵)$$

میزان حرارت اضافی موردنیاز در دیگ بخار در هر مرحله با فرض راندمان ۸۹٪ دیگ بخار، بصورت زیر می باشد:

$$Q_{additional} = \frac{Q_{out} - Q_{Recover}}{\eta_{Boi}} \qquad (۶)$$
$$Q_{additional} = ۱۴۸۵ \ (kW)$$

کار موردنیاز برای پمپاژ طرح جدید

در طرح جدید پمپ اصلی تغذیه حذف می شود اما ۲ پمپ به سیستم اضافه می شود.

۱- پمپ مبدل Run-around که به دلیل کم بودن انرژی موردنیاز آن در مقابل کار خروجی توربین و پمپ جدید می توان با فرض قابل قبولی از آن صرفنظر کرد[۴].

۲- پمپی که آب خروجی از کندانسور را به داخل مخازن تزریق آب به دیگ بخار منتقل می کند.

کار مورد نیاز برای این پمپ با فرض حداکثر ارتفاع ۱۰۰ متری مخازن و راندمان ۷۰٪ پمپ بصورت زیر قابل محاسبه است[۵]:

$$W_{Pump} = \frac{m \times g \times \Delta H}{\eta_{Pump}} \qquad (۷)$$
$$W_{Pump} = ۲۰۴/۳ \ (kW)$$

راندمان طرح جدید

در طرح جدید، پمپ اصلی حذف شده و از طرفی یک پمپ برای ایجاد اختلاف هد (m)۱۰۰ و یک حرارت اضافی مورد نیاز در دیگ بخار به سیستم اضافه شده است. راندمان کلی طرح جدید بصورت زیر می باشد:

$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{W_{Turbine} - W_{Pump}}{Q_{Boiler} + Q_{additional}} \qquad (۸)$$
$$\eta = ۳۹/۲$$

نتیجه گیری:

چنانکه از اختلاف راندمان طرح جدید و طرح موجود برای یک واحد ۱۵۰ مگاواتی نیروگاه توس مشخص است طرح جدید بهبود راندمانی برابر ۰/۴۷ ٪ را در نیروگاه ایجاد خواهد کرد. در طرح جدید هزینه های سرمایه گذاری و نگهداری پمپ حذف خواهدشد. هزینه های موجود در طرح جدید مربوط به هزینه های مبدلهای حرارتی و مخازن تزریق آب و پمپ تأمین کننده اختلاف هد می باشد. با توجه به فرآیند تقطیر که در هر مرحله در یکی از مخازن انجام می گیرد این هزینه ها را تا حدودی بالا می برد که البته در مقابل افزایش راندمان در سیکل و حذف پمپ اصلی می تواند قابل صرفنظر باشد.

منابع و مراجع

۱- جی.پی.هلمن "ترمودینامیک" ویرایش چهارم، ترجمه: سیدمحمدرضامدرس رضوی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۵

۲- اطلاعات آرشیو فنی نیروگاه توس

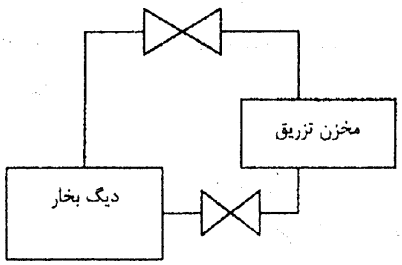
3- Jones,J.B and G.A.Howkins: "Engineering Thermodynamics" 2nd ed , Jhon Willey&Sons, Inc.,New York,1985

4- Eastop T.D. , D.R.Croft "Energy Efficiency"John Willey&Sons, New York, 1990

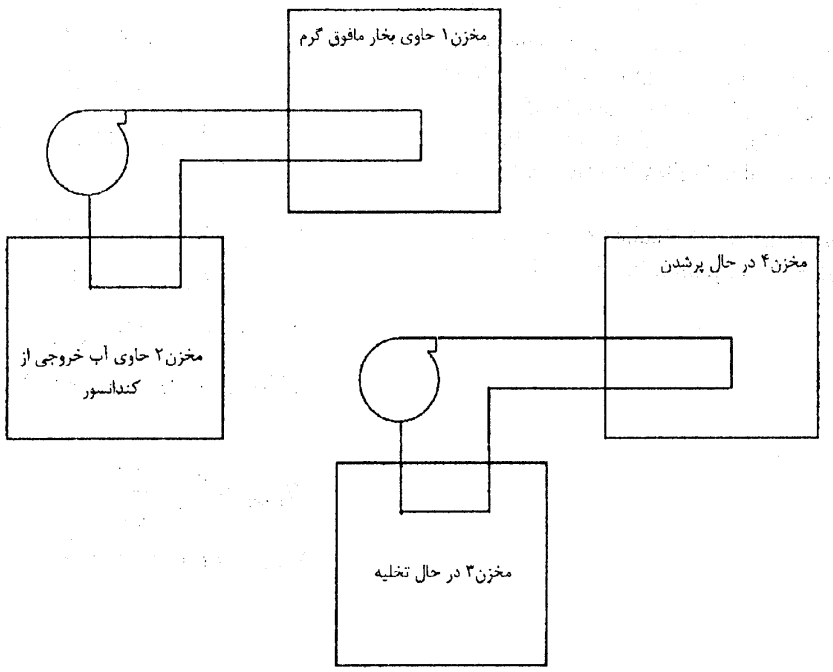
5- Loitsyanski.L.G: "Mechanics of Liquids and Gases", Pergamon Press, 1966

علائم و نشانه ها

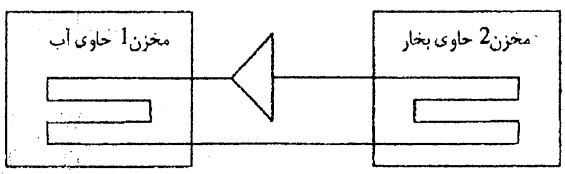
کار (kW)	W	حجم مخصوص $\left(m^3/kg\right)$	v
حرارت (kW)	Q	دبی جرمی (kg/s)	m
فشار (kPa)	P	هد (m)	H
انرژی داخلی (kJ/kg)	u	شتاب جاذبه $\left(m/s^2\right)$	$g=9.81$
چگالی $\left(kg/m^3\right)$	ρ	راندمان	η



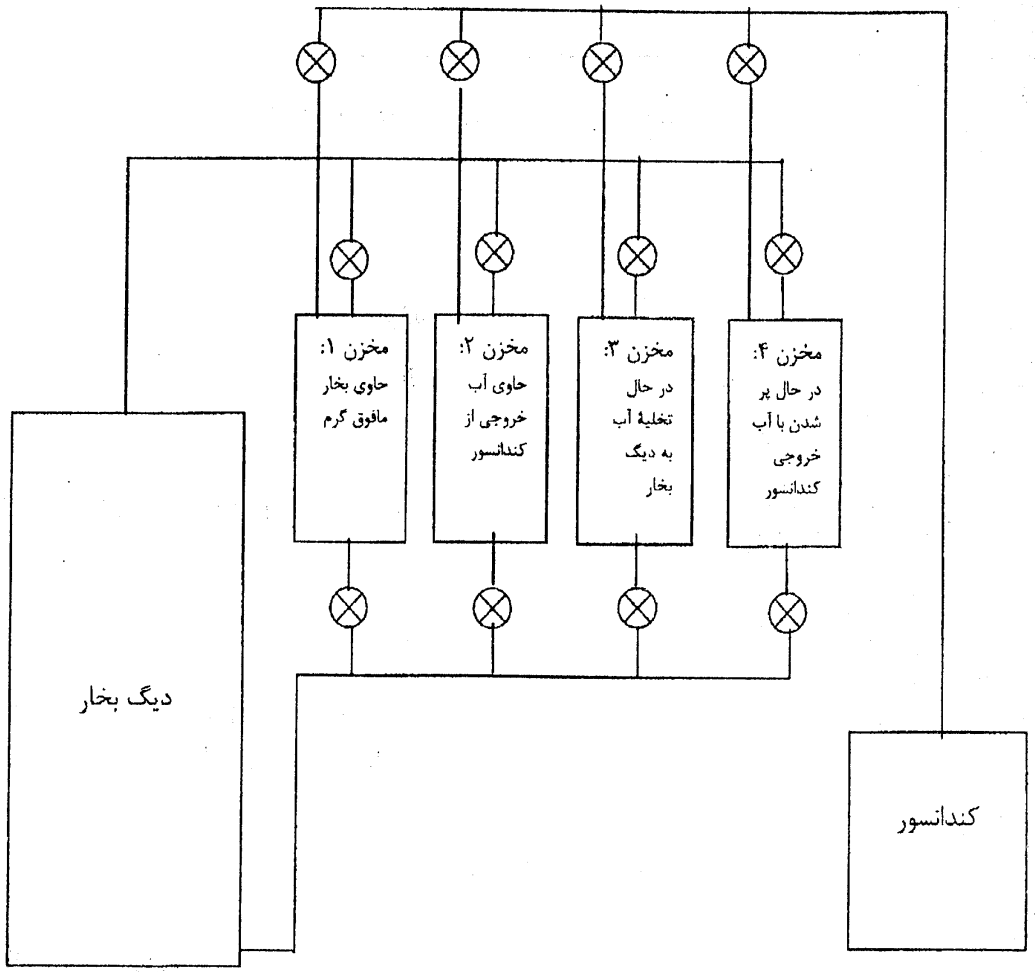
شکل۱ موقعیت مخزن تزریق ،لوله های ارتباطی و دیگ بخار



شکل۲ نمایش چگونگی قرارگیری مخازن تزریق آب به دیگ بخار



شکل۳: نمایش ۲ مخزن مرتبط با یکدیگر



شکل ۴: نمای کلی طرح