



طراحی و ساخت ماشین سوخت راکتور صفر قدرت آب سنگین (HWZPR)

سعید، معظمی؛ جمشید، خورسندی*؛ منصور، طالبی

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور

چکیده

ماشین سوخت تجهیزاتی است که بوسیله آن عمل سوخت گذاری و سوخت برداری راکتور HWZPR که پیش از این کاملاً به صورت دستی انجام می‌گرفت با حداقل دخالت دست و بدون نیاز به نزدیک شدن به قلب راکتور صورت می‌پذیرد. در این مقاله تمامی مراحل طراحی و انتخاب مکانیزم ماشین سوخت به طور اجمالی ارایه شده است. در نهایت ماشین سوخت پس از مراحل طراحی و ساخت بر روی سازه پل شکل موجود بالای تانک راکتور نصب و با موفقیت راه اندازی شد و هم اکنون در حال کار است.

واژگان کلیدی: HWZPR، ماشین سوخت، آب سنگین، صفر قدرت، ANSYS

مقدمه

میله های سوخت راکتور HWZPR از میله های آلومینیومی حاوی کپسول های اورانیوم فلزی طبیعی (با غلاف آلومینیم) تشکیل شده است. هر میله سوخت حاوی بیست کپسول سوخت است و مجموعاً ۳۶ کیلوگرم وزن دارد [۱]. سوخت گذاری به صورت دستی و توسط دو اپراتور سوخت گذار انجام میشود. شیوه دستی سوخت گذاری برای نوع دیگر سوخت قابل نصب در راکتور یعنی مجتمع سوخت اکسید اورانیوم قابل استفاده نیست. این بدلیل شکل خوشه ای مجتمع سوخت و وزن نسبتاً زیاد آن است. بنا براین طراحی و ساخت یک ماشین سوخت به منظور تسهیل سوخت گذاری با هر دو نوع سوخت مورد توجه قرار گرفت. در مقاله حاضر مراحل مختلف انتخاب مکانیزم ها و منطق استفاده از آنها آمده است. هر یک از مراحل طراحی نیاز به محاسبات دقیق با روش های مختلف از جمله تحلیل المان محدود، محاسبات دستی و نرم افزار های استاندارد [۲] دارند. این محاسبات و تحلیل ها در عمل با دقت و حساسیت برای تمام مراحل صورت گرفته است. در این مقاله مراحل و نتایج طراحی به صورت خلاصه ارایه شده است.

مراحل طراحی و ساخت ماشین قطبی

مکانیزم حرکت کلی ماشین سوخت گذار با توجه به محدودیت های فضا و لزوم نصب آن بر روی سازه موجود به صورت قطبی در نظر گرفته شده است به این صورت که یک بازوی دورانی در قسمت فوقانی راکتور

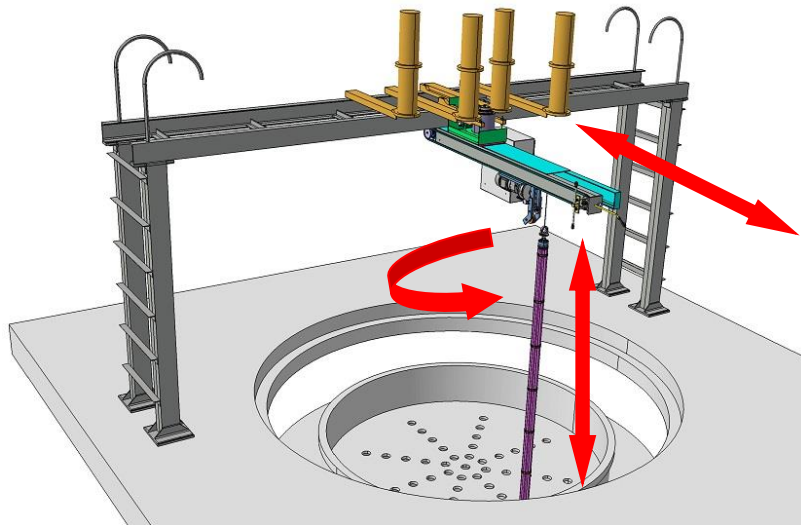


و بر پل نگهدارنده مجموعه درایو های میله های کنترل و ایمنی نصب می گردد. ماشین سوخت باید به تمامی نقاط راکتور دسترسی داشته باشد که این امکان توسط سه جهت حرکتی فراهم می گردد:

- ۱- حرکت قطبی که با دوران بازوی ماشین سوخت صورت می گیرد
- ۲- حرکت شعاعی که در طول بازوی ماشین سوخت صورت می گیرد.
- ۳- حرکت عمودی که توسط یک سیم بکسل و وینچ محرک آن صورت می گیرد.

با ترکیب این سه صورت حرکت می توان به تمامی مجتمع های سوخت دسترسی داشته و آنها را از داخل تانک راکتور بیرون کشیده یا داخل راکتور جایگذاری کرد.

نکته مهم در طراحی دستگاه لزوم طراحی جانمایی (positioning) است که علاوه بر طراحی بر اساس استحکام در مورد تجهیز ما بسیار مهم است. طراحی جانمایی به صورت خاص برای تجهیز پیش روی ما به علت کمبود شدید فضا و تداخل با تجهیزات ساخته شده پیشین بسیار مهم خواهد.



شکل (۱) نمایی از تجهیز ماشین سوخت نصب شده بر روی پل راکتور و جهت حرکتی آن

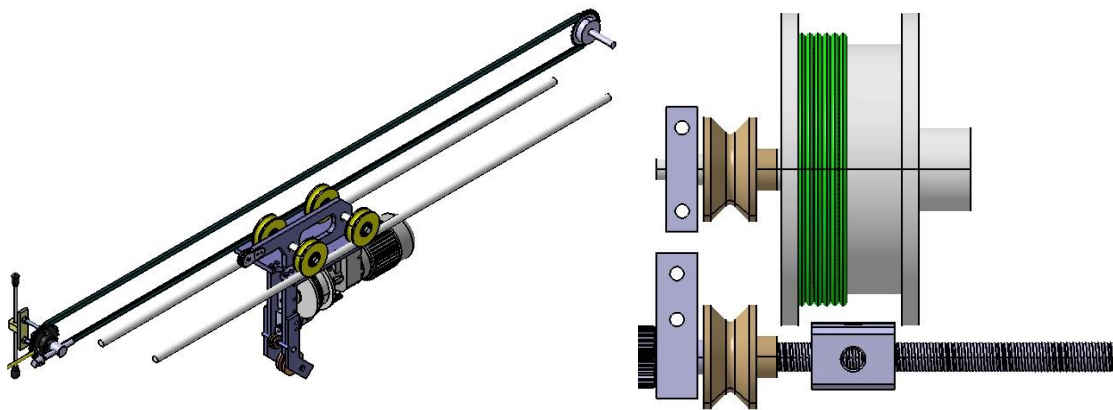
طراحی وینچ، سیستم جمع کننده سیم بکسل و سیستم موتور و گیربکس

برای انتخاب وینچ مناسب بایستی سرعت پیشینه تقریبی مناسب برای حرکت قلاب را در نظر گرفت. با توجه به شرایط کارکرد دستگاه در میدان پرتو بایستی سرعت عملکرد دستگاه تا حد امکان بالا بوده تا کمترین میزان دریافت پرتو را برای کارکنان دستگاه ارائه کند. همچنین به علت امکان بروز هرگونه سانحه نباید سرعت عملکرد دستگاه بیش از حد بالا باشد، لذا سرعت پیشینه عملکرد وینچ به گونه ای انتخاب شده است که مجتمع سوخت را طی حدود ۴۰ ثانیه از قلب خارج کرده یا در جای خود قرار دهد. با توجه به سرعت کم حرکت



کابل بایستی از یک موتور و یک گیربکس کاهنده استفاده کرد که سرعت دورانی آن تا حد امکان پایین باشد. موتور انتخاب شده بایستی توانایی ایجاد خروجی با دور متغیر را داشته باشد لذا از موتور سه فاز و یک اینورتر برای این منظور استفاده می‌شود. با توجه به نوع طراحی و محدودیت فضا بایستی از گیربکسی استفاده کرد که ورودی و خروجی آن همراستا باشند تا از عدم تعادل بار جلوگیری شود. بدین منظور استفاده از گیربکس شفت مستقیم helical توصیه می‌شود. از آنجا که گیربکس های هلیکال بر خلاف گیربکس های حلزونی خود قفل نیست، اگر در حالتی که بار وزن بر روی وینچ باشد جریان الکتریکی از موتور برداشته شود بار تحت نیروی وزن خود پایین می‌آید. به همین دلیل موتور و گیربکس مورد استفاده بایستی دارای سیستم ترمز باشد تا از سقوط بار هنگام قطع جریان جلوگیری کند. اگر هنگام کارکرد دستگاه سیم بکسل ها به صورت نامنظم بر روی درام وینچ بسته شوند و یا روی یکدیگر بیفتند علاوه بر این که عمر سیم بکسل به شدت کاهش می‌یابد، احتمال باز شدن تاب سیم ها و رها شدن یکباره بار نیز وجود دارد. برای جلوگیری از این اتفاق از یک پیچ قدرت و مهره آن به عنوان راهنمای سیم بکسل استفاده می‌کنیم (شکل ۲).

برای موتور و وینچ یک پایه مناسب و یک سیستم حرکت خطی انتخاب شده است. به منظور به دست آوردن حرکت نرم و دقیق سیستم یک مکانیزم ریلی با استفاده از دو عدد شفت دقیق سنگ خورده به عنوان ریل در نظر گرفته شده تا مجموعه کابل (سیم بکسل) جمع کن بتواند در طول بازوی دوار حرکت کند و دسترسی شعاعی را به شبکه راکتور فراهم کند (شکل ۳).

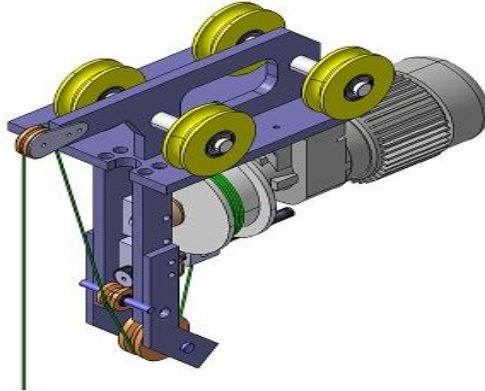


شکل ۲) نمایی از روش کارکرد راهنمای سیم بکسل. شکل ۳) نقشه انفجاری از مکانیزم حرکت خطی وینچ.

نکته بسیار مهم در مورد طراحی سیستم وینچ و حامل آن محدودیت ارتفاع برای استفاده از روش های معمول برای وینچ های جرثقیل های معمولی است. به همین دلیل از دو قرقره واسط استفاده شده است تا سیم بکسل ابتدا مشابه جرثقیل های معمولی پایین آید و سپس پس از گذشتن از قرقره هرزگرد اول به سمت بالا کشیده



شود تا به ارتفاعی بالاتر از وینچ دسترسی پیدا کند و سپس با گذشتن از روی قرقره هرزگرد بالاتر به سمت پایین آمده تا پس از اتصال قلاب بتواند بار را تا ارتفاع مناسب حمل کند. در تصویر زیر (شکل ۴) این روش نشان داده شده است.



شکل ۴) نمای سه بعدی مسیر حرکت سیم بکسل جهت بهبود فضای قابل دسترس برای وینچ

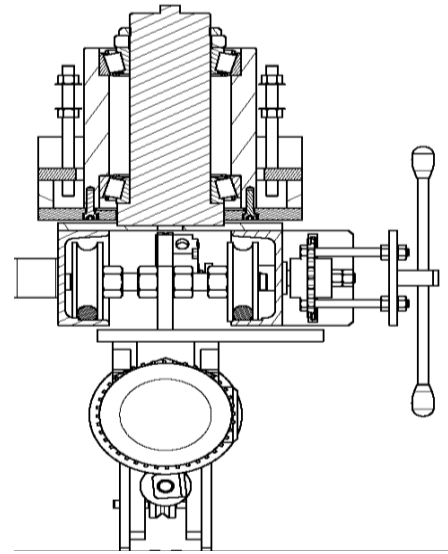
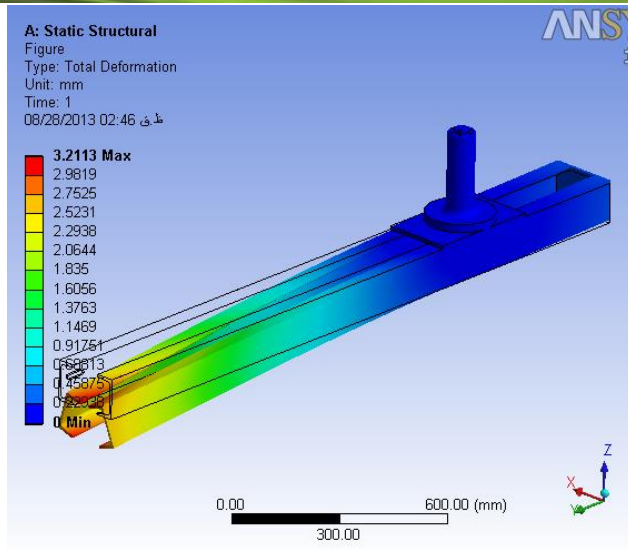
طراحی بازوی دوار

اولین مرحله در انجام طراحی بازوهای دوار انتخاب نوع پروفیل مورد استفاده است. پروفیل رایج در ساخت جرتقیل های معمولی تیر آهن یا همان I-Beam است ولی به دلیل اینکه در ماشین سوخت مورد نظر ما بایستی امکان دسترسی به مرکز پروفیل و در ارتفاع بالاتر از وینچ باشد در طرح ماشین سوخت از دو عدد پروفیل ناودانی C-Beam که به صورت رو در رو قرار گرفته‌اند برای این منظور استفاده شده است.

در تیر های با مقطع غیر دوار در حالت خمش تا حدی پیچش نیز بوجود می آید که تا حدودی بوسیله دو شفت سنگ خورده مهار می شوند. این دو شفت با طولهای مساوی و دو سر موازی که با دقت بالا و تحت تolerانس دقیق ساخته شده‌اند بین دو بازو قرار می گیرند تا توازی دو بازو و همچنین فاصله صحیح آنها از یکدیگر حفظ شود (شکل ۶).

طراحی بلبرینگ های شفت مرکزی

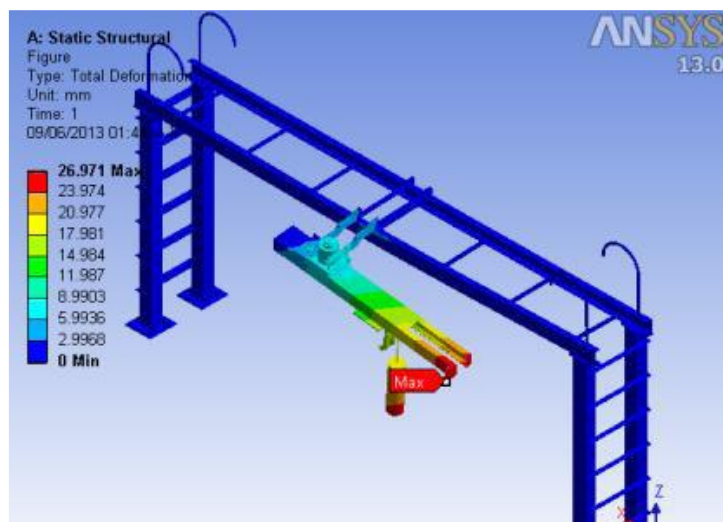
همانگونه که در تصویر (شکل ۵) دیده می شود برای سیستم دورانی بازوها از دو عدد رولبرینگ مخروطی پشت به پشت استفاده شده تا علاوه بر تحمل بار محوری و شعاعی توانایی تحمل نا هم محوری و خیز شفت را هم داشته باشند. برای مهار نیروی محوری بر روی شفت از دو عدد مهره شیار دار استاندارد استفاده شده است.



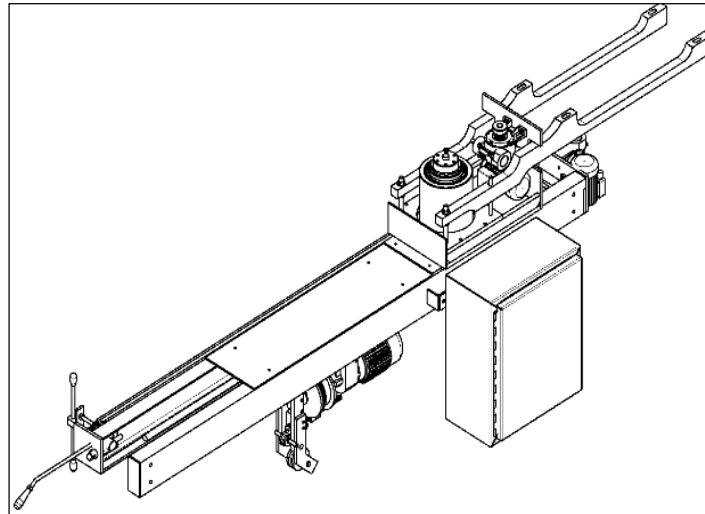
شکل (۵) مقطع برشی از بلبرینگ بندی شفت دوار (شکل ۶) تحلیل خیز و پیچش در بازو های دوار به روش المان محدود

طراحی پایه نگهدارنده

طراحی پایه های اتصال دهنده مجموعه ماشین سوخت به پل راکتور با توجه به نیروهای محاسبه شده در قسمت های قبلی و شرایط جانمایی ویژه ماشین سوخت و تجهیزات مجاور آن صورت می پذیرد. نکته بسیار مهم در اتصال ماشین سوخت به پایه های آن تنظیم ارتفاع و تراز کردن کل است تا کل مجموعه بدون وارد کردن بار بیرونی بر اثر جاذبه دوران نکند.



شکل (۷) نمونه ای از تحلیل المان محدود جهت بررسی خیز بیشینه مجموعه .



شکل ۸) نمای ایزومتریک ماشین سوخت

نتیجه گیری

طراحی و ساخت ماشین سوخت گذار راکتور HWZPR با موفقیت انجام گرفت. نتیجه تحلیل های طراحی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- خیز بیشینه ایجاد شده در هیچ کدام از حالات خارج از محدوده مجاز نبوده و مشکلی در عملکرد دستگاه ایجاد نمی کند.

۲- در تمامی تحلیل های المان محدود برای پذیرش طرح تنش تسلیم به عنوان معیار به کار گرفته شده است و تنش بیشینه محاسبه شده در هیچ کدام از حالات خارج از محدوده مجاز نبوده و تمامی تنش های بالا در اجزاء با رفتار نرم (Ductile) رخ می دهد که به صورت تنش متمرکز بوده و ایجاد خطر نمی کند.

۳- تمامی قطعات استاندارد با توجه به معیار های طراحی دارای ضریب ایمنی مناسب هستند.

۴- تمامی نیروهای در نظر گرفته شده برای تمامی تحلیل ها بیش از مقدار واقعی در نظر گرفته شده است تا نتایج حاصل ایمنی بالاتری داشته باشند.

مراجع

- ۱-China institute of atomic energy, HWZPR safety analysis report, ۱۹۹۵.
- ۲-Ansys code package, Ver. ۱۳, ۲۰۱۲.
- ۳- Din ۱۰۲۶, hot rolled C-Profiles, ۱۹۶۳.
- ۴- MitCalc mechanical component design software documents.
- ۵- Budynas, Shigley's Mechanical Engineering Design, Mcgraw-Hill ۲۰۰۳.