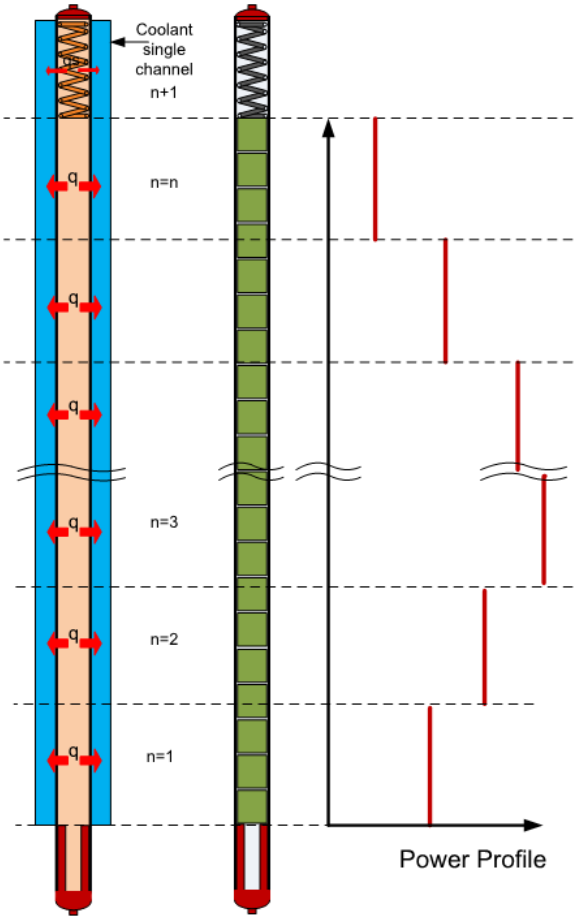
کد محاسباتی تحلیل عملکرد میله سوخت در شرایط پایا (PARS)



راهنمای کاربر

بسته بیست و یکم – نسخه اول – تیر ۱۳۹۶

فهرست مطالب

۱- چکیده ۵

۲- کلیدواژه ۵

۳- اختصارات ۵

۴- مقدمه ۵

۵- دامنه گزارش ۶

۶- پنجره اصلی ورود به برنامه ۶

۷- ثبت داده‌های ورودی ۷

۸- ثبت داده‌های مربوط به مشخصات سوخت ۱۵

۹- ملاحظات مربوط به ثبت داده‌ها و تغییرات ناگهانی توان و شرایط سیال ۲۰

۱۰- دسته‌بندی پارامترهای خروجی کد PARS برای ترسیم نتایج ۲۰

۱۱- ذخیره نمودن نمودار ۲۸

۱۲- امکانات منوی نرم‌افزار ۲۹

لیست شکل‌ها

شکل ۱: پنجره اصلی کد ۷
شکل ۲: روش تعریف تقسیم‌بندی فواصل محوری ۱۲
شکل ۳: مقادیر ارتفاع مورد نظر برای هر یک از فواصل محوری ۱۳
شکل ۴: پیغام خطا در صورت ثبت مقادیر ارتفاع خارج از بازه ۱۳
شکل ۵: تعیین ضریب تبدیل توان به شار نوترون (یکسان برای همه سطوح) در جهت محوری ۱۴
شکل ۶: تغییر مقادیر مربوط به ضریب تبدیل توان به شار نوترون برای هر یک از سطوح در جهت محوری ۱۵
شکل ۷: ثبت داده‌های مربوط به مشخصات میله سوخت ۱۶
شکل ۸: ثبت داده‌های مربوط به تاریخچه عملکرد میله سوخت ۱۷
شکل ۹: تعیین ضرایب توزیع توان محوری در زمان‌های مختلف ۱۷
شکل ۱۰: انتخاب صفحات برای تعیین مقادیر تاریخچه کارکرد سوخت ۱۸
شکل ۱۲: تأیید ورودی‌ها و اجرای برنامه ۱۹
شکل ۱۳: صفحه خروجی‌های برنامه ۲۱
شکل ۱۴: پارامترهای متغیر با زمان ۲۲
شکل ۱۵: رسم نمودار دینامیک تغییرات پارامتر متغیر با زمان در جهت محوری ۲۴
شکل ۱۶: رسم نمودار استاتیک برای تغییر پارامتر با زمان در یک جهت محوری معین ۲۶
شکل ۱۷: رسم نمودار تغییرات پارامتر با تغییرات Burn up در یک سطح محوری معین ۲۷
شکل ۱۸: نمودار دینامیک تغییرات پارامتر در جهت شعاعی با زمان در یک سطح محوری معین ۲۸
شکل ۱۹: ذخیره‌سازی نمودارهای خروجی ۲۹

لیست جدول‌ها

جدول شماره ۱: داده‌های ورودی مورد نیاز حل مساله برای کد PARS..... ۷
جدول شماره ۲: پارامترهای عمومی برای رسم نمودار تغییرات در طول زمان ۲۱
جدول شماره ۳: پارامترهای خروجی متغیر با زمان یا Burn up در جهت محوری ۲۳
جدول شماره ۴: پارامترهای خروجی متغیر با زمان در جهت شعاعی ۲۸

۱- چکیده

میله سوخت به عنوان یکی از مهمترین اجزای یک راکتور هسته‌ای است که تحلیل رفتار آن در شرایط پایا و گذرا نیازمند ابزارهای محاسباتی قدرتمند می‌باشد. در کد محاسباتی PARS رفتار حرارتی–مکانیکی سوخت در شرایط پایا بر اساس اطلاعات ورودی تحلیل شده و خروجی کد به صورت نمودارهای تحلیلی مشاهده می‌گردد. در این گزارش نحوه کار با واسط کاربر گرافیکی کد برای اعمال داده‌های ورودی و مشاهده نمودارهای خروجی توضیح داده شده‌است.

۲- کلیدواژه

کد محاسباتی، رفتار حرارتی–مکانیکی سوخت، شرایط پایا

۳- اختصارات

عبارت	عبارت اختصاری	توضیح
Performance Analysis of the fuel Rod in Steady state	PARS	کد تحلیل عملکرد میله سوخت در شرایط پایا
Pressurized Water Reactor	PWR	راکتور آب تحت فشار
Boiling Water Reactor	BWR	راکتور آب جوشان

۴- مقدمه

کد تحلیل عملکرد میله سوخت (PARS) برای شرایط پایا توسعه داده شده‌است. این کد قابلیت شبیه‌سازی میله‌های سوخت اکسید اورانیوم با غلاف آلیاژ زیرکونیوم را دارا می‌باشد و برای راکتورهای هسته‌ای آب تحت فشار (PWR) و آب جوشان (BWR) مناسب است. با توجه به این که هدف، بررسی عملکرد میله سوخت در مدت زمان دوره کاری یک یا چند ساله و شرایط کارکرد عادی میله سوخت است و تغییرات در پارامترها به کندی اتفاق می‌افتد،

می‌توان مسأله را به صورت پایا در نظر گرفت و مدل‌سازی برای زمان‌های کاری مختلف نیز به صورت پایا صورت می‌گیرد. مدل‌های موجود در کد PARS عبارتند از: توزیع محوری خواص سیال، توزیع شعاعی توان با حل هم‌زمان معادلات مصرف سوخت، توزیع دمای سوخت با روش اختلاف محدود، تغییر شکل سوخت با لحاظ پدیده‌های تورم، چگالش، انبساط حرارتی، تَرَک و بازیابی آن، تنش-کرنش الاستیک در غلاف در شرایط شکاف باز و بسته، تنش-کرنش پلاستیک غلاف در شرایط شکاف بسته، خزش غلاف، تولید و رها شدن محصولات شکافت گازی، حجم آزاد درون میله، فشار گاز، ضریب انتقال حرارت شکاف گازی، خوردگی غلاف و ترکیب با هیدروژن.

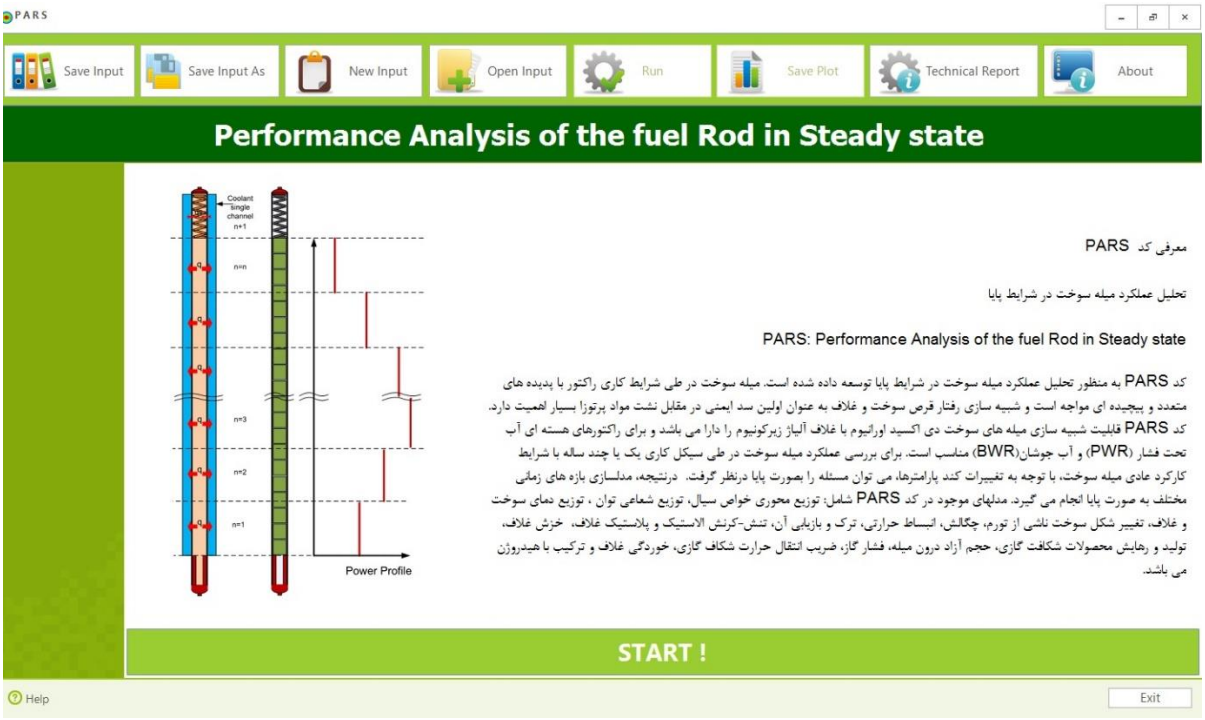
۵- دامنه گزارش

در این گزارش به مجموعه اطلاعات ورودی مورد نیاز برای محاسبات کد PARS و نیز گستره خروجی‌های این کد پرداخته شده‌است. پنجره اصلی برنامه و مراحل ورود اطلاعات، کاربرد هر یک از اقلام موجود و نحوه دسترسی به اطلاعات و نمودارهای خروجی به تفصیل آمده است.

۶- پنجره اصلی ورود به برنامه

با اجرای برنامه PARS، برنامه به پنجره اصلی کد وارد می‌شود که توضیح مختصری درباره کد محاسباتی و اطلاعات مورد نیاز کاربر در آن آمده‌است. منوی برنامه شامل شستی‌های زیر است:

- Save Input و Save Input As برای ذخیره کردن اطلاعات ورودی جهت بارگذاری مجدد در برنامه،
- Open Input جهت بارگذاری مقادیر ورودی ذخیره‌شده از قبل،
- Run که پس از اتمام مراحل ثبت ورودی‌ها و تایید نهایی، فعال شده و با فشردن آن محاسبات کد انجام می‌پذیرد،
- Save Plot که پس از اجرای کد و انجام محاسبات و ورود برنامه به صفحه خروجی و رسم نمودارها فعال شده و با فشردن آن نمودارِ نمایش‌داده‌شده به صورت فایل با پسوندهای png یا jpg ذخیره می‌گردد.



شکل ۱: پنجره اصلی کد

۷- ثبت داده‌های ورودی

با فشردن شستی START در اولین صفحه، برنامه به صفحات ورود اطلاعات منتقل می‌شود. در سه مرحله و در صفحات متوالی به ترتیبِ ذیل، داده‌های ورودی ثبت شده و با فشردن شستی Next در پایین هر صفحه برنامه به صفحه متناظر با دسته بعدی داده‌ها وارد می‌شود. در هربار بارگذاری برنامه، داده‌های پیش‌فرض برای مسأله در نظر گرفته شده و کاربر قادر است هر یک از آن‌ها را با توجه به بازه مقادیر قابل قبول در کد محاسباتی، تغییر دهد. در صورت ورود داده‌های خارج از محدوده قابل قبول، پنجره خطا به کاربر نمایش داده خواهد شد و ضمنِ اشاره به بازه مورد قبول، بار دیگر مقادیر پیش‌فرض برای آن داده جایگزین می‌گردد. داده‌های مورد نیاز برنامه در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول شماره ۱: داده‌های ورودی مورد نیاز حل مساله برای کد PARS

شماره	نام پارامتر	نوع پارامتر و نحوه ورود	توضیحات
۱	Reactor type	انتخاب گزینه‌ای	نوع راکتور
۲	Lattice type	انتخاب گزینه‌ای	نوع شبکه میله‌ها در مجتمع

شماره	نام پارامتر	نوع پارامتر و نحوه ورود	توضیحات
۳	Pellet type	انتخاب گزینه‌ای	نوع قرص سوخت
۴	Clad type	انتخاب گزینه‌ای	جنس ماده غلاف
۵	Number of axial intervals	Integer، بین ۴ تا ۳۰	تعداد تقسیم‌بندی محوری میله سوخت
۶	Number of radial nodes in the fuel	Integer، بین ۵ تا ۴۰	تعداد گره‌های شعاعی در سوخت
۷	Number of time steps	Integer، برابر یا بزرگتر از ۱	تعداد بازه‌های زمانی و توانی که بایستی در ابتدا قبل از فراخوانی حل‌گر محاسبه شود.
۸	Number of axial power shapes	Integer، برابر یا بزرگتر از ۱	تعداد منحنی‌های توزیع محوری توان
۹	Gap conductance method	انتخاب گزینه‌ای	روش محاسبات ضریب انتقال حرارت شکاف
۱۰	Fast flux coefficient	انتخاب گزینه‌ای	ثابت یا متغیر درنظر گرفتن ضریب تبدیل توان به شار نوترون در جهت محوری
۱۱	Axial interval size	انتخاب گزینه‌ای	روش تعریف تقسیم‌بندی فواصل محوری
۱۲	Fuel conductivity correlation	انتخاب گزینه‌ای	رابطه انتخابی برای ضریب هدایت حرارتی سوخت
۱۳	Fission gas release model	انتخاب گزینه‌ای	مدل انتخابی برای محاسبات رهایش گاز
۱۴	Enrichment	انتخاب گزینه‌ای	روش دادن غنای سوخت
۱۵	Radial mesh generation	انتخاب گزینه‌ای	روش انتخابی برای نوع تقسیم‌بندی شعاعی
۱۶	Geometrical coefficient	Real، بین ۱ تا ۱/۲	قدر نسبت هندسی برای تقسیم‌بندی شعاعی
۱۷	End time of cycle	Real، بزرگتر از صفر بر حسب روز	تعداد کل روزهای کارکرد میله
۱۸	Total fuel length	Real، بین ۰/۵ تا ۴ بر حسب متر	ارتفاع بخش فعال میله سوخت

شماره	نام پارامتر	نوع پارامتر و نحوه ورود	توضیحات
۱۹	Cladding outer diameter	Real، بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱۴ بر حسب متر	قطر خارجی غلاف
۲۰	Cladding thickness	Real، بین ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ بر حسب متر	ضخامت غلاف
۲۱	gap thickness	Real، بین ۰/۰۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۲ بر حسب متر	ضخامت شکاف گازی اولیه
۲۲	Pellet Height	Real، بین ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۲ بر حسب متر	ارتفاع قرص سوخت
۲۳	Height of pellet dish	Real، بین ۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۱ بر حسب متر	ارتفاع بشقاب سوخت
۲۴	Pellet end dish shoulder width	Real، بین ۰/۰۰۱تا ۰/۰۰۳ بر حسب متر	پهنای شانه بشقاب سوخت
۲۵	Fuel roughness	Real، بین 1E10-8 تا 1E10-5 بر حسب متر	زبری سوخت
۲۶	Cladding roughness	Real، بین 1E10-8 تا 1E10-5 بر حسب متر	زبری غلاف
۲۷	Coolant flow area	Real، بین 1.35E10-5 تا 14.5E10-5 بر حسب متر مربع در صورتی باید وارد شود که Lattice از نوع Favourite انتخاب شده باشد.	سطح عبوری سیال
۲۸	Channel wetted perimeter	Real، بین 2.5E10-2 تا 10E10-2 بر حسب متر در صورتی باید وارد شود که Lattice از نوع Favourite انتخاب شده باشد.	محیط تر شده

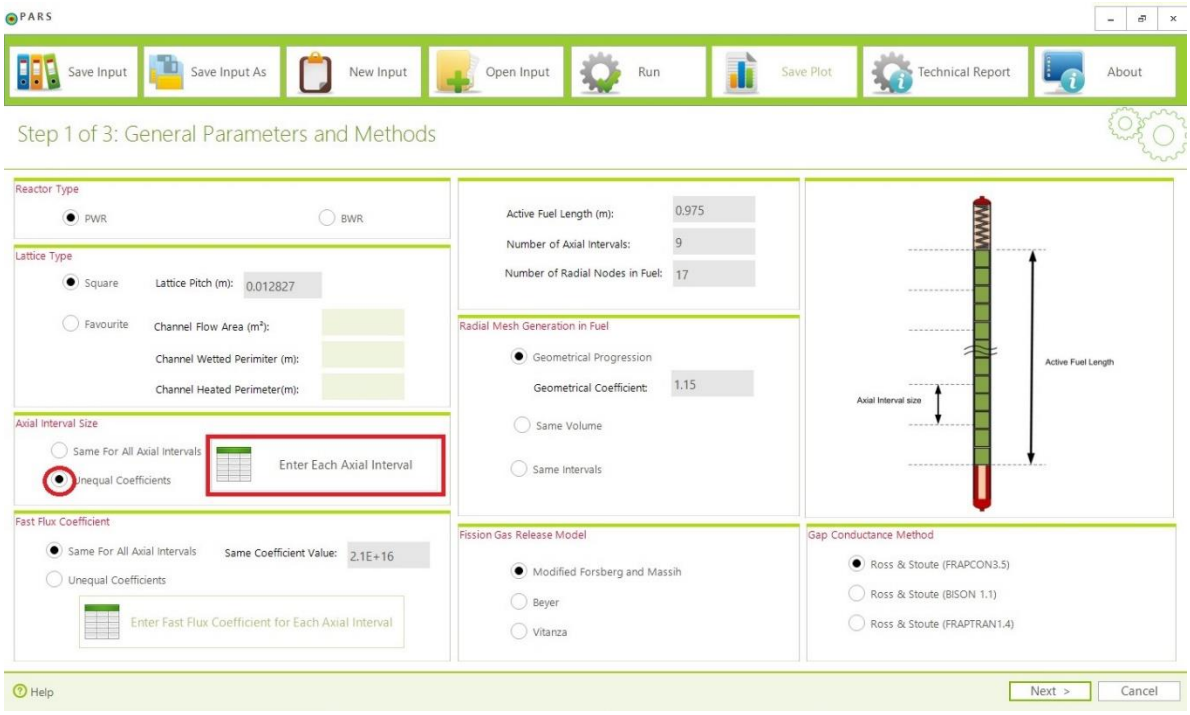
شماره	نام پارامتر	نوع پارامتر و نحوه ورود	توضیحات
۲۹	Channel heated perimeter	Real، بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۵ بر حسب متر در صورتی باید وارد شود که Lattice از نوع Favourite انتخاب شده باشد.	محیط گرم شده
۳۰	Lattice pitch	Real، بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱۴ بر حسب متر	گام شبکه میله سوخت
۳۱	Upper plenum length	Real، بین ۰/۰۴ تا ۰/۵ بر حسب متر	طول محفظه بالایی
۳۲	Outer diameter of plenum spring	Real، کوچکتر از دوبرابر قطر خارجی غلاف و بزرگتر از ضخامت غلاف بر حسب متر	قطر خارجی فنر
۳۳	Diameter of the plenum spring wire	Real، بین ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۲ بر حسب متر	قطر مفتول فنر
۳۴	Number of turns in the plenum spring	Integer، بین ۵ تا ۱۰۰	تعداد دور فنر
۳۵	Lower plenum length	Real، (در صورتی که غیرصفر باشد) بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ بر حسب متر	طول محفظه پایینی
۳۶	Inner diameter of Lower plenum	Real، کوچکتر از: قطر خارجی غلاف منهای دو برابر ضخامت غلاف بر حسب متر	قطر داخلی محفظه پایینی
۳۷	Fuel enrichment	Real، بین ۰/۷ تا ۱۰ بر حسب درصد	غنای سوخت
۳۸	Relative fuel density	Real، بین ۹۰ تا ۱۰۰ بر حسب درصد	چگالی نسبی سوخت
۳۹	The increase in fuel density expected during reactor operation	Real، بین ۰ تا ۲۰۰ بر حسب kg/m^3	افزایش چگالی سوخت در پدیده تفت‌جوشی مجدد

شماره	نام پارامتر	نوع پارامتر و نحوه ورود	توضیحات
۴۰	Fuel sintering temperature	Real، بین ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ بر حسب کلوین	دمای تفت‌جوشی سوخت
۴۱	Initial gas pressure of fuel rod	Real، بین ۰/۱ تا ۶ بر حسب MPa	فشار گاز اولیه داخل میله سوخت
۴۲	Initial crud thickness	Real، در این نسخه از برنامه مقدار آن در محاسبات صفر در نظر گرفته می‌شود.	مقدار ضخامت لایه خمیری اولیه
۴۳	Maximum time step limit in calculation	Real، بین ۰/۰۵ تا ۱۰ بر حسب روز	حداکثر گام زمانی محاسباتی
۴۴	Height of each axial interval	Real، بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ بر حسب متر	ارتفاع هر بخش محوری
۴۵	Fast flux coefficient of each axial interval	Real، بین 0.27E+17 تا 1.6E+17	ضریب تبدیل توان به شار نوترون
۴۶	Normalized relative axial power factors	Real، بین ۰ تا ۲	ضرایب توزیع توان محوری در زمانهای مختلف
۴۷	Average linear power history	Real، بین ۰ تا ۵۰۰ بر حسب W/cm	تاریخچه تغییرات توان خطی میله سوخت (بهتر است تغییر در هر گام زمانی از ۵۰ W/cm کمتر باشد)
۴۸	Coolant inlet temperature history	Real، بین ۲۰۰ تا ۳۲۰ بر حسب °C	تاریخچه تغییرات دمای ورودی سیال (دمای ورودی سیال باید از دمای اشباع کمتر باشد)
۴۹	Coolant mass flux history	Real، بین ۵۰۰ تا ۶۰۰۰ بر حسب kg/m^2s	تاریخچه تغییرات شار دبی جرمی سیال
۵۰	Coolant Pressure history	Real، بین ۵ تا ۱۷ بر حسب MPa	تاریخچه تغییرات فشار سیال خنک کننده
۵۱	Fuel Rod Axial power shape history	Integer، بین ۱ تا ۳۰	تاریخچه تغییرات شکل محوری توان میله سوخت

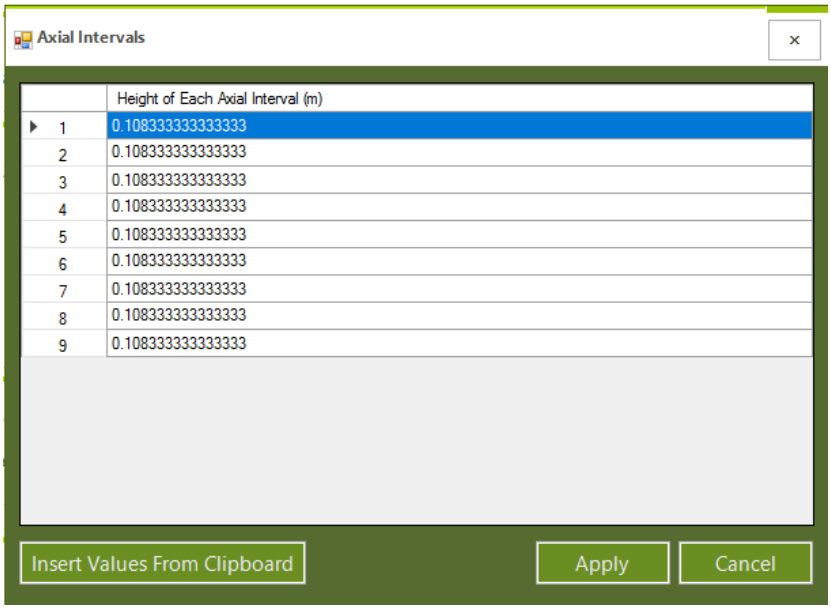
۷-۱- ثبت داده‌های مربوط به پارامترها و روش‌های کلی حل مسأله

در مرحله نخستِ ثبت داده‌های ورودی، صفحه مربوط به General Parameters and Methods به کاربر نمایش داده می‌شود. کاربر در این صفحه، نوع راکتور، نوع شبکه میله‌ها در مجتمع، روش انتخابی برای نوع تقسیم‌بندی شعاعی میله سوخت و سایر مقادیر مورد نیاز را انتخاب یا وارد می‌کند.

نکته قابل توجه در این مرحله وارد کردن اطلاعات مربوط به روش تعریف تقسیم‌بندی فواصل محوری و نیز ثابت یا متغیر درنظر گرفتن ضریب تبدیل توان به شار نوترون در جهت محوری است. در صورتی که تقسیم‌بندی در فواصل متفاوتی در جهت محوری مد نظر باشد، مطابق شکل ۲، کاربر ضمن انتخاب گزینه Unequal Coefficient با کلیک بر روی شستی Enter Each Axial Interval وارد صفحه Axial Interval شده و قادر است مقادیر ارتفاع مورد نظر برای هر یک از فواصل محوری را به طور جداگانه وارد کند. چنان‌که در شکل ۳ نشان داده شده است، به‌طور پیش‌فرض متناسب با اطلاعات ورودی کاربر مقادیر یکسانی برای ارتفاع هر یک از فواصل محوری در نظر گرفته‌شده‌است. کاربر می‌تواند به طور جداگانه هر یک از این مقادیر را تغییر داده و یا با بازکردن یک صفحه Excel حاوی داده، کلیه مقادیر را متناظر با سطر و ستون‌های جدول از سلول‌های صفحه Excel بر روی Clipboard کپی کرده و سپس شستی Insert Values From Clipboard را در صفحه Axial Interval در برنامه انتخاب کند.

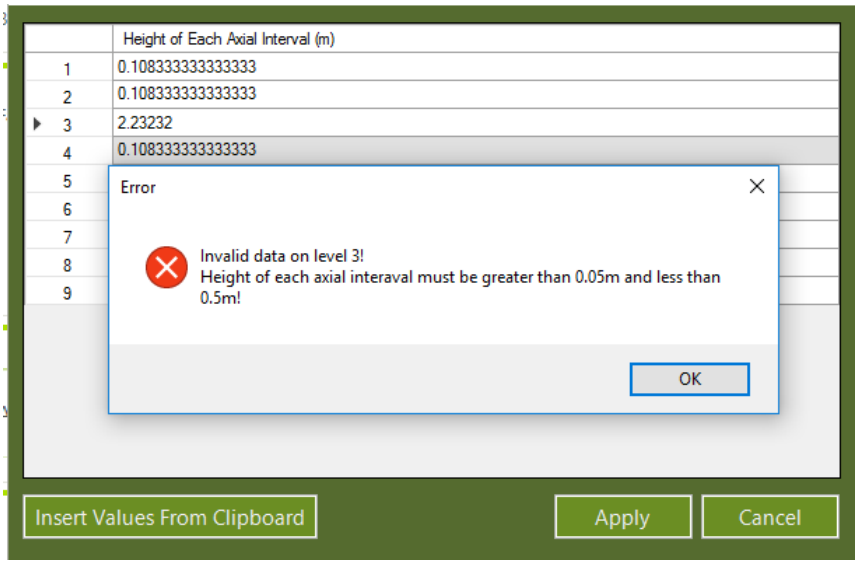


شکل ۲: روش تعریف تقسیم‌بندی فواصل محوری



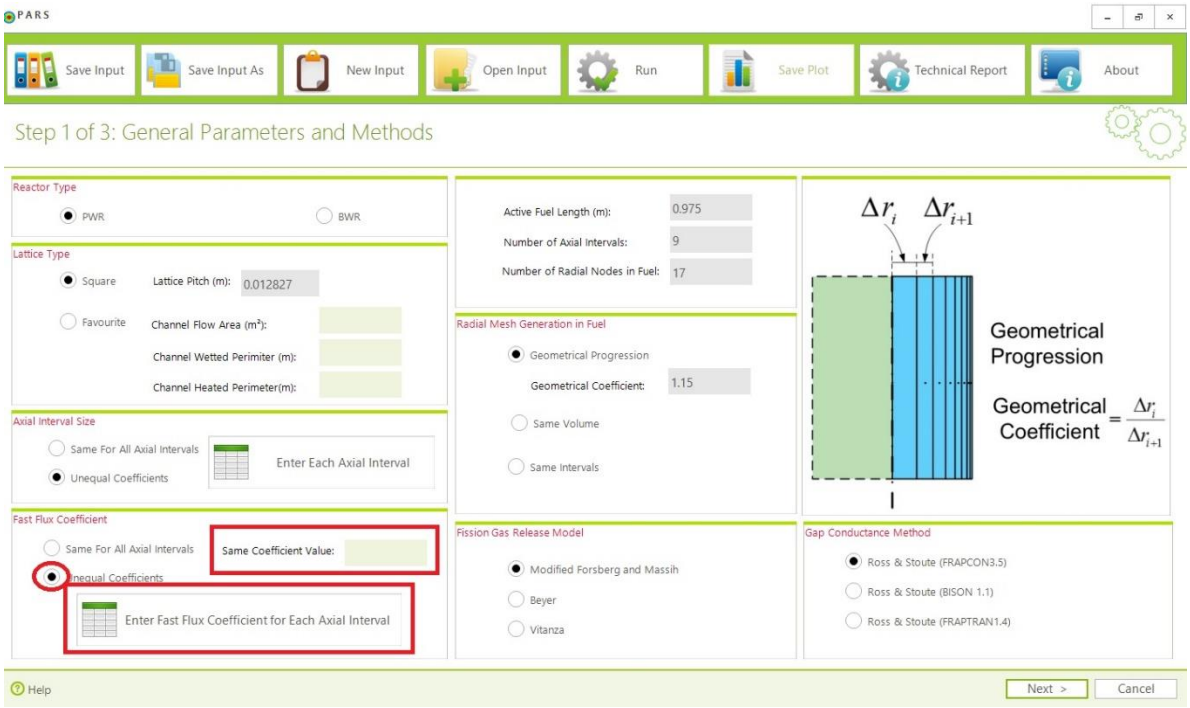
شکل ۳: مقادیر ارتفاع مورد نظر برای هر یک از فواصل محوری

قبل از خروج از صفحه، کاربر با انتخاب شستی Apply داده‌های ورودی را تایید می‌کند. در صورتی‌که مقادیر وارد شده در بازه مقادیر مورد قبول نبوده و یا داده‌های Insert شده از روی Clipboard با قالب داده‌های جدول مطابقت نداشته‌باشد، برنامه مطابق شکل ۴ به کاربر پیغام خطا داده و مشخص می‌کند در کدام سطح، مقادیر وارد شده مورد قبول نمی‌باشد.

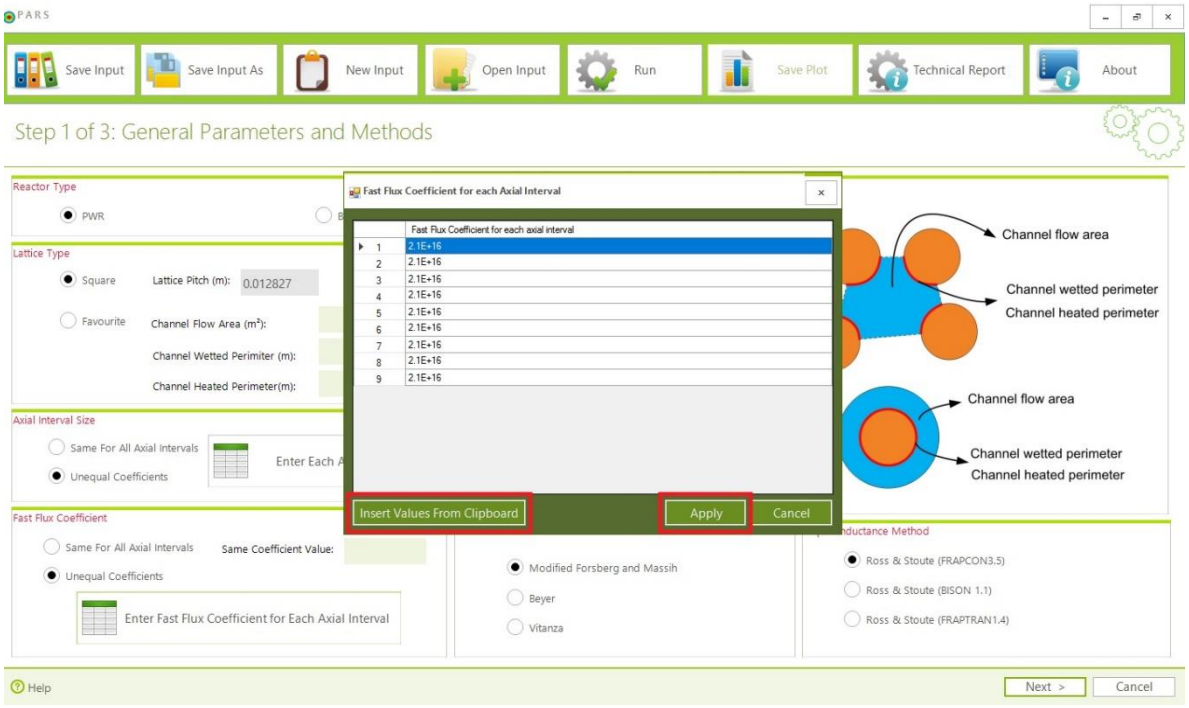


شکل ۴: پیغام خطا در صورت ثبت مقادیر ارتفاع خارج از بازه

ثابت یا متغیر درنظر گرفتن ضریب تبدیل توان به شار نوترون در جهت محوری نیز مطابق شکل ۵ در قسمت Fast Flux Coefficient توسط کاربر تعیین می‌گردد. در صورتی‌که کاربر این ضریب را ثابت در نظر بگیرد، با انتخاب کلید Same for All Axial Intervals و وارد کردن مقدار مورد نظر در جعبه متن مقابل آن، ثبت داده را انجام می‌دهد. در شرایطی که کاربر در نظر دارد در سطوح متفاوت محوری مقادیر متفاوتی را برای ضریب تبدیل توان وارد کند، ضمن انتخاب کلید Unequal Coefficient بر روی شستی Enter Fast Flux Coefficient for Each Axial Interval کلیک کرده و مطابق شکل ۶ به صفحه جدیدی برای ثبت داده هدایت می‌شود. با ورود به این صفحه، کاربر در جدول، ابتدا مقادیر پیش‌فرض را که به طور یکسان در نظرگرفته شده است، مشاهده می‌کند و می‌تواند به همان ترتیب که در مورد صفحه Axial Interval توضیح داده‌شد، مقادیر مورد نظر را وارد کند.



شکل ۵: تعیین ضریب تبدیل توان به شار نوترون (یکسان برای همه سطوح) در جهت محوری



شکل ۶: تغییر مقادیر مربوط به ضریب تبدیل توان به شار نوترون برای هر یک از سطوح در جهت محوری

پس از تکمیل داده‌های ورودی این مرحله، کاربر با کلیک بر روی شستی Next در پایین صفحه به صفحه بعد هدایت می‌شود. کاربر در هر مرحله می‌تواند با زدن شستی Back به مرحله قبل بازگشته و داده‌های وارد شده را در صورت لزوم تغییر دهد.

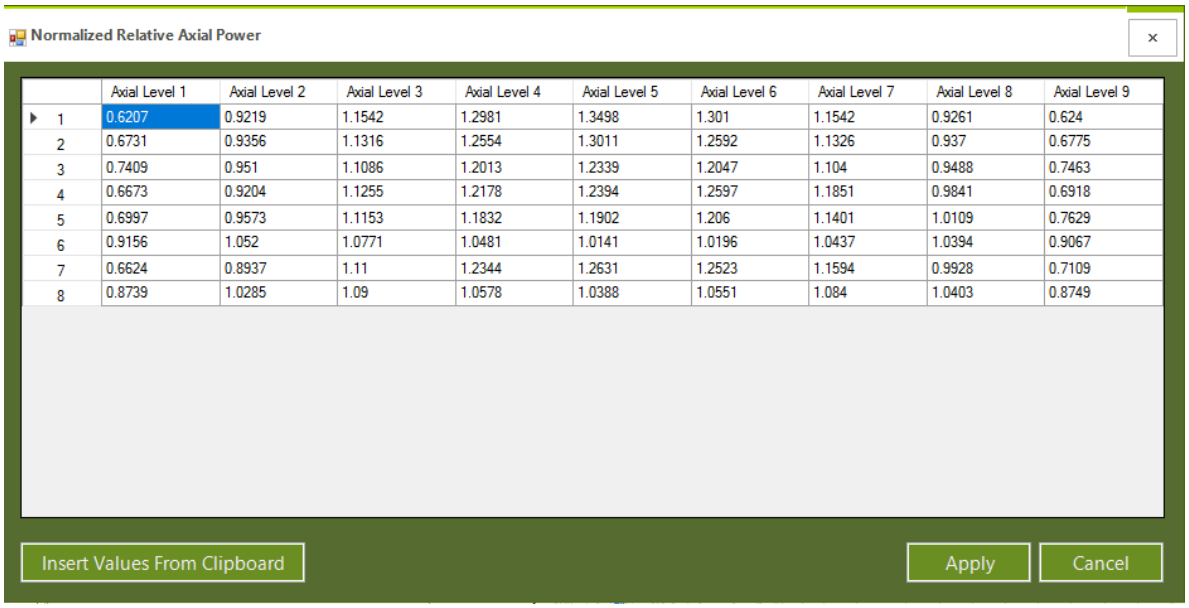
۸- ثبت داده‌های مربوط به مشخصات سوخت

مرحله دوم ثبت داده‌های مربوط به میله سوخت است. چنان‌که در شکل ۷ نشان داده‌شده‌است، در این قسمت کاربر اطلاعات مربوط به نوع قرص سوخت، ماده غلاف، رابطه انتخابی برای ضریب هدایت حرارتی سوخت، غنا، چگالی و سایر مشخصات سوخت را وارد می‌کند. هنگام ورود داده‌ها در برخی موارد، کاربر با حرکت دادن ماوس بر روی پارامتر مورد نظر می‌تواند شکل متناظر آن را نیز در جعبه تصویر در صفحه مشاهده نماید.

شکل ۷: ثبت داده‌های مربوط به مشخصات میله سوخت

پس از ثبت داده‌های مربوط به مشخصات سوخت، کاربر با کلیک بر روی شستی Next به آخرین مرحله از ثبت داده‌های ورودی مرتبط با Operating History که در شکل ۸ نشان داده شده است وارد می‌شود. در این صفحه کاربر ابتدا تعداد کل روزهای کارکرد میله، تعداد منحنی‌های توزیع محوری توان و حداکثر گام زمانی محاسباتی را وارد می‌نماید. ضرایب توزیع توان محوری در زمان‌های مختلف پس از مشخص نمودن تعداد منحنی‌های توزیع محوری توان با فشردن شستی Normalized Relative Axial Power به صورت جدول قابل تعیین است. با فشردن این شستی مطابق شکل ۹ صفحه جدیدی برای کاربر باز می‌شود که جدول ضرایب توزیع توان محوری برای زمان‌های مختلف در آن مشخص شده و مقادیر هر یک از ضرایب توسط کاربر تعیین شده و یا از روی فایل Excel منتاظر، با کپی بر روی Clipboard و Insert Values From Clipboard در جدول مربوطه وارد می‌شود. در صورتی‌که کاربر مقدار پیش‌فرض تعداد منحنی‌های توزیع توان را تغییر ندهد مقادیر پیش‌فرض در جدول نمایش داده می‌شود.

شکل ۸: ثبت داده‌های مربوط به تاریخچه عملکرد میله سوخت



شکل ۹: تعیین ضرایب توزیع توان محوری در زمان‌های مختلف

در منوی سمت چپ صفحه، برگه‌های انتخابی برای وارد کردن تاریخچه عملکرد میله سوخت در نظرگرفته‌شده‌است. در این قسمت کاربر می‌تواند از دو طریق جدول و نمودار مقادیر مورد نظر برای حل مسأله را تعیین کند. تاریخچه‌های تغییرات توان خطی میله سوخت، دمای ورودی سیال، شار جرمی سیال، فشار سیال خنک کننده و نیز شکل محوری توان میله سوخت پارامترهایی هستند که با انتخاب صفحات منتاظر مطابق شکل ۱۰ در

این بخش وارد می‌گردد. لازم به ذکر است که در تمام موارد بالا مقادیر ابتدای هر بازه زمانی ملاک محاسبات در آن بازه زمانی است.

شکل ۱۰: انتخاب صفحات برای تعیین مقادیر تاریخچه کارکرد سوخت

مقادیر وارد شده در جدول بلافاصله به صورت متناظر در نمودار نشان داده می‌شود. همچنین مطابق شکل ۱۱ به صورت متقابل با کلیک کردن در هر نقطه از محیط نمودار نقطه متناظر با آن در جدول به صورت صعودی وارد می‌گردد. با کلیک راست روی اعداد مد نظر در نمودار، مطابق شکل ۱۱ منویی برای کاربر باز می‌شود که از طریق آن می‌تواند اقدام به حذف نقطه، Undo یا Redo کردن عملیاتی که بر روی نقاط نمودار انجام داده، قفل کردن نقطه‌ی مورد نظر و یا تغییر اندازه نقاط روی نمودار از طریق گزینه Setting نماید. نقاط نقطه‌چین در صفحه نمودار همچنین نماینده تاریخچه سایر نقاطی است که در دیگر برگه‌های شکل ۱۰ انتخاب شده و در جدول مربوطه وارد شده‌اند. حذف نقاط از طریق جدول و انتخاب شماره ردیف مورد نظر و فشردن شستی Delete بر روی صفحه کلید نیز امکان‌پذیر است.

در انتها پس از کامل شدن داده‌های ورودی، کاربر با فشردن شستی Confirm Input در پایین صفحه، ورودی‌های کد را تأیید کرده و پیغامی دریافت می‌کند که به کاربر اعلام می‌کند برنامه برای اجرا آماده است. در آخر

کاربر با فشردن شستی Run در منوی بالای برنامه (شکل ۱۲)، دستور انجام مجاسبات را صادر کرده و به صفحه خروجی‌های برنامه و نمایش نمودار وارد می‌شود.

شکل ۱۱: حذف نقاط از روی نمودار

شکل ۱۲: تأیید ورودی‌ها و اجرای برنامه

۹- ملاحظات مربوط به ثبت داده‌ها و تغییرات ناگهانی توان و شرایط سیال

لازم به ذکر است که همواره بایستی تناسبی بین توان تولیدی در میله سوخت و توانایی سیستم خنک کننده در برداشت حرارت از میله وجود داشته باشد و با توجه به گستره زیاد آن امکان بررسی توسط کد قبل از اجرا وجود ندارد و عدم رعایت آن توسط کاربر می‌تواند منجر به دمای بالا در سوخت و دوفاز شدن سیال گردد. در این صورت پس از اجرای کد پیغام خطایی در خروجی کد ظاهر می‌شود. به طور مثال، چنانچه توان تولیدی زیاد باشد به نحوی که دبی و دمای سیال ورودی متناسب با آن نباشد، سیال دوفاز شده و حتی مافوق گرم می‌شود که در صورت مافوق گرم شدن اجرای کد متوقف و پیام آن به کاربر نمایش داده می‌شود. همچنین افزایش و کاهش ناگهانی توان منجر به انبساط و انقباض سوخت و غلاف شده و چنانچه بیش از حد معقول باشد، ممکن است منجر به عدم همگرایی کد در حلقه محاسباتی کوپل حرارتی-مکانیکی شود. در این حالت، نتایج تنها تا قبل از واگرایی به کاربر نمایش داده می‌شود. در این حالت پیشنهاد می‌گردد که بازه‌های زمانی را کوتاه‌تر و تغییرات توان و شرایط مرزی نیز به صورت پله‌های کوتاه‌تر در یک سری گام‌های فرضی جدید برای ورودی کد تعریف شود. همچنین دمای سیال وارد شده توسط کاربر بایستی کمتر از دمای اشباع در فشار مربوطه باشد.

۱۰- دسته‌بندی پارامترهای خروجی کد PARS برای ترسیم نتایج

در صفحه خروجی‌ها مطابق شکل ۱۳ کاربر سه برگه متفاوت برای رسم نمودارها در سمت چپ مشاهده می‌نماید. در هر یک از برگه‌ها لازم است ابتدا نوع نمودارهای مورد نظر برای هر یک خروجی‌های کد از طریق کلیدهای تعیین شده توسط کاربر انتخاب شود تا نمودارهای متناظر نمایش داده شوند.

شکل ۱۳: صفحه خروجی‌های برنامه

۱۰-۱- پارامترهای عمومی و رسم نمودار تغییرات در طول زمان

این پارامترها مربوط به سطح محوری خاص یا گره شعاعی خاصی نبوده و ترسیم آنها تنها بر حسب زمان مطلوب می‌باشد. در اولین برگه با عنوان Plot During the Time با انتخاب هر یک از این پارامترها به صورت گروهی و یا به صورت تکی، نمودار متناظر در سمت راست صفحه نمایش داده می‌شود. این دسته از خروجی‌ها در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول شماره ۲: پارامترهای عمومی برای رسم نمودار تغییرات در طول زمان

شماره	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری پارامتر	توضیحات
۱	Gas pressure	MPa	فشار گاز
۲	Void volume	cm^3	حجم فضای خالی میله
۳	Fuel stack length	cm	طول ارتفاع فعال سوخت
۴	Clad elongation	mm	افزایش طول محوری غلاف ناشی از نمامی پدیده های تاثیرگذار

شماره	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری پارامتر	توضیحات
۵	Total fission gas release	%	کسر رهایش گاز
۶	Helium fraction	-	سهم گاز هلیوم
۷	Xenon fraction	-	سهم گاز زنون
۸	Krypton fraction	-	سهم گاز کریپتون
۹	Upper plenum gas temperature	K	دمای محفظه بالای میله سوخت
۱۰	Lower plenum gas temperature	K	دمای محفظه پایین میله سوخت

پارامترهایی که از یک جنس بوده و واحد اندازه‌گیری یکسانی دارند را می‌توان همزمان با هم انتخاب و در یک نمودار مشاهده کرد. سایر پارامترها هر یک به صورت جداگانه در نمودار ترسیم می‌گردند. شکل شماره ۱۴ پارامترهایی را که به صورت همزمان بر حسب زمان قابل رسم هستند در یک مستطیل نشان می‌دهد.

شکل ۱۴: پارامترهای متغیر با زمان

۱۰-۲- ترسیم نمودار دینامیک تغییر پارامترهای خروجی در جهت محوری

دسته دیگری از پارامترهای خروجی به گونه‌ای هستند که تغییرات آنها هم در جهت محوری و هم در طول زمان و هم با تغییر در مقدار فرسایش سوخت در سوخت اتفاق می‌افتد. در برگه دوم در صفحه خروجی‌ها مطابق شکل ۱۵ در قسمت Select Plot Type کاربر ابتدا نوع نمودار مورد نظر خود را مشخص می‌نماید. جدول شماره ۳ لیست پارامترهای خروجی را که تغییرات آنها در جهت محوری با زمان در نمودار قابل ترسیم است، نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳: پارامترهای خروجی متغیر با زمان یا Burn up در جهت محوری

شماره	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری پارامتر	توضیحات
۱	Cladding hoop stress	MPa	تنش محیطی غلاف
۲	Cladding axial stress	MPa	تنش محوری غلاف
۳	Cladding hoop strain	m/m	کرنش محیطی غلاف
۴	Cladding axial strain	m/m	کرنش محوری غلاف
۵	Cladding radial strain	m/m	کرنش شعاعی غلاف
۶	Fuel outer radius	mm	شعاع خارجی سوخت
۷	Cladding inner radius	mm	شعاع داخلی غلاف
۸	Fuel relocation	µm	جابجایی سوخت ناشی از ترک
۹	gap thickness	µm	ضخامت شکاف گازی
۱۰	Clad and fuel Contact pressure	MPa	فشار تماسی بین سوخت و غلاف
۱۱	Oxide layer thickness	µm	ضخامت لایه اکسید
۱۲	Hydrogen concentration	ppm	غلظت هیدروژن
۱۳	Burn up	MWd/kgU	میزان فرسایش
۱۴	coolant temperature	K	دمای سیال

شماره	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری پارامتر	توضیحات
۱۵	Fuel average temperature	K	دمای متوسط سوخت
۱۶	Fuel center temperature	K	دمای مرکز سوخت
۱۷	Fuel surface temperature	K	دمای سطح خارجی سوخت
۱۸	Clad inner surface temperature	K	دمای سطح داخلی غلاف
۱۹	Cladding outer surface temperature	K	دمای سطح خارجی غلاف
۲۰	Cladding oxide temperature	K	دمای سطح خارجی لایه اکسید
۲۱	Crud temperature	K	دمای سطح خارجی لایه خمیری
۲۲	Gap heat transfer coefficient	W/m^2K	ضریب انتقال حرارت شکاف
۲۳	fraction of conduction heat transfer	-	سهم انتقال حرارت هدایتی
۲۴	Solid contact heat transfer fraction	-	سهم انتقال حرارت تماسی
۲۵	Radiation heat transfer fraction	-	سهم انتقال حرارت تشعشعی

شکل ۱۵: رسم نمودار دینامیک تغییرات پارامتر متغیر با زمان در جهت محوری

۱۰-۲-۱- ترسیم نمودار دینامیک تغییرات پارامتر در جهت محوری با گذشت زمان

در این حالت کاربر می‌تواند انتخاب کند که تغییرات پارامتر یا پارامترهای مورد نظر خود را هم در جهت محوری و هم در طول زمان به صورت دینامیک مشاهده کند. بدین منظور، با انتخاب گزینه Parameter axial distribution during the time و نیز انتخاب پارامتر یا پارامترهای مورد نظر، در سمت راست صفحه با Play نمودن نمودار، تغییرات پارامتر مورد نظر را در جهت محوری و برای گام‌های زمانی مختلف به‌صورت دینامیک مشاهده می‌نماید. در هر لحظه از تغییرات نمودار کاربر می‌تواند با کلیک بر روی شستی Pause نمودار را در یک گام زمانی معین نگاه داشته و تغییرات پارامتر را تنها در جهت محوری بررسی کند. مقادیر پارامتر مورد نظر در محور افقی و تغییرات سطوح محوری در محور عمودی دیده می‌شوند.

۱۰-۲-۲- ترسیم نمودار استاتیک تغییر پارامتر در طول زمان برای یک سطح محوری معین

در این حالت کاربر مطابق شکل ۱۶ با انتخاب گزینه Parameter changes during the time in a selected axial level و نیز تعیین سطح محوری و پارامترهای مورد نظر می‌تواند تغییرات پارامتر یا پارامترهای مد نظر خود را به طور همزمان در یک سطح محوری معین در طول زمان به صورت استاتیک مشاهده نماید. محور افقی در این نوع از ترسیم نماینده تغییرات زمان و محور عمودی نشان‌دهنده تغییرات مقادیر پارامتر مورد نظر است. همچنین کاربر با تغییر دادن سطوح محوری مد نظر خود تغییرات پارامتر در طول زمان را برای آن سطح محوری خواهد دید.

شکل ۱۶: رسم نمودار استاتیک برای تغییر پارامتر با زمان در یک جهت محوری معین

۱۰-۲-۳- ترسیم نمودار استاتیک تغییر پارامتر برحسب فرسایش سوخت برای یک سطح محوری معین

این شکل از نمودار، تغییرات پارامتر را در یک سطح محوری معین بر حسب فرسایش سوخت در آن سطح محوری نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۷ کاربر با انتخاب گزینه Parameter vs burn up changes in a selected axial level و نیز تعیین سطح محوری و پارامترهای مورد نظر می‌تواند تغییرات پارامتر یا پارامترهای مد نظر خود را به طور همزمان در یک سطح محوری معین نسبت به تغییرات فرسایش سوخت به صورت استاتیک مشاهده نماید. محور افقی در این نوع از ترسیم نماینده میزان فرسایش سوخت و محور عمودی نشان‌دهنده تغییرات مقادیر پارامتر مورد نظر است. همچنین کاربر با تغییر دادن سطوح محوری مد نظر خود، تغییرات پارامتر بر حسب فرسایش سوخت را برای آن سطح محوری خواهد دید.

شکل ۱۷: رسم نمودار تغییرات پارامتر با تغییرات Burn up در یک سطح محوری معین

۱۰-۳- ترسیم نمودار دینامیک تغییرات پارامتر خروجی در جهت شعاعی با گذشت زمان در یک سطح محوری معین

تغییرات برخی از پارامترهای خروجی در یک سطح محوری معین در جهت شعاعی با گذشت زمان در این بخش قابل مشاهده است. به این منظور کاربر لازم است مطابق شکل ۱۸ با انتخاب گزینه Plot during the Time for Axial and Radial Level در برگه سوم صفحه خروجی، سطح محوری و پارامتر مورد نظر را انتخاب کرده و تغییرات آن پارامتر را در راستای شعاعی با گذشت زمان در آن سطح محوری به صورت دینامیک مشاهده نماید. با متوقف کردن نمودار در هر گام زمانی مورد نظر کاربر می‌تواند تغییرات را به صورت استاتیک در آن مقطع زمانی بررسی نماید. محور افقی در این نوع از ترسیم نماینده فاصله شعاعی و محور عمودی نشان‌دهنده تغییرات مقادیر پارامتر مورد نظر است. همچنین با تغییر سطوح محوری مد نظر توسط کاربر تغییرات پارامتر در جهت شعاعی برای آن سطح محوری رسم خواهد شد. لازم به ذکر است از آنجا که فاصله شعاعی، خود با گذشت زمان تغییرات بسیار کمی خواهد داشت در ترسیم نمودار، فواصل شعاعی برای اولین گام زمانی محاسبات مد نظر قرار گرفته است. جدول شماره ۴ پارامترهای خروجی قابل مشاهده در این قسمت را نشان می‌دهد.

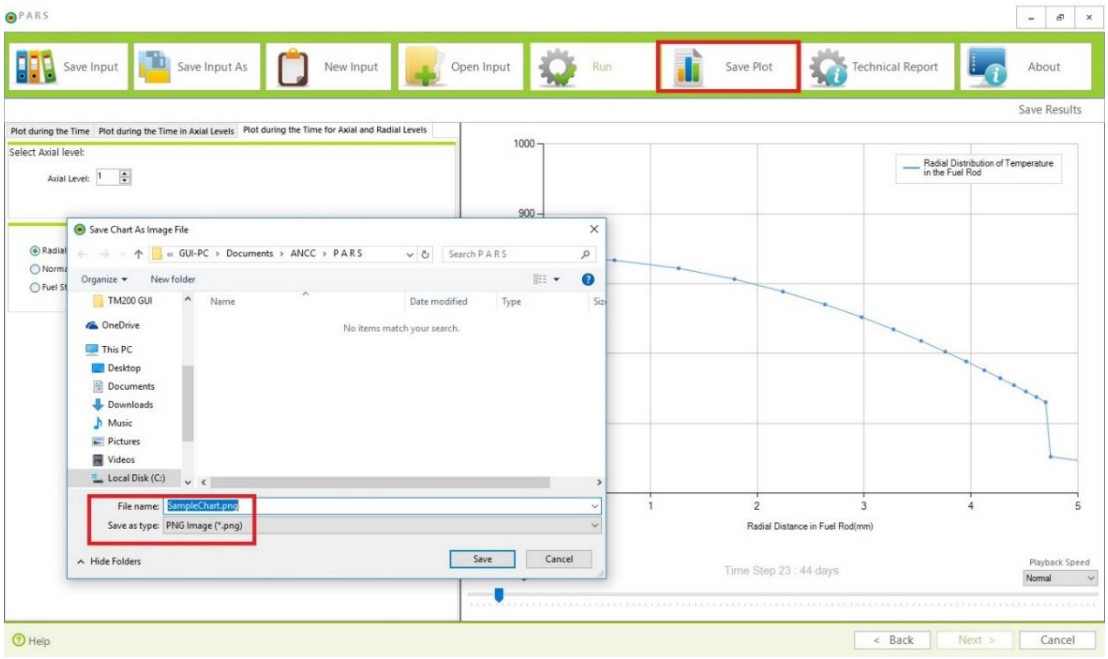
جدول شماره ۴: پارامترهای خروجی متغیر با زمان در جهت شعاعی

شماره	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری پارامتر	توضیحات
۱	Fuel strain due to swelling, densification and thermal expansion	m/m	کرنش کلی سوخت ناشی از تورم، چگالش و انبساط حرارتی
۲	Normalized radial power profile	-	توزیع نرمال شده شعاعی توان
۳	Radial distribution of temperature in the fuel rod	m/m	توزیع شعاعی دما در میله سوخت

شکل ۱۸: نمودار دینامیک تغییرات پارامتر در جهت شعاعی با زمان در یک سطح محوری معین

۱۱- ذخیره نمودن نمودار

در صفحه خروجی‌ها پس از مشاهده نمودار کاربر می‌تواند با کلیلک بر روی شستی Save Plot از منوی بالای صفحه، نمودار مورد نظر خود را به صورت فایل jpg یا png ذخیره نماید. شکل ۱۹ نحوه ذخیره‌سازی نمودارها را نشان می‌دهد. همچنین با کلیلک بر روی منوی Save Results در بالای نمودار، مقادیر خروجی به صورت فایل متنی ذخیره می‌گردد.



شکل ۱۹: ذخیره‌سازی نمودارهای خروجی

۱۲- امکانات منوی نرم‌افزار

در منوی بالای نرم افزار امکان انتخاب شستی‌های Save Input برای ذخیره‌سازی فایل ورودی به فرمت قابل خواندن برای برنامه، شستی Save Input As برای ذخیره‌سازی مجدد فایل ورودی با اسم دلخواه، شستی Open Input برای باز نمودن فایل ورودی که از قبل در برنامه وارد و ذخیره شده است و شستی New Input برای بازگشت به حالت ورودی‌های پیش‌فرض برنامه و ثبت مجدد ورودی‌های جدید در نظر گرفته شده‌است. خروجی‌های برنامه هم به صورت نمودار و هم به‌صورت فایل متنی قابل مشاهده و ذخیره‌سازی است و در هر مرحله از برنامه کاربر با فشردن شستی‌های ذخیره‌سازی تنها ورودی برنامه را برای استفاده مجدد توسط برنامه ذخیره می‌نماید. کاربر در هر مرحله با کلیک بر روی آیکون Help در منوی پایین برنامه به راهنمای استفاده‌ی کاربر و با فشردن شستی Technical Report به گزارش فنی برنامه دسترسی می‌یابد. شستی Run در برنامه زمانی اجرا می‌گردد که کاربر تمامی ۳ مرحله ثبت ورودی‌ها را انجام داده و در نهایت آنها را تأیید نماید. در غیر این‌صورت با کلیک بر روی شستی Run به کاربر پیغام داده خواهد شد که ابتدا ورودی‌ها را کامل نموده و تأیید نماید و سپس شستی Run را برای اجرای برنامه و انجام محاسبات کلیک کند. شستی Save Plot در صفحات ورودی برنامه غیرفعال بوده و به محض اجرای برنامه و ورود به صفحه رسم نمودارهای خروجی، فعال می‌شود. در هر مرحله از ثبت ورودی‌ها یا مشاهده خروجی‌ها، کاربر می‌تواند با برگشت به صفحات قبلی داده‌های ورودی را تغییر داده و مجدد برنامه را پس از تایید ورودی‌ها اجرا کند.