

## بررسی علل سایش ساقه شیر کنار گذر توربین فشار ضعیف نیروگاه توس و ارائه راهکار بهینه

محسن کهرم  
استادیار دانشگاه فردوسی مشهد  
[kahrom\\_m@yahoo.com](mailto:kahrom_m@yahoo.com)

قاسم بهادری  
رئیس اداره تعمیرات توربین-نیروگاه توس  
[gbgh82@yahoo.com](mailto:gbgh82@yahoo.com)

مجتبی غفوری نژاد  
کارشناس مکانیک معاونت مهندسی-نیروگاه توس  
[mghafouri52@yahoo.com](mailto:mghafouri52@yahoo.com)

**کلید واژه:** سایش ، آنالیز تنش، شیر کنار گذر، سرعت سیال، فشار سیال ، مدل سازی

### چکیده

علت اصلی سایش مربوط به مسیر بخار گرمکن متصل به شیر مذکور است که به طور مداوم برای جلوگیری از کندانس شدن بخار داخل شیر مقداری از بخار را به سمت والو ورودی توربین فشار متوسط هدایت می نماید. بخار خروجی از این مسیر گرمکن دارای سرعت زیادی بوده بطوری که در هنگام عبور از روی ساقه شیر موجبات خوردگی سایشی زودهنگام آن را فراهم می نماید. پس از مدل سازی و مشخص شدن علت خوردگی ، پیشنهادی جهت جلوگیری از بروز مشکل ارائه شد که این راهکار در تعمیرات نیمه اساسی واحد ۴ در آذر ۹۱ اجرایی گردید.

با توجه به این که سایش زود هنگام ساقه والوهای کنارگذر توربین فشار ضعیف نیروگاه توس در سالهای اخیر طبیعی نبود و به دلیل تحمیل هزینه های زیاد برای تعویض آن، الزام به بررسی های همه جانبه و دقیقی وجود داشت. به همین منظور با تعریف و اجرای پروژه تحقیقاتی با همکاری اساتید دانشگاه فردوسی در قالب پروژه اینترنتشیب در مدت ۱۳ ماه علل سایش و راهکار اجرایی برای جلوگیری از خوردگی زود هنگام ساقه ها به کمک مدل سازی شیر بای پاس و مسیرهای ورودی و خروجی آن و محاسبه سرعت و فشار سیال در نقاط مختلف شیر انجام گردید. بررسی ها نشان داد

### ۱- مقدمه

طی چند سال اخیر در هر دوره تعمیرات نیمه اساسی واحدهای نیروگاه توس ( هر ۲.۵ سال) پس از باز کردن شیر مقداری خوردگی در ساقه والو مشاهده می شد. میزان این خوردگی در دوره بعد تعمیرات (تعمیرات اساسی) به میزان قابل توجهی افزایش می یافت به گونه ای که این قطعه دیگر قابل استفاده نبود(شکل ۱ و ۲) و ناگزیر از تعویض آن بودیم که این موضوع به علت وارداتی بودن این قطعه به دلیل جنس خاص آلیاژ آن ( فولاد  $I.4435$  با روکش استلایت مقاوم به سایش) و عدم توانایی تولید داخل، هزینه های بسیار بالایی را به نیروگاه تحمیل می کرد. همچنین در دوره های اخیر به علت اعمال تحریم ها علیه کشور واردات این قطعه با مشکلات فراوانی همراه بوده و بعضاً غیر قابل ممکن شده است. به همین علت بررسی و رفع نقص این شیر در اولویت پروژه های نیروگاه توس قرار گرفت و در شهریور ماه سال ۱۳۸۹ کار بر روی این پروژه به طور رسمی آغاز گردید.



شکل ۱- استم باز شده در اولین دوره تعمیرات



شکل ۲- استم تعویض شده به علت خوردگی بالا در دومین دوره تعمیرات

## ۲- فرضیات اولیه پروژه

اولین فرضیه که پیش از شروع کار بر روی پروژه مطرح شده بود ایجاد خوردگی توسط جت آب حاصل از آب زن والو که در هنگام باز شدن والو در زمان راه اندازی یا تریپ واحد وارد مدار می شود (جهت اسپری آب و خنک کردن بخار) بود. علت مطرح شدن این فرضیه محل قرار گیری نازل آب زن بود که درست در مقابل مکانی که خوردگی ایجاد می شود، قرار گرفته است. جهت بررسی این فرضیه یک پلیت جلوی نازل اسپری قرار داده شد تا از اسپری مستقیم آب روی ساقه جاوگیری کند. علی رغم این تدبیر، در دوره بعدی تعمیرات باز هم این خوردگی ها مشاهده گردید و این فرضیه رد شد.

فرضیه بعدی ایجاد خوردگی شیمیایی (*corrosion*) در شیر و محل ساقه آن بود که با توجه به موضعی بودن محل خوردگی و عدم همخوانی آن با مدل های خوردگی شیمیایی رد شد. فرضیه آخری که مطرح شد ایجاد خوردگی به علت سایش توسط جریان بخار گرمکن در شیر بود که با توجه به بررسی های اولیه در شروع پروژه و مدل خوردگی احتمال صحت این فرضیه قوت بیشتری پیدا کرد. برای بررسی این فرضیه تحقیقات جامع تری به کمک مدلسازی انجام شد.

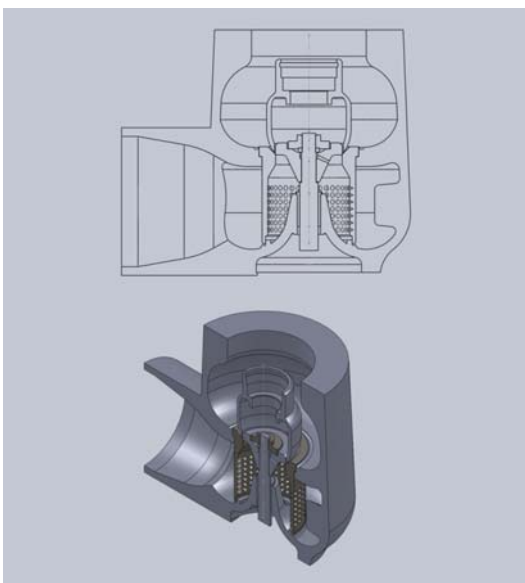
## ۳- هندسه مسیر شیر و مدل سازی

اولین گام جهت شروع حل مسئله مطالعه کامل هندسه مسیر و شیر و سپس مدلسازی آن می باشد که با استفاده از نقشه های موجود شیر و مسیر آن و همچنین بازدیدهای صورت گرفته از مسیر و محل قرار گیری شیر کار مدل سازی آغاز گردید.

در این پروژه مدل سازی را می توان دشوارترین مرحله و جزو زمان بر ترین مراحل پروژه دسته بندی نمود. از علل دشواری و زمان بردن مرحله آن می توان به عدم دسترسی به نقشه های دقیق قطعات در نقشه های موجود در مرکز اسناد فنی نیروگاه اشاره کرد [2]. از آنجا که کشورهای سازنده، نقشه های دقیق این قطعات را در اختیار نیروگاه قرار نداده اند و نقشه های موجود اکثرا یا نقشه های شماتیک یا نقشه های بیست که جهت معرفی و نمایش قطعات جهت تعمیرات هستند لذا مدل سازی از روی این نقشه ها کار بسیار دشوار و زمان بری بود. برای مدل سازی از نرم افزار *SolidWorks* مدل 2010 استفاده شده است. علت این انتخاب قدرت بالای نرم افزار در مدل سازی قطعات صنعتی و همچنین توانایی بسیار بالا در تهیه مدل های مونتاژی است. اولین گام در شروع فرآیند مدل سازی استخراج ابعاد و اندازه های موجود بر روی نقشه ها بود که از آنها برای تنظیم مقیاس طولی و عرضی نقشه استفاده شد. برای بدست آوردن مقیاس، نقشه های موجود

اسکن شده و فایل کامپیوتری آنها جهت ادامه کار و استخراج ابعاد آماده گردید.

به کمک نرم افزار *PhotoShop* اندازه برداری دقیق از روی نقشه و استخراج ابعاد قطعات موجود و بدست آوردن ابعاد واقعی آن با استفاده از مقیاس بدست آمده آغاز گردید. در این مرحله قطعات پوسته، استرینر، ساقه، بوش آب بند، دسک و نگهدارنده آن، آب بند مسیر پیش گرمکن و دیسک کنترل والو مدل شد. پس از مدل سازی کامل قطعات، مرحله بعد تهیه مدل مونتاژی شیر است. این قسمت مهمترین بخش کار در قسمت مدل سازی است. به این علت که تمامی قطعات باید دقیقا طبق نقشه و با همان نحو در محل خود قرار داده شوند تا مدل مونتاژی دقیقا منطبق بر نقشه ها و مدل واقعی شیر باشد.



شکل ۳- نمای سه بعدی و دوبعدی برش خورده مدل مونتاژی

مدلسازی مسیر نیز با استفاده از نقشه شماتیکی که از مسیر در دست بود و همچنین اندازه گیری طول لوله ها و زاویه خم های آن از محل انجام گردید. در مرحله تحلیل، معادلات حاکم بر جریان باید در حجمی که بخار حرکت می کند حل شوند (یعنی حجم داخل مسیر و شیر) لذا پس از اتمام مدل سازی مسیر، در مرحله بعد، استخراج مسیر عبور بخار از روی مدل شیر و مسیر انجام شد. استخراج مسیر بخار در قسمت خط اصلی تا محل شیر به علت اینکه بخار در این قسمت توسط لوله انتقال می یابد مشکل نیست ولی استخراج مسیر طی شده توسط بخار در قسمت شیر به علت پیچیدگی مجرای شیر مشکل بوده و زمان زیادی را به خود اختصاص داد. با استفاده از برخی امکانات نرم افزار *SolidWorks* مسیر تقریبی بخار استخراج شد و سپس با استفاده از نقشه قطعات طراحی شده و استفاده از تکنیک *reverse* کردن نقشه، مسیر بخار دقیقا منطبق مسیر واقعی بدست آمد.

### ۳-۱- تعیین شرایط مرزی جهت شروع تحلیل:

مقدار	خواص بخار
گاز ایده آل - جریان غیر قابل تراکم	چگالی (Density)
$2014 \text{ J/kg-k}$	ظرفیت گرمایی (Cp)
$0.0261 \text{ W/m-k}$	رسانش گرمایی (Thermal conductivity)
$1.34e-5 \text{ kg/m-s}$	Viscosity
$18.01534$	وزن مولکولی (Molecular weight)

جدول ۱- شرایط مرزی

### ۴- تحلیل کامل مسیر

با توجه به این که در اسناد نیروگاه دبی خط گرمکن بخار ارائه نشده بود، اولین گام، تحلیل مسیر کامل شیر جهت تعیین دبی بخار گرمکن عبوری از شیر می باشد. با توجه به دبی اصلی بخار و افت های موجود در مسیر بخار گرمکن مدل سازی انجام و نتایج زیر حاصل شد:

فشار در خروجی توربین و مسیر بخار گرمکن	دبی مسیر بخار گرمکن	دبی خروجی به توربین	دبی خط اصلی
$2127825 \text{ Pa}$	$2.62 \text{ Kg/s}$	$128.86 \text{ Kg/s}$	$131.5 \text{ Kg/s}$

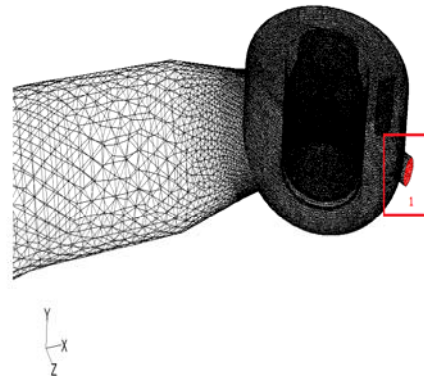
جدول ۲- دبی و فشار محاسبه شده در شیر برای مسیر بخار گرمکن

همانطور که در نتایج بالا مشاهده می شود دبی عبوری از مسیر کنارگذر برابر با  $2.6328$  کیلوگرم بر ثانیه تعیین می شود. بر اساس دبی محاسبه شده توسط نرم افزار، شیر و مسیر مربوطه مدل سازی گردید و بردارها و خطوط سرعت در اطراف ساقه شیر به شرح ذیل بدست آمد:

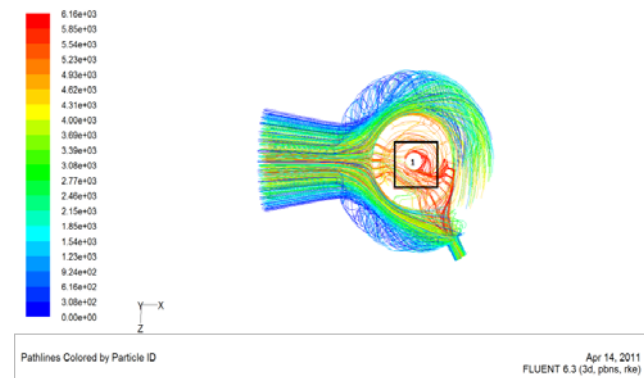
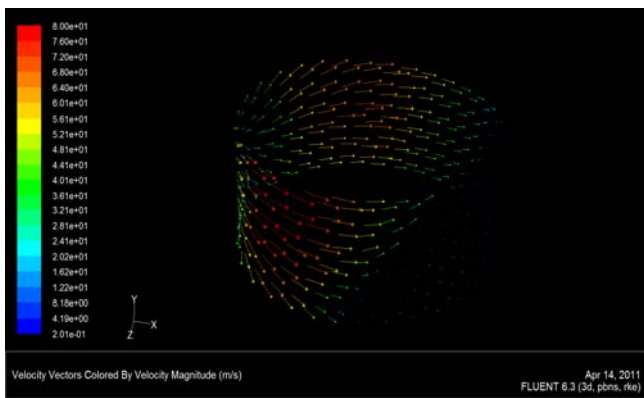


شکل ۴- نمایش سه بعدی از مسیر بخار در شیر و مسیر

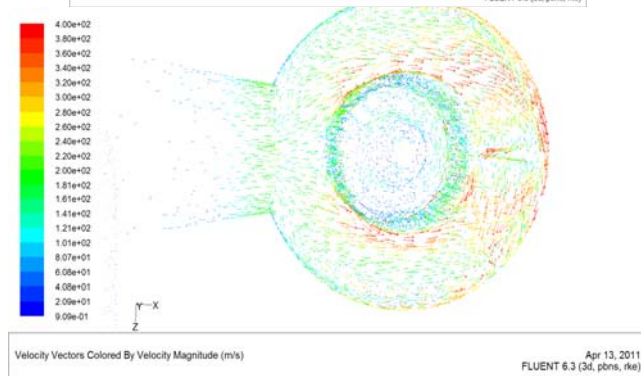
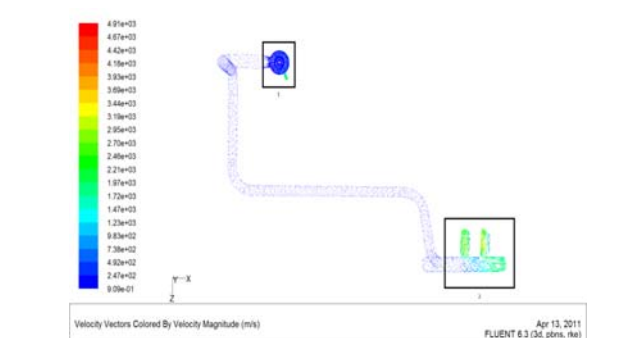
پس از اتمام مرحله مدل سازی، مرحله بعد آماده کردن مدل جهت شروع تحلیل می باشد. برای آماده سازی مدل تحلیلی پس از تهیه نقشه ها در نرم افزار SolidWorks نقشه ها به فرمت مناسب جهت استفاده در نرم افزار Gambit جهت شبکه بندی و آماده کردن آن جهت تحلیل تبدیل گردید.



شکل ۵- بزرگنمایی مش بندی ناحیه ورود بخار به شیر



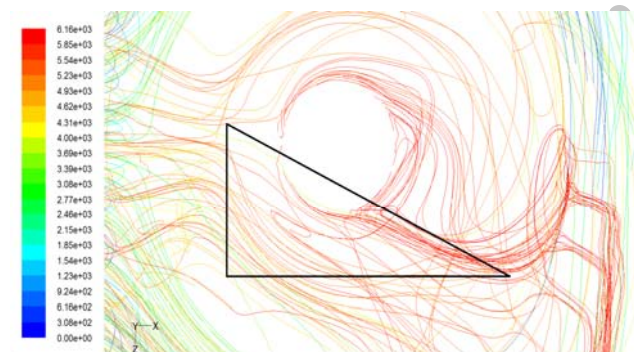
شکل ۷- توزیع خطوط و بردارهای سرعت بر روی استم



شکل ۶- بردار سرعت در مسیر و شیر

حداقل سرعت	حداکثر سرعت
$0.2005958 \text{ m/s}$	$2881.357 \text{ m/s}$

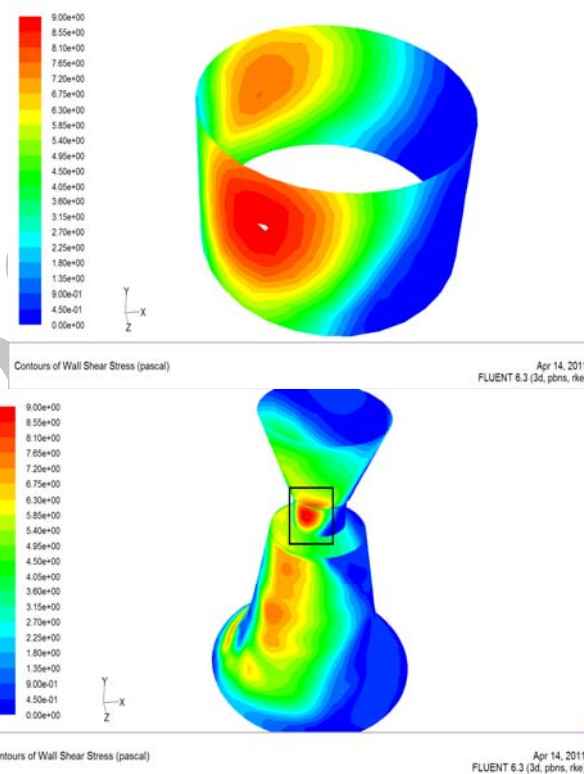
با مقایسه تصویر سایش با مسیر جریان حاصل از تحلیل (ناحیه مشخص شده در شکل ۸) می توان انطباق مسیر جریان های پرسرعت [1] را با قوس سایش ایجاد شده روی ساقه مشاهده نمود.



شکل ۸- تطابق نمودار خطوط جریان در شیر [1] با بخش هایی از ساقه که دچار سایش شده اند

#### ۴-۱- تعیین تنش های وارده به ساقه و پلاگ شیر

پس از تعیین خطوط سرعت، جهت بررسی وضعیت تنش های اعمالی، ساقه و پلاگ والو نیز تحت مدل تعیین مقدار تنش های وارده قرار گرفت که نتایج حاصل از مدلسازی آن در شکل ۹ آمده است. همانطور که در ناحیه مشخص شده در شکل قابل مشاهده است، علاوه بر ناحیه ای از ساقه که تحت بیشترین تنش برشی است مقدار تنش در روی بخشی از دیسک نیز بالاست. این موضوع احتمال ایجاد خوردگی بر روی دیسک را افزایش می دهد. پس از باز شدن شیر در تعمیرات سال جاری (آذر ۹۱)، مقداری سایش (کمتر از استم) بر روی همان بخش از دیسک نیز مشاهده شد (شکل ۱۰) که نشاندهنده صحت مدلسازی انجام شده بود.



شکل ۹- توزیع تنش بر روی سطح استم و دیسک

کادرهای مشخص شده روی شکل ۱۰ خوردگی بر روی دیسک و خوردگی بر روی ساقه را نمایش می دهد. با بررسی توزیع تنش بر روی استم و مقایسه آن با تصویر بالا، انطباق نقاط تحت بیشترین تنش با نواحی که دچار سایش شده اند، مشهود است.

#### ۵- ارائه و بررسی راهکارها

با توجه به تطابق محل های دچار سایش با نتایج مدلسازی بر روی شیر و تایید اینکه عامل ایجاد سایش در شیر جریان بخار گرمکن می باشد، جهت رفع سایش و جلوگیری از تکرار مجدد، ارائه طرح جدید و راهکار مناسب جهت رفع مشکل اصلی ترین هدف این پروژه بود. در ارائه و انتخاب طرح برای بهینه سازی شیر، پارامترهای مهمی نقش دارند. طرح ارائه شده باید بتواند از ایجاد سایش بر روی شیر جلوگیری نماید و به گونه ای باشد که با حداقل تغییرات در شیر همراه باشد. علاوه بر این موارد هزینه و زمان ساخت و اعمال تغییرات نیز می بایست در حد قابل قبول و توجیه پذیری باشد. بنابراین برای بهینه سازی شیر سه طرح در نظر گرفته شد که در زیر به توضیح درباره آنها پرداخته می شود.

یکی از راهکارهای مطرح شده برای بهینه کردن طرح تغییر در مسیر خط لوله و اضافه کردن یک خط دیگر جهت عبور بخار از مسیر کنار گذر بود. این طرح در همان ابتدا به این علت که پیاده سازی آن مستلزم ایجاد تغییرات بسیار زیادی در خط بود و همچنین هزینه بالای آن رد شد.

طرح دیگری که جهت بهینه سازی مطرح گردید نصب اورفیس جهت کاهش دبی و سرعت جریان در خط خروجی بخار از شیر بود. این طرح به علت اینکه بدون ایجاد هیچگونه تغییری در شیر قابل اجرا بوده و همچنین هزینه اجرای آن بسیار پایین بود مورد توجه قرار گرفت و به بررسی آن جهت پیاده سازی پرداخته شد. در بررسی ها مشخص شد نصب اورفیس باعث افزایش افت فشار در مسیر شده و دبی خط بخار گرمکن کاهش پیدا می کند. با توجه به این که کاهش فشار بخار احتمال ایجاد قطرات آب در مسیر کنار



شکل ۱۰- خوردگی در ساقه و دیسک شیر که منطبق با محل های ماکزیمم تنش (حاصل از نتایج مدلسازی در شکل ۹) است

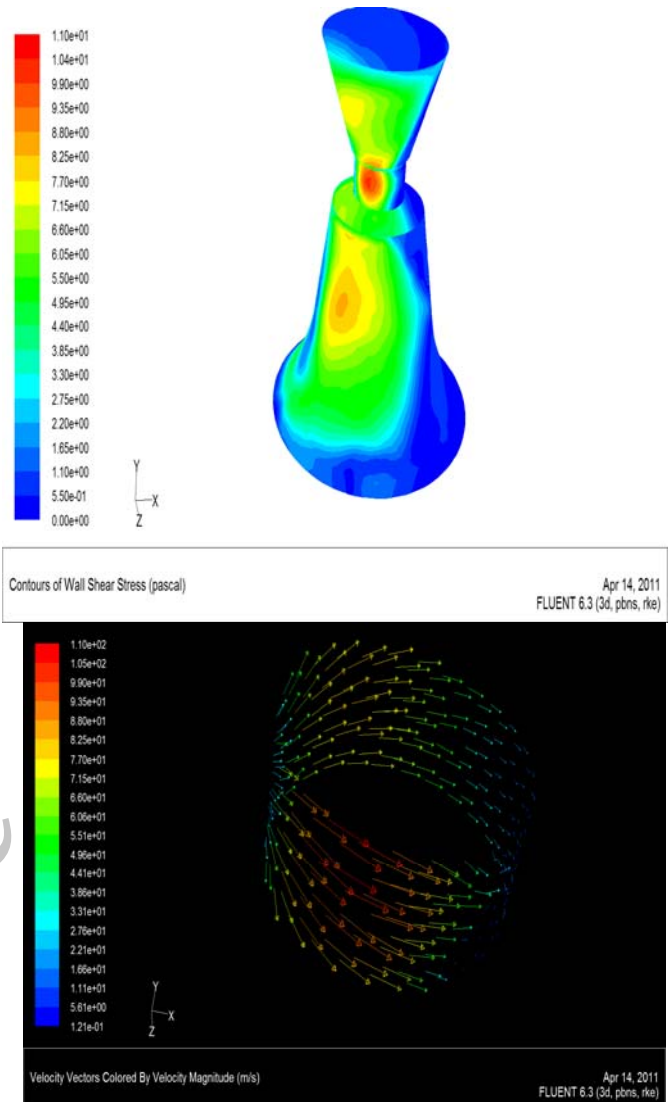
## Fluent تحلیل گردید.

گذر یا شیر را افزایش می داد و از طرف دیگر ظرفیت گرم نگه داشتن خط نیز پایین می آمد ، نصب اورفیس به کمک نرم افزار برای این تحلیل اورفیس با شعاع عبور ۱۰ سانتیمتر کوچکتر از شعاع داخلی خط در نظر گرفته شده و تحلیل انجام شد.

خوردگی رخ می دهد تحت بیشترین تنش برشی قرار دارد بنابراین با توضیحات قبل و تحلیلی که برای حالت نصب اورفیس انجام شد، این نتیجه حاصل می شود که نصب اورفیس علاوه بر آن که نمی تواند از ایجاد سایش جلوگیری کند، ظرفیت گرم نگه داشتن خط را نیز پایین می آورد. بنابراین این طرح راهکار مناسبی جهت حل این مشکل نمی باشد.

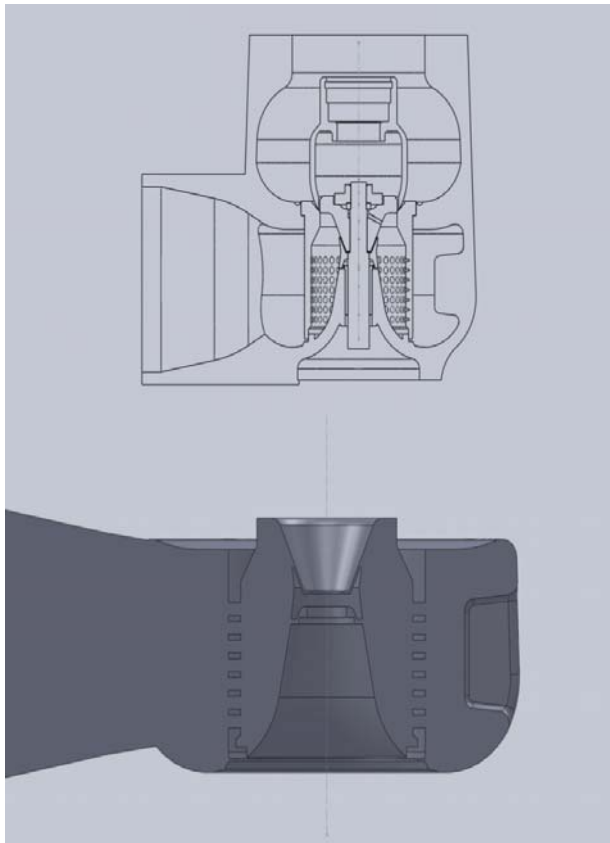
### ۵-۱- طراحی غلاف جهت پوشش استم

طرح بعدی که جهت رفع مشکل ارائه شد طراحی یک غلاف پوشاننده استم بود. ایده این طرح از نقشه یک شیر مشابه گرفته شد که ناحیه ساقه و دیسک آن با غلافی پوشانده شده بود. طراحی این غلاف باید به صورتی انجام می گرفت که اولاً برای نصب این غلاف نیاز به هیچ گونه تغییری در شیر نباشد ثانیاً طرح به گونه ای باشد که علاوه بر ساقه ، منطقه ای از دیسک را که تحت بیشترین تنش برشی قرار دارد نیز پوشش دهد. پس از بررسی نقشه شیر، کار بر روی طراحی غلاف آغاز گردید. این غلاف به گونه ای طراحی شد که بتواند دیسک را نیز پوشش دهد. این قطعه عملاً به عنوان یک قطعه ارزان قیمت فداشونده ایفای نقش می کند و در هر دوره تعمیرات اساسی واحد تعویض می شود. طرح این غلاف به همراه نقشه ها و محل نصب آن در ادامه آورده شده است با توجه به حساسیت کار، می بایست اثرات نصب غلاف بر روی دیسک و همچنین تنش وارده به سطح غلاف و سرعت جریان بخار بر روی سطح آن، بررسی و مورد تحلیل قرار می گرفت. بدین منظور شرایط مرزی این تحلیل نیز مشابه موارد قبل بوده و دبی آن  $2.62 \text{ kg/s}$  در نظر گرفته شد مدلسازی و تحلیل مربوطه انجام شد که نتایجی به شرح ذیل حاصل شد

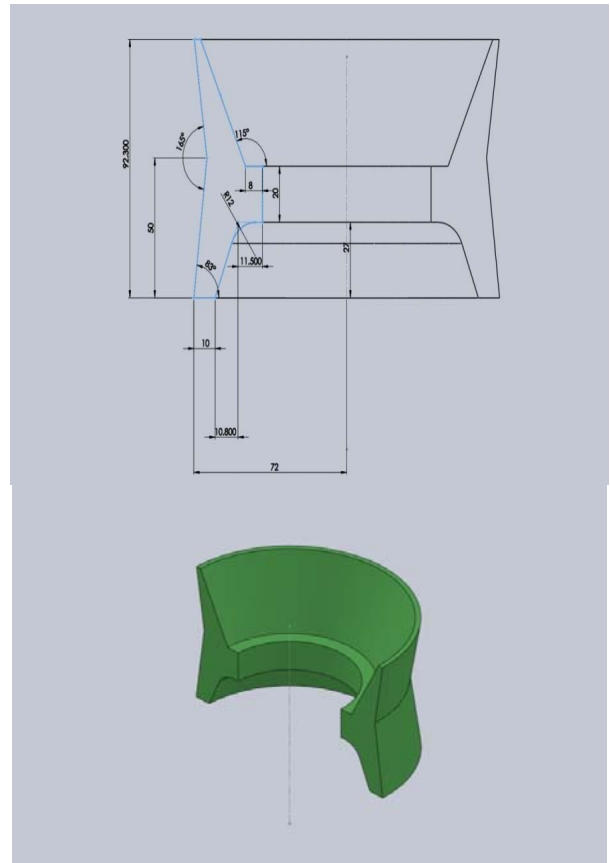


شکل ۱۱- بردارهای سرعت و نمودار تنش روی ساقه در مدل با نصب اورفیس

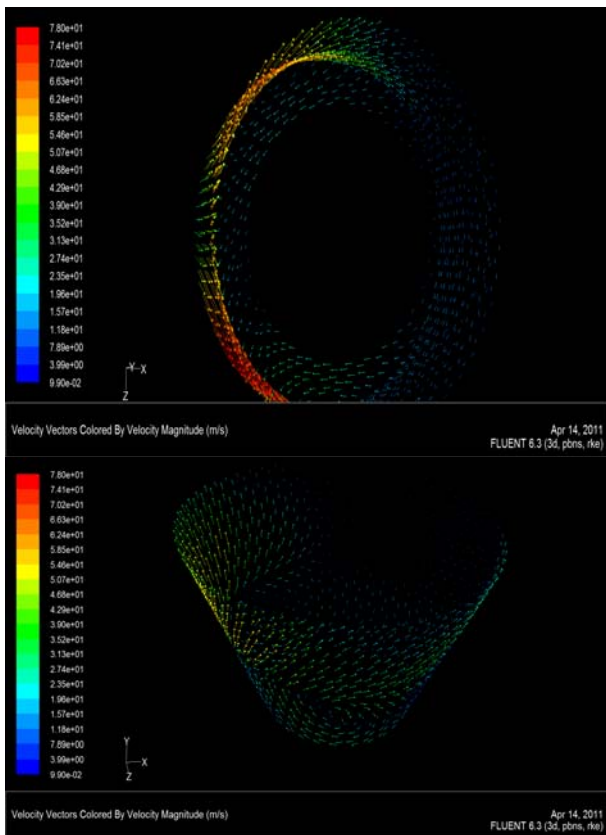
همانطور که در تصاویر بالا مشاهده می شود در شرایط دبی یکسان نصب اورفیس سرعت و تنش روی استم را افزایش می دهد. علاوه بر این موضوع ، پس از نصب اورفیس باز هم دقیقاً مکانی که در آن



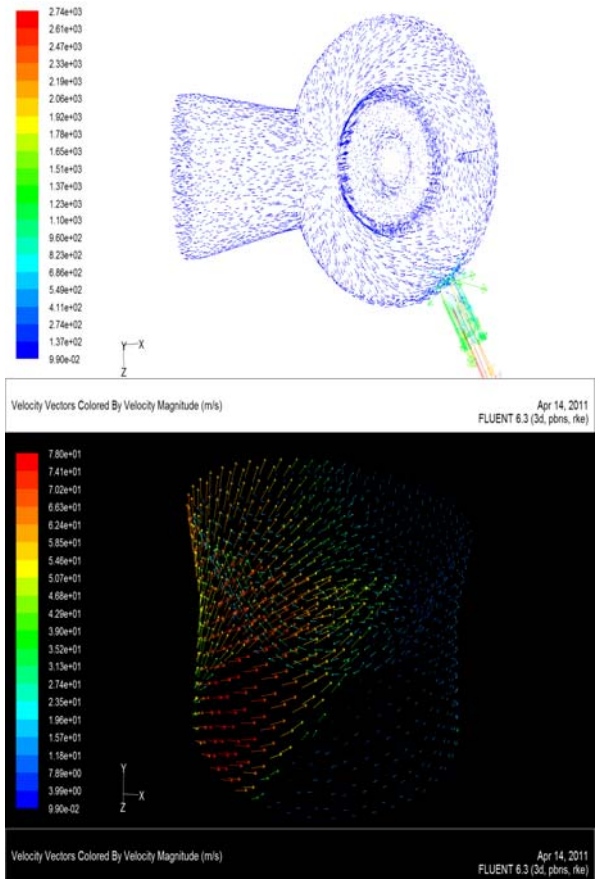
شکل ۱۳- نمای دوبعدی برش خورده مدل مونتاژی پس از نصب غلاف



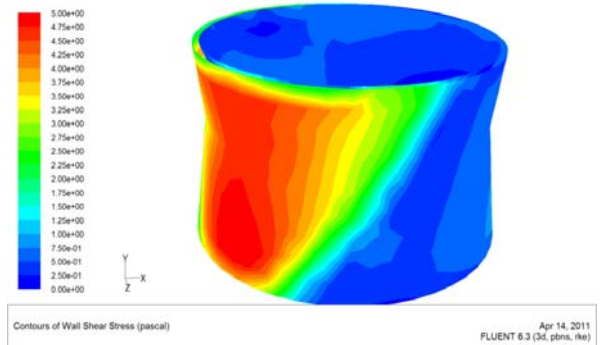
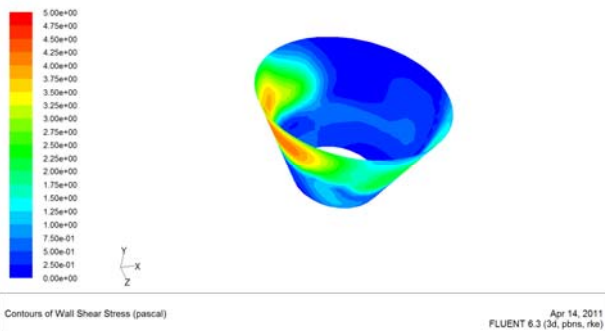
شکل ۱۲- نمای سه بعدی برش خورده غلاف همراه با ابعاد دقیق



شکل ۱۵- تصویر بردارهای سرعت بر روی غلاف و دیسک والواز نمای بالا



شکل ۱۴- بردارهای سرعت در اطراف شیر پس از نصب غلاف



شکل ۱۶- توزیع تنش برشی بر روی غلاف و دیسک



همانطور که در تصاویر بالا مشاهده می شود. پس از نصب غلاف بر روی ساقه، غلاف به طور کامل ساقه را پوشش می دهد و عملاً بخار با ساقه تماسی نخواهد داشت. نکته بعد که بررسی آن مهم تر است، اثر نصب غلاف بر سرعت بخار و تنش وارده بر روی سطح دیسک می باشد. همانگونه که در شکل ۱۶ مشاهده می شود در با مقایسه با شکل ۹ شاهد کاهش به میزان ۴۴٪ در بیشترین تنش برشی وارده به سطح دیسک هستیم. همچنین به علت اینکه ناحیه بالاترین تنش برشی وارده در پیشانی غلاف قرار دارد (روبروی محل ورود بخار به شیر) با توجه به الگوی جریان و افزایش سطح تماس یخار با فلز، عملاً امکان ایجاد خوردگی کمتر خواهد شد از طرف دیگر با توجه به این که امکان ساخت این غلاف در کارگاه تراشکاری نیروگاه نیز وجود داشت این پیشنهاد به عنوان راهکار حل مسئله به مسئولین نیروگاه ارائه گردید.

#### ۶- نتیجه گیری :

با توجه به تطابق نتایج حاصل از مدلسازی انجام شده با مشاهداتی که روی ساقه شیر وجود داشت صحت انجام مدلسازی از طرف آقای دکتر کهرم (استادیار سیالات دانشگاه فردوسی) و همچنین مسئولین نیروگاه تایید گردید و در آخرین تعمیرات نیمه اساسی واحد (آذر ماه ۹۱) این غلاف از جنس *DIN 1.4021* ساخته و روی ساقه کنترل والو شیر کنار گذر نصب شد.

شکل ۱۷- ساخت غلاف پوششی ساقه و نصب آن روی ساقه کنترل والو شیر کنار گذر واحد ۴ در آذر ماه ۹۱

#### ۷- منابع :

[1] -C. Wilcox. *Turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries, Inc., La Canada, California, 1998

[۲] شرکت BBC, نقشه ساختار شیر و اطلاعات موجود در مرکز اسناد نیروگاه