حل عددی سیستم تهویه کوپه توربین واحد GE F9E یک نیروگاه گازی ۱۲۳ مگاواتی

علی هاشمی[۱]، همایون کنعانی[۲]، فاطمه خبازی پور[۳]، عبدالصمد رئیس پور[۴]، محسن طاهری[۵]

[۱]مدیر پروژه، پژوهشگاه نیرو-گروه مکانیک؛ ahashemi@nri.ac.ir
[۲]کارشناس مکانیک، پژوهشگاه نیرو-دانشجوی دکتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی؛hkanani@gmail.com
[۳] رئیس گروه تحقیقات برق منطقه ای خوزستان؛rd_kzrec@yahoo.com
[۴] معاون برنامه ریزی و تحقیقات برق منطقه ای خوزستان
[۵] کارشناس مکانیک، نیروگاه گازی آبادان؛ mohsen_taheri1354@yahoo.com

چکیده

تهویه کوپه(محفظه)[1] توربین واحد GE F9E نیروگاه گازی۱۲۳ مگاواتی توسط ۲ عدد فن محوری(۱ عدد در حالت رزرو) که در سقف این کوپه قرار گرفته انجام می‌گیرد. در اثر مکش فن و ایجاد جریان هوا، هوای گرم داخل کوپه بمرور زمان تخلیه شده و این امر باعث تهویه هوای داخل مجموعه می‌گردد. با ادامه کار واحد گازی، دمای هوای داخل کوپه‌ها بالا رفته و این امر به مرور کارایی بهینه سیستم تهویه را مختل می‌نماید. از آنجاییکه اندازه گیری دما در تمامی مقاطع مختلف کوپه مشکل بوده و همچنین ترموکوپل نیز به تعداد کافی در این واحدها نصب نشده اند، لذا هدف از این مقاله این است که بررسی شود آیا مشکلی در کارکرد سیستم تهویه نیروگاه وجود داشته و آیا این سیستم وظیفه خود را بخوبی انجام داده و نهایتاً پره های فن محوری سیستم تهویه قابلیت تحمل دمای هوای خروجی از کوپه توربین را دارند؟ بدین منظور ابتدا کوپه توربین با تمامی اجزای اصلی داخل آن مدلسازی شده و سپس بعد از شبکه بندی دقیق و با اعمال شرایط مرزی مناسب، مورد حل عددی قرار گرفته و نهایتاً پس از صحه گذاری بر نتایج با استفاده از روش حل مستقل از شبکه، نتایج مورد پس پردازش قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: کوپه توربین، سیستم تهویه، مدلسازی، حل عددی، فن محوری

۱- مقدمه

توربین های گاز معمولاً در محفظه ای آکوستیکی نگهداری میشوند. این محفظه با نام کوپه توربین شناخته می شود. وظایف این کوپه محافظت کلی از توربین گاز و تامین شرایط مناسب برای کارکرد آن است. یکی از این شرایط، ایجاد تهویه مناسب در اطراف توربین میباشد. کل محفظه کوپه هایی که توربین گاز و تجهیزات جانبی آن را در بر میگیرد با نام واحد آکوستیک توربین شناخته می شود و وظایفی از قبیل محافظت گرمایی، محافظت در برابر حریق، ایمنی و تهویه را دارد[۱].

هوای خنک مورد نیاز برای تهویهٔ کوپه توربین از مجرای ورودی که در دیوارهٔ جلویی قسمت کوپه تجهیزات جانبی است وارد می‌شود. هوای ورودی تحت عملیات آکوستیکی قرار گرفته تا نویز آن در محدوده قابل قبول باشد. به دلیل فشار منفی نسبی ایجاد شده در اتاقک، هوا به سمت کوپه توربین مکیده می‌شود. این هوا پس از عبور از فن سیستم تهویه از طریق کانال‌هایی به خارج از توربین هال[2](سالن توربین) فرستاده می‌شود.

۲- کوپه توربین واحد GE F9E

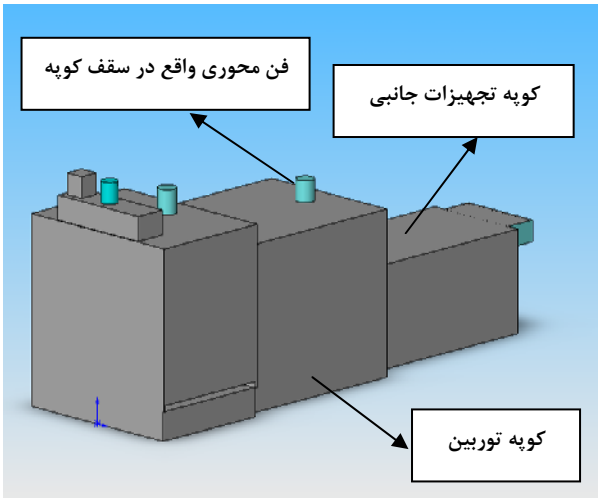
در این کوپه مهمترین تجهیزات اصلی نیروگاه قرار دارد. کمپرسور، محفظه‌های احتراق و توربین در این کوپه قرار گرفته‌اند. هوا پس از گذشتن از فیلترهای هوا به کمپرسور که در ابتدای کوپه قرار گرفته است وارد می‌شود. هوا پس از عبور از کمپرسور با فشار وارد محفظه احتراق می‌شود تا در این محفظه با سوختی که از نازل‌ها پاشش می‌شود بسوزد. در ابتدای محفظه احتراق و در انتهای کمپرسور، محفظه‌های نازل پاشش سوخت و هوای فشار بالا برای اتمایز کردن سوخت قرار دارند. محصولات داغ احتراق خروجی از محفظه احتراق، با دمایی بالایی وارد توربین شده و با گرداندن توربین موجب تولید توان می‌شوند.

همانطور که در شکل(۱) مشاهده می‌شود در سقف کوپه توربین، یک فن محوری مسئولیت تهویه کوپه را بر عهده دارد. این فن از یک ورودی هوا تغذیه شده و هوای داغ کوپه توربین را توسط داکت خروجی به فضای بیرون توربین هال هدایت می‌کنند.

1-Coupe(Enclosure)

2-Turbine Hall

هوای کوپه توربین به علت حضور منابع حرارتی مانند کمپرسور، محفظه احتراق و توربین نیاز به خنک کاری دارد. خنک‌کاری و به عبارت بهتر تهویه هوای کوپه توربین توسط فن محوری که در سقف این کوپه قرار گرفته است، انجام می‌گیرد. هوای کوپه توربین از دریچه کرکره ای موجود در کوپه تجهیزات تامین می‌شود. با مکشی که فن ایجاد می‌کند هوا پس از عبور از کوپه تجهیزات از طریق شبکه‌هایی که در کف و در دوسمت کناری کوپه توربین قرار دارند وارد کوپه شده و از طریق فن و داکت‌های متصل به آن به خارج از توربین هال هدایت می‌شود.



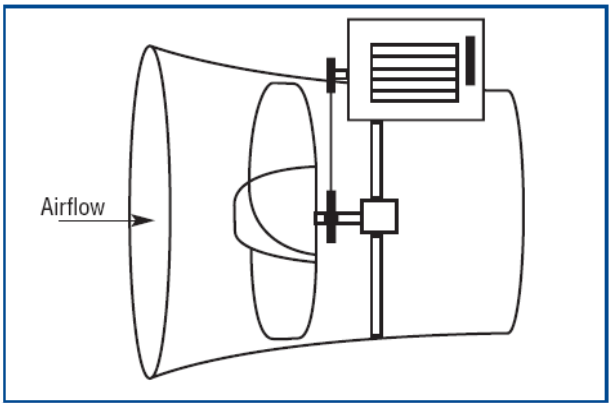
شکل۱- نمایی از چیدمان واحدGE F9E

۳- مشخصات فن سیستم تهویه کوپه توربین واحد GE F9E

فن سیستم تهویه کوپه توربین واحد GE F9E از نوع محوری تیوب دار[1] و ساخت شرکت Multi wing می باشد. مزیت های اساسی این نوع فن‌های محوری، جمع و جور بودن[2]، قیمت پائین و وزن کم آنها می‌باشد. فن‌های محوری اکثراً در خروجی‌های سیستم و نیز در جاهائیکه اندازه ذرات کوچک(مانند جریان غبار، دود و بخار)، فشار مورد نیاز پائین و دبی حجمی مورد نیاز بالا استفاده می‌شوند. فن‌های محوری، جریان هوا را در جهت محور فن به حرکت در می‌آورند. فشار هوا به وسیله نیروی برآی[3] تولید شده توسط پره‌های فن افزایش می‌یابد. در یک ظرفیت معین فن‌های محوری دارای ابعاد کوچکتری نسبت به فن‌های گریز از مرکز هستند[۲].

فن محوری تیوب‌دار(شکل۲) ذاتاً یک فن جلوبرنده[4] می‌باشد که داخل یک محفظه سیلندری شکل جا داده شده است. با بهبود مشخصه‌های جریان، فن محوری تیوب‌دار فشار بالاتری کسب کرده و دارای بازدهی بیشتری نسبت به فنهای جلوبرنده دیگر می‌باشد. این فن‌های محوری تیوب‌دار در جاهائیکه فشار متوسط و دبی جریان بالا نیاز باشد(مثلاً در داکت‌های سیستم تهویه) کاربرد دارد. از آنجائیکه این فن‌ها به راحتی فشار مورد نیاز برای غلبه بر افت فشار داکت‌ها را تأمین می‌کنند بنابراین به طور گسترده در خروجی‌های سیستم استفاده می‌شوند. همچنین به دلیل جرم چرخشی و در نتیجه لختی پائین فن، سریعاً به سرعت مورد نظر می‌رسند که برای بسیاری از کاربردهای تهویه مفید می‌باشد[۳].

مشخصات فن بکار رفته در سیستم تهویه واحد GE F9E نیروگاه در جدول(۱) آمده است.



شکل۲-فن محوری تیوب‌دار با نیروی محرکه غیر مستقیم[۳]

جدول۱-مشخصات فن محوری بکار رفته در سیستم تهویه[۴]

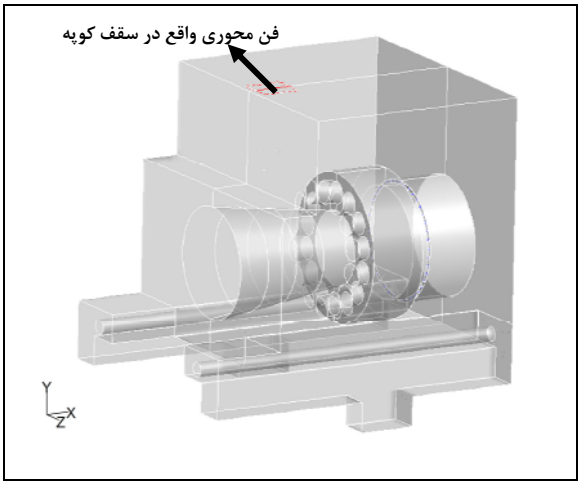
Imp. Diameter	1120 mm	Speed	1450 RPM
No of blades	6	Tip Clearance	0.5 %
Pitch	35 °	Temperature	135 °C
Blade Material	AL	Elevation	3 m
Blade Type	5W	Density	0.8647 kg/m^3
Rotation Impeller	L		
Tip Speed	85 m/s	Moment of Inertia	0.96 kgm^2
Air Velocity	14.9 m/s	Blade Centrifugal force	10400 N
Moment On Shaft	79.3 Nm	Axial Force	513 N
Airflow	15 m^3/s	Total Pres	521 Pa
Static Pres	424 Pa	Power	12 kW
Dynamic Pressure	96.5 Pa	Efficiency	65 %

۴- مدلسازی و ایجاد شبکه محاسباتی کوپه توربین واحد GE F9E

در شکل(۳) هندسه کامل کوپه توربین مشاهده می‌شود. با توجه به شکل در داخل کوپه توربین با پیشروی به سمت xهای مثبت، کمپرسور، محفظه احتراق و توربین مشاهده می‌شود. ابعاد این کوپه ۷/۷۲×۷/۲×۸/۲ متر (ارتفاع×عرض×طول) می باشد. در دو طرف کوپه نیز مسیر هوایی انتقال هوا از کوپه تجهیزات به کوپه توربین مشاهده می‌شود. در قسمت جلویی پوسته توربین سوراخهای مربوط به

1-Tube Axial Fan
2-Compactness
3-Lift
4-Propeller Fan

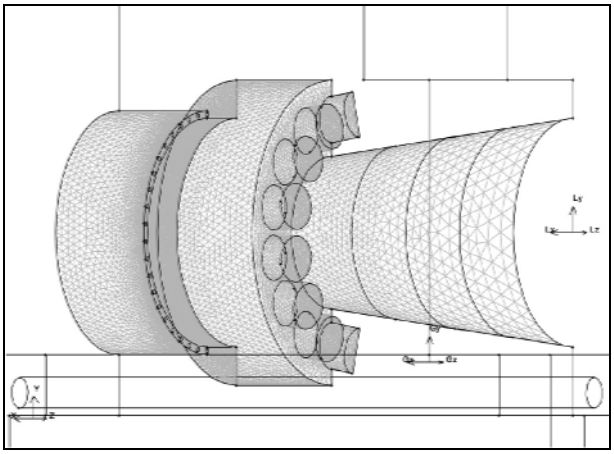
خروجی فن خنک کاری پوسته توربین[1] قرار دارند که هوای این فن‌ها را به داخل کوپه توربین می‌دمند که این هوا نیز توسط فن سیستم تهویه کوپه توربین، با هوایی که از طریق کوپه تجهیزات به داخل کوپه توربین مکیده شده است، به خارج از کوپه هدایت می‌شود. فن نیزدر سقف کوپه قرار دارد که محل آن در شکل(۳) مشاهده می‌شود.



شکل۳-هندسه کامل کوپه توربین

یکی از مشکلاتی که در ایجاد شبکه محاسباتی برای یک ناحیه حل بزرگ با آن مواجه هستیم، کمینه کردن تعداد سلول محاسباتی برای کاهش هزینه محاسبات با توجه به از دست ندادن دقت حل عددی و حل مستقل از شبکه محاسباتی می‌باشد. برای رسیدن به این مهم باید در نواحی نزدیک به دیوار، ورودی فن، خروجی فن‌های خنک کاری پوسته توربین بر پوسته توربین از سلولهای ریزتر و در نواحی داخلی کوپه از سلولهای درشت‌تر استفاده گردد که هم از طرفی دقت حل مناسب باشد و از طرف دیگر هزینه محاسباتی بیش از حد افزایش پیدا نکند. با استفاده از نرم-افزار Gambit 2.3.16 شبکه محاسباتی مناسب برای شبیه-سازی کوپه توربین ایجاد و استقلال حل از شبکه نیز آزمایش شد.

با توجه به تقارنی که نسبت به صفحه x-y در کوپه توربین وجود دارد، می‌توان از مدل ۱/۲برای شبیه سازی این کوپه استفاده کرد. در شکل(۴) شبکه محاسباتی مربوط به نصف کوپه توربین آورده شده است. در این حالت کمپرسور، محفظه احتراق، توربین و فن سیستم تهویه به دو نیم تقسیم شده و نصف کوپه به عنوان حوزه حل[2] در نظر گرفته می‌شود. این کار هزینه های محاسباتی حل عددی را به شدت کاهش می دهد. با توجه به شکل (۴) و هندسه نامنظم کوپه توربین، بهترین راه برای ایجاد شبکه محاسباتی برای این کوپه استفاده از شبکه هیبریدی[3] T-Grid با المانهای سه و چهار ضلعی است. البته برای کانال ورودی هوا از کوپه تجهیزات جانبی به دلیل منظم بودن شکل کانال و مقطع ثابت آن در طول کوپه از شبکه‌های چهار ضلعی و شبکه بندی سازمان یافته[4] از روش کوپر[5] استفاده شده است. در بقیه ناحیه حل نیزهمانطور که گفته شد از شبکه‌های ترکیبی استفاده شده است. در مجموع پس از اطمینان از استقلال حل از شبکه محاسباتی ایجاد شده، تعداد کل سلول‌های کوپه به ۴۶۵۸۹۴ سلول رسید. برای رسیدن به این مقدار کم از سلول‌های شبکه محاسباتی(با توجه به از دست ندادن دقت محاسباتی و استقلال حل از شبکه)، از توابع اندازه‌ای[6] در نرم‌افزار Gambit 2.3.16 استفاده شده است.



شکل۴-شبکه محاسباتی ایجاد شده بر روی پوسته کمپرسور، محفظه احتراق و توربین

۵- اندازه گیری و اعمال شرایط مرزی

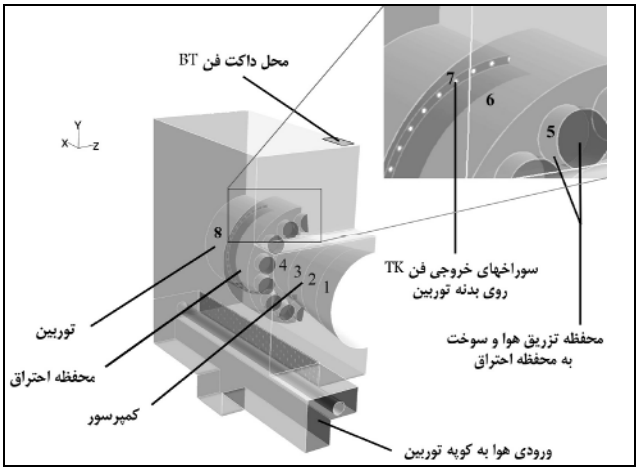
در شکل(۵) نقاط مختلف بر روی بدنه کمپرسور، محفظه احتراق و توربین که در آن نقاط اندازه‌گیری انجام شد، مشاهده می شود. در جدول(۲) نیز مقادیر دمایی به دست آمده در این نقاط آورده شده است. در ورودی جریان هوا به کوپه از شرط مرزی "ورودی فشار"[7] استفاده می‌شود. مقدار فشار در این مرز معادل فشار یک اتمسفر و دما K ۳۱۸ در نظر گرفته شده است.

در ورودی هوای فن‌های خنک کاری پوسته توربین به داخل از شرط "ورودی سرعت"[8] استفاده شده است. تعداد این سوراخها بر روی پوسته توربین ۴۲ عدد می باشد و قطر هر یک ۶ سانتی‌متر می‌باشد برای مدل ۱/۲ حاضر، ۲۱ عدد از آنها که بر روی نصف بدنه قرار دارند در نظر گرفته شده است.

1-Turbine Case Cooling Fan
2-Domain

3-Hybrid
3-Structured
4-Cooper
5-Size functions
6-Pressure inlet
8-Velocity inlet

با توجه به اندازه‌گیری دبی در خروجی و قطر ۶ سانتی‌متری آنها، مقدار سرعت متوسط خروجی ۱۷/۵ m/s به دست می‌آید که به عنوان شرط مرزی در نظر گرفته شده است. دمای سیال ورودی نیز ۵۷۳ K در نظر گرفته شده است. برای دیوارهای که در شکل(۵) و جدول (۲) نشان داده نشده‌اند، از شرط گرمایی آدیاباتیک استفاده شده است.



شکل۵-مکان‌های اندازه‌گیری فشار، دما و سرعت در کوپه توربین برای تعیین شرایط مرزی

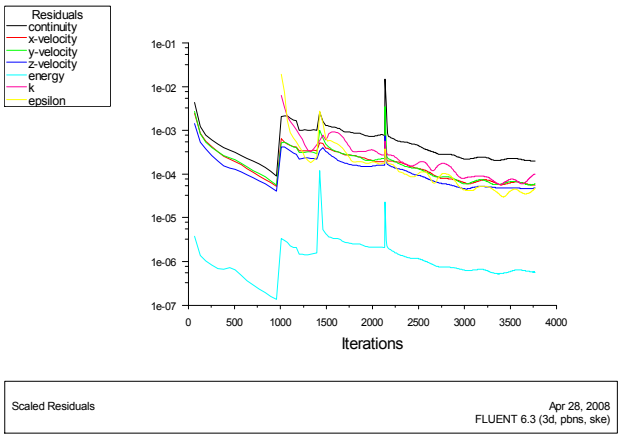
جدول۲-مقادیر اندازه‌گیری شده(بعنوان شرایط مرزی) در کوپه توربین که در شکل (۵)مشخص شده‌اند[۵]

اجزای مختلف کوپه	نوع شرط مرزی	مقادیر اندازه‌گیری
بدنه کمپرسور – قسمت ۱	دیوار – دما	۳۳۳K
بدنه کمپرسور – قسمت ۲	دیوار – دما	۳۴۳K
بدنه کمپرسور – قسمت ۳	دیوار – دما	۳۸۳K
بدنه کمپرسور – قسمت ۴	دیوار – دما	۴۳۸K
بدنه محفظه تزریق هوا و سوخت	دیوار – دما	۵۶۱K
بدنه محفظه احتراق	دیوار – دما	۵۸۳K
سوراخهای فن TK روی بدنه توربین	ورودی سرعت –سرعت و دما	۱۷/۵ m/s و ۵۷۳ K
بدنه توربین	دیوار – دما	۵۶۳K
ورودی هوا به کوپه	ورودی فشار – فشار و دما	۱۰۰kpa و ۳۲۳ K
داکت خروجی کوپه	فن خروجی – فشار و دبی	منحنی عملکرد فن

۶- حل عددی جریان در داخل کوپه توربین واحد GE F9E به دلیل قدرت مکندگی زیاد فن‌ها و همچنین تغییر مسیر سیال در ناحیه حل، جریان داخل کوپه آشفته می‌باشد. برای مدلسازی جریان آشفته در داخل کوپه‌ها از مدل دو معادله‌ای استاندارد $k-\varepsilon$ استفاده شده است. به دلیل تغییرات زیاد دمای در حین عبور از کوپه، همچنین منابع حرارتی بزرگی که در کوپه‌ها وجود دارد، معادله انرژی نیز برای جریان حل می‌شود. همچنین با توجه به تغییرات زیاد دمای سیال و از آنجاییکه در این بازه بزرگ چگالی سیال که تابعی از دما می‌باشد، دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌شود از قانون گاز ایده‌آل تراکم ناپذیر[1] برای به دست آوردن چگالی سیال در دماهای مختلف استفاده شده است. با این فرض که تغییرات چگالی تنها تابعی از دما می‌باشد. برای حل معادلات کوپل سرعت و فشار نیز از الگوریتم SIMPLE استفاده شده است[۶].

برای بررسی دقیق‌تر سیال با فعال کردن شتاب گرانش در ناحیه حل، جابه‌جایی آزاد نیز در نظر گرفته شده است که البته به دلیل سرعت زیاد ایجاد شده در اثر مکش فن و با توجه به نتایج حل عددی مشخص می‌شود که نیروی گرانش و مکانیزم جابه‌جایی آزاد نقش موثری در انتقال حرارت در داخل کوپه‌ها ندارند. با توجه به اجراهای مختلف که با فعال کردن و غیر فعال کردن نیروی گرانش انجام شد، مشخص گردید که نیروی شناوری آنچنان بزرگ نبوده و در نتیجه جابه‌جایی آزاد جزء مکانیزم‌های تاثیرگذار نمی‌باشد.

در شکل(۶) نمودار روند حل و همگرا شدن حل عددی برای کوپه توربین آورده شده است. در حل عددی در مواردی که اعمال همه پارامترهای واقعی جریان از ابتدای حل، موجب واگرایی شود، تغییرات به تدریج در طول حل اعمال می‌شود. تغییرات ناگهانی در برخی از نواحی نمودار در حل، در اثر تغییرات پارامترها برای رسیدن به جواب نهایی می‌باشد.

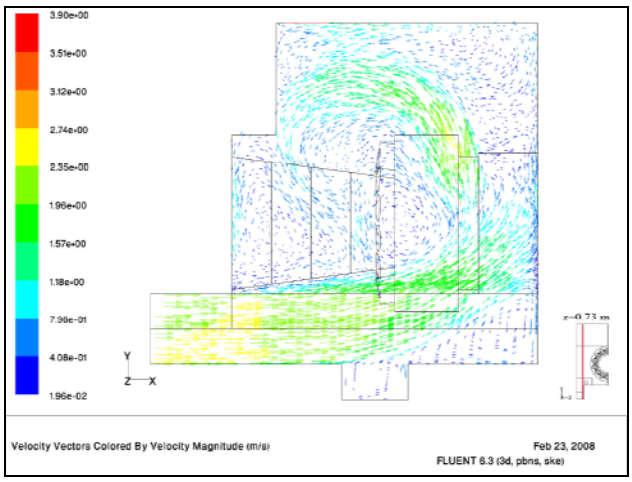


شکل۶-منحنی باقی‌مانده معادلات بقا، ممنتوم و انرژی در حل عددی کوپه توربین

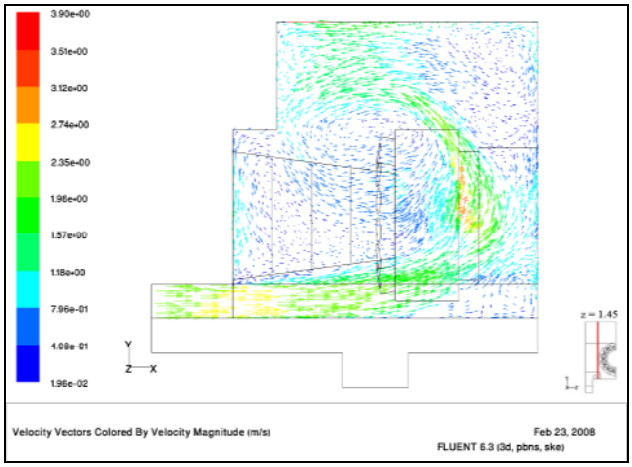
1-Incompressible ideal gas

۷- آنالیز و بررسی شبیه سازی جریان در داخل کوپه توربین واحد GE F9E

در شکلهای (۷) تا (۱۱) بردارهای سرعت در کوپه توربین در مقاطع و صفحات مختلف نشان داده شده است. در شکل(۷) بردارهای سرعت برای صفحه z=0.73 m نشان داده است. با توجه به شکل، با مکشی که فن سیستم تهویه در این کوپه ایجاد میکند، هوا از طریق کانال‌ها و از سمت کوپه تجهیزات با سرعت حدود ۲ m/s وارد کوپه توربین می‌شود. با پیشروی سیال در داخل کانال ورودی، با مکش فن که در جهت y به سیال ایجاد می‌شود، مولفه y سرعت هوا که در ابتدا تنها دارای مولفه x بود، قویتر شده و سیال به سمت فن حرکت می کند. تفاوت قابل ملاحظه‌ای که در بردارهای سرعت در شکل-های(۷) و (۸) مشاهده می‌شود، مربوط به نواحی ابتدایی توربین می‌باشد. با نزدیک شدن به بدنه توربین در شکل(۷) اثرات دمندگی فن‌های خنک کاری پوسته توربین در بردارهای سرعت قابل مشاهده می‌شود. با توجه به بردارهای سرعت در نزدیکی بدنه توربین و ابتدای آن که محل قرارگیری خروجی هوا از روی پوسته توربین می‌باشد، سرعت هوا افزایش می‌یابد که نقش موثری در افزایش آشفتگی در این ناحیه از کوپه دارد. برخلاف پیش بینی اولیه که انتظار می‌رفت به دلیل حضور فن درابتدای کوپه، هوا مستقیماً به سمت فن جریان یابد، هوا پس از ورود به کوپه ابتدا تا نواحی انتهایی کوپه رفته و با ایجاد یک گردابه بزرگ به سمت سقف و فن تغییر جهت می‌دهد که این امر در خنک‌کاری مناسب تمام اجزای موجود در کوپه اعم از کمپرسور، محفظه احتراق و توربین نقش مهمی دارد. برای توجیه این شکل از جریان در داخل کوپه دو دلیل پیش‌بینی می‌شود. اول آنکه به دلیل ممنتوم سیال ورودی به داخل کوپه و سرعت سیال در راستای x، سیال به سمت انتهای کوپه حرکت میکند. از طرف دیگر به علت مکش فن در قسمت‌های فوقانی و پدید آمدن گردابه‌هایی که در شکل(۷) و (۸) مشاهده می‌شود، جریان در قسمت‌های پایینی کوپه و کانال ورودی کوپه مجبور به طی مسافت زیادی در راستای طولی کوپه می‌شود.

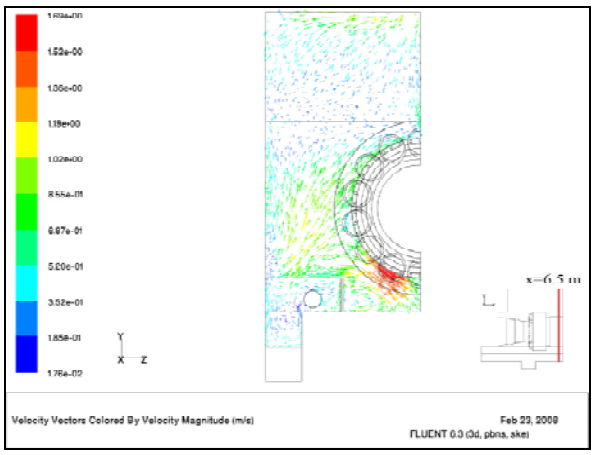


شکل۷-بردار سرعت هوا در صفحه z= ۰/۷۳ m در کوپه توربین

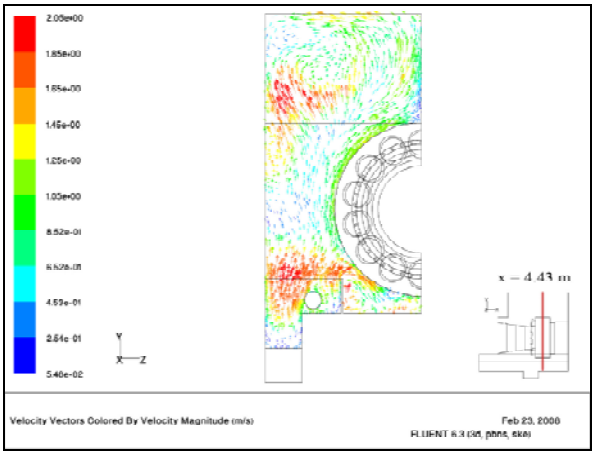


شکل۸-بردار سرعت هوا در صفحه z= ۱/۴۵ m در کوپه توربین

در شکل‌های(۹) تا (۱۰) بردارهای سرعت برای صفحات x=۱/۷۴، ۴/۴۳ و ۶/۵ m نشان داده شده است. همانطور که در شکل(۹) مشاهده می‌شود در انتهای کوپه (x= ۶/۵ m) جریان در ارتفاعات پایین (نزدیک به کانال ورودی هوا)، دارای مولفه سرعت رو به بالاست و به خوبی به سمت توربین جهت انجام خنک‌کاری و به سمت بالای کوپه می‌رود. اما همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود در قسمت‌های بالایی کوپه جریان دارای آشفتگی شدیدی می‌شود که این از یکسو به دلیل مکش فن در قسمت ابتدایی کوپه و از سوی دیگر به دلیل دمش سوراخهای خروجی بر روی پوسته توربین می-باشد.

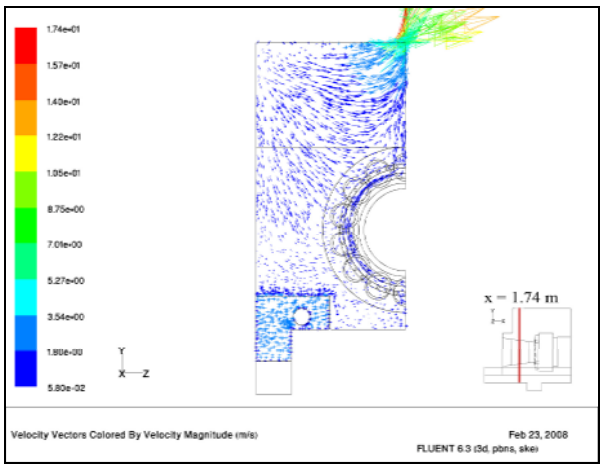


شکل۹-بردار سرعت هوا در صفحه x= ۶/۵ m در کوپه توربین



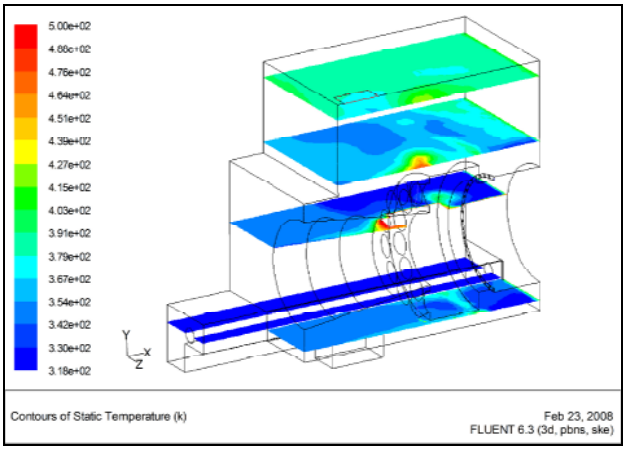
شکل۱۰-بردار سرعت هوا در صفحه x= ۴/۴۳ m در کوپه توربین

در شکل(۱۰) نیزهمین روند دنبال می‌شود. سرعت جریان از سوی کانال به داخل کوپه دارای بیشترین مقدار خود در طول کوپه می‌باشد و جریان ورودی به کوپه به خوبی به سمت بدنه محفظه احتراق هدایت شده و موجب خنک‌کاری آن می‌شود. قسمتی از جریان ورودی در این مقطع نیزبه سمت زیر محفظه احتراق می‌رود و موجب خنک‌کاری این ناحیه که در معرض منابع بزرگ حرارتی جابه‌جایی و تا حدودی تشعشعی می‌باشد، می‌گردد. در شکل (۱۱) که مقطع(x=۱/۷۴ m) ابتدایی کوپه می‌باشد، جهت حرکت سیال در قسمت‌های فوقانی کوپه به سمت فن می‌باشد و همانطور که مشاهده می‌شود جریان در ورودی داکت فن در مقاطعی به بیش از m/s ۱۷ می‌رسد.

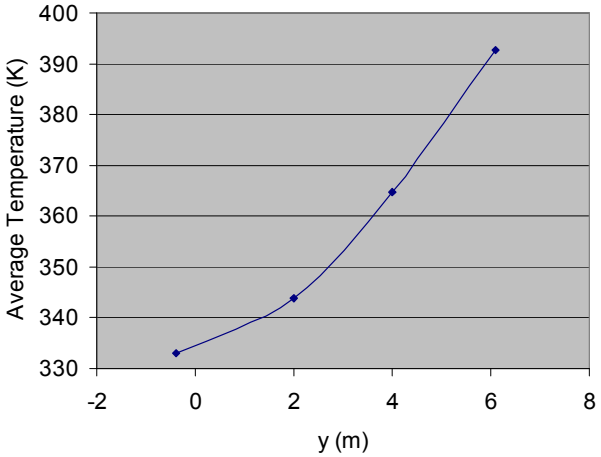


شکل۱۱-بردار سرعت هوا در صفحه x= ۱/۷۴ m در کوپه توربین

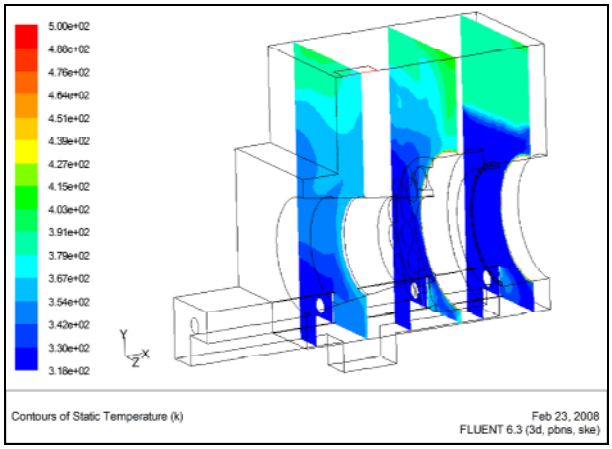
در شکل‌های(۱۲) تا (۱۶) کانتورها و نمودارهای دمای سیال در مقاطع مختلف کوپه توربین نشان داده شده است. در شکل(۱۲) کانتور دما برای صفحات مختلف در راستای محور y به نمایش در آمده است. در کانتورهای دمای این شکل چند نکته حایز اهمیت می‌باشد. اول اینکه نواحی نزدیک به محفظه احتراق به علت دمای بالای سطح محفظه احتراق و همچنین نشتی‌های موجود و دمش گازهای داغ از خروجی سوراخهای روی پوسته توربین، جزء نواحی داغ کوپه می‌باشد. ثانیاً همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع از کف و حرکت گازهای داغ به سمت بالا و خروجی کوپه، دما به طور پیوسته افزایش پیدا میکند که این موضوع را می‌توان در شکل(۱۲)به راحتی مشاهده کرد. همانطور که از نمودار شکل(۱۳) پیداست، دمای متوسط کوپه از حدود ۳۳۰ کلوین در قسمتهای پایینی به بیش از ۳۹۰ کلوین در قسمت‌های فوقانی کوپه می‌رسد.



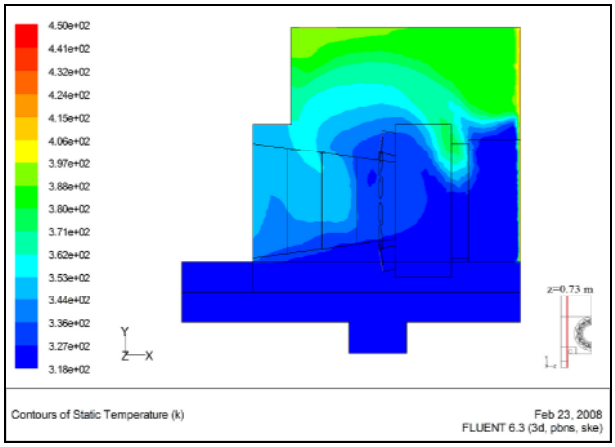
شکل۱۲-کانتورهای دمای سیال در مقطع‌های مختلف از صفحه y



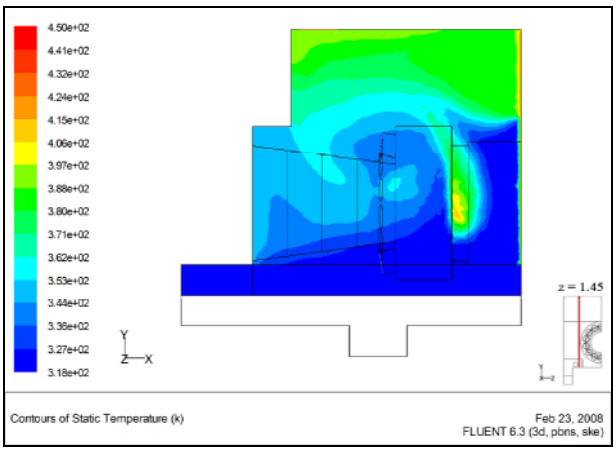
شکل۱۳-نمودار دمای متوسط هوا در صفحه های نشان داده شده در شکل(۱۲)



شکل۱۴-کانتورهای دمای سیال در مقطع‌های مختلف از صفحه X



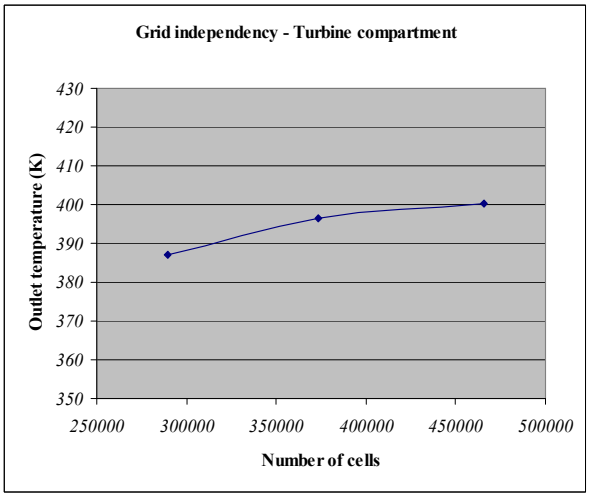
شکل۱۵-کانتور دمای هوای داخل کوپه توربین در صفحه z= ۰/۷۳ m



شکل۱۶-کانتور دمای هوای داخل کوپه توربین در صفحه z= ۱/۴۵ m

۸-بررسی حل مستقل از شبکه

نمودار حل مستقل از شبکه برای کوپه توربین در شکل (۱۷) رسم شده است. برای آزمایش استقلال حل از شبکه از سه شبکه با تعداد سلول‌های ۲۸۹,۵۲۵ ، ۳۷۳,۲۵۶ ، ۴۶۵,۸۹۴ استفاده شده است. از آنجاییکه دما یکی از پارامترهای مهم در بررسی حاضر می باشد از این پارامتر برای ارزیابی حل مستقل از شبکه در کوپه‌ها استفاده می‌شود. با افزایش تعداد سلولها تا ۴۶۵,۸۹۴، تغییرات دمایی در حدود ۳,۸ درجه کلوین می باشد که دما تقریباً ۰,۹۵ ٪ افزایش یافته است. در شکل تغییرات دمای خروجی کوپه توربین در اثر تغییر تعداد سلول‌های شبکه محاسباتی رسم شده است. برای حل نهایی از ریزترین شبکه استفاده شده است.



شکل۱۷-نمودار حل مستقل از شبکه برای کوپه توربین (دمای متوسط خروجی)

۹- نتیجه‌گیری

برخلاف پیش بینی اولیه که انتظار می‌رفت به دلیل حضور فن در ابتدای کوپه، هوا مستقیماً به سمت فن جریان یابد، هوا پس از ورود به کوپه ابتدا تا نواحی انتهایی کوپه رفته و با ایجاد یک گردابه بزرگ به سمت سقف و فن تغییر جهت می-دهد که این امر در خنک‌کاری مناسب تمام اجزای موجود در کوپه اعم از کمپرسور، محفظه احتراق و توربین نقش مهمی دارد. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در کوپه توربین، مشاهده گردید که نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی مطابقت خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نیروگاه دارند. همچنین با توجه به کانتورهای دمای سیال در داخل کوپه و اندازه‌گیری‌های انجام شده در سطوح کمپرسور، توربین و محفظه احتراق، دمای سیال در کوپه توربین منطقی به نظر می‌رسد. بنابراین در حالت کلی دمای متوسط کوپه به تجهیزات داخل کوپه آسیبی وارد نمی‌کند. با توجه به اینکه حداکثر دمای خروجی بدست آمده از نتایج حل عددی در سقف کوپه حداکثر ۱۲۳ درجه سانتیگراد و با در نظر گرفتن اینکه جنس پره‌ها از آلیاژ آلومینیوم می‌باشد و طبق مشخصات شرکت سازنده فن تحمل دمای تا حدود ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد را دارند. لذا فن و پره‌های آن از نظر تحمل دما دچار مشکل نیستند.

قدردانی و سپاسگزاری

در پایان از زحمات کلیه پرسنل شریف، مهربان و خونگرم استان خوزستان خصوصاً آقای مهندس صادق آبادی، مهندس جمالی، مهندس قمری و مهندس طاهری در نیروگاه گازی آبادان و همچنین سرکار خانم خبازی، سرکار خانم عباد و آقای مهندس رئیس پور در برق منطقه ای خوزستان که در کلیه مراحل ما را صمیمانه یاری کردند و در طول انجام پروژه به ما محبت و لطف زیادی نمودند کمال تشکر و قدردانی را می نماییم.

منابع و مراجع:

[1] GE Energy Products-Europe, 2003, 4 x FRAME 9171 E GAS TURBINES
[2] ABADAN POWER PLANT (OPERATION AND MAINTENANCE
[3] Frank P.Bleier, "Fan Handbook: selection, application and design", McGRAW-HILL, 1997
[4] Gary Benson (The New York Blower Company), Frank Breining (Airmaster Fan Company), Don Casada (Diagnostic Solutions, LLC), Brad Gustafson (U.S. Department of Energy), Tom Gustafson (Hartzell Fan, Inc.), Tony Quinn (American Fan Company & Woods USA Division), Paul Saxon (Air Movement and Control Association International, Inc.), Bill Smiley (The Trane Company), Sastry Varanasi (ABB Fan Group North America), Dick Williamson (Twin City Fan Companies, Ltd.), Ron Wroblewski (Productive Energy Solutions), 1998, Improving Fan System Performance - A Source Book for Industry, US Department of Energy.
[5] Multi-Wing Optimiser Software
[6] FLUENT6.3 Documentation and User's Guide