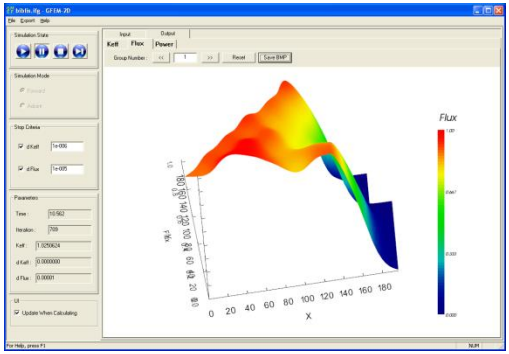
کد محاسباتی دو بعدی پخش نوترون به روش المان محدود گلرکین



راهنمای کاربر GFEM-2D

بسته دوم – ویرایش ۰ - مهر ۱۳۹۱

ANC-MAN-DES-FG-200

فهرست مطالب

۱- چکیده ۸

۲- کلیدواژه ۸

۳- تولید عناصر در نرم‌افزار گمبیت ۱۰

۴- معرفی نرم‌افزار ۲۷

۵- اجرای برنامه ۳۰

۶- منوهای برنامه ۳۹

۷- قسمت Input ۴۲

۸- قسمت Output ۴۸

۹- پنجره ابزارهای کنترلی ۶۴

۱۰- فایل‌های ورودی برنامه ۶۷

۱۱- منابع ۷۰

لیست شکل‌ها

شکل ۱: شروع برنامه گمبیت از قسمت Run ویندوز ۱۱
شکل ۲: شمای کلی قسمت تعریف نقاط ۱۳
شکل ۳: شمای کلی قسمت تعریف خطوط ۱۵
شکل ۴: شمای کلی قسمت تعریف سطوح ۱۸
شکل ۵: شمای کلی قسمت تعریف ماده ۱۹
شکل ۶: شمای کلی قسمت تعریف شرط مرزی ۲۱
شکل ۷: شمای کلی قسمت مش بندی ۲۳
شکل ۸: استخراج فایل مربوط به مش بندی ۲۵
شکل ۹: نمای اجرای برنامه ۳۱

شکل ۱۰: پنجره "GFEM-2D Project wizard " ۳۳
شکل ۱۱: پنجره "New GFEM Project" ۳۴
شکل ۱۲: پنجره ورود هندسه (در این نسخه گزینه ایجاد هندسه جدید غیر فعال است) ۳۵
شکل ۱۳: پنجره مربوط به انتخاب یا تولید یک فایل سطح مقطع ۳۶
شکل ۱۴: شمای کلی صفحه اصلی برنامه پس از اجراء ۳۸
شکل ۱۵: پنجره‌های مربوط به قسمت Input ۴۲
شکل ۱۶: شمای کلی آرایش سوخت‌ها ۴۴
شکل ۱۷: پنجره اطلاعات مربوط به سطح مقطع‌ها ۴۷
شکل ۱۸: پنجره اطلاعات مربوط به طیف انرژی در گروه‌های مختلف ۴۸
شکل ۱۹: قسمت output ۴۹

شکل ۲۰: شمای کلی پنجره تغییرات ضریب تکثیر ۵۱
شکل ۲۱: شمای کلی پنجره توزیع شار نوترون‌ها ۵۴
شکل ۲۲: نحوه جابجایی بین گروه‌های مختلف انرژی ۵۵
شکل ۲۳: شمای کلی پنجره نمایش توزیع توان ۶۳
شکل ۲۴: پنجره ابزارهای کنترلی ۶۴

لیست جدول‌ها

جدول ۱: گزینه‌های منوی File ۴۰
جدول ۲: گزینه‌های منوی Export ۴۱
جدول ۳: گزینه‌های منوی Help ۴۱

۱- چکیده

این گزارش از دو بخش تشکیل شده است، در بخش اول توضیح مختصری درباره نحوه استفاده از نرم‌افزار گمبیت و چگونگی تولید مش با استفاده از این نرم‌افزار داده می‌شود. در ادامه نرم‌افزار GFEM-2D معرفی می‌شود و کاربران با قابلیت‌ها و پنجره‌های مختلف این نرم‌افزار در پردازش داده‌ها و نمایش نتایج آشنا خواهند شد.

۲- کلیدواژه

گمبیت، عناصر مثلثی، معادله پخش، روش المان محدود، گلرکین، نمایش سه بعدی، سطح مقطع

قسمت اول: نحوه استفاده از نرم‌افزار گمبیت

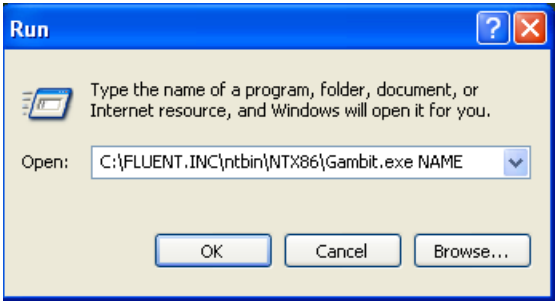
۳- تولید عناصر در نرم‌افزار گمبیت

به طور کلی مراحل تولید عناصر با استفاده از نرم‌افزار گمبیت را در دو بعد می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۳-۱- اجرای گمبیت:

پس از نصب برنامه گمبیت، از بخش Start، گزینه Run را انتخاب کرده و سپس در قسمت Open، C:\FLUENT.INC\ntbin\NTX86\Gambit.exe NAME را وارد کنید (شکل ۱).

بایستی توجه کرد که در هر اجرای برنامه، از NAME جدیدی برای فایل مورد نظر استفاده شود.



شکل ۱: شروع برنامه گمبیت از قسمت Run ویندوز

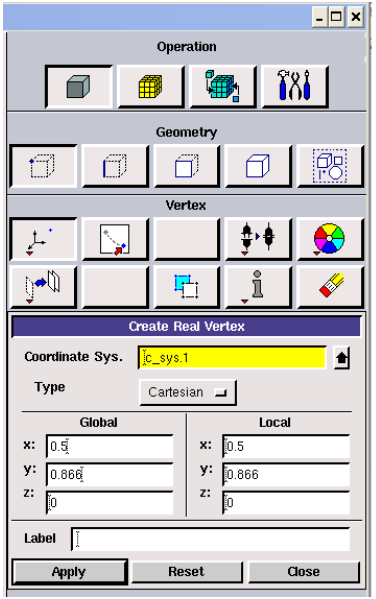
۳-۲- تعریف هندسه

تعریف هندسه در قسمت Geometry شامل مراحل زیر می‌باشد:

۳-۲-۱- تعریف نقاط مورد نظر در قسمت Vertex

شمای کلی قسمت Vertex در شکل ۲ نشان داده شده است. این قسمت دارای گزینه‌هایی همچون موارد زیر می‌باشد:

- Create Real Vertex: تعیین مختصات نقاط مورد نظر برای تعریف هندسه.
- Delete Vertices: حذف کردن نقاط تعریف شده.
- Connect Vertices: وصل کردن نقاط مورد نظر.
- Move/ Copy Vertices: انتقال دادن و یا کپی کردن نقطه مورد نظر.

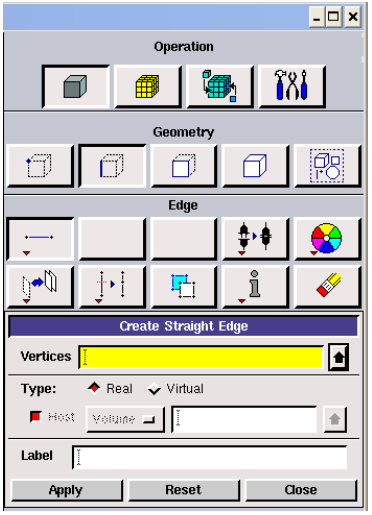


شکل ۲: شمای کلی قسمت تعریف نقاط

۳-۲-۲- تعریف خطوط در قسمت Edge:

شمای کلی قسمت Edge در شکل ۳ نشان داده شده است. این قسمت دارای گزینه‌هایی همچون موارد زیر می‌باشد:

- Create Straight Edge: در این قسمت، دو نقطه مورد نظر انتخاب و خط واصل آنها تعریف می‌شود.
- بخش Edge، نیز دارای گزینه‌هایی همچون Create Real Edge، Delete Edges، Connect Edges و Move/ Copy Edges است.



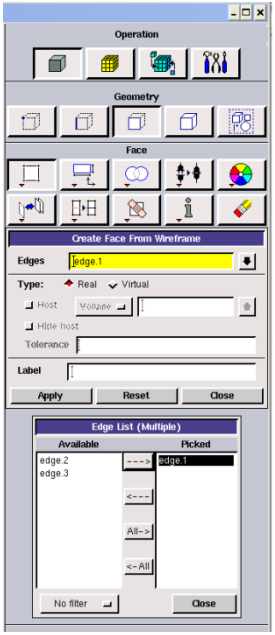
شکل ۳: شمای کلی قسمت تعریف خطوط

۳-۲-۳- تعریف سطوح در قسمت Face:

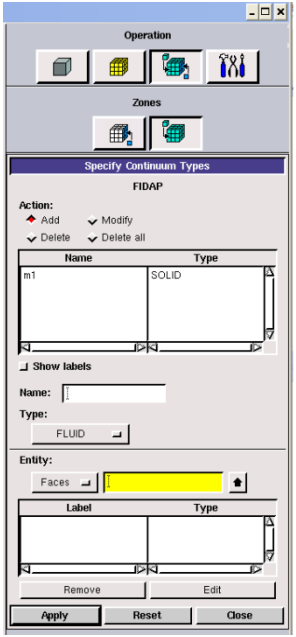
شمای کلی قسمت Face در شکل ۴ نشان داده شده است. در این قسمت، سطوح مورد نظر با انتخاب خطوط تشکیل دهنده آن تعریف می‌شود. قسمت Face نیز گزینه‌های موجود در بخش‌های Vertex و Edge را دارا می‌باشد. گزینه Move/ Copy Faces، یکی از گزینه‌های پرکاربرد این بخش است. به عنوان مثال برای ترسیم یک قلب راکتور متشکل از مجتمع‌های سوخت شش‌گوش، لازم نیست هر یک از این مجتمع های شش‌گوش را با دادن مختصات و سپس ترسیم خطوط جداگانه رسم کرد، بلکه با ترسیم یک سطح به شکل شش‌گوش و سپس کپی کردن آن به تعداد مورد نظر در راستاهای دلخواه، قلب راکتور ترسیم می‌شود. برای این که شکل حاصل از کپی کردن اجزای آن یکپارچه باشد، بایستی در قسمت تعریف خطوط، با استفاده از گزینه Connect Edges، تمامی خطوط را انتخاب کرده تا خطوط مجاور هم، به هم متصل شوند و یکپارچگی شکل حفظ شود.

۳-۳- تعریف ماده و شرایط مرزی

تعریف ماده و شرایط مرزی در قسمت Zone: تعریف ماده در قسمت Specify Continuum Types صورت می‌گیرد. شمای کلی این قسمت در شکل ۵ نشان داده شده است. برای تعریف ماده، در قسمت Entity سطوح مورد نظر را انتخاب کرده و سپس در قسمت‌های Name و Type، نام و نوع ماده مورد نظر وارد می‌شوند.

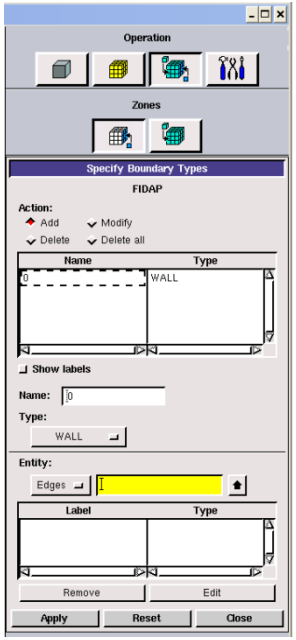


شکل ۴: شمای کلی قسمت تعریف سطوح



شکل ۵: شمای کلی قسمت تعریف ماده

تعیین شرط مرزی در قسمت Specify Boundary Types صورت می‌گیرد. شمای کلی از این قسمت در شکل ۶ نشان داده شده است. برای تعیین شرایط مرزی، ابتدا بایستی Solver مورد نظر انتخاب شود. بهترین Solver برای حل معادله پخش یا ترابرد نوترون، FIDAP است. برای تعیین شرط مرزی، قسمت Specify Boundary Types، در قسمت Entity، گزینه Edges (لبه های مرزی) را انتخاب کرده و نوع شرط مرزی در قسمت Name نوشته می‌شود. برای تعیین نوع شرط مرزی می‌توان از شماره گذاری استفاده کرد. به عنوان مثال، لبه های با شرط مرزی خلأ با عدد ۱ و شرط مرزی بازتابنده کامل با عدد ۰ مشخص می‌شود.



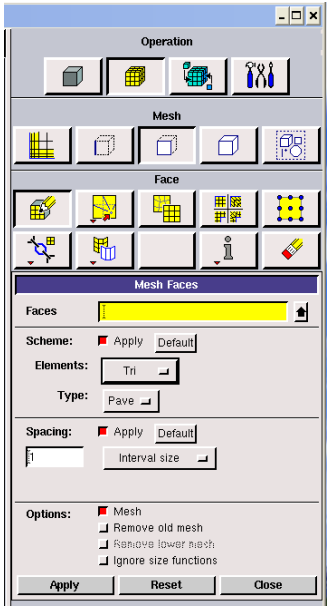
شکل ۶: شمای کلی قسمت تعریف شرط مرزی

۳-۴- مش‌بندی

مش بندی در بخش Mesh: برای مش بندی در بخش Mesh، قسمت Face را انتخاب کرده و سپس Mesh Faces را انتخاب کنید. شمای کلی این قسمت در شکل ۷ نشان داده شده است. در این قسمت سطوح مورد نظر را انتخاب کرده و نوع عنصر (Quad, Tri, Quad/Tri) را وارد کنید. اندازه عناصر در قسمت Spacing مشخص می‌شود و با انتخاب گزینه Apply، مش بندی صورت می‌گیرد. مش بندی سطوح را می‌توان با انتخاب سطوح و سپس گزینه Remove old mesh پاک کرد.

پس از مش‌بندی سطوح، با انتخاب تمام سطوح در قسمت Smooth Face Meshes، کیفیت مش‌ها افزایش می‌یابد.

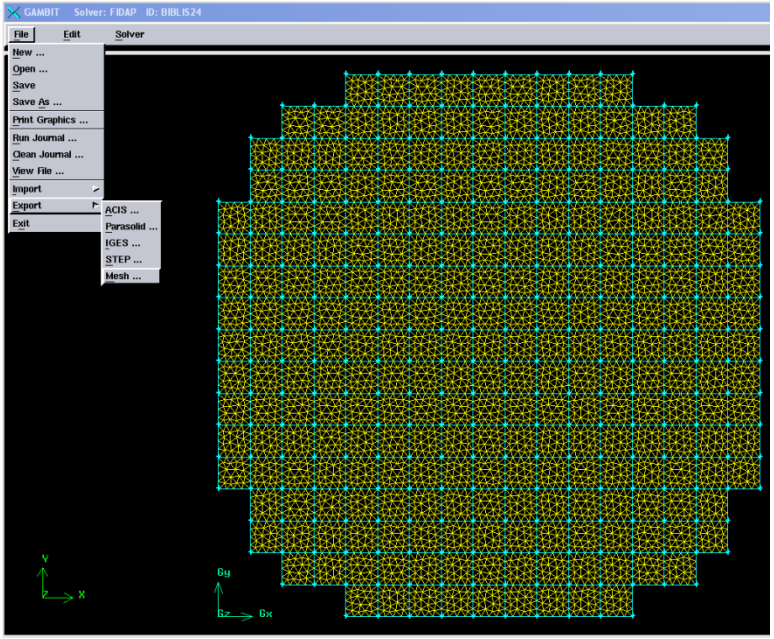
برای مش بندی لبه‌ها نیز گزینه Mesh Edges را انتخاب کرده و فاصله بین مش‌ها را در قسمت Spacing مشخص کنید. مش بندی خطوط را نیز می‌توان با انتخاب Remove old mesh پاک کرد.



شکل ۷: شمای کلی قسمت مش بندی

۳-۵- استخراج مشخصات تولیدی

پس از مش‌بندی هندسه مورد نظر از قسمت Mesh→ Export →File که شمای کلی آن در شکل ۸ نشان داده شده است، فایل خروجی که شامل مختصات نقاط، شماره عناصر، نقاط تشکیل دهنده هر عنصر و نوع ماده تشکیل دهنده آن و عناصر مرزی می‌باشد، ذخیره می‌شود.



شکل ۸: استخراج فایل مربوط به مش بندی

قسمت دوم: نحوه استفاده از نرم‌افزار GFEM-2D

۴- معرفی نرم‌افزار

محاسبات نوترونی همواره یکی از مسائل مهم در زمینه طراحی راکتور بوده است. اکثر مدل‌های محاسباتی که تاکنون مورد بررسی قرارگرفته محدود به هندسه‌های مربع، مستطیل و یا هگزاگونال بوده‌اند. در این محاسبات شکل واقعی راکتور بصورت هندسه‌های مربعی و یا مثلث‌های متساوی الاضلاع مورد بررسی قرارگرفته‌اند. این عامل یکی از محدودیت‌های مدل‌های محاسباتی قدیمی تحت هندسه‌های مشخص بوده که می‌تواند با بکارگیری روش مش‌بندی مثلثی مرتفع گردد. در این روش محاسبات پخش نوترون را می‌توان بر روی تمام اشکال بدون محدودیت بکار گرفت.

در مدل GFEM-2D از مش‌بندی مثلثی برای تقسیم‌بندی سطح به المان‌های کوچکتر برای حل معادله پخش استفاده می‌شود. در این حالت معادلات برای سطوحی مثلثی شکل بدون نیاز به هیچ‌گونه تقارن می‌تواند پیاده‌سازی شود.

در این روش معادلات پخش بر مبنای یک سطح مثلثی نوشته می‌شود با این فرض که پیوستگی در مرز بین مش‌های مجاور برقرار است.

تنها مشکل در استفاده از این روش نیاز به یک نرم‌افزار است که بتواند هندسه قلب را به صورت مثلثی مش‌بندی نماید بطوریکه بتوان در هر قسمت تعداد مشخصی مش داشت و سطوح مثلث‌های هر مش تقریباً با هم هماهنگ باشند.

در حال حاضر لازم است این مش‌بندی توسط نرم‌افزار گمبیت انجام گیرد تا فرمت فایل‌های آن برنامه شناخته شده باشد. لازم بذکر است که برای استفاده از این نرم‌افزار، کاربران باید آشنائی کافی با نحوه کار گمبیت را داشته باشند.

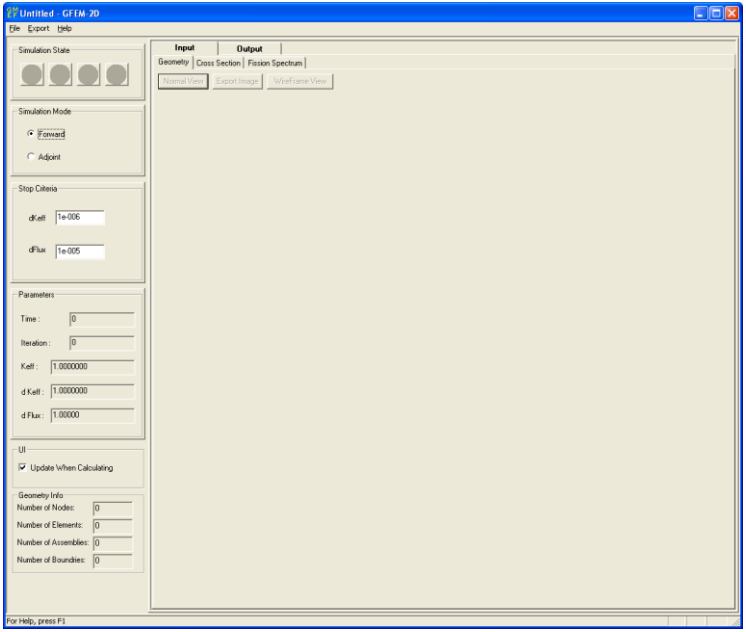
برای تجزیه و تحلیل نتایج محاسبات این مدل دو بعدی از نمونه مسائلی که توسط آژانس انرژی اتمی بعنوان مراجع محاسبات نوترونی ارائه شده است، استفاده گردیده است. فایل‌های ورودی راکتور BIBLIS که توسط نرم‌افزار گمبیت

مش‌بندی شده است برای سهولت کار در داخل برنامه قرار داده شده است. هر چند که کاربران در بدو شروع بکار با این مدل می‌توانند هندسه مربوط به قلب یک راکتور را ترسیم کرده و تمامی اطلاعات لازم را به نرم‌افزار وارد نمایند و نتایج را با دیگر مدل‌ها محاسباتی ارزیابی نمایند.

در ادامه این راهنما کاربران با قابلیت‌ها و پنجره‌های مختلف این نرم‌افزار در پردازش داده‌ها و نمایش نتایج آشنا خواهند شد.

۵- اجرای برنامه

با اجرا نمودن فایل اجرایی برنامه، پنجره‌ای مطابق شکل ۹ پدیدار می‌گردد. در این حالت به منظور ساختن یک فایل پروژه جدید و یا باز نمودن یک فایل پروژه از پیش ساخته شده می‌توان از منوی File و سپس زیرمنوهای New یا Open استفاده نمود. در ادامه توضیحات مربوط به هر یک از این زیر منوها بیان شده است:

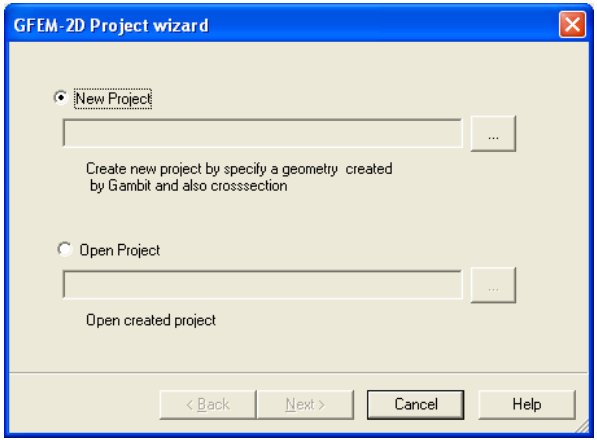


شکل ۹: نمای اولیه اجرای برنامه

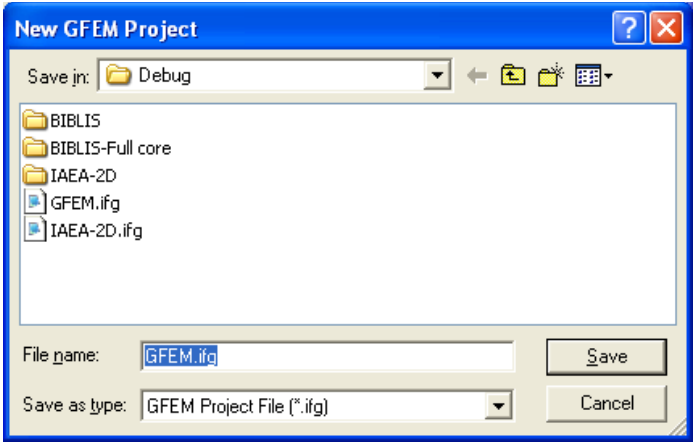
- " New": با انتخاب این زیر منو پنجره "GFEM-2D Project wizard" مطابق شکل ۱۰ نمایش داده می‌شود. با انتخاب گزینه "New Project" در این پنجره می‌توان یک فایل پروژه جدید را با استفاده از یک فایل geometry تولید شده توسط گمبیت و نیز یک فایل سطح مقطع ایجاد نمود.

برای این منظور ابتدا باید بر روی گزینه کلیک نموده و پس از باز شدن پنجره "New GFEM Project" مطابق شکل ۱۱، نام فایل پروژه جدید را با پسوند ".ifg" نوشته و بر روی گزینه save کلیک گردد. نام پیش‌فرض برای فایل پروژه "GFEM.ifg" انتخاب شده است. سپس گزینه Next از پنجره Project wizard انتخاب می‌شود که پنجره‌ای مطابق شکل ۱۲ ظاهر می‌شود. در مرحله بعد می‌بایست مسیر فایل geometry

ایجاد شده توسط گمبیت با استفاده از گزینه مشخص گردد. این فایل با پسوند ".FDNEUT" وجود دارد. در قسمت Project Description می‌توان توضیحاتی در مورد پروژه در حال ایجاد وارد نمود.



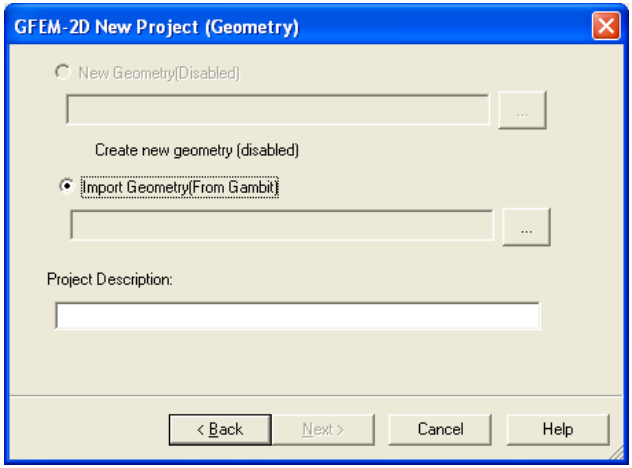
شکل ۱۰: پنجره "GFEM-2D Project wizard "



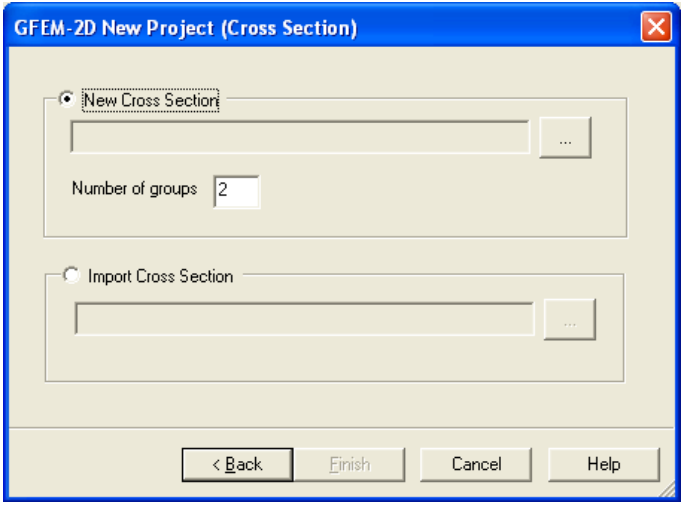
شکل ۱۱: پنجره "New GFEM Project"

پس از این نیز گزینه Next از پنجره Project wizard انتخاب شود. در مرحله بعد می‌توان یک فایل سطح مقطع جدید را تولید کرد یا از یک فایل سطح مقطع موجود استفاده نمود (شکل ۱۳).

در این مرحله اگر گزینه "New Cross Section" انتخاب شود، باید تعداد گروه‌های انرژی نوترون نیز مشخص گردد.



شکل ۱۲: پنجره ورود هندسه (در این نسخه گزینه ایجاد هندسه جدید غیر فعال است)

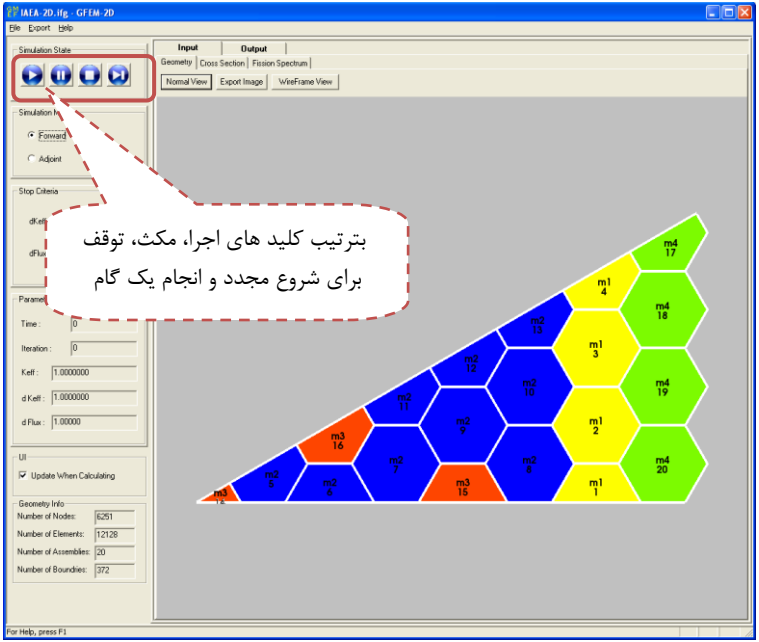


شکل ۱۳: پنجره مربوط به انتخاب یا تولید یک فایل سطح مقطع

در پایان گزینه با انتخاب "Finish" صفحه اصلی برنامه پس از بارگذاری داده های ورودی پدیدار می‌گردد.

- "Open Project": با انتخاب این گزینه، می‌توان یک فایل پروژه موجود، که قبلاً (با پسوند ".ifg") ایجاد شده است را انتخاب نمود. سپس با کلیک بر روی گزینه "Ok" صفحه اصلی برنامه مطابق شکل ۱۴ پدیدار می‌شود.

به منظور شروع بکار برنامه و انجام محاسبات باید بر روی کلید اجرا کلیک شود. پس از اتمام هرگام محاسبات کلیه نتایج بصورت نمودار بر روی صفحه نمایش تغییرات ضریب تکثیر ترسیم و بروزرسانی می‌شود. از کلیدهای مشخص شده در قسمت بالای شکل ۱۳ می‌توان برای "اجرا"، "مکث"، "توقف برای شروع مجدد" و "انجام یک گام محاسبات" استفاده نمود. اطلاعات مربوط به دیگر پنجره‌ها و کنترل‌های مختلف این برنامه در بخش‌های بعد شرح داده خواهد شد.



شکل ۱۴: شمای کلی صفحه اصلی برنامه پس از اجراء

۶- منوهای برنامه

در این نرم‌افزار ابزارهای مختلفی جهت سهولت در بررسی عملکرد برنامه و آنالیز نتایج در اختیار کاربر قرار گرفته است. دسترسی به این ابزارها از طریق منوهای مختلف برنامه امکان‌پذیر است. جدول‌های ۱ الی ۳ منوهای مختلف برنامه را به همراه شرح مختصری از عملکرد آنها ارایه می‌نماید.

جدول ۱: گزینه‌های منوی File

گزینه	شرح عملکرد
New	از این منو برای باز کردن پنجره "Project wizard" و ساختن فایل پروژه جدید استفاده می‌شود.
Open	از این منو برای باز کردن پنجره "Project wizard" و سپس انتخاب نمودن یک فایل پروژه از پیش ساخته شده استفاده می‌شود.
Print	از این منو برای چاپ کردن صفحه نمایش جاری استفاده می‌شود.
Exit	برای خروج از برنامه از این گزینه استفاده می‌شود.

جدول ۲: گزینه‌های منوی Export

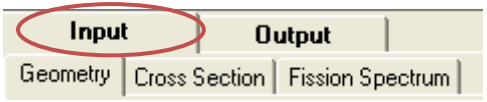
گزینه	شرح عملکرد
Export Flux	توسط این منو مقادیر شار نوترون‌ها در فایل نوشته می‌شود.
Export Power	توسط این منو مقادیر توان در فایل نوشته می‌شود.
Export Cross Sections	توسط این منو مقادیر سطح مقطع‌ها در فایل نوشته می‌شود.

جدول ۳: گزینه‌های منوی Help

گزینه	شرح عملکرد
Help	فایل راهنمای کار با نرم‌افزار را به زبان فارسی نشان می‌دهد.
About …	این گزینه، اطلاعاتی راجع به ویرایش جاری نرم‌افزار را به کاربر نشان می‌دهد.

۷- قسمت Input

با انتخاب قسمت Input، دو پنجره Geometry و Cross Section قابل انتخاب و مشاهده خواهند بود (شکل ۱۵).



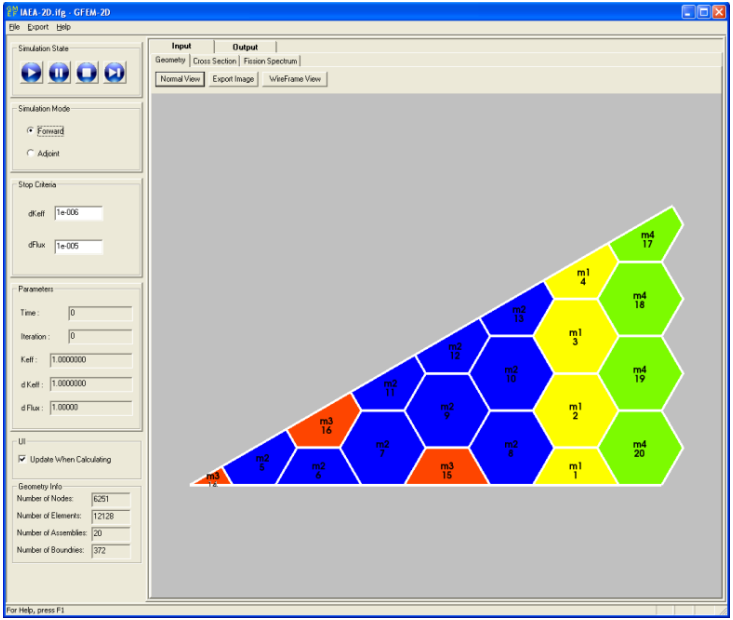
شکل ۱۵: پنجره‌های مربوط به قسمت Input

در ادامه هر یک از این پنجره‌ها و کاربردهای آن‌ها توضیح داده خواهد شد:

۷-۱- پنجره نمایش هندسه قلب راکتور (Geometry)

در این پنجره ساختار مواد تشکیل دهنده قلب راکتور بصورت گرافیکی نمایش داده می‌شود (شکل ۱۶). در پردازش فایل ورودی که معرف هندسه قلب نرم‌افزار است، ابتدا سطح مقطع‌های عناصر تشکیل دهنده با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و تنوع مواد از روی تنوع مقادیر سطح مقطع‌ها تشخیص داده می‌شود. در حال حاضر نامگذاری مواد بر اساس نام‌هایی است که در فایل هندسه قلب (فایل تولید شده توسط گمبیت) توسط کاربر انتخاب شده است و هیچ الگوی مشخصی برای تولید رنگ متناسب با سطح مقطع وجود ندارد تا کاربر بتواند از روی رنگ، نوع ماده را شناسایی کند.

قابلیت‌هایی مشابه با پنجره توزیع توان (قسمت ۳-۸) برای تغییر نحوه نمایش در این پنجره نیز در نظر گرفته شده است. در این پنجره دکمه WireFrame View نمایش هندسه را از حالت Surface به Wireframe و بالعکس تغییر داد.



شکل ۱۶: شمای کلی آرایش سوخت‌ها

۷-۲- پنجره نمایش سطح مقطع (Cross Section)

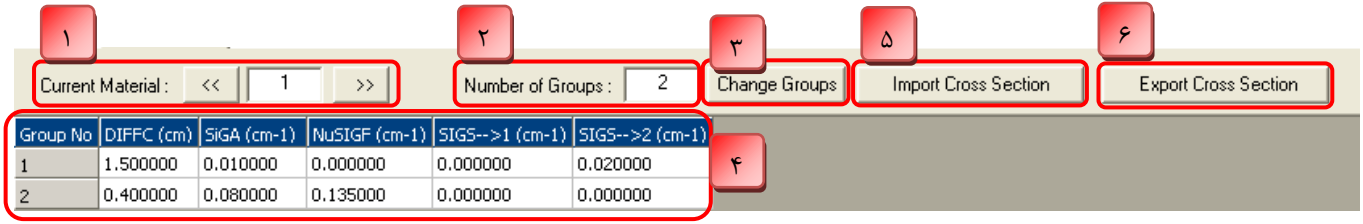
در این پنجره اطلاعات مربوط به سطح مقطع‌ها قابل دسترسی و تغییر می‌باشند. همانگونه که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود این پنجره از چهار بخش تشکیل شده، که در ادامه این بخش ها معرفی می‌شوند.

۱. Current Material: با استفاده از این کنترل می‌توان بین مواد موجود حرکت کرد.
۲. Number of Groups: در این قسمت تعداد گروه‌های انرژی نمایش داده می‌شود.
۳. Change Groups: کاربر با فشردن این دکمه تعداد گروههای انرژی دریافت شده را در برنامه اعمال می‌کند.
۴. جدول مقادیر سطح مقطع‌ها: تعداد سطرهای این جدول بسته به تعداد گروه انرژی نوترون‌ها می‌باشد، بدین صورت که هر سطر مربوط به یک گروه می‌باشد و کاربر می‌تواند مقادیر دلخواه خود را برای هر ماده در آن وارد

نماید. چنانچه در ابتدای برنامه در پنجره "Project wizard" گزینه ساخت سطح مقطع جدید انتخاب شده باشد، در این پنجره جدول با مقادیر پیش‌فرض پر شده است که کاربر می‌تواند آن‌ها را با مقادیر مورد نظر خود جایگزین نماید.

۵. Import Cross Section: با این گزینه کاربر می‌تواند مقادیر سطح مقطع‌ها را فراخوانی کند.

۶. Export Cross Section: پس از مقداردهی مقادیر مربوط به سطح مقطع‌ها، کاربر می‌تواند جهت ساخت فایل سطح مقطع از این دکمه استفاده نماید.



شکل ۱۷: پنجره اطلاعات مربوط به سطح مقطع‌ها

پنجره نمایش (Fission Spectrum)

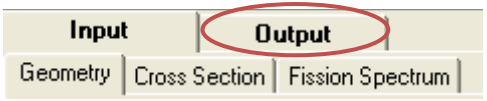
در این پنجره کاربر طیف انرژی مربوط به گروه‌های مختلف را وارد می‌کند (شکل ۱۸). در صورتی که مجموع مقادیر طیف انرژی در گروههای مختلف مقدار یک نباشد برنامه با پیغام مناسب کار بر را آگاه می‌کند.

	G1	G2
Kapa	1.000000	0.000000

شکل ۱۸: پنجره اطلاعات مربوط به طیف انرژی در گروه‌های مختلف

۸- قسمت Output

با انتخاب قسمت Output، سه پنجره Keff، Flux و Power قابل انتخاب و مشاهده خواهند بود (شکل ۱۹).



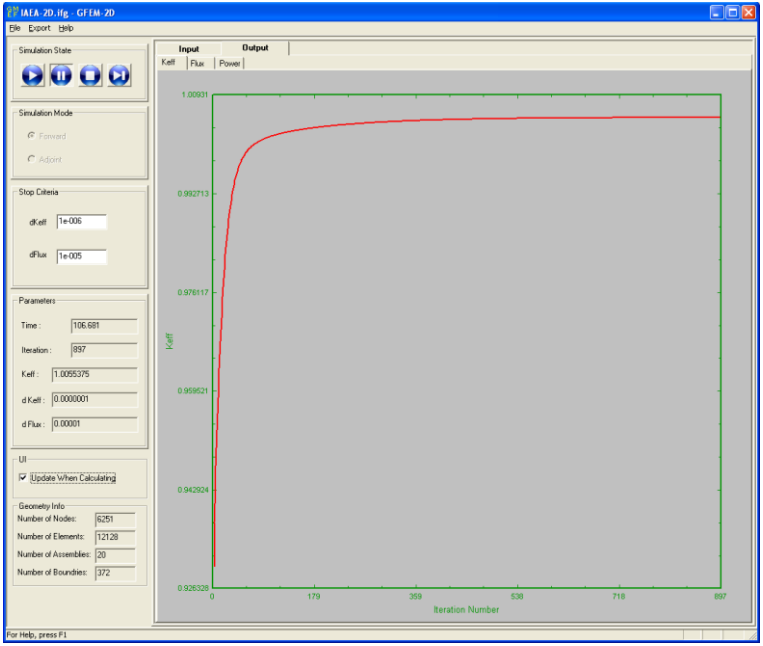
شکل ۱۹: قسمت output

در ادامه هر یک از این پنجره‌ها و کاربردهای آن‌ها توضیح داده خواهد شد:

۸-۱- پنجره نمایش تغییرات ضریب تکثیر (Keff)

شکل ۲۰ نمودار تغییرات ضریب تکثیر را برحسب گام محاسبات نشان می‌دهد. در حل معادله پخش نوترون، ضریب تکثیر نوترونی یکی از مهمترین مقادیر است که باید دارای همخوانی بسیار بالایی با نتیجه محاسبات دیگر کدهای استاندارد مشابه باشد. در شروع محاسبات بدلیل آنکه اطلاعی از توزیع شار نوترن در قلب راکتور موجود نیست، برنامه با فرض یک مقدار ثابت برای شار نوترون در تمام سلول‌ها شروع بکار می‌کند. در ابتدای هر گام محاسباتی از روی شار اولیه

نوترون در هر سلول، خصوصیات مواد و سطح مقطع سلول، شار جدیدی برای آن سلول محاسبه می‌گردد. مادامی‌که ویژگی‌های فیزیکی سلول تغییر نکند شار نوترون هر سلول به طرف مقدار مشخصی همگرا می‌شود و توزیع شار نوترن در قلب راکتور تثبیت می‌گردد.



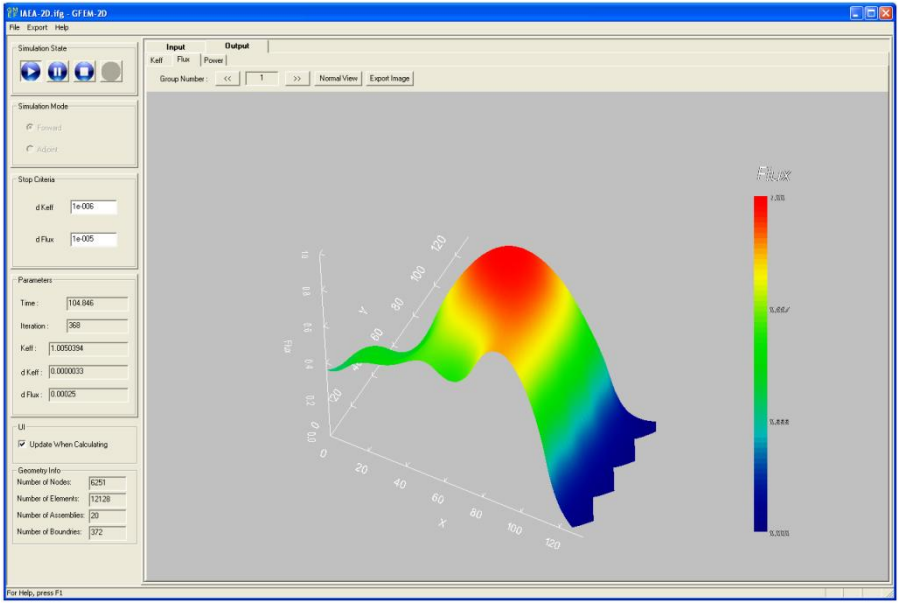
شکل ۲۰: شمای کلی پنجره تغییرات ضریب تکثیر

پس از هر بار محاسبه شار نوترون، از روی نسبت میزان تولید به جذب نوترون ضریب تکثیر محاسبه می‌شود. با تثبیت توزیع شار نوترون، ضریب تکثیر نیز تثبیت می‌گردد. در طول اجرای برنامه مقدار ضریب تکثیر بدست آمده در هر گام در این صفحه نمایش داده می‌شود و تغییرات ضریب تکثیر بر حسب گام محاسبات بر روی نمودار ترسیم می‌گردد.

نکته مهم این است که روند تثبیت ضریب تکثیر (Keff) در ابتدای شروع بکار برنامه طولانی است ولی پس از رسیدن به تعادل با اعمال تغییرات در شرایط فیزیکی راکتور توسط پنجره کنترل شرایط راکتور، ملاحظه شود که ضریب تکثیر سریعتر به مقدار واقعی و تثبیت شده نزدیک می‌شود. دلیل این امر در وجود تقریب اولیه بهتری برای مقدار شار نوترون در سلول‌ها در مقایسه با شروع بکار(مقدار واحد برای همه سلول‌ها) است.

۸-۲- پنجره نمایش سه بعدی توزیع شار نوترون (Flux)

این پنجره برای نمایش توزیع سه بعدی شار نوترون‌ها در نظر گرفته شده است. نمودار ترسیم شده (شکل ۲۱)، میزان شار نوترون را در سلول‌های واقع در یک لایه افقی عمود بر محور سوخت‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۲۱: شمای کلی پنجره توزیع شار نوترون‌ها

با استفاده از کلیدهای مشخص شده در شکل ۲۲ می‌توان بین گروه‌های مختلف انرژی حرکت نمود و میزان شار نوترون‌ها را در هر گروه مشاهده نمود.

شکل ۲۲: نحوه جابجایی بین گروه‌های مختلف انرژی

مقادیر نمودار سه بعدی در هر گام از محاسبات بروزرسانی می‌گردد. کاربر می‌تواند با توقف برنامه و شروع مجدد آن شکل‌گیری و همگرایی تغییرات توزیع شار نوترون را مشاهده نماید.

نحوه نمایش نمودار بصورت پیش‌فرض سطح (surface) در نظر گرفته شده است. شار نوترون در هر سلول با مختصات مکانی آن در صفحه XY، در نمودار نمایش داده شده و مقدار آن از کم به زیاد توسط گرادیان طیف رنگی از آبی تا قرمز ترسیم گردیده است.

کاربر با فشردن دکمه سمت چپ موشواره بر روی صفحه نمایش و حرکت آن می‌تواند صفحه نمایش نمودار را در جهت‌های مختلف بسته به جهت حرکت موشواره دوران دهد. این امکان قابلیت بررسی نحوه توزیع حجمی شار نوترون را فراهم می‌کند. در شرایطی که توزیع شار در قلب بصورت تخت باشد باید تقریباً سطح زیادی دارای یک رنگ ثابت مایل به قرمز را داشته باشد.

قابلیت‌های دیگر برای تغییر نحوه نمایش در ادامه بیان شده است. این گزینه‌ها در مجموع به کاربر امکان می‌دهد که نوع نمایش سه بعدی توزیع شار نوترون را که مشاهده می‌کند تغییر دهد. تعدادی از گزینه‌ها بصورت پیش‌فرض فعال هستند. به‌طور مثال کاربر می‌تواند در ابتدا با فشرده نگه داشتن دکمه سمت چپ موشواره و حرکت دادن آن نمودار را بچرخاند تا از زوایای مختلف نمودار را ببیند. قابلیت‌های دیگر به صورت زیر هستند:

- با فشردن کلید "W" بر روی صفحه کلید نحوه نمایش نمودار بصورت مش‌بندی شده (wireframe) تبدیل خواهد شد. برای تبدیل مجدد نحوه نمایش به حالت سطح (surface) از کلید "S" بر روی صفحه کلید استفاده نمایید.

- همچنین با کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحه نمایش و سپس حرکت دادن دکمه scroll آن می‌توان برای بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی نمودار استفاده نمود. چنانچه عمل بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی بیش از حد انجام شود ممکن است شکل ناپدید گردد. برای رفع این مشکل می‌توان از گزینه

که در بالای صفحه نمایش قرار دارد استفاده کرد. به کمک این گزینه نحوه نمایش نمودار به حالت پیش‌فرض خود باز می‌گردد. (برای بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی نمودار می‌توان از فشرده نگه داشتن دکمه سمت راست موشواره و حرکت دادن موشواره به سمت بالا و پایین صفحه نمایش نیز استفاده نمود.)

- همچنین با فشرده نگه داشتن کلید shift و کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحات نمایش و حرکت دادن آن می‌توان نمودار را در صفحه نمایش جابجا کرد و آن را در جایی قرار داد که به طور کامل قابـل دیـدن باشد.
- با فشرده نگه داشتن کلید Ctrl و کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحات نمایش و حرکـت دادن آن می‌توان نمودار را حول مرکز صفحه نمایش گردانید.

۸-۳- پنجره نمایش توزیع توان (Power)

این پنجره برای نمایش توزیع توان در نظر گرفته شده است. توان محاسبه شده در هر بخش، در مرکز همان بخش در نمودار نمایش داده شده و مقدار آن از کم به زیاد توسط گرادیان طیف رنگی از آبی تا قرمز ترسیم گردیده است. قابلیت‌هایی مشابه با پنجره توزیع نمایش شار نوترون برای تغییر نحوه نمایش در این پنجره نیز در نظر گرفته شده است که در ادامه بیان شده است:

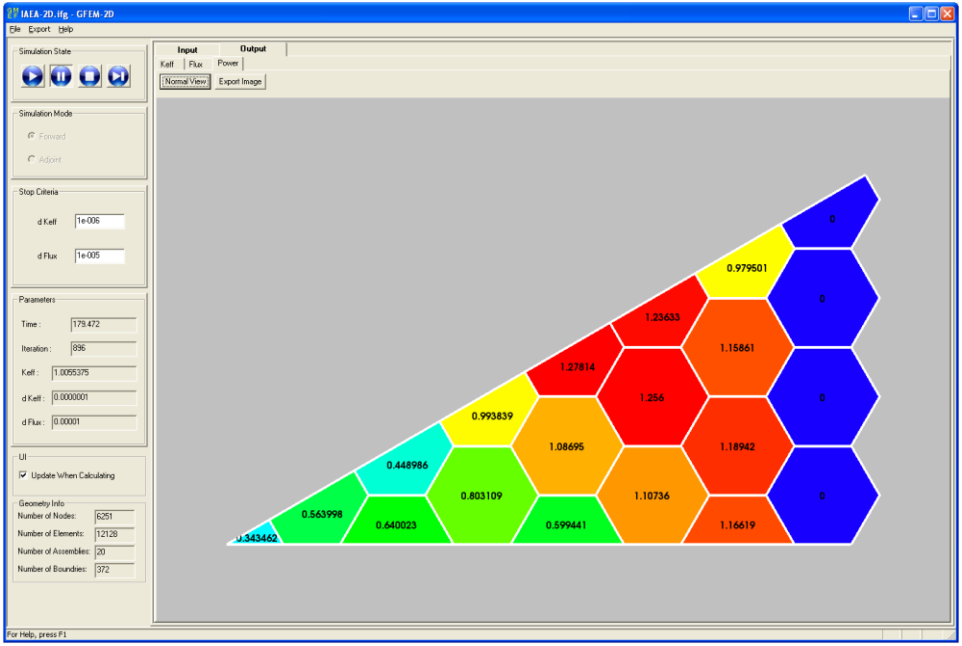
- با فشردن کلید "W" بر روی صفحه کلید نحوه نمایش نمودار بصورت مش‌بندی شده (wireframe) تبدیل خواهد شد. برای تبدیل مجدد نحوه نمایش به حالت سطح (surface) از کلید "S" بر روی صفحه کلید استفاده نمایید.

- همچنین با کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحه نمایش و سپس حرکت دادن دکمه scroll آن می‌توان برای بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی نمودار استفاده نمود. (برای بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی نمودار می‌توان از فشرده نگه داشتن دکمه سمت راست موشواره و حرکت دادن موشواره به سمت بالا و پایین صفحه نمایش نیز استفاده نمود). چنانچه عمل بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی بیش از حد انجام شود ممکن است شکل ناپدید گردد. برای رفع این مشکل می‌توان از گزینه

که در بالای صفحه نمایش قرار دارد استفاده کرد. به کمک این گزینه نحوه نمایش نمودار به حالت پیش‌فرض خود باز می‌گردد.
- همچنین با فشرده نگه داشتن کلید shift و کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحات نمایش و حرکت دادن آن می‌توان نمودار را در صفحه نمایش جابجا کرد.

- با فشرده نگه داشتن کلید Ctrl و کلیک نمودن دکمه چپ موشواره بر روی صفحات نمایش و حرکـت دادن آن می‌توان نمودار را حول مرکز صفحه نمایش گردانید .

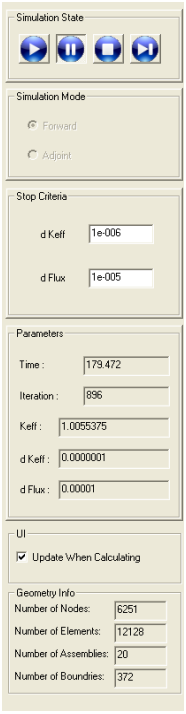
شمایی از پنجره نمایش توزیع توان در شکل ۲۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲۳: شمای کلی پنجره نمایش توزیع توان

۹- پنجره ابزارهای کنترلی

در قسمت سمت چپ پنجره اصلی برنامه محیطی در نظر گرفته شده است که کاربر توسط آن می‌تواند روش حل مسئله و شرایط پایان محاسبات را تعیین و همچنین تغییرات تعدادی از پارامترهای موردنیاز خود را مشاهده نماید. شکل۲۴ نمایی از این پنجره کنترلی را نمایش می‌دهد. در ادامه شرح مختصری از ابزارهای آن بیان شده است:



شکل ۲۴: پنجره ابزارهای کنترلی

- Simulation Mode: در این قسمت کاربر می‌تواند روش شبیه‌سازی را از بین دو گزینه‌ی Forward و Adjoint انتخاب کند. به‌طور پیش‌فرض گزینه‌ی Forward انتخاب شده است.
- Stop Criteria: در این قسمت دو شرط پایان محاسبات d Keff و d Flux قرار گرفته‌اند و کاربر می‌باید آن‌ها را مقداردهی کند. برنامه در صورت محقق شدن هر دو شرط به جواب نهایی رسیده و روند اجرا متوقف می‌شود.
- Parameters: در این بخش برخی از پارامترهای محاسبه شده در طول اجرای برنامه از قبیل زمان اجرای برنامه، تعداد Iteration ها، مقدار Keff و شروط پایانی d Keff و d Flux در هر Iteration نمایش داده می شوند.

- UI: چنانچه گزینه Update When Calculating انتخاب شود، پنجره‌های Power و Flux به‌صورت آنی و همزمان با انجام محاسبات به‌روزرسانی می‌شوند و کاربر می‌تواند روند تغیرات آن‌ها را در طول زمان مشاهده کند؛ چنانچه این گزینه انتخاب نشود، فقط پنجره Keff View در طول زمان اجرای محاسبات به‌روزرسانی می‌شود و در دو پنجره‌ی Flux و Power فقط نتایج پایانی در انتهای انجام محاسبات نمایش داده خواهند شد.

- Geometry Info: در قسمت اطلاعات مربوط به هندسه شامل تعداد گره‌ها، تعداد المان‌ها، تعداد اسمبلی‌ها و تعداد المان‌های مرزی بیان شده است.

۱۰- فایل‌های ورودی برنامه

فایل‌های ورودی مورد نیاز برنامه سه نوع فایل به عنوان فایل ورودی در برنامه استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شوند:

- فایل مشخصات هندسه قلب:

مشخصات هندسه قلب در نرم‌افزار گمبیت ساخته می‌شود و به فرمت".FDNEUT" که یک فایل متنی است ذخیره می‌شود. برای اطلاعات بیشتر به "قسمت اول: نحوه استفاده از نرم‌افزار گمبیت" مراجعه شود. در ساخت فایل پروژه ".ifg" از این فرمت فایل استفاده می‌شود.

- فایل سطوح مقاطع:

فرمت سطوح مقاطع بکار رفته در نرم‌افزار به فرمت سطوح مقاطع ورودی نرم‌افزار CITATION [1] که در قسمت 008 این ورودی آمده است، می‌باشد. این فایل یک فایل متنی است که می‌تواند توسط کاربر تهیه و با پسوند ".cs" ذخیره شود. همچنین برای ساخت این فایل می‌توان از گزینه Export Cross Section File استفاده نمود. لازم به ذکر است که درساخت فایل پروژه ".ifg" ازاین فرمت فایل استفاده می‌شود.

- فایل پروژه:

فایل پروژه برنامه یک فایل متنی است که حاوی اطلاعات هندسه قلب و سطوح مقاطع می‌باشد. در واقع این فایل از به هم پیوستن به ترتیب اطلاعات هندسه قلب و سطوح مقاطع ایجاد می‌شود و با پسوند ".ifg" ذخیره

می‌شود برای ساخت این فایل به صورت دستی می‌توان یک فایل متنی خالی ایجاد نمود و سپس محتویات یک فایل به فرمت "FDNEUT." را در داخل آن کپی کرد سپس در ادامه یک خط خالی ایجاد نمود و اطلاعات مربوط به سطوح مقاطع را که به فرمت قسمت 008 ورودی نرم‌افزار CITATION است را اضافه نمود. بدیهی است که باید به تعداد مواد بکار رفته در قسمت هندسه قالب سطح مقطع وجود داشته باشد در غیر این‌صورت برنامه دچار اشکال می‌شود. در هنگام ساخت یک فایل پروژه توسط خود برنامه این مراحل به صورت خودکار انجام می‌شوند.

۱۱- منابع

[1] CITATION: Nuclear Reactor Core Analysis Code, by T. B. Fowler ET. All. ORNL-TM-2496, Rev. 2, Oak Ridge National Laboratory (1971).