

بررسی تاثیر رسوب بر کارایی حرارتی و انرژی مبدل‌های ترانسفورمرهای نیروگاه دز

ایمان جعفری^۱ رضا مجلسی رضا میری محمد روشنی علی روشنی

۱- شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه های برق آبی خوزستان - Iman_jafari@yahoo.com

چکیده: در این مقاله تاثیر رسوب بر کارایی حرارتی و ضریب انرژی مبدل های حرارتی ترانسفورمرهای نیروگاه دز مورد مطالعه قرار گرفته است. بر این اساس در ضرائب تمیزی مختلف میزان تبادل حرارت و ضریب انرژی بررسی گردیده است. نتایج نشان می دهند که رسوب می تواند تا ۶/۶۲٪ از میزان تبادل حرارت و تا ۵/۸۴٪ از مقدار ضریب انرژی بکاهد. چنین شرایطی به معنی افزایش دمای روغن ورودی به ترانسفورمر می باشد. به عنوان یک راهکار در مقابل پدیده رسوب تغییرات دبی روغن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که با کاهش دبی روغن به میزان ۲۰٪، دمای روغن خروجی از مبدل به میزان $2/15^{\circ}\text{C}$ کاهش می یابد که این به منزله صرف انرژی کمتر برای پمپاژ روغن و همچنین کاهش دمای روغن ورودی به ترانسفورمر می باشد.

واژه های کلیدی: اویل کولر، کارایی انرژی، ضریب انرژی، ضریب فولینگ

۱- مقدمه

مبدل های حرارتی جزء مهمترین و پرکاربردترین تجهیزات در صنایع گوناگون هستند و بنابر موارد کاربرد و میزان انتقال حرارت، مبدل های حرارتی تقسیم بندی های متنوعی دارند. بدیهی است از آنجا که این تجهیزات به منظور تبادل حرارت مورد استفاده قرار می گیرند. راندمان و صحت عملکرد آنها تاثیر بسزائی بر هزینه انرژی مصرفی و کیفیت فرآیندها در صنعت دارد. از جمله مبدل های حرارتی پرکاربرد در صنعت مبدل های لوله و پوسته است. در این زمینه به منظور افزایش کیفیت عملکرد و بهبود بازده حرارتی این مبدل ها مطالعات بسیاری صورت گرفته است. از جمله حسینی و همکاران تحقیق تجربی برای تعیین افت فشار و ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته یک مبدل لوله و پوسته با سه نوع لوله متفاوت به انجام رساندند. [1] وانگ و همکاران مطالعه تجربی پیرامون انتقال حرارت و کارایی مقاومت جریان در سمت

پوسته یک مبدل دو لوله ای با ساختار جدید چند لوله ای را ارائه داده است. [2] وانگ و همکاران تحقیق تجربی بر آب بندها در سمت پوسته یک مبدل لوله و پوسته را تحقیق نمودند. [3]

امروزه با پیشرفت های صورت گرفته در صنایع و اهمیت روز افزون بهینه سازی سیستم های حرارتی به منظور کاهش میزان تلفات حرارتی تحلیل انرژی، بکارگیری تئوری پینچ و الگوریتم های نوین کامپیوتری به شکل گسترده ای برای افزایش کارایی و یا تعیین نقاط ضعف سیستم ها و یا کمینه کردن میزان تلفات حرارتی بکارگرفته می شوند. در این زمینه مطالعات بسیاری صورت گرفته است. هاسلی و همکاران مطالعه ای روی دمای آب خنک کاری اپتیمم در طی فرآیند چگالش بخار آب اشباع در یک کندانسور لوله و پوسته را انجام داده اند. [4] وو و همکاران برای تشریح کارایی مبدل حرارتی، ضریب تاثیر انتقال انرژی را در حالت های مختلف دمایی محیط تعریف کرده اند. [5] جیوو و همکاران روند نوین طراحی بهینه مبدل لوله و پوسته با کمینه کردن میزان تولید آنتروپی

مبدل‌ها روی ترانسفورماتور را نمایش می‌دهد. جدول (۱) جزئیات مربوط به مبدل‌های لوله و پوسته ترانسفورماتور را ارائه می‌دهد. فرایند خنک‌کاری روغن ترانسفورماتور جهت حفظ روغن در شرایط ایمن و جلوگیری از آسیب رسیدن به ترانسفورماتور باید به صورت پیوسته انجام گیرد و علاوه بر آن تحت هیچ شرایطی اختلاط آب و روغن نباید صورت گیرد. بدین منظور لوله‌های آب به صورت دو جداره طراحی گردیده‌اند. قطر لوله بیرونی ۳/۴ اینچ و قطر لوله داخلی ۵/۸ اینچ می‌باشد. آرایش لوله‌ها در مبدل به شکل مثلثی است. قطر پوسته ۳۹۰/۶ میلی‌متر می‌باشد و طول مبدل ۴۳۹۷ میلی‌متر می‌باشد.



شکل (۱) محل قرارگیری مبدل‌های ترانسفورمر

و توسعه الگوریتم ژنتیک بررسی نمودند. [6] اوزسلیک بهینه‌سازی اگزرژی مبدل‌های لوله و پوسته را با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه داده است. [7] از جمله مشکلاتی که مبدل‌های حرارتی همواره با آن روبرو هستند، تاثیر رسوب بر راندمان مبدل‌ها و به تبع آن هزینه‌های تحمیلی بسیار گزاف مرتبط با آن می‌باشد. در حال حاضر رسوب سالانه میلیاردها دلار بر هزینه تعمیرات مبدل‌های حرارتی در سطح بین‌الملل می‌افزاید. در زمینه پدیده رسوب و کاهش آن در مبدل‌های حرارتی مطالعات بسیاری صورت گرفته است، از جمله با ترورث طراحی مبدل لوله و پوسته را بر مبنای وابستگی ضریب فولینگ به دما و سرعت محلی ارائه داده است. [8] والهوبر و همکاران روش‌های آشکارسازی ضریب فولینگ در مبدل‌های حرارتی صنایع غذایی را ارائه نموده‌اند. [9] کولتی و همکاران پیش‌بینی تلفات حرارتی تصویه روغن ناشی از پدیده رسوب در مبدل‌های حرارتی را انجام داده‌اند. [10] در این مقاله تحلیل انرژی و اگزرژی مبدل‌های لوله و پوسته ترانسفورمرهای نیروگاه در انجام گرفته است. هدف از این تحقیق تعیین تاثیر رسوب بر راندمان حرارتی مبدل‌ها به منظور تعیین اهمیت این پدیده و لزوم برنامه ریزی برای کاهش این پدیده در نیروگاه دز می‌باشد.

۲- اویل کولرهای ترانسفورماتور

نیروگاه دز دارای ۸ واحد MW ۶۵ با هد و دبی نامی ۱۶۵m³/s و ۵۲m³/s می‌باشد. ترانسفورماتورهای نیروگاه دز با ظرفیت ۱۳/۲ به ۲۳۰ کیلوولت، دارای دو اویل کولر لوله و پوسته عمودی جهت خنک‌کاری روغن ترانسفورماتور می‌باشد. سیال خنک‌کننده آب سرد منشعب شده از درافت تیوب است که پس از عبور از صافی‌های دو خانه ای و پمپاژ به سطح تراز ترانسفورماتور جهت خنک‌کاری به کار گرفته می‌شود و در نهایت در یک سیکل باز به رودخانه تخلیه می‌گردد. سیال گرم روغن است که در یک سیکل بسته درون ترانسفورماتور در حال گردش می‌باشد. شکل (۱) تصویری از محل قرارگیری

جدول (۱) جزئیات مبدل حرارتی ترانسفورمر نیروگاه دز

	Shell side		Tube side		
	دبی جرمی	kg/s	۲۶/۵۵		۹/۴۴
دما (ورود/خروج)	°C	۷۰	۶۲	۲۵	۳۰
چگالی	kg/m ³	۸۸۹	۸۹۳	۹۹۸	۹۹۳
ظرفیت حرارتی ویژه	kJ/kg ^o k	۱/۹۸۳	۱/۹۵۷	۴/۱۹۲	۴/۱۸۷
هدایت حرارتی	W/m ² K	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۶	۰/۶۲۲
فشار	bar	۲		۳/۵	
سرعت	m/s	۰/۸۸		۰/۷۸	
افت فشار (مجاز/محاسبه)	bar	۰/۶	۰/۴۸۶	۰/۶	۰/۰۴۲
مقاومت فولینگ	m ² k/w	۰/۰۰۰۰۵		۰/۰۰۰۱۵	
تعداد پاس		۱		۲	

$$P = \frac{T_{co}-T_{ci}}{T_{hi}-T_{ci}} \quad (5)$$

$LMTD$ اختلاف دمای لگاریتمی است که با استفاده از

رابطه (۶) بدست می آید.

$$LMTD = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi}-T_{co}}{T_{ho}-T_{ci}}\right)} \quad (6)$$

ضریب انتقال حرارت کلی دارای پنج جمله شامل هدایت حرارتی در جدار لوله، جابجایی حرارتی در سطح داخلی لوله، جابجایی حرارتی در سطح خارجی لوله، مقاومت رسوب در سطح داخلی لوله و تشکیل رسوب در سطح خارجی لوله می باشد. رابطه (۷) جزئیات مربوط به ضریب انتقال حرارت کلی را نشان می دهد.

$$\frac{1}{U_f} = \frac{1}{h_o} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2K_w} + \frac{d_o}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} + R_{fo} + \frac{d_o}{d_i} R_{fi} \quad (7)$$

که در آن، h_o, h_i ضریب انتقال حرارت جابجایی در سطح داخلی و بیرونی لوله، R_{fo}, R_{fi} مقاومت فولینگ در سمت آب (سطح داخلی لوله) و در سمت روغن (سطح خارجی لوله) و K_w ضریب رسانایی جدار لوله می باشند. d_o, d_i نیز به ترتیب قطر داخلی و خارجی لوله می باشند. رابطه (۷) را می توان به صورت زیر بازنویسی نمود.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + \sum R_f \quad (8)$$

که در آن U_C و U_D به ترتیب ضرایب انتقال حرارت کلی در دو حالت کثیف و تمیز می باشد. و $\sum R_f$ مجموع مقاومت رسوب در سطوح داخلی و خارجی لوله می باشد. در میبدل های حرارتی می توان ضریب تمیزی را به صورت رابطه (۹) تعریف نمود. [13]

$$C.F = [1 + U_C \sum R_f]^{-1} \quad (9)$$

تعداد لوله		۱۸۲
ضخامت لوله	mm	۳

۳- معادلات حاکم بر خنک کننده روغن ترانسفورماتور

۳-۱- معادلات تبادل حرارت

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک می توان تبادل حرارت میان دو سیال درون تبادله را از رابطه (۱) با فرض ناچیز بودن میزان تلفات حرارتی که در اغلب موارد قابل قبول می باشد، بدست آورد.

$$Q = \dot{m}_h \cdot C_{p,h} \cdot \Delta T = \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \cdot \Delta t \quad (1)$$

در این رابطه \dot{m}_c و \dot{m}_h دبی های سیال گرم و سرد، $C_{p,h}$ ظرفیت حرارتی ویژه سیال گرم و سرد و ΔT و Δt اختلاف دما های سیال گرم و سرد می باشند. همچنین نرخ انتقال گرما در دو حالت جریان همسو و ناهمسو با استفاده از رابطه (۲) بدست می آید.

$$Q = U_f A F (LMTD) \quad (2)$$

در این رابطه A سطح تبادل حرارت و U ضریب انتقال حرارت کلی است. F ضریب تصحیح برای تبادلهای حرارتی غیر دو لوله ای است که هم با استفاده از نمودارهای موجود در [11] و هم با استفاده از رابطه (۳) قابل حصول می باشد. [12]

$$F = \frac{\sqrt{R^2+1} \ln(1-P)}{(1-RP)} \cdot \frac{1}{(R-1) \ln\left[\frac{2-P(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-P(R+1+\sqrt{R^2+1})}\right]} \quad (3)$$

که در آن P, R عبارتند از:

$$R = \frac{T_{hi}-T_{ho}}{T_{co}-T_{ci}} \quad (4)$$

کارایی سیستم های انرژی به کار گرفته می شود. بر مبنای مراجع [14] و [15] ضریب اگزرژی مبدل حرارتی به صورت اگزرژی برداشت شده به اگزرژی عرضه شده (پرداخت شده) تعریف می گردد. این ضریب بیانگر کارایی سیستم بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک است.

بنابراین خواهیم داشت:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{gain}}{E_{pay}} = \frac{E_{xw2} - E_{xw1}}{E_{x01} - E_{x02}} \quad (14)$$

که در آن:

$$E_{gain} = E_{xw2} - E_{xw1} = \dot{m}C_{pw} \left[(T_{w2} - T_{w1}) - T_a \ln \frac{T_{w2}}{T_{w1}} \right] \quad (15)$$

$$E_{pay} = E_{x01} - E_{x02} = \quad (16)$$

$$\dot{m}_o \left[h_{o2} - h_{o1} - T_a C_{po} \ln \frac{T_{o1}}{T_{o2}} \right]$$

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

رسوب پدیده ای نامطلوب و بسیار تاثیرگذار در فرآیند انتقال حرارت می باشد. به گونه ای که در طی دوره کارکرد مبدل به مرور برانباشت آن افزوده شده و از میزان ضریب انتقال حرارت کلی می کاهد. شکل (۲) تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت وابسته به ضریب تمیزی را نشان می دهد. روشن است که هر چه از مقدار ضریب تمیزی کاسته می شود، ضریب انتقال حرارت کلی نیز کمتر می شود. به گونه ای که در مبدل مورد نظر در حالت تمیز ضریب انتقال حرارت کلی $550 \text{ W/m}^2\text{K}$ و در ضریب تمیزی 0.7 ضریب انتقال حرارت کلی $381/6 \text{ W/m}^2\text{K}$ می باشد.

در این تحقیق محاسبات بر مبنای تغییرات ایجاد شده در میزان رسوب و تاثیر آن بر دمای خروجی هر دو سیال (و به تبع آن مقدار حرارت تبادل شده در مبدل) انجام می گیرد. بر مبنای داده های تجربی اندازه گیری شده در محل و اطلاعات مربوط به جزئیات مبدل مقدار Q از رابطه (۱) بدست می آید و پس از آن با استفاده از رابطه (۲) میزان ضریب انتقال حرارت کلی بدست می آید. بنابراین می توان با بکاربردن روابط (۸) و (۹) مقادیر U_C و $C.F$ را بدست آورد. حال اگر $C.F$ تغییر کند می بایست با استفاده از روش $-NTU - \varepsilon$ مقادیر دمای خروجی و برداشت حرارت را محاسبه نمود. ε به صورت مقدار انرژی برداشت شده در حالت واقعی به انرژی برداشتی در حالت ایده آل تعریف می شود.

$$\varepsilon = \frac{q_{Actual}}{q_{Ideal}} = \frac{(t_1 - t_2)_{min}}{T_1 - t_1} \quad (10)$$

ε را می توان با استفاده از رابطه (۱۱) بدست آورد.

[11]

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp \left[-N(1 + C^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 - \exp \left[-N(1 + C^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\}$$

(۱۱)

که در آن مقادیر C و N با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) بدست می آیند.

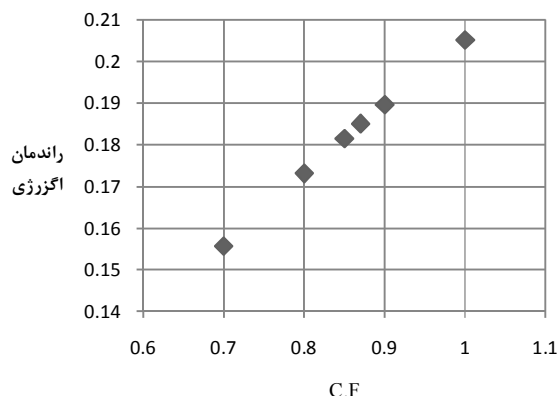
$$C = \frac{(\dot{m}C)_{min}}{(\dot{m}C)_{max}} \quad (12)$$

$$N = \frac{U_f A}{(\dot{m}C)_{min}} \quad (13)$$

۳-۲- ضریب اگزرژی

بررسی اگزرژی یک ابزار قدرتمند در تحلیل های ترمودینامیکی سیستم های انرژی است. به عبارت دیگر این روش به شکل گسترده ای در طراحی، شبیه سازی و تعیین

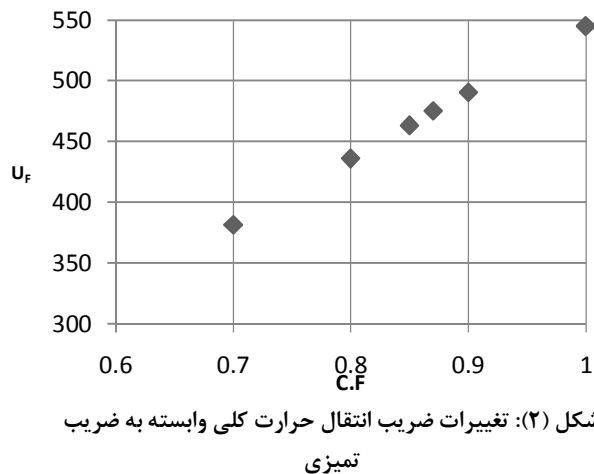
در حالت کثیف با ضریب تمیزی ۰/۷ ، ۲۰/۶٪ کمتر از حالت تمیزی است.



شکل (۴): تغییرات ضریب اگزرژی وابسته به ضریب تمیزی

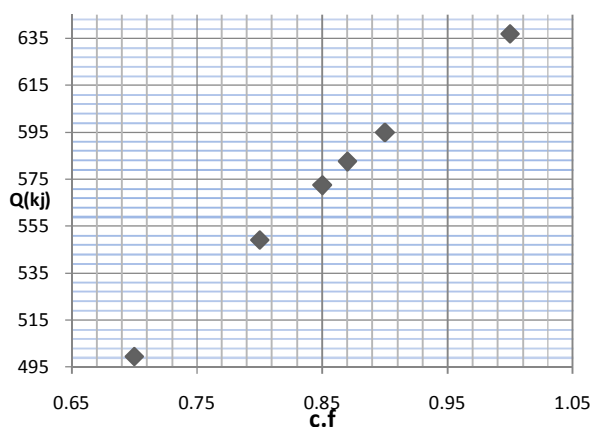
جدول (۲) مقایسه ای مابین حالت تمیزی و حالت کارکرد عادی مبدل (مطابق با اطلاعات شرکت سازنده) جاییکه ضریب تمیزی ۰/۸۷ است را نشان می دهد. در این حالت برداشت حرارت ۶/۶۲٪ و ضریب اگزرژی ۵/۸۴٪ کمتر از حالت تمیزی می باشد و به تبع آن دمای روغن خروجی به اندازه ۱/۰۲ درجه سانتیگراد افزایش یافته است که نشان از تاثیر منفی رسوب بر خنک کاری روغن دارد. به عنوان یک راهکار در مقابل کاهش تلفات می توان تاثیر تغییر دبی روغن بر دمای خروجی روغن را مورد مطالعه قرار داد. جدول (۳) تغییرات حرارت تبادل شده، ضریب اگزرژی و دمای آب و روغن خروجی از مبدل را به ازاء دبی های مختلف روغن در ضریب تمیزی ۰/۸۷ نشان می دهد. آشکار است که با افزایش دبی روغن به اندازه ۲۵٪ میزان تبادل حرارت و ضریب اگزرژی به ترتیب ۱/۰۲٪ و ۰/۴۴٪ افزایش می یابد اما در عین حال دمای روغن خروجی $1/98^{\circ}\text{C}$ افزایش می یابد که این حالت پدیده نامطلوبی است.

جدول (۲): مقایسه مابین پارامترهای خروجی مبدل در حالت تمیزی و کثیف



شکل (۲): تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی وابسته به ضریب تمیزی

تغییر ایجاد شده در ضریب انتقال حرارت کلی، تاثیر مستقیم بر برداشت حرارت مبدل دارد به گونه ای که میزان انتقال حرارت در حالت کثیف ۲۱/۶٪ کمتر از حالت تمیزی می باشد. شکل (۳) تغییرات برداشت حرارت در مبدل لوله و پوسته ترانسفورمر نیروگاه دز وابسته به ضریب تمیزی را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که میزان انباشت رسوب تاثیر مستقیمی بر کاهش تبادل حرارت مبدل دارد.



شکل (۳): تغییرات برداشت حرارت وابسته به ضریب تمیزی

شکل (۴) تغییرات ضریب اگزرژی نسبت به ضرائب تمیزی گوناگون را نشان می دهد. آشکار است که انباشت رسوب باعث کاهش ضریب اگزرژی می گردد به گونه ای که ضریب اگزرژی

به اندازه ۲۰٪ می توان دمای روغن خروجی را بیش از ۲ °C کاهش داد. بنابراین تغییر دبی سیال می تواند به عنوان یک راهکار در مقابل کاهش تبادل حرارت ناشی از پدیده رسوب به کار آید. همچنین نتایج نشان می دهند که افزایش دبی روغن باعث افزایش دمای روغن خروجی از اوایل کولر می گردد.

	تمیز	کثیف	اختلاف
u_f	۵۴۴/۸	۴۷۵/۰۲	% ۱۲/۸
N	۰/۴۷۳	۰/۴۱۳	% ۱۲/۶۸
ε	۰/۳۲۷	۰/۲۸۹	% ۱۱/۶۲
T_2	۵۸/۸۴۵	۵۹/۸۵۱	% ۱/۷
t_2	۳۹/۷۴۹	۳۸/۴۱۹	% ۳/۳۴
Q	۵۸۳/۳۹۷	۵۳۰/۸۰۳	% ۹/۰۱
η_{ex}	۰/۲۰۵۲۱	۰/۱۸۵۱۴	% ۹/۷۸

منابع:

- [1] Hosseini R., Hosseini-Ghaffari A., Soltani M., "Experimental determination of shell side heat transfer coefficient and pressure drop for an oil cooler shell-and-tube heat exchanger with three different tube bundles", Applied Thermal Eng., 27(2007) 1001-1008
- [2] Wang X., Wang R., Wu J., "Experimental investigation of new style double-tube heat exchanger for heating crude oil using solar hot water", Applied Thermal Eng., 25(2005) 1753-1763
- [3] Wang S., Wen J., Li Y., "An experimental investigation of heat transfer enhancement for shell-and-tube heat exchanger", Applied Thermal Eng., 29(2009) 2433-2438
- [4] Haseli Y., Dincer I., Naterer G.F., "Optimum temperature in shell and tube condenser with respect to exergy", Heat and Mass Transfer, 51(2008) 2462-2470
- [5] Wu Sh., Yuan X., Xiao L., "Exergy transfer effectiveness on heat exchanger for finite pressure drop", Energy, 32(2007) 2110-2120
- [6] Guo J., Cheng L., Xu M., "Optimization design of shell-and-tube heat exchanger by entropy generation minimization and genetic algorithm", Applied Thermal Eng., 29(2009) 2954-2960
- [7] Ozelik Y., "Exergetic optimization of shell and tube heat exchangers using a genetic algorithm", Applied Thermal Eng., 27(2007) 1849-1856
- [8] Butterworth D., "Design of shell-and-tube heat exchangers when the fouling depends on local temperature and velocity", Applied Thermal Eng., 22(2002) 789-801
- [9] Wallhauber E., Hussein M.A., Becker T., "Detection methods of fouling in heat exchangers in the food industry", Food Control, 27(2012) 1-10
- [10] Coletti F., Macchietto S., "Predicting refinery energy losses due to fouling in heat exchangers", Computer Aided Chemical Eng., 27(2009) 219-224
- [11] Holman J.P., Heat transfer, John Wiley Int. Ed., 9th Edition, 2004.
- [12] Kern D.Q., "Process heat transfer", McGraw Hill, 1950
- [13] Kakac S., Hongtan L., "heat exchangers: selection, rating and thermal design", CRC, 2002.
- [14] Yang S.M., Tao W.Q., "Heat transfer", Second ed., Advanced Educational press, Beijing, 1998

جدول (۳): تاثیر تغییر دبی روغن بر پارامترهای خروجی مبدل

اوایل کولر ترانسفورمر

	\dot{m} (kg/s)	Q (kj)	η_{ex}	T_2 (°C)	t_2 (°C)
\dot{m}_{+25}	۳۳/۸۷	۵۴۵/۳۱۷	۰/۱۸۵۹۷	۶۱/۸۲۷	۳۸/۷۷
\dot{m}_{+20}	۳۲/۲۶	۵۴۲/۶۵۳	۰/۱۸۵۸۲	۶۱/۴۶۱	۳۸/۷۲
\dot{m}_{+15}	۳۰/۷۳	۵۳۹/۸۸۱	۰/۱۸۵۶۷	۶۱/۰۸۱	۳۸/۶۵
\dot{m}_{+10}	۲۹/۲۷	۵۳۶/۹۸	۰/۱۸۵۵۱	۶۰/۶۸۷	۳۸/۵۸
\dot{m}_{+05}	۲۷/۸۸	۵۳۳/۹۶۵	۰/۱۸۵۳۳	۶۰/۲۷۸	۳۸/۵
\dot{m}	۲۶/۵۵	۵۳۹/۸۰۳	۰/۱۸۵۱۴	۵۹/۸۵۱	۳۸/۴۲
\dot{m}_{-05}	۲۵/۲۲	۵۲۷/۳۴۲	۰/۱۸۴۹۳	۵۹/۳۸۶	۳۸/۳۳
\dot{m}_{-10}	۲۳/۸۹	۵۲۳/۵۳۰	۰/۱۸۴۶۹	۵۸/۸۷۸	۳۸/۲۴
\dot{m}_{-15}	۲۲/۵۶	۵۱۹/۳۱۰	۰/۱۸۴۴۱	۵۸/۳۱۹	۳۸/۱۳
\dot{m}_{-20}	۲۱/۲۴	۵۱۴/۶۱۴	۰/۱۸۴۰۹	۵۷/۷۰۱	۳۸/۰۱
\dot{m}_{-25}	۱۹/۹۱	۳۹۹/۴۲۱	۰/۱۴۰۳۹	۵۹/۸۱۷	۳۵/۱

در مقابل با کاهش دبی روغن به میزان ۲۰٪، میزان تبادل حرارت و ضریب انگرژی به ترتیب ۴/۶۷٪ و ۰/۵۷٪ کاهش می یابد اما دمای روغن خروجی ۲/۱۵ °C کاهش می یابد. همچنین روشن است با کاهش دبی روغن به میزان ۲۵٪ تاثیر مثبت کاهش دبی روغن بر دمای خروجی برعکس شده است. علت این پدیده جابجایی صورت و مخرج رابطه (۱۲) است که به تبع آن دمای روغن خروجی افزایش می یابد.

۵- نتیجه گیری

بنابر بررسی های انجام شده، رسوب تاثیر منفی بر کارایی تبادلگر لوله و پوسته ترانسفورمرهای دز دارد به گونه ای که در شرایط کارکرد عادی تا ۶/۶۲٪ از برداشت حرارت و ۵/۸۴٪ از ضریب انگرژی می کاهشد. و این به منزله افزایش دمای روغن به اندازه ۱/۰۲ درجه سانتیگراد است. اما با کاهش دبی روغن



پنجمین کنفرانس ملی نیروگاه‌های برق

اهواز : ۲۴-۲۵ بهمن ۱۳۹۱

Exergy”, Advanced Educational press, Beijing, 1983

[15] Zhao G.C., Qian L.L., “ *Analysis and Application of*