بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناشی ارشد (M.Sc)

گرایش : سازه

عنوان :

ارزیابی المان ماکرو در مدلسازی رفتار غیرخطی قابهای بتن مسلح

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر امیر هوشنگ اخویسی

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر سید مهدی زهرائی

پژوهشگر :

مرجان ربیعی قهفرخی

تابستان ۹۰

تشکر و قدردانی:

با تشکر و قدردانی از آقای دکتر اخویسی که با صرف وقت گرانبهای خود مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند. بی شک بدون یاری ایشان به سرانجام رسانیدن این تحقیق امری محال بود.

با تشکر از آقای دکتر زهرائی که ارائه نظرات ارزشمند ایشان سهم بسزائی در بهبود کیفیت این پایان نامه داشته است.

تقدیم به:

مادر و پدرم که اولین آموزگارانم بودند و همچنین به همسرم به پاس مهربانی ها و فداکاریهایش.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۱
۱-۱ شرح موضوع و ضرورت آن ۲
۱-۲ هدف از تحقیق ۴
۱-۳ فرآیند مطالعات ۵
۱-۴ معرفی فصول ۸
فصل دوم : مطالعات نظری ۹
۲-۱ بررسی رفتار مصالح بتنی ۱۰
۲-۲ تحلیل غیرخطی قابهای بتن مسلح ۱۶
۲-۲-۱ روش تحلیل ماتریسی غیرخطی ۱۷
۲-۲-۱-۱ روشهای انتگرالگیری میدان تنش ۱۸
۲-۲-۱-۲ سطوح برهمکنش و چگونگی ایجاد آنها ۲۳
۲-۲-۱-۳ تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح برهمکنش ۳۰
۲-۲-۲ تحلیل غیرخطی قابهای بتن مسلح به روش اجزاء محدود ۴۷
فصل سوم : تحلیل غیرخطی ۵۶
۳-۱ روشهای عددی تحلیل غیرخطی ۵۷
۳-۱-۱ مقدمه ۵۷
۳-۱-۲ روشهای تکرار ۵۹
۳-۱-۲-۱ نکات کلی ۵۹
۳-۱-۲-۲ روش نیوتن-رافسون ۶۰
۳-۱-۲-۳ روش نیوتن-رافسون اصلاح شده ۶۲
۳-۱-۲-۴ روش نموی ساده ۶۳
۳-۱-۳ معیار همگرایی ۶۴
۳-۱-۴ نکات کلی- روشهای نموی و شدت تغییرات ۶۶
۳-۲ روند تحلیل غیرخطی در الگوریتم پیشنهادی ۶۹
۳-۲-۱ روش به کار برده شده در تحلیل غیرخطی ۶۹

۳-۲-۲ روابط بنیادی تنش-کرنش مصالح ۷۱
۳-۲-۳ الگوریتم ایجاد سطح گسیختگی برای یک مقطع بتن مسلح ۷۴
۳-۲-۴ الگوریتم تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح گسیختگی ۸۰
فصل چهارم : نمونه های عددی ۸۶
۴-۱ بررسی دقت نتایج الگوریتم ایجاد سطح گسیختگی ۸۷
۴-۱-۱ مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی ۸۸
۴-۱-۲ مقایسه نتایج عددی با نتایج تحلیل غیرالاستیک ۹۰
۴-۱-۳ منحنی اندرکنش دیوار برشی بتن مسلح با مقطع I شکل ۹۱
۴-۱-۴ منحنی اندرکنش دیوار برشی بتن مسلح با مقطع T شکل ۹۳
۴-۱-۵ منحنی اندرکنش دیوار برشی بتن مسلح با مقطع L شکل ۹۴
۴-۱-۶ منحنی اندرکنش مقاطع بتن مسلح مستطیلی تقویت شده توسط FRP ۹۶
۴-۱-۷ منحنی اندرکنش ستون باریک بتن مسلح T شکل تقویت شده با FRP ۹۷
۴-۱-۸ منحنی اندرکنش مهاربندهای کمانش ناپذیر(BRB) ۹۹
۴-۲ بررسی دقت نتایج تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح گسیختگی ۱۰۰
۴-۲-۱ تیر بتن مسلح با تکیه گاههای ساده ۱۰۱
۴-۲-۲ تیر بتنی بدون میلگرد روی تکیه گاههای ساده ۱۰۴
۴-۲-۳ تیر عمیق بتن مسلح با تکیه گاههای ساده ۱۰۶
۴-۲-۴ قاب یک طبقه بتن مسلح ۱۰۸
۴-۲-۵ تیر بتن مسلح با تکیه گاههای ساده ۱۱۱
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۴
۵-۱ نتیجه گیری ۱۱۵
۵-۲ پیشنهادات ۱۲۰

فهرست منابع و مراجع ۱۲۱
چکیده انگلیسی ۱۲۴

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱) ۲۴
شکل(۲-۲) ۲۵
شکل (۲-۳) ۲۶
شکل(۲-۴) ۲۷
شکل(۲-۵) ۲۹
شکل(۲-۶) ۲۹
شکل(۲-۷) ۳۰
شکل(۲-۸) ۳۲
شکل(۲-۹) ۳۳
شکل(۲-۱۰) ۳۴
شکل(۲-۱۱) ۳۶
شکل(۲-۱۲) ۴۰
شکل(۲-۱۳) ۴۱
شکل(۲-۱۴) ۴۱
شکل(۲-۱۵) ۴۲
شکل(۲-۱۶) ۴۵
شکل(۲-۱۷) ۴۶
شکل(۲-۱۸) ۴۷
شکل(۲-۱۹) ۴۸
شکل(۲-۲۰) ۴۹
شکل(۲-۲۱) ۵۰
شکل(۲-۲۲) ۵۱
شکل(۲-۲۳) ۵۲
شکل(۲-۲۴) ۵۲
شکل(۲-۲۵) ۵۳

شکل (۳-۱)..... ۷۷
شکل (۳-۲)..... ۷۹
شکل (۳-۳)..... ۸۵
شکل (۴-۱)..... ۸۸
شکل (۴-۲)..... ۸۹
شکل (۴-۳)..... ۹۱
شکل (۴-۴)..... ۹۲
شکل (۴-۵)..... ۹۲
شکل (۴-۶)..... ۹۳
شکل (۴-۷)..... ۹۴
شکل (۴-۸)..... ۹۵
شکل (۴-۹)..... ۹۵
شکل (۴-۱۰)..... ۹۶
شکل (۴-۱۱)..... ۹۷
شکل (۴-۱۲)..... ۹۸
شکل (۴-۱۳)..... ۹۸
شکل (۴-۱۴)..... ۹۹
شکل (۴-۱۵)..... ۱۰۰
شکل(۴-۱۶)..... ۱۰۲
شکل(۴-۱۷)..... ۱۰۳
شکل (۴-۱۸)..... ۱۰۴
شکل(۴-۱۹)..... ۱۰۵
شکل (۴-۲۰)..... ۱۰۷
شکل(۴-۲۱)..... ۱۰۷
شکل(۴-۲۲)..... ۱۰۹
شکل(۴-۲۳)..... ۱۱۰
شکل (۴-۲۴)..... ۱۱۲
شکل (۴-۲۵)..... ۱۱۲

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار (۲-۱)..... ۱۱

نمودار (۲-۲)..... ۱۲

نمودار (۲-۳)..... ۱۵

نمودار (۲-۴)..... ۲۴

نمودار (۳-۱)..... ۵۸

نمودار (۳-۲)..... ۶۱

نمودار (۳-۳)..... ۶۸

نمودار (۳-۴)..... ۷۲

نمودار (۳-۵)..... ۷۲

نمودار (۳-۶)..... ۷۲

بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است.)

نام واحد دانشگاهی : تهران مرکزی **کد واحد** : ۱۰۱	**کد شناسایی پایان نامه:** ۱۰۱۴۰۴۰۹۸۸۲۰۰۳
عنوان پایان نامه : ارزیابی المان ماکرو در مدلسازی رفتار غیرخطی قابهای بتن مسلح	
نام و نام خانوادگی دانشجو : مرجان ربیعی قهفرخی **شماره دانشجوئی** : ۸۷۴۱۲۳۰۰۰۰۳ **رشته تحصیلی** : مهندسی عمران گرایش سازه	**تاریخ شروع پایان نامه :** ۱۳۸۸/۰۵/۰۱ **تاریخ اتمام پایان نامه :** ۱۳۹۰/۰۴/۰۱
استاد راهنما : آقای دکتر امیر هوشنگ اخویسی **استاد مشاور** : آقای دکتر سید مهدی زهرائی	
آدرس و شماره تلفن : کرمانشاه، خیابان برق ، نبش چهارراه آتش نشانی، پلاک ۱۲۱- ۰۹۱۲۵۷۲۵۱۲۸	

چکیده پایان نامه (خلاصه اهداف، روشهای اجرا و نتایج به دست آمده) :

در این پایان نامه الگوریتمی ساده مبنی بر مفاهیم تئوری فیبری ارائه شده است که با به کارگیری روش تحلیل ماتریسی غیرخطی و سنجش تنشهای هر عضو با سطح گسیختگی متناظرش، سازه های بتن مسلح تحت بارهای جانبی را در زمان بسیار کوتاه و با دقتی مناسب تحلیل می کند. در مدلسازی اعضاء از المانهای ماکرو با تعداد درجات آزادی محدود بهره گرفته شده است. نتایج به دست آمده از این روش در قالب نمودارهای(نیروی محوری-لنگر خمشی) و (بار جانبی-تغییرمکان) با نتایج آزمایشگاهی و نتایج نرم افزارهای تجاری مانند ANSYS و SAP2000 مورد بررسی قرار گرفتند. با وجود تعداد درجات آزادی محدود و زمان محاسباتی کوتاه، در مقایسه با نرم افزارهای نامبرده، نتایج این الگوریتم مطابقت و همخوانی مناسبی با اختلاف کمتر از ۵ درصد با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان دادند، که بیانگر دقت بالای الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با نرم افزارهای تجاری موجود می باشد.

فصل اول : مقدمه

۱-۱ شرح موضوع و ضرورت آن

در جامعه کنونی ایران آئین نامه رسمی شناخته شده که رعایت آن در ساخت و سازها اجباری می باشد آئین نامه ۲۸۰۰ می باشد. هدف این آئین نامه، تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمانها در برابر اثرهای مخرب ناشی از زلزله است به گونه ایکه با حفظ ایستایی ساختمان در زلزله های شدید، تلفات جانی به حداقل برسد و نیز ساختمان در برابر زلزله های خفیف و متوسط بدون وارد شدن آسیب عمدهٔ سازه ای قادر به مقاومت باشد. شرح پیش گفته به این معنا است که آئین نامه مزبور بر اساس ضوابط سطح عملکرد ایمنی جانی [1] تنظیم شده است، در این سطح عملکرد سازه ای، عناصر سازه ای آسیب می بینند ولی آسیب به گونه ای است که به ساکنان آن ساختمان صدمه ای وارد نمی شود. این در حالی است که در ضوابط حاکم بر کشورهای اروپائی و آمریکائی استاندارد خیلی بالاتر بوده و ساختمانها را با ضوابط مرتبط به سطح عملکرد قابلیت بهره برداری بی وقفه[2] طراحی می کنند، در این سطح عملکرد در زلزله های شدید هیچ عنصر سازه ای آسیب نمی بیند و عناصر غیر سازه ای آسیب کمی می بینند به گونه ایکه سازه بعد از وقوع زلزله قابلیت سرویس دهی داشته باشد. نگاهی به پیامدهای زلزله های پیشین در ایران بیانگر عملکرد ضعیف آئین نامه ها و وجود کاستی ها در مسائل اجرائی می باشد، از این رو برای کاهش تلفات جانی ناشی از زلزله امری ضروری است که آئین نامه های موجود به سطح عملکرد سازه ای بالاتری ارتقاء داده شوند. از آنجائیکه بتن و فولاد عمده مصالح تشکیل دهنده ساختمانها در کشور ما می باشند و مصالحی هستند که تحت بارگذاری رفتار غیرخطی از خود نشان می دهند، برای

---

[1] Life safety
[2] Immediate occupancy

دستیابی به انجام تحلیل و طراحی مطمئن لازم است از ضوابط تحلیل غیرخطی استفاده گردد و سازه ها به صورت غیرخطی تحلیل گردند.

امروزه ساختمانهای بتن مسلح به بخشی مهم در صنعت ساختمان سازی شهری تبدیل شده اند. سازه های بتن مسلح در مقایسه با سازه های فولادی ترد و شکننده بوده و به همین علت توصیف رفتار سازه های بتن مسلح تحت شرایط بارگذاری مختلف و تخمین مقاومت نهائی آنها بسیار حائز اهمیت است.

برای سازه های بتن مسلح، فرمولبندی های اجزا محدود غیرخطی هندسی با گسترش مدلهای بنیادی پیشرفته برای بتن و برهمکنش آن با آرماتوربندی فولادی همراه شده است. یک مدل بنیادی رضایتبخش باید قادر به دربرگرفتن فاکتورهای غیرخطی بودنهای سازه ای باشد [۱]. نیاز به پیش بینی پاسخ غیرخطی سازها، قبل و بعد از گسیختگی اعضاء، انگیزه اصلی توسعه متدهای تحلیل غیرخطی سازه ها طی چند دهه اخیر می باشد [۲]. در این پایان نامه برای تحلیل غیرخطی سازه های بتن مسلح الگوریتمی ساده و کارآمد پیشنهاد شده است که در آن رفتار بتن و فولاد با روابط تنش-کرنش غیرخطی تعریف شده اند، این الگوریتم با وجود زمان محاسباتی کوتاه پاسخی دقیق و نزدیک به واقعیت ارائه می کند. با این هدف که این الگوریتم در آینده بتواند پاسخگوی نیاز مهندسان طراح در انجام تحلیلهای غیرخطی سازه های بتن مسلح باشد.

۱-۲ هدف از تحقیق

در دنیای مدرن امروز با گسترش جوامع صنعتی و توسعه اقتصاد، ساختمانها بزرگتر، پیچیده تر و بلند مرتبه تر شده اند و در هر عضو تیر یا ستون از ساختمانهای مدرن مصالح مختلفی مانند بتن، میلگردهای فولادی، فولاد سازه ای، پوشش بتنی، ژاکت فولادی و FRP و . . . به کار رفته اند. در سالهای اخیر استفاده همزمان میلگردهای فولادی، بتن، بتن پیش تنیده، پروفیلهای فولادی پوشیده شده با بتن و لوله های فولادی پر شده با بتن در یک ساختمان رایج شده و سیستمهای ساخت و ساز جدید گسترش پیدا کرده اند. به دنبال این توسعه ها، مواردی همچون مقاومت در برابر زلزله و آتش سوزی، شکل پذیری، دوام، برپا کردن و تأسیس اسکلت و نگهداری از ساختمان موجب بروز نگرانی های عمده ای برای مهندسین شده اند [۳].

برای سالها تحلیل سازه ای اعضاء بتن مسلح بر پایه قوانین تجربی و معادلات الاستیسیته استوار بود [۱]. محققان بسیاری به منظور اطمینان از عملکرد سازه ها و پیش بینی رفتار آنها تحت بارگذاریهای مختلف، به انجام تحقیقات آزمایشگاهی با نمونه هایی با نسبتی از اندازه واقعی می پرداختند و از مقایسه دست آوردهای آزمایشگاهی با برآیندهای تحلیلها بر پایه قوانین تجربی به این نتیجه دست یافتند که برای پیش بینی رفتار نزدیک به واقعیت سازه ها باید از قوانین غیرخطی برای مصالح استفاده نمود. با در نظر گرفتن اینکه مطالعات آزمایشگاهی پرهزینه و زمان بر هستند و اطلاعات محدودی نیز ارائه می دهند محققان به فکر مدلسازی سازه ها به وسیله روشهای تحلیل غیرخطی که قادر به ارائه تمامی خصوصیات غیرخطی مصالح باشند افتادند [۴]. اجرای تستهای آزمایشگاهی و انجام تحلیلهای عددی غیرخطی به فهم بهتر رفتار سازه ها کمکی شایان می کنند و از آنجائیکه اجرای تستهای آزمایشگاهی هزینه های گزافی در پی دارند متدهای تحلیل غیرخطی سازه ها، از محبوب ترین ابزارها برای پیش بینی رفتار سازه ها برای مهندسین و محققین به شمار می آیند.

دهه های متمادی است که روشهای عددی بر پایه اجزاء محدود برای تحلیل سازه های فولادی و سازه های بتن مسلح در تحلیلهای یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی سازه ها به کار گرفته شده اند [۴]. این روشهایِ تحلیل غیرخطی اجزاء محدود سازه ها که در واقع راهی برای پیش بینی رفتار سازه ها می باشند، زمان زیادی برای تحلیل هر عضو لازم دارند که این مشکل، به صورت عاملی بازدارنده در به کارگیری این برنامه ها در تحلیها و طراحی های ساخت و سازهای روزمره شهری عمل می کند. در این تحقیق سعی شده است یک روش جدید برای تحلیل غیرخطی سازه های بتن مسلح ارائه گردد که در زمان محاسباتی کوتاه نتایج قابل اعتمادی به دست آورد، تا کاستی های روشهای تحلیل غیرخطی پیشین را مرتفع کند. این روش شامل الگوریتمی ساده می باشد که توسط روش تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح گسیختگی تحلیل غیرخطی سازه های بتن مسلح را انجام می دهد. با این امید که مطالعات انجام گرفته موجبات ارتقاء کیفیت محاسبات روزمره برای ساختمانهای بتن مسلح را فراهم کرده باشد.

۱-۳ فرآیند مطالعات

در سالهای اخیر برای اطمینان از ایمنی ساختمانها در شرایط مختلف و اهمیت بسیار زیاد پیش بینی رفتار غیرخطی سازه ها در مقابل بارهای خارجی ، مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی گسترده ای در مورد رفتار سازه ها تحت شرایط بارگذاری مختلف در سراسر دنیا صورت گرفته است. با توجه به اهمیت زیاد ایمنی و قابلیت سرویس دهی ساختمانها و در نظر گرفتن این نکته که مطالعات آزمایشگاهی پرهزینه و زمان بر هستند و اطلاعات محدودی نیز ارائه می دهند، محققان همواره درصدد ایجاد و گسترش متدهایی بوده اند که قادر به پیش بینی رفتار نزدیک به واقعیت سازه ها باشد. در این میان روشهای عددی بر پایه اجزاء محدود مورد استقبال جامعه مهندسین و محققین قرار

گرفتند [۲]. این برنامه ها و الگوریتمهای عددی تحلیل غیرخطی سازه ها که در حال حاضر بهترین و تنها گزینه برای پیش بینی رفتار دقیق غیرخطی سازه ها می باشند، دارای نواقصی همچون زمان محاسباتی بسیار طولانی و مدلسازی پیچیده می باشند که این کاستی ها خود به صورت عواملی بازدارنده در به کارگیری این برنامه ها و نرم افزارهای در تحلیلها و طراحی های روزمره عمل می کنند. محققان همواره در صدد یافتن راهی برای کاهش زمان مورد نیاز در تحلیل غیرخطی سازه ها بوده اند حتی اگر در نتایج درصدی تقریب نیز وجود داشته باشد تا به این ترتیب روزنه ای در به کارگیری تحلیلهای غیرخطی در طراحی های روزانه باز نموده باشند. در برنامه ها و نرم افزارهای رایج برای تحلیلهای غیرخطی مانند OPENSEAS , MIDAS D-RAIN , IDARC , SAP 2000, ANSYS و . . . از روش تحلیل غیرخطی اجزاء محدود استفاده شده است، در این نرم افزارها برای مدلسازی یک تیر یا ستون ساده چندین هزار درجه آزادی تعریف می گردند که حل این درجات آزادی روند تحلیل را بسیار طولانی و زمان بر می کند و عملاً برای تحلیل یک قاب یا سازه بلند مرتبه استفاده از این نرم افزارها غیرممکن می باشد. در این پایان نامه بر روی الگوریتمی ساده و کاربردی برای تحلیل غیرخطی سازه های بتن مسلح توسط روش تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح گسیختگی مطالعه شده است، در آن هر عضو تیر یا ستون به صورت یک المان دو گرهی ماکرو که در هر گره دارای شش درجه آزادی می باشد مدلسازی می گردد که خود موجب صرفه جویی قابل توجهی در زمان محاسبات می گردد. به منظور اثبات صحت و دقت نتایج این الگوریتم، نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی انجام شده توسط باک هاوس[۳] [۱]، جیان ژوانک و همکارانش [۴] [۲]، وی هی و همکارانش [۵] [۳] و چند تست آزمایشگاهی دیگر مقایسه شدند و همخوانی مناسبی به دست آمد که نشان دهنده پیش بینی نزدیک به واقعیت این الگوریتم می باشد.

---

[3] Buckhouse (1997).
[4] Jianzhuang Xiao, Yuedong Sun, H. Falkner, (2006).
[5] Wei He , Y.F.Wu , K.M.Liew , Z.Wu. (2006).

تیر باک هاوس [۱] که والانسکی[۶] [۱] آن را با استفاده از نرم افزار ANSYS با ۳۰۲۴۰ درجه آزادی و در زمان بسیار طولانی تحلیل نمود توسط این الگوریتم با ۱۲ درجه آزادی در زمان بسیار کوتاهی تحلیل می شود در حالیکه نتایج تحلیل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی باک هاوس دارای اختلاف کمتر از ۰/۱۵ درصد می باشد. وی هی و همکارانش[۷] [۳] یک تیر بتنی ساده بدون آرماتور بندی را در تستهای آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند سپس با استفاده از روش تحلیل اجزاء محدود دو بعدی پیشنهادی خودشان با ۶۴۶۸ درجه آزادی در زمانی طولانی آنرا تحلیل نمودند، این تیر توسط الگوریتم پیشنهادی با ۱۲ درجه آزادی در مدت زمانی بسیار کوتاه تحلیل گردید و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی همخوانی مناسبی با خطای کمتر از ۰/۱۷ درصد داشت که بیانگر پیش بینی نزدیک به واقعیت الگوریتم پیشنهادی می باشد به گونه ایکه خاصیت ترد شکنی بتن غیرمسلح در نمودار به دست آمده توسط این الگوریتم به وضوح قابل مشاهده می باشد.

در این روش پیشنهادی وضعیت تنشها، تغییر مکانها و ... فقط در گره های ابتدایی و انتهایی اعضا قابل پیش بینی هستند. در هنگام محاسبه لنگرهای مقاوم مقطع برای انحناهای مختلف شاهد افت ناگهانی مقادیر لنگرها بعد از نقطه اوج منحنی هستیم و این به علت ویژگی تردشکنی بتن می باشد. در الگوریتم پیشنهادی کرنش مصالح کوچک در نظر گرفته شدند. در مرحله اول برای هر عضو بتن مسلح موجود در سازه، سطح برهم کنش نیروی محوری- لنگرهای خمشی دومحوری ایجاد می گردد، در مرحله دوم بر اساس نیروی جانبی اعمال شده به سازه، نیروهای داخلی هر عضو محاسبه گردیده سپس نیروهای داخلی هر عضو با سطح برهم کنش همان عضو سنجیده می شوند و در یک روند تحلیل غیرخطی رفتار الاستیک یا غیر الاستیک هر عضو پیش بینی می گردد. الگوریتم فوق به زبان برنامه نویسی فرترن[۸] نوشته شده و اجرا می گردد. از این پس، الگوریتم پیشنهادی با نام (NAIS) که مخفف (Nonlinear Analysis by Interaction Surface) می باشد، خوانده می شود.

---

[6] A.J.Wolanski, B.S.(2004).
[7] Wei He , Y.F.Wu , K.M.Liew , Z.Wu. (2006).
[8] Developer studio-Compac Visual Fortran 6

۱-٤ معرفی فصول

در فصل دوم رفتار مصالح بتنی، روشهای انتگرالگیری میدان تنش، سطوح برهمکنش و چگونگی ایجاد آنها، تحلیل ماتریسی غیرخطی با استفاده از سطوح برهمکنش، تحلیل غیرخطی به روش اجزاء محدود و تاریخچه مطالعات انجام گرفته توضیح داده می شوند. در فصل سوم روشهای عددی تحلیل غیرخطی و روند تحلیل در الگوریتم پیشنهادی، روابط بنیادی تنش-کرنش برگزیده برای مصالح، الگوریتم ایجاد سطح برهمکنش برای یک مقطع بتن مسلح و الگوریتم تحلیل ماتریسی غیرخطی سازه های بتن مسلح با استفاده از سطوح برهمکنش به تفصیل توضیح داده می شوند. در فصل چهارم نمونه های عددی تحلیل شده توسط الگوریتم پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی متناظرشان و در بعضی نمونه ها با نتایج نرم افزارهای SAP 2000 و ANSYS مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرند و صحت و دقت نتایج بررسی می گردند. در فصل پنجم نیز نتیجه گیری و پیشنهادات آورده خواهند شد.

فصل دوم : مطالعات نظری

۲-۱ بررسی رفتار مصالح بتنی

با وجود مطالعات بسیاری که برای پیش بینی رفتار مصالح بتنی صورت گرفته است، مدلسازی مکانیسم رفتاری بتن هنوز یکی از چالش انگیز ترین موارد در زمینه مهندسی ساختمان است. به علت پیچیدگی ویژگیهای ذاتی بتن و عدم قطعیتهای آن، گسترش مدلهای بنیادی دقیق یا الگوریتمهایی که در تحلیلهای عددی قابل اعتماد باشند مشکل می باشد [۳]. برای ارزیابی موثر رفتار غیرخطی سازه های بتن مسلح، رفتار بتن و رفتار آرماتورها باید بصورت مناسبی مدلسازی شوند. هرچند مدلهای محاسباتی متنوعی برای توصیف رفتار غیر خطی بتن گسترش یافته اند ولیکن عملکرد این مدلها معمولاً در یک المان منفرد ارزیابی شده اند و عملکرد مدلها در یک سطح سازه ای توجه کمتری جلب کرده است [۴]. در مدلسازی بنیادی مصالح بتنی[1] لازم است چند نکته زیر مد نظر قرارگیرند :

بتن یک ماده ناهمسانگرد و غیر همگن است که رفتار مکانیکی غیرخطی دارد. اگر در یک حالت فشاری دومحوری بارگذاری شود مقاومت فشاری آن افزایش می یابد و هنگامیکه تنش کششی در یک بارگذاری دومحوری فشار-کشش افزایش یابد مقاومت فشاری آن کاهش می یابد. شکل پذیری بتن تحت تنشهای دو محوری به حالت تنش بستگی دارد [۶]. در این قسمت به بیان و توضیح چندی از تحقیقات صورت گرفته بر روی خصوصیات مصالح بتنی پرداخته می شود.

برای مدلسازی دو بعدی بتن روابط بنیادی بسیاری ارائه شده اند به عنوان نمونه وی هی و همکارانش [۲] [۳] یک مدل بنیادی برای تحلیل دو بعدی سازه های بتنی پیشنهاد دادند که در آن بتن به

[1] constitutive model for concrete
[2] Wei He , Y.F.Wu , K.M.Liew , Z.Wu. (2006).