بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه

تحلیل ترک و گسترش آن در محیط های الاستیک و پلاستیک اجزای فولادی به کمک روش اجزای محدود توسعه یافته

نگارش

امیر احمدنژاد صائین

استاد راهنما

دکتر جعفر عسگری مارنانی

استاد مشاور

دکتر سهیل منجمی‌نژاد

تابستان ۱۳۹۲

این پایان نامه را تقدیم می‌کنیم

خانواده عزیزم

تشکر

از جناب آقایان دکتر عسگری، دکتر منجمی‌نژاد و دکتر مجتبی جعفری صمیمی، که در کلیه مراحل انجام پایان‌نامه با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

از سرکار خانم مهندس نسترن احمدنژاد که لطف‌های بی‌شماری در خصوص روش تحقیق به اینجانب عرضه داشت، صمیمانه تشکر می‌کنم

از جناب آقایان مهندس هومن احمدیان، منوچهر رحیمی، مرتضی فرامرزی و کیوان هاشمی که خط به خط این پایان نامه را مورد بررسی قرار دادند و نظرات دلسوزانه خود را ابراز داشتند، کمال تشکر را دارم.

از آقایان مهندس پوریا جوانمردی، علیرضا موسوی، مصطفی سلیمانی، حسین فانی و سعید رشیدی به دلیل کمک در تهیه و تدوین این پایان‌نامه سپاسگزارم.

معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و اعضاء هیأت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هر گونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلایند.

۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هر گونه جانبداری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

٤- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هر گونه حرمت شکنی.

۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

٦- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هر گونه پنهان سازی حقیقت.

۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب امیر احمدنژاد صائین دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۸۹۰۹٤۰۳۵۸۰۰ در رشته مهندسی عمران، گرایش سازه که در تاریخ ۱۳۹۲/۰٦/۱۷ از پایان‌نامه خود تحت عنوان " تحلیل ترک و گسترش آن در محیط‌های الاستیک و پلاستیک اجزای فولادی به کمک روش اجزای محدود توسعه یافته" با کسب نمره ۱۸ ودرجه عالی دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می‌شوم:

۱- این پایان‌نامه حاصل تحقیق وپژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی وپژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه‌های موجود، نام منبع مورد استفاده وسایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده‌ام.

۲- این پایان‌نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره‌برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و .... از این پایان‌نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

٤- چنان‌چه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط ومقررات رفتار نموده ودر صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

امیر احمدنژاد صائین

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۱۷

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای امیر احمدنژاد صائین از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۱۸ بحروف هجده و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

فصل اول معرفی پژوهش ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- بیان مساله پژوهش ۳

۱-۳- اهمیت انجام پژوهش و وجه تمایز پژوهش با سایر پژوهش‌ها ٦

۱-٤- اهداف پژوهش ۱۰

۱-۵- فرضیه یا سوالات پژوهش ۱۰

۱-٦- دامنه پژوهش ۱۰

۱-۷- روش‌شناسی پژوهش ۱۲

۱-۸- روش گردآوری اطلاعات ۱۲

فصل دوم سابقه تاریخی، مبانی نظری، ادبیات اجزای محدود توسعه یافته ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- تاریخچه ۱۳

۲-۳- مبانی اجزای محدود توسعه یافته ۲۱

۲-۳-۱- مبانی اجزای محدود ۲۳

۲-۳-۲- روش‌های بی‌نیاز از مش ۲٦

۲-۳-۳- پیکره‌بندی واحد ۲۸

۲-۳-٤- غنی‌سازی ۳۰

۲-۳-٥- غنی‌سازی ذاتی ۳۱

۲-۳-٦- غنی‌سازی بیرونی ۳۷

۲-۳-۷- پیکره‌بندی واحد اجزای محدود ۳۸

۲-۳-۸- اجزای محدود تعمیم یافته ۳۹

۲-۳-۹- روش آرلکوین ۳۹

۲-۳-۱۰- تبدیل تقریب استاندارد به تقریب غنی‌شده ٤۰

۲-۳-۱۱- مبانی تقریب اجزای محدود توسعه یافته ٤۲

۲-۳-۱۲- تابع علامت فاصله ٤۳

۲-۳-۱۳- مدل‌سازی ناپیوستگی در اجزای محدود توسعه یافته ٤٤

۲-۳-۱٤- تابع هوی‌ساید ٤۷

۲-۳-۱٥- غنی‌سازی پلاستیک ٤۹

۲-٤- مبانی شبیه‌سازی عددی رشد ترک ٥۰

۲-٥- پایستاری انرژی ٥۰

۲-٦- اثبات پایستاری انرژی ٥۱

فصل سوم درآمدی بر مکانیک شکست ٥۷

۳-۱- مقدمه ٥۷

۳-۲- مبانی الاستیسیته و کاربرد آن در مکانیک شکست ٥۹

۳-۲-۱- روابط تنش و کرنش الاستیک ۵۹
۳-۲-۲- تابع تنش ایری ٦۰
۳-۳- مبانی مکانیک شکست الاستیک خطی ٦۱
۳-۳-۱- سوراخ دایره شکل ٦۲
۳-۳-۲- تحلیل وسترگارد برای ترک نوک تیز ٦٤
۳-۳-۳- ضرایب شدت تنش K ٦۵
۳-۳-٤- سختی شکست ۷۲
۳-٤- مبانی پلاستیسیته و کاربرد اجزا محدود در آن ۷٤
۳-٤-۱- معیار سیلان ۷۵
۳-٤-۲- رابطه تنش و کرنش الاستیک پلاستیک ۷۹
۳-٤-۳- مدل سازی اجزا محدود الاستیک پلاستیک ۸۰
۳-۵- مکانیک شکست الاستوپلاستیک ۸٤
۳-۵-۱- ناحیه پلاستیک ۸٤
۳-۵-۲- بازشدگی نوک ترک ۸۷
۳-۵-۳- انتگرال J و یا روش انتگرال دامنه ۸۹
۳-۵-٤- حوزه پلاستیک نوک ترک ۹۱
۳-۵-۵- جهت (زاویه) رشد ترک ۹۲

فصل چهارم مراحل انجام پژوهش معرفی برنامه، نحوه مدل‌سازی و اعتبارسنجی ۹٤

٤-١- مقدمه ٩٤

٤-٢- معرفی مدل ٩٤

٤-٢-١- مصالح مدل ٩٤

٤-٢-٢- هندسه مدل ٩٥

٤-٣- الگوریتم مدل‌سازی رشد ترک ٩٥

٤-٤- نرم‌افزار تحلیل ٩٦

٤-٥- الگوریتم حل ٩٦

٤-٦- مشخصات برنامه ٩٨

٤-٦-١- فایل ورودی ٩٨

٤-٦-٢- فایل آنالیز ٩٩

٤-٧- صحه سنجی عملکرد نرم‌افزار ١٠٠

فصل پنجم یافته های پژوهش ١٠٥

٥-١- مقدمه ١٠٥

٥-٢- وابستگی زمان تحلیل به طول ترک ١٠٥

٥-٢-١- مدل‌سازی با ترک به طول ١ سانتی‌متر ١٠٦

٥-٢-٢- مدل‌سازی با ترک به طول ٢ سانتی‌متر ١٠٨

٥-٢-٣- مدل‌سازی با ترک به طول ٣ سانتی‌متر ١١٠

٥-٢-٤- مدل‌سازی با ترک به طول ٤ سانتی‌متر ١١٢

۵-۲-۵- مدل‌سازی با ترک به طول ۵ سانتی‌متر ۱۱٤
۵-۲-٦- مدل‌سازی با ترک به طول ٦ سانتی‌متر ۱۱٦
۵-۲-۷- مدل‌سازی با ترک به طول ۷ سانتی‌متر ۱۱۸
۵-۲-۸- مدل‌سازی با ترک به طول ۸ سانتی‌متر ۱۲۰
۵-۲-۹- مدل‌سازی با ترک به طول ۹ سانتی‌متر ۱۲۲
۵-۲-۱۰- خلاصه وضعیت وابستگی زمان تحلیل به طول ترک ۱۲٤
۵-۳- حل چند مثال به کمک روش XFEM ۱۲۵
۵-۳-۱- صفحه محدود با ترک میانی ۱۲۵
۵-۳-۲- مثال صفحه محدود با ترک کناری (نیم ترک) ۱۳۰

فصل ششم تحلیل یافته‌ها، بحث و نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد ۱۳۳

٦-۱- مقدمه ۱۳۳
٦-۲- پیشنهادات برای تکمیل پژوهش ۱۳٤

منابع و مراجع ۱۳٦

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱- کشتی آزادی، جنگ جهانی دوم، شکست ترد مصالح ۸

شکل ۱-۲- حادثه قطار پرسرعت ICE، در ESCHEDE آلمان در سال ۱۹۹۸..... ۹

شکل ۲-۱- المان محدود ایزوپارامتریک ۲٤

شکل ۲-۲- سه پشتیبان برای یک نقطه..... ۲۷

شکل ۲-۳- تابع تکینه الاستیک $p_1 = \sqrt{r}\sin\frac{\theta}{2}$ ۳۳

شکل ۲-٤- تابع تکینه الاستیک $p_2 = \sqrt{r}\cos\frac{\theta}{2}$ ۳٤

شکل ۲-۵- تابع تکینه الاستیک $p_3 = \sqrt{r}\sin\theta\sin\frac{\theta}{2}$ ۳۵

شکل ۲-٦- تابع تکینه الاستیک $p_4 = \sqrt{r}\sin\theta\cos\frac{\theta}{2}$ ۳٦

شکل ۲-۷- مختصات قطبی در نوک ترک..... ۳۷

شکل ۲-۸- دامنه غنی‌سازی شده (Ω_{pu}) ۳۸

شکل ۲-۹- تبدیل از ناحیه غنی‌شده به ناحیه غنی‌نشده ٤۱

شکل ۲-۱۰- انواع المان‌های نیمه غنی‌شده ٤۲

شکل ۲-۱۱- تعریف تابع علامت فاصله ٤٤

شکل ۲-۱۲- میله ترک خورده در گره (مورد A) یا بین دو گره (مورد B) ٤٤

شکل ۲-۱۳- مدل‌سازی ترک‌های روی گره..... ٤۵

شکل ۲-۱٤- تابع هویساید تعمیم یافته (چپ) و ماحصل آن با ضرب در تابع شکل (راست) ٤٦

شکل ۲-۱۵- رفتار ترک بین دو گره..... ٤٦

شکل ۲-۱٦- انواع تابع هوی‌ساید ٤۷

شکل ۲-۱۷- شکل ۱-۱۲، شبیه‌سازی ناپیوستگی به کمک تابع هوی‌ساید..... ٤۸

شکل ۲-۱۸- قانون تنش کرنش برای بازشوی ناحیه چسبنده..... ۵۵

شکل ۳-۱- ورق های تحت کشش با و بدون نقص..... ٦۱

شکل ۳-۲- ورق تحت کشش با سوراخ دایره ای ٦٢
شکل ۳-۳- ورق دارای ترک و تحت تنش یکنواخت ٦٤
شکل ۳-٤- مُدهای بازشدن ترک ٦٧
شکل ۳-٥- نمونه‌های آزمایشA . کشش فشرده و B. خمش سه نقطه‌ای ٧٢
شکل ۳-٦-A. تاثیر ضخامت و B. تاثیر حرارت ٧٣
شکل ۳-۷- نمودار تنش-کرنش در کشش یک جهته ٧٥
شکل ۳-۸- سطح سیلان ٧٨
شکل ۳-۹- تقریب های انجام شده برای اندازه ناحیه پلاستیک ٨٥
شکل ۳-۱۰- بازشدگی نوک ترک ٨٨
شکل ۳-۱۱- تعریف انتگرال J حول نوک ترک ٩٠
شکل ٤-۱- نمودار تنش و کرنش ST-۳۷ ..... ٩٥
شکل ٤-۲- آقای متیو پیز، طراح اسکلت نرم‌افزار ٩٦
شکل ٤-۳- روند حل مساله در الگوریتم نوشته شده در برنامه MATLAB ٩٧
شکل ٤-٤- تنش در جهت X، محاسبه شده توسط نرم‌افزار ١٠١
شکل ٤-٥- تنش در جهت XY، محاسبه شده توسط نرم‌افزار ١٠٢
شکل ٤-٦- تنش در جهت Y، محاسبه شده توسط نرم‌افزار ١٠٢
شکل ٥-۱- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۱ سانتی‌متر و T= ١٤.٧٤٩٢٩١ ثانیه ١٠٦
شکل ٥-۲- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۱ سانتی‌متر و T= ١٤.٧٤٩٢٩١ ثانیه ١٠٧
شکل ٥-۳- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۱ سانتی‌متر و T= ١٤.٧٤٩٢٩١ ثانیه ١٠٧
شکل ٥-٤- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۲ سانتی‌متر و T= ١٤.٨٥٩٩٥١ ثانیه ١٠٨
شکل ٥-٥- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۲ سانتی‌متر و T= ١٤.٨٥٩٩٥١ ثانیه ١٠٩
شکل ٥-٦- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۲ سانتی‌متر و T= ١٤.٨٥٩٩٥١ ثانیه ١٠٩
شکل ٥-۷- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۳ سانتی‌متر و T= ١٦.١١٠٣٣٢ ثانیه ١١٠
شکل ٥-۸- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۳ سانتی‌متر و T= ١٦.١١٠٣٣٢ ثانیه ١١١
شکل ٥-۹- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۳ سانتی‌متر و T= ١٦.١١٠٣٣٢ ثانیه ١١١

شکل ۵-۱۰- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٤ سانتی‌متر و T= ١٦.٧٣٥٨١٢ ثانیه ١١٢
شکل ۵-۱۱- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ٤ سانتی‌متر و T= ١٦.٧٣٥٨١٢ ثانیه.....١١٣
شکل ۵-۱۲- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٤ سانتی‌متر و T= ١٦.٧٣٥٨١٢ ثانیه ١١٣
شکل ۵-۱۳- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٥ سانتی‌متر و T= ١٧.٩٣٩٣٧٠ ثانیه ١١٤
شکل ۵-۱٤- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ٥ سانتی‌متر و T= ١٧.٩٣٩٣٧٠ ثانیه.....١١٥
شکل ۵-۱٥- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٥ سانتی‌متر و T= ١٧.٩٣٩٣٧٠ ثانیه ١١٥
شکل ۵-١٦- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٦ سانتی‌متر و T= ١٧.٧٣٨٩٣٦ ثانیه ١١٦
شکل ۵-۱۷- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ٦ سانتی‌متر و T= ١٧.٧٣٨٩٣٦ ثانیه.....١١٧
شکل ۵-۱۸- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ٦ سانتی‌متر و T= ١٧.٧٣٨٩٣٦ ثانیه ١١٧
شکل ۵-۱۹- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۷ سانتی‌متر و T= ١٨.٧١٤٧٩٣ ثانیه ١١٨
شکل ۵-۲۰- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۷ سانتی‌متر و T= ١٨.٧١٤٧٩٣ ثانیه.....١١٩
شکل ۵-۲۱- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۷ سانتی‌متر و T= ١٨.٧١٤٧٩٣ ثانیه ١١٩
شکل ۵-۲۲- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۸ سانتی‌متر و T= ١٨.٨٧٦٩٠٨ ثانیه ١٢٠
شکل ۵-۲۳- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۸ سانتی‌متر و T= ١٨.٨٧٦٩٠٨ ثانیه.....١٢١
شکل ۵-۲٤- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۸ سانتی‌متر و T= ١٨.٨٧٦٩٠٨ ثانیه ١٢١
شکل ۵-۲٥- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۹ سانتی‌متر و T= ١٨.٥٨٨١٠٤ ثانیه ١٢٢
شکل ۵-٢٦- توزیع تنش برشی با وجود ترک به طول ۹ سانتی‌متر و T= ١٨.٥٨٨١٠٤ ثانیه.....١٢٣
شکل ۵-۲۷- توزیع تنش محوری با وجود ترک به طول ۹ سانتی‌متر و T= ١٨.٥٨٨١٠٤ ثانیه ١٢٣
شکل ۵-۲۸- وابستگی مستقیم RUNTIME به طول ترک.....١٢٤
شکل ۵-۲۹- مشخصات هندسی مساله مورد پژوهش.....١٢٥
شکل ۵-۳۰- نمایش ترک با مش‌بندی ریز با المان مربعی ١٢٦
شکل ۵-۳۱- نمایش ترک با مش‌بندی ریز با المان مثلثی ١٢٦
شکل ۵-۳۲- نمایش المان‌های یک میلیمتری مربعی.....١٢٧
شکل ۵-۳۳- تغییر شکل تحت بار اعمالی ١٢٧
شکل ۵-٣٤- تغییر شکل اغراق یافته و گره‌های غنی‌شده ١٢٧

شکل ۵-۳۵- تنش‌های فون میزز شکل گرفته در محیط ۱۲۸
شکل ۵-۳۶- تنش‌های جهت Y-Y ۱۲۸
شکل ۵-۳۷- تنش‌های جهت X-Y ۱۲۹
شکل ۵-۳۸- تنش‌های جهت X-X ۱۲۹
شکل ۵-۳۹- محیط به همراه ناپیوستگی و گره‌های غنی شده و شماره گذاری المان‌ها ۱۳۰
شکل ۵-۴۰- تغییر شکل محیط به شکل اغراق شده و گره‌های غنی شده ۱۳۰
شکل ۵-۴۱- تنش فون میزز شکل گرفته در محیط ۱۳۱
شکل ۵-۴۲- تنش‌های شکل گرفته در محیط، تنش Y-Y ۱۳۱
شکل ۵-۴۳- تنش شکل گرفته در محیط، تنش X-Y ۱۳۲
شکل ۵-۴۴- تنش شکل گرفته در محیط، تنش X-X ۱۳۲

فهرست جداول

جدول شماره ۳-۱- مقادیر ضرایب شدت تنش ۷۰

جدول شماره ۳-۲- مقادیر ضرایب شدت تنش ۷۱

جدول شماره ٤-۱- مقایسه نرم‌افزار و روش کلاسیک به جهت صحه سنجی برای مش به طول L/۵ ..... ۱۰۳

جدول شماره ٤-۲- مقایسه نرم‌افزار و روش کلاسیک به جهت صحه سنجی برای مش به طول L/۱۰ ..... ۱۰۳

جدول شماره ٤-۳- مقایسه نرم‌افزار و روش کلاسیک به جهت صحه سنجی برای مش به طول L/۲۰ ..... ۱۰۳

جدول شماره ٦-۱- مشخصات مدل با ترک ۱ سانتی‌متری ۱۰٦

جدول شماره ٦-۲- مشخصات مدل با ترک ۲ سانتی‌متری ۱۰۸

جدول شماره ٦-۳- مشخصات مدل با ترک ۳ سانتی‌متری ۱۱۰

جدول شماره ٦-٤- مشخصات مدل با ترک ٤ سانتی‌متری ۱۱۲

جدول شماره ٦-۵- مشخصات مدل با ترک ۵ سانتی‌متری ۱۱٤

جدول شماره ٦-٦- مشخصات مدل با ترک ٦ سانتی‌متری ۱۱٦

جدول شماره ٦-۷- مشخصات مدل با ترک ۷ سانتی‌متری ۱۱۸

جدول شماره ٦-۸- مشخصات مدل با ترک ۸ سانتی‌متری ۱۲۰

جدول شماره ٦-۹- مشخصات مدل با ترک ۹ سانتی‌متری ۱۲۲

جدول شماره ٦-۱۰- خلاصه نتایج وابستگی زمان تحلیل به طول ترک ۱۲٤

فصل اول

معرفی پژوهش

۱-۱- مقدمه

اجزای محدود توسعه یافته[1] یک روش توانا برای مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها و تکینه‌گی‌ها در قالب اجزا محدود استاندارد می‌باشد. در روش اجزای محدود توسعه یافته توابع خاصی به تقریب اجزا محدود اضافه می‌شوند تا ناپیوستگی‌ها و تکینه‌گی‌ها را مدل کنند. برای مدل‌سازی ترک چه در حالت الاستیک و چه در حالت الاستوپلاستیک دو گروه از توابع خاص به تقریب اجزا محدود استاندارد اضافه می‌شوند. یک تابع ناپیوسته در دو طرف ترک، برای مدل‌سازی بازشدگی به کارگرفته می‌شود. با استفاده از این روش، مدل‌سازی رشد ترک به صورت شبه استاتیک یا دینامیک ممکن خواهد بود. مدل‌سازی ترک با استفاده از اجزای محدود توسعه یافته، امکان مدل‌سازی رشد ترک بدون مش‌زنی مجدد را فراهم می‌کند. که به این وسیله هزینه‌های محاسباتی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. روش اجزا محدود توسعه یافته، یک روش عددی برای مدل‌سازی مرزهای داخلی (و یا خارجی) همانند سوراخ‌ها، نقص‌ها و یا ترک ها بدون نیاز به مطابقت مش با مرزهای ذکر شده می‌باشد.

[1] eXtended Finite Element Method (X-FEM)

روش اجزا محدود توسعه یافته نتایج بسیار امیدبخشی را بدست آورده است، به طوری‌که برخی از دانشمندان این حوزه از هر فرصتی برای استفاده از اجزای محدود توسعه یافته در مسائل ناپیوستگی و مرزهای متحرک استفاده می‌کنند. ترکیب اجزای محدود توسعه یافته و روش لول ست[1] در فضاهای پیچیده، جواب‌های دقیقی برای مسائل مهندسی ارائه می دهد، در حالی‌که روش اجزا محدود استاندارد به نوبه خود توانایی این کار را ندارد.

هدف اصلی اجزای محدود توسعه یافته، گسترش فضای تقریب‌های (توابع تقریب) اجزا محدود استاندارد است. به گونه‌ای که این فضا در برگیرنده جواب باشد یا به جواب‌های تجربی نزدیک‌تر باشد. به طور کلی، یک سری اطلاعات و حل‌های خاص برای مسائل وجود دارد. در روش اجزای محدود توسعه یافته، این اطلاعات و حل‌های خاص برای گسترش فضای تقریب‌ها به منظور حل مسائل در حالت‌های پیچیده‌تر به کار گرفته می‌شود.

در مسائل واقعی مکانیک شکست، انتظار می رود که تغییر شکل های پلاستیکی در همسایگی نوک ترک اتفاق بیافتد. این در حالی است که مکانیک شکست خطی و به خصوص مکانیک شکست الاستیک خطی[2] تنها زمانی مفید واقع می گردد که ابعاد ناحیه پلاستیک نوک ترک در مقایسه با طول ترک و ابعاد سازه محدود باشد. اما اگر ابعاد ناحیه پلاستیک نوک ترک قابل توجه باشد یک آنالیز الاستوپلاستیک الزامی می باشد. اجزا محدود توسعه یافته[3] یک روش توانا در مدلسازی ناپیوستگی های قوی و ضعیف می باشد که بر پایه روش پیکره بندی واحد[4] استوار است. در این روش یک تحلیل دقیق در همسایگی یک ناپیوستگی جهت غنی سازی میدان تغییر مکان در اجزا محدود مورد استفاده قرار می گیرد و در نتیجه افزایش طول ترک، میدان تغییر مکان در همسایگی نوک آن دقیق تر تقریب زده می شود.

[1] Level Set Method
[2] Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM)
[3] eXtended Finite Element Method (X-FEM)
[4] Partition of unity

علاوه بر حل مجانبی[1] در مکانیک شکست الاستیک خطی، اجزا محدود توسعه یافته به صورت موفقی در تعدادی از مسائل مهندسی مانند ترک در محیط متعامد، ترک در فیلم های نازک و ترک در محیط ها با دو ماده متفاوت (بررسی ترک در مصالح کامپوزیت) به کار رفته است. در تعدادی از مقالات، روش اجزای محدود توسعه یافته جهت حل مسائل غیر خطی پیشنهاد شده است.

۱-۲- بیان مساله پژوهش

دانشمندان از معادلات خاصی، برای درک شرایط و وضعیت محیط، استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر آن‌ها با حل این معادلات خاص می‌توانند تلاش‌های داخلی مانند تنش، کرنش، تغییرمکان، دما و دیگر مشخصات محیط مورد نظر را، محاسبه کنند و پس از آن به بررسی کفایت مصالح تحت بارهای وارده بپردازند.

معادلات خاص ذکر شده برای هر محیطی و هر مساله‌ای متفاوت می‌باشد. مانند معادلات الاستیسیته برای یک محیط الاستیک و یا معادلات جریان سیالات برای کانال‌های آب و لوله‌ها، و یا معادلات پایداری برای تجزیه و تحلیل زمین لغزش، و یا معادلات حاکم بر ترمودینامیک و ... است.

در اکثر مسائل مهندسی، اگر معادلات مورد نظر به کمک ریاضیات پیچیده حل گردد، به صورت اجتناب ناپذیری یک طرح غیر اقتصادی دست یافته خواهد شد. حل معادلات پیچیده ریاضی، مانند انتگرال‌ها و مشتق‌ها، هزینه‌های تحلیل را افزایش می‌دهند. در پاره‌ای از موارد، به دلیل شرایط خاص مساله، دانشمندان نمی‌توانند معادلات ریاضی مورد نظر خود را حل بکنند. بنابراین استفاده از روش‌هایی که دشواری حل معادلات سنگین ریاضیاتی را کاهش دهد، همواره مطلوب و مورد نظر محققین بوده است.

از گذشته تا کنون، روش‌های عددی در حل مسائل ذکر شده نقش خود را به خوبی ایفا کرده‌اند و در بیشتر مسائل، جواب‌هایی با دقت مناسب در اختیار تحلیل‌گران قرار داده‌اند. و این مساله در حالی است هزینه استفاده و کاربرد این روش‌ها در مقایسه با حل مسائل پیچیده ریاضیاتی بسیار کمتر است. در حال حاضر،

[1] Asymptotic Solution