بررسی نقطه تعویض فیلتر هوای ورودی با توجه به میزان افت راندمان توربین

مریم شهبازی تبار[۱]، حجت تابع بردبار[۲] و حسین شهبازی تبار[۳]
[۱] گروه مهندسی برق دانشگاه رازی، *m.sht@razi.ac.ir*
[۲] شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه مپنا، *bordbar.hojjat@gmail.com*
[۳] شرکت مهندسی قدس نیرو، *h_shahbazitabar@yahoo.com*

چکیده- سیستم فیلترینگ هوای ورودی کمپرسور، وظیفه آماده سازی هوای بدون گردوغبار جهت ورود به کمپرسور را عهده دار است و موجب جلوگیری از نفوذ گرد و خاک که باعث ایجاد ر سوب، آلودگیهای محیطی و فر سایش پره ها می گردد، می شود. ازآنجایی‌که عملکرد توربین گاز تحت تأثیر ف شار ورودی ا ست و قدرت و بازده آن با افزایش افت ف شار، کاهش می‌یابد و نیز با توجه به بالا بودن هزینه تمام شده یک ست فیلتر، پیش‌بینی زمان بهینه تعویض فیلتر در بازه زمانی منا سب از دغدغه‌های تعمیرات و نگهداری یک واحد نیروگاهی می‌با شد. این مقاله به فاکتورهای تأثیرگذار در اختلاف ف شار فیلترهای هوای ورودی و اثرات آن روی یک توربین گازی ا شاره خواهد کرد و پارامترهای قابل‌کنترل مؤثر در افزایش یا کاهش اختلاف فشار را بر رسی و با محا سبه هزینه تمام شده تعویض یک ست فیلتر و هزینه ارزش حرارتی ازد ست‌رفته به دلیل محدودیت‌های اعمالی با توجه به بالا بودن اختلاف ف شار فیلترها را و جمع‌آوری اطلاعات مربوط در بازه زمانی ۱۰۰۰ ساعت کارکرد، زمان بهینه تعویض فیلترها را تعیین می‌کند.

کلیدواژه- اختلاف فشار، توربین گاز، فیلترهای هوای ورودی، کمپرسور

۱- مقدمه

فیلترهـای هوای ورودی وظیفـه تحویـل هوایی عـاری از هرگونه گردوخاک جهت ورود به کمپرســور توربین گازی و جلوگیری از رســوب آلودگی روی پره‌ها و ســایش پره‌ها توسـط ذرات سـاینده را بر عهده‌دارند[۱]. رسـوب آلودگی روی پره‌ها به مقدار و نوع آلودگی موجود در هوا، نوع فیلتر موردا ستفاده، توانایی فیلترها در تمیز کردن هوای ورودی و همچنین به رطوبت موجود، جهت وزش باد و عوامل دیگر بســتگی دارد. اختلاف فشــار موجود در فیلترهای هوای ورودی به تدریج با افزایش گرفتگی فیلترها بالا می‌رود که باعث کاهش جریان حجمی هوای ورودی به توربین و افت راندمان سیستم می‌گردد و با افزایش قدرت تولیدی توربین، اختلاف ف شار ایجاد شده بی شتر می‌گردد. افزایش این ف شار نسـبت به مقدار تنظیم‌شـده، سـبب خروج توربین گاز و باز شــدن درب‌های انفجاری جهت جلوگیری از جمع شــدن محف ظه هوای ورودی براثر اختلاف فشــار وارده خوا هد شد[۲].

طبیعی اسـت که باگذشـت زمان کارکرد توربین و بسـته به شرایط بهره‌برداری، بهره‌وری و کارایی آن به‌مرور کم خواهد شـد. لذا بررسـی عوامل مؤثر و بهینه‌سـازی به‌موقع، سـبب جلوگیری از ایجاد خسارات غیرقابل‌جبران در توربین خواهد شـد. در ایران و دیگر کشـورهای گرم و خشـک در مناطقی که توربین گازی در شــرایط خاک و توپوگرافی ســخت آب‌وهوایی نصــب می‌گردد بهره‌وری توربین خیلی ســریع کاهش‌یافته و از پارامترهای طراحی‌شــده فاصــله می‌گیرد. موتورهای توربین گاز هنگامی‌که با آلاینده‌های موجود در هوا مانند شــن و ماســه-روغن و نمک و گردوغبار و دود که اجزاء توربین و کمپر سور را می‌پو شاند ر سوب دهد، کارایی خود را از د ست می‌دهد و به‌طورکلی ضعیف شدن جریان محوری کمپرســور بزرگ‌ترین دلیل کاهش کارایی توربین می‌باشـد. میزان رسـوب و آلودگی پره‌های کمپرسـور تابع عواملی چون محیط، آب‌وهوا، وضعیت رطوبت و جهت وزش باد و سیستم فیلتراسیون هوای ورودی و ... می‌باشد. با عبور هوای ورودی از کانال تعبیه‌شــده و فیلترهای نصــب‌شــده سرعت سیال مقداری کاهش خواهد یافت و در وضعیتی که رطوبت بالا باشـد دمای اسـتاتیکی سـیال کاهش‌یافته و به دمای اشــباع می‌رســد و موجب تراکم بخارآب می‌گردد. ذره های گردوخاک در مجاورت قطرات آب به بدنه پره‌ها چســبیده و این روند باعث افزایش ســرعت رســوب‌گذاری می‌گردد. اگر ا ندازه ذرات راه یافته بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون

با شد موجب فر سایش پره‌ها می‌گردد و برای ذره‌های تا ۱۰ میکرون، موجب رسوب‌گذاری می‌گردد.

باگذشت کارکرد توربین و رسوب ذرات روی پره‌ها، شکل واقعی پره‌ها دچار تغییر حالت می‌گردد. این تغییر شکل موجب کاهش سرعت جریان سیال، کاهش نسبت تراکم فشار و کاهش بازده کمپرسور می‌گردد. آلودگی و رسوب‌گذاری در کمپرسور، شدت اثر و نقش مهم‌تری در تغییر شکل پره‌ها و کاهش سرعت سیال در مقایسه با کاهش راندمان کمپرسور دارد. برای مثال درصورتی‌که راندمان کمپرسور از ۱,۲٪ تا ۱,۸٪ کاهش یابد. سرعت جریان سیال از ۳ تا ۵ درصد کاهش می‌یابد که موجب کاهش انرژی خروجی از ۴ تا ۷ درصد می‌گردد.

شستشوی کمپرسور و تعویض به‌موقع فیلترها مؤثرترین روش جلوگیری از ر سوب و افت راندمان سیستم می‌با شد. شستشوی کمپرسور، بهره‌وری سوخت، طول عمر ماشین و اجزاء آن را افزایش می‌دهد و اکثر توان ازدست‌رفته را بهبود می‌دهد. تمیزکاری و شستشوی کمپر سور معمولاً تو سط یک ساینده به‌صورت *Offline* یا *Online* انجام می‌شود. به دلیل کم بودن اثر شستشوی *Online* یا به‌عبارت‌دیگر شستشوی گرم که جهت شستشوی رسوب‌های تشکیل‌شده در پریود زمانی ۲۴ ساعت و به‌صورت موردی استفاده می‌شود و نقش شستشوی *Offline* یا شستشوی سرد بسیار پراهمیت‌تر است.

۲- سیستم هوای ورودی (*AIR IN TAKE*):

مهم‌ترین پارامتر در برر سی و ضعیت فیلترها اختلاف فشار موجود بین محیط و فشار هوای بعد از فیلترها و قبل از سایلنسر می‌باشد[۴].

۲-۱-فاکتورهای تأثیرگذار در اختلاف فشار:

۲-۱-۱- جرم هوای عبوری(*Mass Flow*): که خود به عوامل مختلف زیر بستگی دارد.

الف) وضعیت پره راهنمای متغیر هوای ورودی (*IGV*) کمپرسور

ب) درجه حرارت هوای ورودی کمپرسور

ج) فرکانس شبکه

۲-۱-۲- رطوبت نسبی هوا:

اثر رطوبت نسبی زمانی که گردوخاک انباشته‌شده روی فیلترها زیاد باشد شدیدتر می‌شود.

۲-۱-۳- شرایط محیطی:

شرایط محیطی و وضعیت‌های ناگهانی هوا مثل مه گرفتگی هوا در زمستان، بادها و گردبادهای همراه با خاک در تابستان و قطرات آب موجود در هوا در فصل‌های بارانی که اثر آن‌ها زمانی که فیلترها سرشار از گردوخاک باشد پراهمیت‌تر است.

۲-۲- اثر اختلاف فشار در وضعیت یک واحد تولیدی:

الف) اختلاف فشار مابین محیط و بعد از فیلترها متناسب با راندمان فیلترها برای فیلترهای نو ۵۳,۲ درصد و برای فیلترهایی که بعد از مدت کوتاهی به راندمان مناسب رسیده‌اند به ۹۹,۶ درصد می‌رسد. این مطلب به‌وضوح بیانگر این موضوع است که راندمان فیلتراسیون فیلترها با بارگذاری و افزایش گردوخاک در بخش میانی فیلترها بهبود می‌یابد. ذرات گردوخاک (بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون) که معمولاً با هوا وارد می‌شوند به‌مرور بخش میانی فیلترهای نو را پرکرده و از ورود ذرات ریزتر (کوچک‌تر از ۱۰ میکرون) که معمولاً مهم‌ترین دلیل رسوب‌گذاری و پدیده *Fouling* می‌باشند، جلوگیری می‌کند. درنتیجه احتمال رسوب‌گذاری و رسوب گردوخاک روی پره‌ها در اختلاف فشار بالاتر بسیار کمتر از زمانی است که اختلاف فشار سیستم هوای ورودی کم می‌باشد.

ب) با افزایش اختلاف فشار اطراف فیلترها از سرعت جریان سیال به‌مرور کاسته خواهد شد.

ج) با افزایش اختلاف فشار اطراف فیلترها، ارزش حرارتی (*Heat rate*) افزایش خواهد یافت و از راندمان واحد نیروگاهی کاسته خواهد شد. در واحدهای گازی با افزایش ۱۰ میلی‌متر آب فشار اطراف فیلترها، ارزش حرارتی به میزان ۲,۴ *kcal./KWHr* افزایش خواهد یافت و از انرژی خروجی واحد ۰,۱۷ درصد کاسته خواهد شد. در واحدهای سیکل ترکیبی با افزایش ۱۰ میلی‌متر آب فشار اطراف فیلترها، ارزش حرارتی به میزان ۰,۳۶ *(kcal./KWHr)* افزایش خواهد یافت و از انرژی خروجی واحد ۰,۱۳۶ درصد کاسته خواهد شد.

۲-۳- فاکتور های قابل‌کنترل که در افزایش یا کاهش

اختلاف فشار تأثیرگذار می‌باشد:

۲-۳-۱- تأثیر پره متغیر هدایت ورودی هوا (IGV):

تغییر وضعیت پره IGV وضعیت مقدار و جریان هوای ورودی به کمپرسور را تغییر خواهد داد و درنتیجه اختلاف فشار اطراف فیلترها تغییر خواهد کرد. با رسم نمودار تغییرات اختلاف فشار برحسب تغییرات IGV می‌توان شیب نمودار یا ضریب تغییر را به دست آورد.

۲-۳-۲- تأثیر دمای هوای ورودی:

$$DP \propto \frac{1}{T^2} \qquad (1)$$

۲-۳-۳- تأثیر فرکانس شبکه:

وقتی فرکانس شبکه بالا باشد حجم هوای ورودی افزایش یافته و اختلاف فشار فیلترها بالا خواهد رفت.

$$DP \propto (RPM)^2 \qquad (2)$$

۲-۳-۴- تأثیر رطوبت نسبی هوا:

با افزایش رطوبت، سرعت جریان جرمی سیال ($Mass\ flow$) کاهش خواهد یافت. این عامل اگر رطوبت در حالت اشباع باشد به‌شدت اختلاف فشار را افزایش خواهد داد.

۲-۳-۵- تأثیر شرایط محیطی:

تغییر وضعیت های ناگهانی در هوای ورودی مانند مه گرفتگی، قطرات آب در هوای ورودی، طوفان و گردباد و ... که غیرقابل‌پیش‌بینی می‌باشند و به‌جز تغییر نوع فیلترها که زمان‌بر است و یا تغییر سیستم هوای ورودی که عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد، کاری نمی‌توان انجام داد.

لازم به ذکر است در برخی از واحدها مشاهده گردیده که درب انفجاری شماره ۲ و ۳ در اختلاف فشار حدود ۱۰۰ میلی‌متر آب بدون تغییر ناگهانی وضعیت هوا به‌صورت ناگهانی در اختلاف فشاری پایین‌تر از اختلاف فشار طراحی شده، به مقدار کمی به حدی که یکی از سنسورها را فالتی می‌کند باز و بسته می‌گردد که موجب اعمال محدودیت‌های تولید انرژی به دلیل خطر تریپ واحد به مقدار ۲۰ مگاوات ساعت گردیده است که احتمال از عدم کارایی مناسب فشارسنج اختلاف فشار و اختلاف زیاد فشار واقعی روی درب‌های انفجاری با عدد نشان داده‌شده در فشارسنج مذکور به دلیل عدم قرارگیری این سنسور در محل مناسب دارد. تحقیقات و بررسی‌هایی در این زمینه در حال بررسی می‌باشد.

۲-۳-۶- تأثیر گردوخاک موجود در فیلترها:

مهم‌ترین دلیل تغییر اختلاف فشار فیلترها، میزان گردوخاک انباشته‌شده روی فیلترها می‌باشد. ذرات ریزتر در خلل و فرج فیلترها جاسازی‌شده و ذرات بزرگ‌تر بر روی بدنه بیرونی فیلتر انباشته می‌گردد. با وزش هوای پرفشار از لوله‌های تعبیه شده *(jet pulse)* که باعث وارد شدن یک شوک و حرکت ناگهانی در عناصر و اجزاء فیلترها شده و به‌صورت لحظه‌ای جریان سیال معکوس می‌گردد تا بتواند یک تمیزکاری مناسب را مهیا کند. گردوخاک به‌مرور مانند یک‌لایه نازک روی لایه میانی فیلترها انباشته می‌گردد. تجمع این ذرات باگذشت زمان کمی، فیلترها را به بهترین وضعیت راندمان خود می‌رساند و در این وضعیت اختلاف فشار با سرعت خیلی کم بالا می‌رود و به ثبات نسبی می رسد؛ اما انباشته شدن ذرات روی فیلترها ادامه می‌یابد و باعث بالا رفتن اختلاف فشار باگذشت زمان می شود. اقدام به پاک سازی فیلترها در زمان خاموشی واحد به دلایل زیر مؤثر نیست:۱-فیلترها و عناصر آن در زمان پیاده‌سازی، حمل‌ونقل و مونتاژ آسیب می‌بینند.۲- ذرات در لایه‌های میانی فیلترها جاسازی‌شده و آن‌ها با تمیزکاری رفع نمی شوند و اختلاف فشار اطراف فیلترها DP طی چند روز اول کارکرد بعد از تمیزکاری بالا می‌رود و به اختلاف فشار قبل از تمیزکاری می‌رسد زیرا دلیل اصلی بالا رفتن اختلاف فشار این ذرات می‌باشند؛ بنابراین تمیزکاری فیلترها کار سودمندی نیست و بهترین کار همان تعویض فیلترها در زمان مناسب می‌باشد.

۳- شرایط طراحی:

اختلاف فشار بهینه طراحی شده که در آن فشار، راندمان و انرژی تولیدی واحد نیروگاهی محاسبه‌شده است برابر با ۷۳ میلی‌متر آب می‌باشد. حد آلارم این اختلاف فشار برابر با ۱۴۰ میلی‌متر آب تعیین گردیده است که با توجه به‌احتمال وقوع وضعیت‌های ناگهانی مانند مه آلودگی و گردباد این میزان به ۱۲۵ میلی‌متر آب اصلاح گردیده است. مقدار طراحی‌شده اختلاف فشار جهت تریپ واحد با توجه به اختلاف فشار هوای ورودی توربین، اختلاف فشار ۱۷۳ میلی‌متر آب در فشار بعد از فیلترها و قبل از سایلنسر در نظر گرفته‌شده است.

۴- قوانین و تعاریف:

۴-۱- هزینه‌ها: هزینه‌های مرتبط با فیلترها به ۲ دسته تقسیم می‌شود:

۱-هزینه خرید و نصب یک ست فیلتر

۲-هزینه مربوط به سود ازدست‌رفته به دلیل محدودیت‌های ایجادشده و درنتیجه کاهش انرژی تولیدی و افزایش سوخت مصرفی که هرچه DP بالاتر رود این هزینه‌ها نیز بالاتر می رود.

۴-۲-اختلاف فشار متوسط: این اختلاف فشار با محاسبه مساحت زیر نمودار بین DP و ساعت کارکرد واحد به دست می‌آید. یک رابطه خطی برای رسم نمودار مذکور و محاسبه اختلاف فشار متوسط وجود دارد.

۴-۳-ماکزیمم اختلاف فشار: که بتوان با اطمینان کامل در این اختلاف‌فاز از واحد بدون خطر تریپ حتی در شرایط بد و ناگهانی آب‌وهوایی بهره‌برداری کرد. این اختلاف فشار با توجه به آب‌وهوا و شرایط جوی سایت نیروگاه تنظیم می گردد که در شرایط کارکرد ۱۲۵ میلی‌متر آب در نظر گرفته‌شده است.

۴-۴-هزینه انرژی ازدست‌رفته: برای هر ساعت کارکرد واحد که با توجه به بالا رفتن DP از کارکرد عادی واحد کاسته می‌گردد.

۴-۵-طول عمر تجاری فیلتر ها: زمانی که هزینه انرژی ازدست‌رفته با توجه به بالا رفتن اختلاف فشار و پارامترهای مربوط با هزینه تعویض فیلترها برابر گردد طول عمر فیلترها پایان پذیرفته است.

این آنالیز برای اختلاف فشاری انجام پذیرفته که احتمال وقوع تریپ صفر می‌باشد و همچنین جهت تعویض فیلتر خروجی واحد در یک‌زمان بندی از پیش تعیین‌شده همراه با تعمیرات دوره‌ای باشد تا از اثر هزینه خروج واحد و مدت‌زمان تعویض فیلتر ها صرف‌نظر گردد از این نظر هزینه‌ها باید برای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی واحد محاسبه و پارامترها تعیین گردد.

داده‌برداری‌ها و محاسبات انجام شده جهت به دست آوردن اختلاف فشار متوسط با توجه به فاکتورهای قابل‌کنترل تأثیرگذار در اختلاف فشار مطابق جدول ۱ آمده است.

۵- معادلات ریاضی

۵-۱-اختلاف فشار متوسط: مساحت زیر نمودار رسم شده DP برحسب ساعت کارکرد (n) تقسیم‌بر کل ساعت کارکرد اختلاف فشار متوسط را نشان می‌دهد. ارزش یک ست فیلتر که در n ساعت کارکرد واحد نصب گردیده را با $R.X$ نشان می‌دهیم. ارزش فیلتر برای هر هزار ساعت کارکرد را با C_F نشان داده و برابر است با:

$$C_F = (۱۰۰۰) \times \frac{X}{n} \qquad (۳)$$

با توجه به اختلاف فشار متوسط به‌دست‌آمده برای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی واحد هزینه‌ای که بابت فیلتر های هوای ورودی برای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی فیلترها محاسبه می‌گردد یا $\boldsymbol{C_F}$ مطابق جدول شماره ۲ محاسبه می‌گردد.

۵-۲-ارزش حرارتی ازدست‌رفته: برای هر ۱۰ میلی‌متر آب بالا رفتن اختلاف فشار برابر با $۰.۳۶\ Kcal/KWh$ برای سیکل ترکیبی و $۲.۴\ Kcal/KWh$ برای سیکل باز می‌باشد. اگر انرژی تولیدی برای هر توربین را با P کیلووات نشان دهیم و ارزش حرارتی ازدست‌رفته را با $(\delta\ HR)$نشان می‌دهیم برابر است با:

$$\delta\ HR = \left(DP_{\text{متوسط}} - DP_{\text{طراحی}}\right) * ۲.٤\ /۱۰ \qquad (٤)$$

۵-۳-ارزش ریالی ارزش حرارتی ازدست‌رفته:

در مدت کارکرد فیلترها برابر با:

$$P * (\delta\ HR) * n * L * \frac{C}{HR} \qquad (٥)$$

و این مقدار برای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد معادل

$$C_{HR} = P * (\delta\ HR) * ۱۰۰۰ * L * \frac{C}{HR} \qquad (٦)$$

اگر در شرایط طراحی پارامترها را برابر مقادیر زیر در نظر بگیریم[۴]:

$$L = ۰.۸ \quad و \quad HR = ۲۵۰۰(\frac{Kcal}{KWHr}) \quad و \quad C = ۷۵۰\ (\frac{Rial}{unit}) \quad و \quad P = ۱۲۰۰۰۰(KW) \quad و \quad Design\ DP = ۷۳(mmWc)$$

که C ارزش انرژی تولیدی، HR ارزش حرارتی و L فاکتور بارگذاری ماشین / سال می‌باشد، مقدار هزینه ارزش حرارتی ازدست‌رفته مطابق جدول شماره ۳ محاسبه می‌گردد.

هزینه کلی برای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد معادل:

$$C_{FR} = C_F + C_{HR} \qquad (۷)$$

با رسم نمودار هزینه متوسط فیلترها به ازای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی و هزینه ارزش حرارتی ازدست‌رفته به ازای هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی همان‌طور که در نمودار شماره ۱ آمده است و توجه به محل تلاقی دو نمودار متوجه می‌شویم که این نقطه بیانگر ساعت کارکرد و اختلاف فشار متوسط و ساعت کارکرد بهینه فیلترها جهت تعویض از دیدگاه اقتصادی و تجاری می‌باشد.

جدول ۱: محاسبه اختلاف فشار متوسط [۵]

ردیف	میلی‌متر آب متوسط	ساعت کارکرد واقعی	دور بر دقیقه	دمای هوای ورودی	اختلاف فشار فیلتر	درصد *IGV*	اختلاف فشار اصلاحی با ضریب دور بر دقیقه و دما و درصد *IGV*	مساحت زیر سطح نمودار میلی‌متر آب *ساعت	میلی متر آب متوسط
۱		۰	۳۰۰۰	۳۰	۵۹	۷۳	۶۰		
۲	۶۵	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۲۳	۷۱	۷۳	۷۰	۶۵۷۰۰	۶۵
۳	۷۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۲۹	۷۶	۷۳	۷۷	۱۴۴۶۳۰	۷۰
۴	۷۳	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۲۹	۷۶	۷۲	۷۸	۲۲۵۸۵۵	۷۳
۵	۷۵	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۲۵	۸۴	۷۲	۸۳	۲۹۴۳۹۰	۷۵
۶	۷۶	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۲۸	۸۵	۷۲	۸۵	۳۹۲۳۰۰	۷۶
۷	۷۷	۶۰۰۰	۳۰۰۰	۲۷	۸۴	۷۳	۸۵	۴۶۸۸۰۰	۷۷
۸	۷۸	۷۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰	۹۰	۷۳	۸۵	۵۴۶۸۹۰	۷۸
۹	۷۹	۸۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰	۹۱	۷۳	۹۳	۶۳۷۰۵۰	۷۹
۱۰	۸۱	۹۰۰۰	۳۰۰۰	۲۸	۹۲	۷۲	۹۳	۷۴۷۶۵۰	۸۱
۱۱	۸۲	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰	۳۵	۸۹	۷۲	۹۴	۸۳۵۸۰۰	۸۲
۱۲	۸۴	۱۱۰۰۰	۳۰۰۰	۲۷	۹۶	۷۲	۹۷	۹۳۴۴۰۰	۸۴
۱۳	۸۵	۱۲۰۰۰	۳۰۰۰	۲۷	۹۸	۷۲	۹۹	۱۰۲۶۴۵۰	۸۵

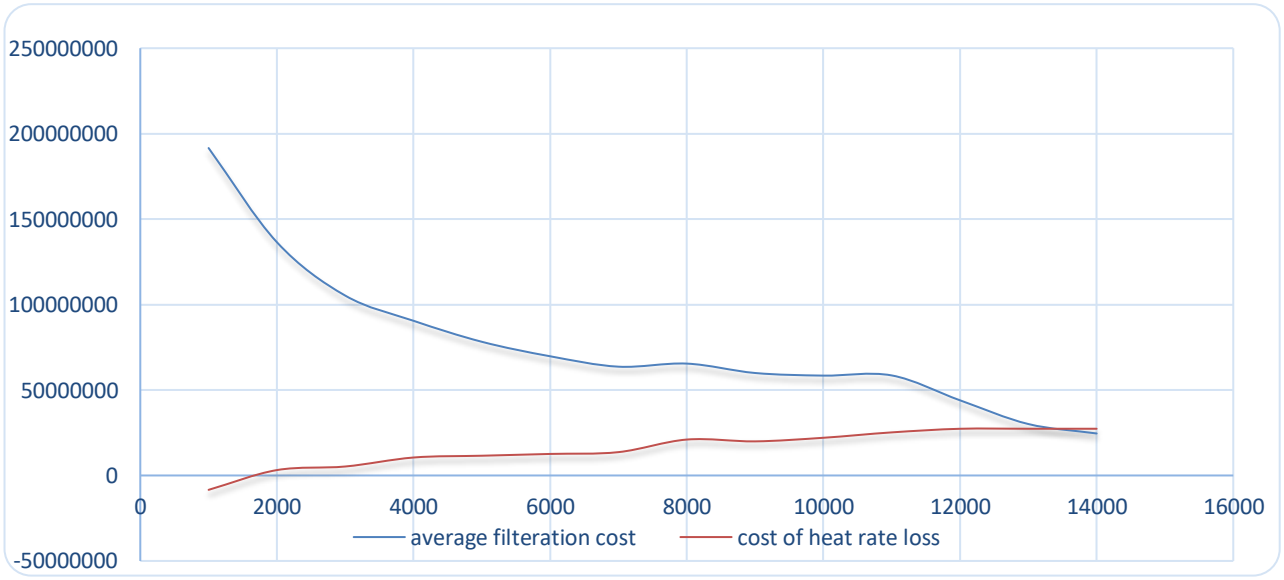
جدول ۲: هزینه متوسط فیلترها برحسب ساعت کارکرد

ردیف	ساعت کارکرد	اختلاف فشار متوسط (میلی‌متر آب)	ارزش ازدست‌رفته (ریال) *(1unit = ۱۱۴ Rial)*	هزینه فیلتر برحسب ساعت کارکرد(ریال)	هزینه فیلترا سیون در هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد (ریال)
۱	۰ تا ۱۰۰۰	۶۵	-۸۴۰۴۹۹۲	۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۹۱۵۹۵۰۰۸
۲	۰ تا ۲۰۰۰	۷۰	۳۱۵۱۸۷۲	۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۳۶۴۸۵۲۰۵
۳	۰ تا ۳۰۰۰	۷۳	۵۲۵۳۱۲۰	۶۶۶۶۶۶۶۶۶	۱۰۵۲۵۳۱۲۰
۴	۰ تا ۴۰۰۰	۷۵	۱۰۵۰۶۲۴۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۹۰۵۰۶۲۴۰
۵	۰ تا ۵۰۰۰	۷۶	۱۱۵۵۶۸۶۴	۴۰۰۰۰۰۰۰۰	۷۸۲۲۳۵۳۱
۶	۰ تا ۶۰۰۰	۷۷	۱۲۶۰۷۴۸۸	۳۳۳۳۳۳۳۳۳	۶۹۷۵۰۳۴۵
۷	۰ تا ۷۰۰۰	۷۸	۱۳۶۵۸۱۱۲	۲۸۵۷۱۴۲۸۵	۶۳۶۵۸۱۱۲
۸	۰ تا ۸۰۰۰	۷۹	۲۱۰۱۲۴۸۰	۲۵۰۰۰۰۰۰۰	۶۵۴۵۶۹۲۴
۹	۰ تا ۹۰۰۰	۸۱	۱۹۹۶۱۸۵۶	۲۲۲۲۲۲۲۲۲	۵۹۹۶۱۸۵۶
۱۰	۰ تا ۱۰۰۰۰	۸۲	۲۲۰۶۳۱۰۴	۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۵۸۴۲۶۷۷۴۰
۱۱	۰ تا ۱۱۰۰۰	۸۴	۲۵۲۱۴۹۷۶	۱۸۱۸۱۸۱۸۱	۵۸۵۴۸۳۰۹
۱۲	۰ تا ۱۲۰۰۰	۸۵	۲۷۳۱۶۲۲۴	۱۶۶۶۶۶۶۶۶	۴۳۹۸۲۸۹۱
۱۳	۰ تا ۱۳۰۰۰	۸۷	۲۷۳۳۴۵۸۴	۱۵۳۸۴۶۱۵/۴	۳۰۱۰۲۳۴۱

جدول ۳: هزینه ارزش حرارتی ازدست‌رفته برحسب ساعت کارکرد

ردیف	ساعت کارکرد	اختلاف فشار متوسط (میلی‌متر آب)	هزینه ازدســـت‌رفته بـرحســـــب ریـــال *(۱KW=۱۱۴ Rial)*
۱	۰ تا ۱۰۰۰	۶۵	-۸۴۰۴۹۹۲
۲	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۷۶	۳۱۵۱۸۷۲
۳	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۷۸	۵۲۵۳۱۲۰
۴	۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰	۸۳	۱۰۵۰۶۲۴۰
۵	۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰	۸۴	۱۱۵۵۶۸۶۴
۶	۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰	۸۵	۱۲۶۰۷۴۸۸
۷	۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰	۸۶	۱۳۶۵۸۱۱۲
۸	۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰	۹۳	۲۱۰۱۲۴۸۰
۹	۸۰۰۰ تا ۹۰۰۰	۹۲	۱۹۹۶۱۸۵۶
۱۰	۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۹۴	۲۲۰۶۳۱۰۴
۱۱	۱۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰	۹۷	۲۵۲۱۴۹۷۶
۱۲	۱۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰	۹۹	۲۷۳۱۶۲۲۴

شکل ۱: نمودار هزینه متوسط فیلترها در هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد و نمودار هزینه ارزش حرارتی ازدست‌رفته در هر ۱۰۰۰ ساعت کارکرد اضافی



۶- نتیجه‌گیری

با توجه به شـــرایط خاص ازنظر مقدار غیرواقعی هزینه هر کیلووات انرژی برق با توجه با یارانه‌های دولتی و قیمت واقعی خرید فیلترها و متفاوت بودن قیمت‌ها ازنظر شـــرکت‌های مدیریت تولید که عهده‌دار هزینه‌های بهره‌برداری می‌باشـــند با شـــرکت توانیر که تعیین‌کننده قیمت فروش انرژی می‌باشد و همچنین میزان اختلاف فشار طراحی شـــده برای واحدهای مختلف نیروگاهی، با تهیه یک فایل *EXCEL* قیمت پارامترهای مذکور را به‌صورت متغیر در نظر گرفتیم تا هر یک از بهره‌برداران با توجه به وضـــعیت نیروگاهی خود پارامترهای مذکور را تکمیل فرمایند تا به نتیجه درست دست یابند.

همان‌طور با رسم نمودار شماره ۱ نشان دادیم در نمونه موردمطالعه مقدار هزینه فیلترها در هر ۱۰۰۰ ســـاعت در ابتدا با ســـرعت زیادی (زیادتر از افزایش هزینه انرژی ازدســـت‌رفته) کاهش پیدا می‌کند اما بعد از ساعت کارکرد مشخصی این موضوع برعکس شده و سرعت

هزینه فیلترها کاسته شده و به‌سرعت هزینه انرژی ازدست‌رفته افزوده می‌شود.

نقطه برخورد ۲ نمودار همان نقطه بهینه اقتصادی و تجاری تعویض فیلترها می‌باشد؛ که در نمونه موردمطالعه ما اختلاف فشار ۱۱۰ تا ۱۱۵ میلی‌متر آب و ساعت کارکرد ۱۳۰۰۰ الی ۱۴۰۰۰ ساعت کارکرد به دست آمد.

مراجع:

[۱] *A.Mohammad, A. Adiniyi, A. Elaigu, A. Hassan. (۲۰۱۲). "Post Bi Annual Maintenance Performance of Geregu Thermal Power Plant." Canadian Journal on Mechanical Sciences & Engineering Vol.* ۳ *No.* ۳.

[۲] *S. Madsen, J. Watvedt, L. E. Bakken. (۲۰۱۸) "Gas Turbine Fouling Offshore: Air Intake Filtration Optimization." Proceedings of ASME Turbo Expro: Power for land, sea and air.*

[۳] *Gas turbine v۹٤.۲ performance test specification.*

[٤] *M.K. Mangla. DGM (O&M-MM)-NTPC Jhanor (۲۰۱۰). Optimisation of life of air in take filters.*

[۵] آرشیو فنی و لاگ شیتهای واحدهای گازی

[۶] تجربیات بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاهی