



دانشگاه گیلان

تحلیل ترمودینامیکی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر

احسان، دانشنگر*^۱؛ سعید، انصاری^۲؛ محمدرضا، صفاریان^۳

(۱) نیروگاه اتمی بوشهر - شرکت مهندسين مشاور افق هسته ای

(۲) نیروگاه اتمی بوشهر - شرکت مهندسين مشاور افق هسته ای

(۳) دانشگاه شهیدچمران اهواز - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی مکانیک

چکیده:

در مقاله حاضر، تحلیل ترمودینامیکی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر برای توان‌های مختلف، با استفاده از نرم افزار EES انجام شده است. جهت انجام این پژوهش، از مدارک طراحی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر و نقشه‌های عایقکاری آن استفاده شده است. بنابر نتایج بدست آمده، کار تولیدی توسط هر توربین با افزایش توان نیروگاه افزایش یافته و این مقدار از لحاظ عددی با مدارک طراحی نیروگاه اتمی بوشهر تطابق خوبی دارد. زمانی که نیروگاه با توان صد درصد در حال کار است، بازده قانون دوم ترمودینامیک برای توربین فشار قوی بیشتر و اتلاف اکسرژی در آن از توربین فشار ضعیف کمتر است. بازده قانون اول ترمودینامیک نیز با افزایش توان نیروگاه افزایش می‌یابد.

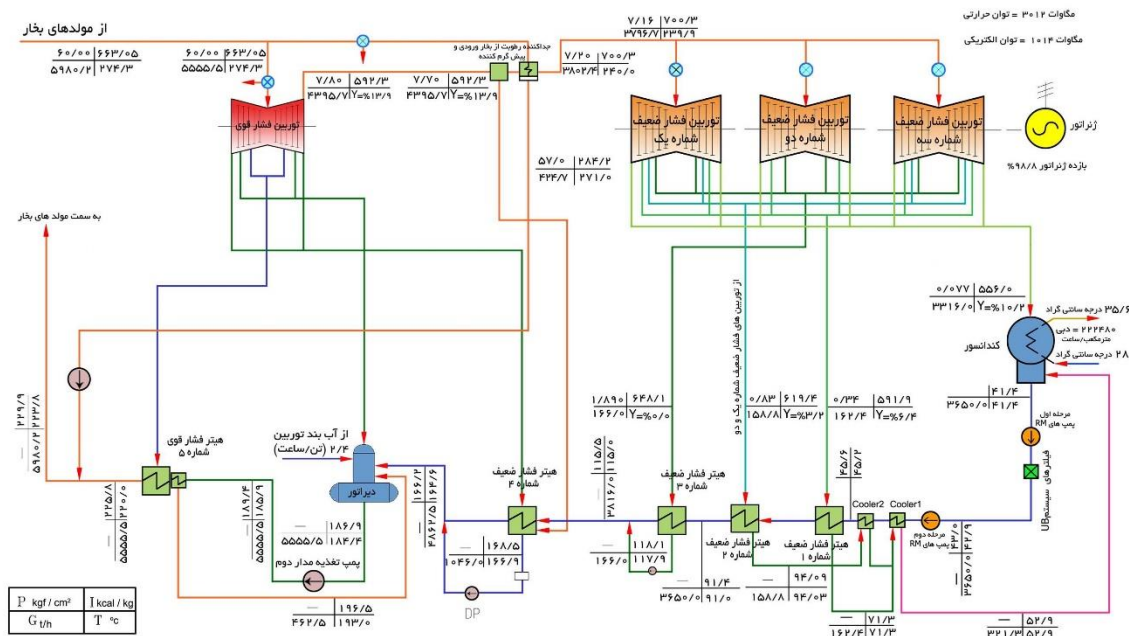
کلیدواژه: توربین بخار، نیروگاه اتمی بوشهر، ترمودینامیک، اکسرژی

مقدمه

سیستم‌های انرژی از بخش‌های مهم صنعت بوده و تلاش جهت درک و بهبود راندمان آنها همواره در حال افزایش است. در گذشته بسیاری از مطالعات مربوط به نیروگاه‌ها براساس آنالیز انرژی انجام شده است؛ در صورتی که آنالیز اکسرژی توانایی بهتری جهت پیش‌بینی چگونگی عملکرد اجزای نیروگاه دارا می‌باشد. تاکنون در زمینه افزایش راندمان نیروگاه‌ها مطالعات زیادی صورت گرفته و تأثیر پارامترهای مختلف بررسی شده است. روزن [۱] عملکرد نیروگاه‌های با سوخت زغال‌سنگ و نیروگاه‌های هسته‌ای را از طریق تحلیل اکسرژی مقایسه نموده است. حبیب و زوبیر [۲] تحلیل قانون دوم ترمودینامیک را برای نیروگاه‌هایی با سیکل بازیاب رنگین دارای بازگرمایش انجام داده‌اند. دینسر و مسلم [۳] تحلیل ترمودینامیکی را برای نیروگاه‌هایی با سیکل دارای بازگرمایش مورد بررسی قرار داده‌اند. سنگیوپتا [۴] و همکاران تحلیل اکسرژی را برای یک نیروگاه حرارتی ۲۱۰ مگاواتی انجام داده‌اند. روزن و دینسر [۵] تحلیل اکسرژی-اقتصادی را برای نیروگاه با سوخت‌های متنوع بررسی نموده و ارتباط بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اتلافات ترمودینامیکی را بررسی کردند.

در این مقاله، تحلیل ترمودینامیکی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر انجام شده و پارامترهای ترمودینامیکی توربین مانند کار تولیدی واقعی و برگشت‌پذیر، اتلاف اکسرژی و بازده قانون اول و دوم ترمودینامیک برای

توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر محاسبه گردیده است. در شکل (۱) شماتیک مدار دوم نیروگاه اتمی بوشهر نشان داده شده است.



شکل (۱) شماتیک مدار دوم نیروگاه اتمی بوشهر برای توان صد درصد

روش کار

در این بخش، ابتدا با استفاده از قانون اول ترمودینامیک، کار تولیدی توسط توربین فشارقوی، مجموع سه توربین و کار تولیدی کل محاسبه می‌گردد. سپس به کمک قانون دوم ترمودینامیک، مؤلفه‌های مختلف جهت محاسبه اکسرژی در توربین بخار محاسبه و اتلاف اکسرژی توربین بخار بدست آورده شده‌است. در نهایت بازده قانون اول و دوم ترمودینامیک برای توان‌های مختلف نیروگاه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. با نوشتن قانون اول ترمودینامیک برای توربین فشار قوی و توربین‌های فشار ضعیف، توان خروجی از توربین محاسبه شده است. اتلاف حرارت از سطح توربین‌ها بنابر مدارک طراحی عایق آن‌ها، برای توربین فشار قوی ۴۶۸۵/۲ وات و برای توربین فشار ضعیف ۱۴۱۶۰ وات می‌باشد. کار تولیدی توسط هر کدام از توربین‌ها و کار کل برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی از رابطه (۱) محاسبه و در شکل (۲) نشان داده شده است.

$$\dot{W} = \dot{Q} - \left(\sum \dot{m}_i \times h_i + \sum \dot{m}_e \times h_e \right) \quad (1)$$

به منظور تحلیل اکسرژی توربین بخار، ابتدا باید مؤلفه های مختلف اکسرژی مشخص و سپس از رابطه تعادل اکسرژی استفاده گردد. رابطه تعادل اکسرژی برای حجم کنترل به صورت رابطه (۲) می باشد.

$$\sum \left(1 - \frac{T_c}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \left(\dot{W} - p \cdot \frac{dV_{CV}}{dt}\right) + \sum \dot{m}_i \times \psi_i - \sum \dot{m}_e \times \psi_e - \dot{X}_d = \frac{dX_{CV}}{dt} \quad (2)$$

برای فرآیند جریان پایا رابطه تعادل اکسرژی به صورت رابطه (۳) نوشته می شود.

$$\sum \left(1 - \frac{T_c}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \times \psi_i - \sum \dot{m}_e \times \psi_e - \dot{X}_d = 0 \quad (3)$$

جهت محاسبه ماکزیمم قدرت خروجی توربین، در معادله تعادل اکسرژی، جمله اتلاف اکسرژی را برابر با صفر قرار داده و کار برگشت پذیر طبق رابطه (۴) بدست آورده می شود. مقدار ماکزیمم قدرت خروجی توربین در شکل (۳) نشان داده شده است.

$$\sum \dot{m}_i \times \psi_i - \sum \dot{m}_e \times \psi_e = \dot{W}_{rev} \quad (4)$$

تغییر بازده قانون دوم ترمودینامیک برای توان های مختلف از رابطه (۵) محاسبه و در شکل (۴) نشان داده شده است.

$$\eta_{2th} = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_{rev}} = \frac{h_i - h_e}{\psi_i - \psi_e} \quad (5)$$

در روابط بالا $\psi_i - \psi_e$ تغییر اکسرژی جریان بوده و از رابطه زیر بدست می آید.

$$\psi_i - \psi_e = h_i - h_e - T_c \cdot (s_i - s_e) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) \quad (6)$$

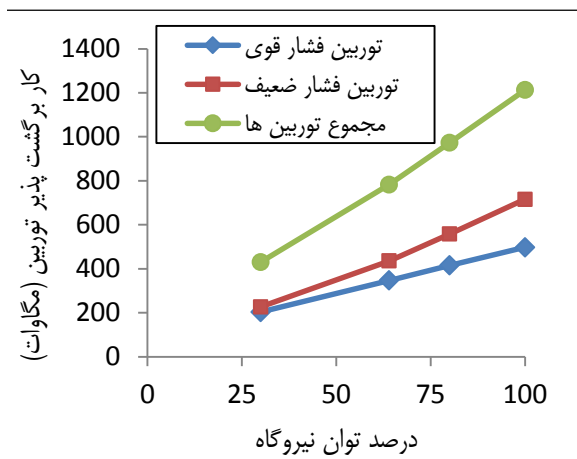
اتلاف اکسرژی اختلاف بین کار برگشت پذیر و کار مفید واقعی توربین می باشد. این پارامتر برای توان های مختلف محاسبه و در شکل (۵) نشان داده شده است. بازده قانون اول ترمودینامیک برای توان های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر از رابطه (۷) محاسبه و در شکل (۶) نشان داده شده است.

$$\eta_{1th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}} \quad (7)$$

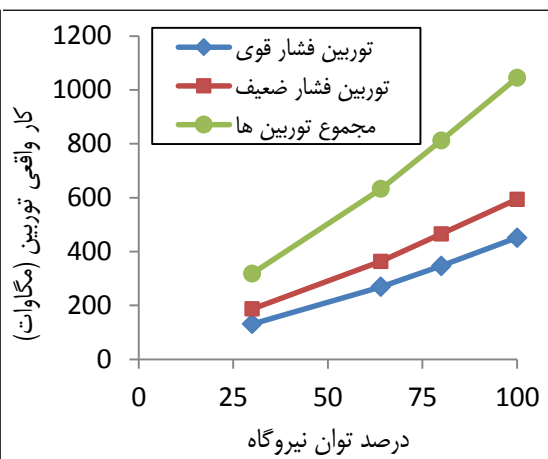


نتایج

در ادامه، نتایج بدست آمده از نرم افزار EES در نمودارهایی نشان داده شده است.

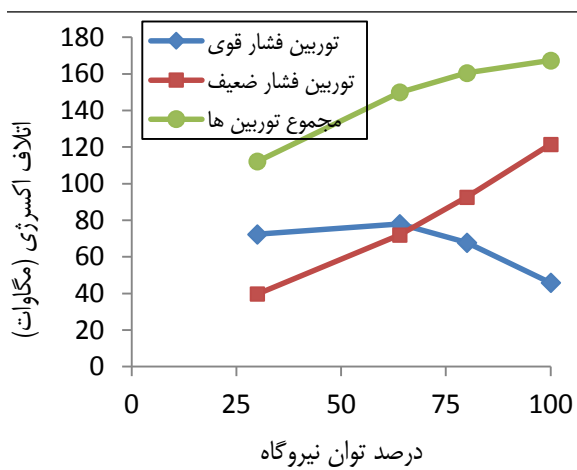


شکل ۳

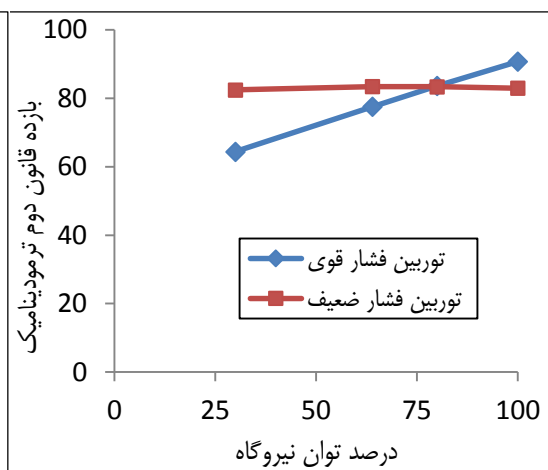


شکل ۲

شکل ۲) کار تولیدی واقعی توسط هر توربین و کار کل، برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر
شکل ۳) کار تولیدی برگشت پذیر توسط هر توربین و کار کل، برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر

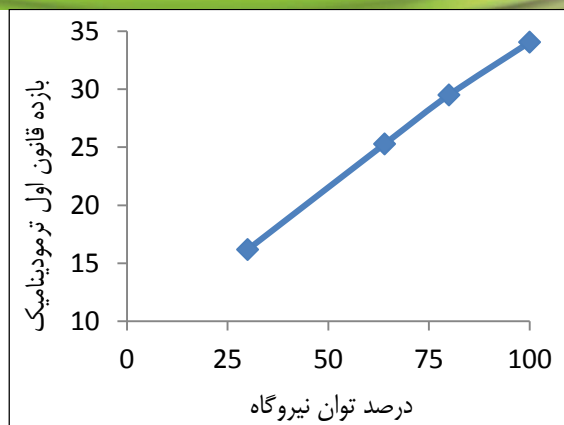


شکل ۵



شکل ۴

شکل ۴) بازده قانون دوم ترمودینامیک هر توربین، برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر
شکل ۵) اتلاف اکسرژی هر توربین و اتلاف اکسرژی کل، برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر



شکل ۶) بازده قانون اول ترمودینامیک برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر

بحث و نتیجه گیری

در مقاله حاضر، تحلیل ترمودینامیکی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر برای توان‌های مختلف، با استفاده از نرم افزار EES انجام شد. جهت انجام این پژوهش، مدارک طراحی توربین بخار نیروگاه اتمی بوشهر و نقشه‌های عایقکاری آن مورد استفاده قرار گرفت و پارامترهای ترمودینامیکی توربین مانند کار تولیدی واقعی، کار حالت برگشت‌پذیر، اتلاف اکسرژی و بازده قانون اول و دوم ترمودینامیک برای توان‌های مختلف نیروگاه اتمی بوشهر محاسبه گردید.

بنابر نتایج بدست آمده، کار تولیدی کل با افزایش توان نیروگاه افزایش می‌یابد و برای توان‌های ۳۰، ۶۴، ۸۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب برابر با ۳۱۸/۳، ۶۳۲/۷، ۸۱۲/۹، ۱۰۴۵/۲ مگاوات محاسبه شده که تطابق بسیار خوبی با مقادیر درج شده در مدارک طراحی توربین نیروگاه دارد. بازده قانون دوم ترمودینامیک برای توربین فشار ضعیف در توان‌های زیر ۸۰ درصد از توربین فشار قوی بیشتر بوده ولی با افزایش توان نیروگاه، بازده قانون دوم توربین فشار قوی بیشتر می‌گردد. اتلاف اکسرژی توربین فشار قوی در توان‌های زیر ۷۰ درصد بیشتر از توربین فشار ضعیف است. پس از آن با افزایش توان و رسیدن نیروگاه به توان صد درصد، اتلاف اکسرژی توربین فشار قوی بسیار کمتر از توربین فشار ضعیف می‌گردد. آنچه در شکل (۵) به عنوان اتلاف اکسرژی توربین فشار ضعیف نشان داده شده است؛ مجموع اتلاف اکسرژی هر سه توربین فشار ضعیف می‌باشد. بررسی نمودار بازده قانون اول ترمودینامیک برای نیروگاه اتمی بوشهر نیز نشان می‌دهد که با افزایش توان نیروگاه، این بازده افزایش می‌یابد.



مراجع

- [۱] M.A. Rosen , “Energy and exergy-based comparison of coal-fired and nuclear steam power plants ” . Exergy – International Journal ۱ (۳), March , ۲۰۰۱ , pp. ۱۸۰-۱۹۲.
- [۲] M.A. Habib , S.M. Zubair, “۲nd-law- based thermodynamic analysis of regenerative-reheat Rankine-cycle power plants”. Energy , vol ۱۷, Pergamon-Elsevier Science Ltd. , ۱۹۹۲ , pp. ۲۹۵-۳۰۱.
- [۳] I. Dincer , H.A. Muslim , “Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants”. International Journal of Energy Research ۲۵ , ۲۰۰۱ , pp. ۷۲۷-۷۳۹, doi:۱۰,۱۰۰۲/er.۷۱۷.
- [۴] S. Sengupta , A. Datta , S. Duttgupta , “Exergy analysis of a coal-based ۲۱۰ MW thermal power plant” . International Journal of Energy Research ۳۱ , ۲۰۰۷ , pp. ۱۴-۲۸.
- [۵] M.A. Rosen , I.Dincer , “ Exergoeconomic analysis of power plants operating on various fuels”. Applied Thermal Engineering ۲۳ , ۲۰۰۳ , pp. ۶۴۳-۶۵۸.