چکیده:

هدف از ارائه این کار پژوهشی، گسترش مطالعه درپیدا کردن آسیب درون سازه های فولادی و بتنی با استفاده از آنالیز انتشار امواج با استفاده از روش المان طیفی است. از اینرو به سازه هایی همچون قابهای دوبعدی با تکیه گاه های گیردار، میله یک سرگیردار و در نهایت به تیربتن مسلح در پیدا کردن آسیب با استفاده از روش فوق پرداخته ایم. همچنین می بایست خاطر نشان گردد که از انواع آسیب از جمله کاهش مدول الاستیسیته و مدل ترک به صورت انعطاف پذیری موضعی با استفاده از روش کاستیگلیانو[1] و مکانیک شکست و به صورت فنرهای انتقالی و دورانی درسازه ها استفاده شده است.

در ابتدا به منظور اطمینان حاصل کردن ازصحت این موضوع که آیا برنامه نوشته شده در نرم افزار متلب[2] برای این روش درست می باشد، توسط روش المان محدود مرسوم راست آزمایی گردید و نتایج آن نیز ارائه شد. نتایج حاکی از این امر می باشند که در روش المان محدود طیفی بدون وجود هیچگونه ناپیوستگی در عضو ما قادر به مدل این عضو تنها با یک المان میباشیم ، این در حالی است که در روش المان محدود مرسوم با افزایش تعداد المانها، نتایج حاصل شده نسبت به مدل اعضاء با روش المان طیفی که تنها با یک المان مدل گردیده بود همگرا گردیدند که این امر حاکی از دقت بالا و سرعت بالای این روش در محاسبات میباشد. همچنین در این کار پژوهشی ما به بررسی تاثیر انواع امواج با فرکانسهای مختلف در پیدا کردن آسیب در سازه ها نیز پرداخته ایم که نتایج نشان می دهند با افزایش محتوای فرکانسی قادر به پیدا کردن آسیب (حتی آسیبهای کوچک) در سازه ها نیز میباشیم.

کلمات کلیدی: انتشار امواج، آنالیز طیفی، ترک، آسیب

1. Castigliano
2. Matlab

فهرست مطالب

۱- فصل اول ۱
۱-۱- مقدمه: ۲
۱-۲- تعریف موضوع: ۳
۱-۳- فرضیات: ۵
۱-۴- ساختار پایان نامه: ۵
۲- فصل دوم ۶
۳- فصل سوم ۱۱
۳-۱- المان طیفی میله: ۱۲
۳-۲- المان طیفی تیر اولر- برنولی: ۱۳
۳-۳- شاخص خرابی : ۱۵
۳-۳-۱- کاهش مدول الاستیسیته: ۱۵
۳-۳-۲- ترک: ۱۶
۳-۴- المان طیفی میله با ۳ المان محدود: ۲۰
۳-۴-۱- المان تک گرهی و یا المان تروآف: ۲۳
۳-۵- المان طیفی میله با ۲ المان محدود: ۲۴
۳-۶- المان طیفی تیر با ۳ المان محدود: ۲۶
۳-۶-۱- المان تک گرهی : ۲۹
۳-۷- المان طیفی تیر با ۲ المان محدود: ۳۱
۴- فصل چهارم ۳۵
۴-۱- معادله دیفرانسیل سازه بتن مسلح: ۳۶
۴-۲- شاخص آسیب در سازه های بتنی: ۳۹
۴-۳- المان طیفی سطح موثر بتن و آرماتور: ۴۲
۴-۳-۱- المان طیفی با چهار المان محدود: ۴۳
۴-۳-۲- المان طیفی با پنج المان محدود: ۴۷
۵- فصل پنجم ۵۰

۵-۱- راست آزمایی: ۵۱
۵-۲- ترک در قاب فولادی: ۵۵
۵-۳- آسیب از نوع کاهش مدول الاستیسیته در قاب فولادی: ۷۱
۵-۴- ترک در میله: ۸۴
۵-۵- جرم اضافی در میله: ۹۲
۵-۶- مثال‌های عددی از سازه بتنی: ۹۴
۵-۶-۱- آسیب از نوع مدول الاستیسیته کاهش یافته در آرماتور فولادی: ۹۸
۵-۶-۲- آسیب از نوع مدول الاستیسیته کاهش یافته در بتن: ۱۰۴
۵-۶-۳- آسیب از نوع عدم چسبندگی : ۱۰۷
۵-۶-۴- آسیب از نوع ترک در بتن: ۱۱۱
۶- فصل ششم ۱۱۹
۶-۱- نتایج ۱۲۰
۶-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۲۲

فهرست جداول

جدول (۵-۱) جزئیات قاب فولادی..... ۵۴
جدول (۵-۲) فاصله زمانی موج با طول آسیب ۰/۳ متر..... ۷۷
جدول (۵-۳) فاصله زمانی موج با طول آسیب۰/۲ متر..... ۷۷
جدول (۵-۴) فاصله زمانی موج با طول آسیب ۰/۴متر..... ۷۷
جدول (۵-۵) فاصله زمانی موج با طول آسیب ۰/۶ متر..... ۷۸

فهرست اشکال

شکل (۳-۱) مدل ترک با فنر های انتقالی و دورانی ۱۶
شکل (۳-۲) تمرکز تنش‌ها در ترک ۱۷
شکل (۳-۳) سطح مقطع تیر در محل ترک ۲۰
شکل (۴-۱) سطح مقطع میله در محل ترک ۴۲
شکل (۵-۱) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی ۵۲
شکل (۵-۲) مقایسه نتایج بدست آمده از المان طیفی و المان محدود در تیر ۵۳
شکل (۵-۳) تفاضل بین روش المان طیفی و المان محدود ۵۳
شکل (۵-۴) مقایسه نتایج بدست آمده از المان طیفی و المان محدود در قاب ۵۵
شکل (۵-۵) نمایی از قاب دو بعدی که بار ضربه ای در سمت چپ آن اعمال گردیده است ۵۵
شکل (۵-۶) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۳۴۰ کیلوهرتز می‌باشد ۵۶
شکل (۵-۷) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۱۷۰ کیلوهرتز می‌باشد ۵۶
شکل (۵-۸) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۸۵ کیلوهرتز می‌باشد ۵۷
شکل (۵-۹) پاسخ جابجایی سازه در سمت چپ قاب، در محل اعمال ضربه-قاب سالم ۵۸
شکل (۵-۱۰) پاسخ جابجایی سازه برای قاب آسیب دیده ۵۸
شکل (۵-۱۱) تفاضل پاسخ جابجایی بین قاب سالم و قاب آسیب دیده ۵۹
شکل (۵-۱۲) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب سالم ۵۹
شکل (۵-۱۳) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب دارای ترک در فاصله ۱ متری ۶۰
شکل (۵-۱۴) پاسخ جابجایی سازه در سمت چپ قاب، در محل اعمال ضربه-قاب سالم ۶۱
شکل (۵-۱۵) پاسخ جابجایی سازه برای قاب آسیب دیده ۶۱
شکل (۵-۱۶) تفاضل پاسخ جابجایی بین قاب سالم و قاب آسیب دیده ۶۱
شکل (۵-۱۷) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب سالم ۶۲
شکل (۵-۱۸) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب دارای ترک در فاصله ۱ متری ۶۲
شکل (۵-۱۹) پاسخ جابجایی سازه در سمت چپ قاب، در محل اعمال ضربه-قاب سالم ۶۳
شکل (۵-۲۰) پاسخ جابجایی سازه برای قاب آسیب دیده ۶۳
شکل (۵-۲۱) تفاضل پاسخ جابجایی بین قاب سالم و قاب آسیب دیده ۶۳
شکل (۵-۲۲) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب سالم ۶۴
شکل (۵-۲۳) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر در قاب دارای ترک در فاصله ۱ متری ۶۴
شکل (۵-۲۴) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ خرابی ۵٪ در المان تیر در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه ۶۵

شکل (۵-۲۵) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ خرابی ۴٪ در المان تیر در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه..... ۶۶
شکل (۵-۲۶) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ خرابی ۳٪ در المان تیر در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه..... ۶۶
شکل (۵-۲۷) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ ترک ۵٪ در المان تیر در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه..... ۶۷
شکل (۵-۲۸) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ ترک ۵٪ در المان تیر در فاصله ۱/۵ متری از محل اعمال ضربه..... ۶۷
شکل (۵-۲۹) تفاضل پاسخ جابجایی قائم قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ ترک ۵٪ در المان تیر در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه..... ۶۸
شکل (۵-۳۰) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان ستون در قاب دارای ترک در فاصله ۰/۵ متری.... ۶۹
شکل (۵-۳۱) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ ترک ۵٪ در المان تیر و ستون و در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه برای تیر و در فاصله ۰/۲ متری برای ستون..... ۷۰
شکل (۵-۳۲) تفاضل پاسخ جابجایی افقی قاب در محل اعمال بار ضربه ای با نرخ ترک ۵٪ در المان تیر و ستون و در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه برای تیر و در فاصله ۰/۲ متری (آبی) و ۱ متری (آبی) برای ستون ۷۰
شکل (۵-۳۳) قاب دوبعدی که نیروی ضربه در سمت چپ آن اعمال شده (الف) همان قاب با حذف ستون سمت راست به منظور آزادسازی انرژی ناشی از اعمال ضربه (ب)..... ۷۲
شکل (۵-۳۴) پاسخ جابجایی افقی سازه در سمت چپ قاب، در محل اعمال ضربه-گره B..... ۷۲
شکل (۵-۳۵) پاسخ جابجایی افقی سازه در سمت راست قاب -گره C..... ۷۲
شکل (۵-۳۶) پاسخ جابجایی قائم سازه در سمت چپ قاب، در محل اعمال ضربه-گره B..... ۷۳
شکل (۵-۳۷) تفاضل پاسخ جابجایی افقی سازه با نرخ آسیب ۰/۱ و به طول ۰/۳ متر در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه..... ۷۳
شکل (۵-۳۸) تفاضل پاسخ جابجایی افقی سازه با نرخ آسیب ۰/۲ و به طول ۰/۳ متر در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه..... ۷۴
شکل (۵-۳۹) تفاضل پاسخ جابجایی افقی سازه با نرخ آسیب ۰/۳ و به طول ۰/۳ متر در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه..... ۷۴
شکل (۵-۴۰) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر آسیب دیده با نرخ آسیب ۰/۱ و طول ۰/۳ متر ۷۵
شکل (۵-۴۱) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر آسیب دیده با نرخ آسیب ۰/۲ و طول ۰/۳ متر ۷۵
شکل (۵-۴۲) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر آسیب دیده با نرخ آسیب ۰/۳ و طول ۰/۳ متر ۷۶
شکل (۵-۴۳) پاسخ جابجایی افقی سازه در سمت چپ قاب (آبی) و در سمت راست قاب (قرمز)..... ۷۶
شکل (۵-۴۴) فاصله زمانی موج حادث شده در طول تیر برای نرخ آسیب‌های متفاوت..... ۷۸
شکل (۵-۴۵) رابطه بین فاصله زمانی موج و نرخ آسیب برای طول موج‌های متفاوت..... ۷۹
شکل (۵-۴۶) رابطه بین فاصله زمانی موج و طول آسیب برای انواع نرخ آسیب..... ۸۰

شکل (۵-۴۷) تفاضل پاسخ جابجایی قاب آسیب دیده با نرخ آسیب ۰/۴، در فاصله ۱ متری از انتهای سمت چپ تیر و به طول ۰/۳ متر ۸۱
شکل (۵-۴۸) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان ستون آسیب دیده با نرخ آسیب ۰/۱ و طول ۰/۳ متر در فاصله ۱,۲متری از پایه ستون ۸۲
شکل (۵-۴۹) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر طره سالم ۸۳
شکل (۵-۵۰) موقعیت بیشینه دامنه موج حادث شده در طول المان تیر طره آسیب دیده به طول ۰/۳ متر در ابتدای تیر با نرخ ۰/۱ و ۰/۲ متر در انتهای تیر با نرخ آسیب ۰/۲ ..... ۸۳
شکل (۵-۵۱) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۹۰ کیلوهرتز می‌باشد ۸۴
شکل (۵-۵۲) میله یک سر گیردار با نیروی محرکه P که در انتهای آزاد آن اعمال گردیده است ۸۵
شکل (۵-۵۳) پاسخ شتاب میله سالم در انتهای آزاد ۸۵
شکل (۵-۵۴) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۲ ارتفاع المان میله در وسط آن ۸۶
شکل (۵-۵۵) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۸۷
شکل (۵-۵۶) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۵ ارتفاع المان میله در وسط آن ۸۷
شکل (۵-۵۷) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۸۸
شکل (۵-۵۸) تفاضل بین پاسخ شتاب میله آسیب ندیده و آسیب دیده در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۸۸
شکل (۵-۵۹) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۱۶۵ کیلوهرتز می‌باشد ۸۹
شکل (۵-۶۰) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۳۰ کیلوهرتز می‌باشد ۸۹
شکل (۵-۶۱) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن و با اعمال بار ضربه ای با فرکانس ۱۶۵ کیلوهرتز ۹۰
شکل (۵-۶۲) تفاضل بین پاسخ شتاب میله آسیب ندیده و آسیب دیده در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۹۰
شکل (۵-۶۳) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن و با اعمال بار ضربه ای با فرکانس ۹۰ کیلوهرتز ۹۰
شکل (۵-۶۴) تفاضل بین پاسخ شتاب میله آسیب ندیده و آسیب دیده در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۹۱
شکل (۵-۶۵) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن و با اعمال بار ضربه ای با فرکانس ۳۰ کیلوهرتز ۹۱
شکل (۵-۶۶) تفاضل بین پاسخ شتاب میله آسیب ندیده و آسیب دیده در انتهای آزاد با وجود ترک به اندازه ۰/۰۱ ارتفاع المان میله در وسط آن ۹۱
شکل (۵-۶۷) پاسخ شتاب میله سالم در انتهای آزاد ۹۳
شکل (۵-۶۸) پاسخ شتاب میله در انتهای آزاد با وجود جرم اضافی به اندازه ۰/۲٪ جرم کل در وسط میله ۹۴
شکل (۵-۶۹) تیر بتن مسلحی که نیروی F به عنوان بار ضربه ای بر آن اعمال شده ۹۵

شکل (۵-۷۰) المان بندی تیر بتن مسلح ۹۶
شکل (۵-۷۱) نمایی از سطح مقطع بتن مسلح، سطح مقطع میله و مساحت موثر بتن ۹۷
شکل (۵-۷۲) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۹۰ کیلوهرتز می‌باشد ۹۷
شکل (۵-۷۳) پاسخ جابجایی سطح موثر مقطع در گره A بدون وجود آسیب در سازه ۹۸
شکل (۵-۷۴) پاسخ جابجایی سطح موثر مقطع در گره B بدون وجود آسیب در سازه ۹۸
شکل (۵-۷۵) پاسخ جابجایی محل اعمال ضربه (الف) و پاسخ جابجایی در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه (ب) که در فاصله ۰/۳ متری آسیبی به طول ۰/۱ متر در آرماتور فولادی و با نرخ ۰/۲ در نظر گرفته شده ۱۰۰
شکل (۵-۷۶) پاسخ جابجایی محل اعمال ضربه با طول آسیب ۰/۲ متر (الف) و با طول ۰/۳ متر (ب) که در فاصله ۰/۳ متری و با نرخ ۰/۲ در نظر گرفته شده ۱۰۱
شکل (۵-۷۷) پاسخ جابجایی در محل اعمال ضربه، آسیب در فاصله ۰/۴ متری (الف) در فاصله ۰/۵ متری (ب) و در فاصله ۰/۶ متری (پ) با طول آسیب ۰/۱ متر و با نرخ ۰/۲ ..... ۱۰۲
شکل (۵-۷۸) پاسخ جابجایی در محل اعمال ضربه، با نرخ آسیب ۰/۲ (الف) و ۰/۴ (ب) و به طول ۰/۱ متر در فاصله ۰/۳ متری از محل اعمال ضربه ۱۰۴
شکل (۵-۷۹) پاسخ جابجایی در محل اعمال ضربه، با طول آسیب ۰/۱ متر (الف) و ۰/۲ متر (ب) وبا نرخ آسیب ۰/۲ در فاصله ۰/۳ متری از محل اعمال ضربه ۱۰۶
شکل (۵-۸۰) پاسخ جابجایی در محل اعمال ضربه، با نرخ آسیب ۰/۲، به طول ۰/۳ متر و در فاصله ۰/۵ متری از محل اعمال ضربه ۱۰۷
شکل (۵-۸۱) پاسخ جابجایی در محل اعمال ضربه، با نرخ آسیب ۰/۲ (الف)، ۰/۳ (ب)، ۰/۴ (پ)، ۰/۵ (ت) و ۰/۶ (ث) به طول ۰/۱ متر و در فاصله ۰/۲ متری از محل اعمال ضربه ۱۱۰
شکل (۵-۸۲) المان بندی تیر بتن مسلح در صورت وجود ترک در بتن ۱۱۱
شکل (۵-۸۳) بار ضربه ای در حوزه زمانی و فرکانسی که دارای فرکانس محرکه ۸۵ کیلوهرتز می‌باشد ۱۱۲
شکل (۵-۸۴) پاسخ شتاب در محل اعمال ضربه برای تیر بتن مسلح به طول ۱/۴ متر (الف) در فاصله ۱ متری از محل اعمال ضربه، طول تیر ۱/۴ متر (ب) و در فاصله ۲ متری از محل اعمال ضربه، طول تیر ۲/۴ متر (پ) ۱۱۳
شکل (۵-۸۵) پاسخ شتاب در محل اعمال ضربه برای تیر بتن مسلح به طول ۲/۴ متر (الف) و در فاصله ۲ متری از محل اعمال ضربه (ب) با اعمال ترک در وسط تیر بتن مسلح ۱۱۵
شکل (۵-۸۶) پاسخ شتاب در محل اعمال ضربه (الف) و در فاصله ۲ متری از محل اعمال ضربه (ب) با اعمال ترک در فاصله ۰/۵ متری ۱۱۶
شکل (۵-۸۷) پاسخ شتاب در محل اعمال ضربه (الف) و در فاصله ۲ متری از محل اعمال ضربه (ب) با اعمال ترک در فاصله ۰/۲ متری ۱۱۷

۱- فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه:

آسیب در سازه‌ها نقش مهمی در عملکرد ساختمان‌ها به خصوص در زمان وقوع زلزله، ایفا می‌کند. هر آسیب کوچک در سازه نقطه شروعی برای تمرکز تنش و به تبع آن تشکیل مفصل پلاستیک می‌باشد. علاوه بر آن، آسیب اگر در ستون رخ دهد می‌تواند کل سیستم را در معرض گسیختگی قرار دهد.

آسیب ایجاد شده در سازه می‌تواند باعث تغییر در پاسخ‌های دینامیکی و یا مشخصه های سازه ای گردد. یک روش مدل آسیب در سازه‌ها می‌تواند کاهش مدول الاستیسیته و یا مدل ترک با استفاده از فنرهای بدون بعد و بدون جرم باشد.

انتشار امواج در سازه‌ها را می‌توان به صورت یک آزمون غیر مخرب برای پیدا کردن آسیب به شیوه ای که هر ناپیوستگی ای در سازه انتشار موج الاستیک در جامدات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در نظر گرفت. روش‌های عددی مختلفی برای آنالیز انتشار امواج در سازه‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش المان مرزی[1]، روش انتقال ماتریس[2]، روش آنالوگ[3]، و روش گراف[4] اشاره کرد که روش المان محدود بسیار رایج‌تر از دیگر روش‌ها می‌باشد. یک روش عددی دیگر که از نظر هزینه های محاسباتی در زمینه نظارت بر سلامتی سازه‌ها بسیار موثر است، روش المان طیفی است که موضوع بحث در این کار پژوهشی بوده و در ادامه به تفصیل بدان خواهیم پرداخت.

1. boundary element method
2. matrix transition
3. analogue method
4. graph method

۱-۲- تعریف موضوع:

آنالیز دینامیکی در سازه‌ها به دو بخش مختلف تقسیم بندی می‌شوند، که یکی شامل بارگذاری با فرکانس پایین و دیگری بارگذاری با فرکانس بالاست. مسائلی که دارای فرکانس پایین هستند به عنوان مسائل دینامیک سازه ای و مسائلی که دارای فرکانس بالا هستند به عنوان مسائل انتشار امواج طبقه بندی می‌شوند. در مسائل دینامیک سازه ای محتوای فرکانسی بار دینامیکی از مرتبه چند صد هرتز می‌باشد و در این نوع مسائل به بررسی تأثیرات طولانی مدت (یا حالت پایدار) بار دینامیکی در سازه‌ها پرداخته می‌شود. این در حالی است که در مسائل انتشار امواج، محتوای فرکانس امواج ورودی بسیار بالاست (از مرتبه کیلوهرتز و بالاتر)، انواع بارگذاری انفجاری و ضربه ای در این دسته از مسائل قرار می‌گیرند.

در روش المان محدود طیفی ابتدا معادلات دیفرانسیل جزئی (PDE[1]) به معادلات دیفرانسیل معمولی (ODE[2]) انتقال می‌یابند، سپس این معادلات دیفرانسیل معمولی توسط تبدیل فوریه گسسته (DFT[3]) به حوزه فرکانسی تبدیل می‌شوند. سپس با استفاده از تبدیل فوریه معکوس گسسته (IDFT[4]) می‌توان پاسخ‌ها را در حوزه زمانی بدست آورد.

گام‌های ابتدائی در روش المان طیفی شامل موارد ذیل می‌باشند:

ابتدا تابع نیروی داده شده در حوزه زمانی را با استفاده از تبدیل فوریه سریع به حوزه فرکانسی تبدیل می‌کنیم. از این‌رو احتیاج به انتخاب میزان نمونه زمانی و تعداد نقاط برای تعیین پنجره زمانی آنالیزمان

1. Partial Differential Equation
2. Ordinary Differential Equation
3. Discrete Fourier Transform
4. Inverse Discrete Fourier Transform

داریم. می‌بایست توجه داشت که پنجره انتخابی به اندازه کافی مناسب باشد تا از مسائلی همچون رپراند[1] جلوگیری به عمل آید.

خروجی تبدیل فوریه سریع، فرکانس و قسمت موهومی و واقعی تابع نیرو می‌باشد. سپس حول یک حلقه فرکانسی بزرگ ماتریس سختی دینامیکی المان همچون روش المان محدود مرسوم تولید، مونتاژ و حل می‌گردد، که تمامی این مراحل می‌بایست در هر فرکانس انجام گیرد.

با استفاده از این روش ما قادر به حل مسائل معکوس از قبیل نیرو و یا مسائل شناسایی سیستم با استفاده از روش‌های ساده نیز می‌باشیم. طور خلاصه روش المان محدود طیفی روشی است که از الگوریتم تبدیل فوریه سریع به عنوان یک بخش ضروری و اصلی استفاده می‌کند و حجم عملیات محاسباتی در آن به مراتب کمتر از روش المان محدود مرسوم است.

یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این روش این است که جرم و سختی در طول تیر توزیع شده است، ازاینرو بدون هیچ گونه ناپیوستگی در سازه قادر به مدل سازه تنها با یک المان هستیم. این در حالی است که با افزایش تعداد المان‌ها در روش اجزاء محدود می‌توان به نتایج حاصل از روش موجود همگرا شد، به این دلیل که جرم و سختی در روش اجزاء محدود بر روی گره‌ها توزیع می‌شوند و نه در کل طول المان.

از دیگر مزایای روش موجود می‌توان به این نکته اشاره کرد که در این روش ما قادر به بدست آوردن تمام پاسخ‌های دینامیکی بین دو گره بدون تعریف گره جدید هستیم، که در ادامه بدان مفصلاً خواهیم پرداخت.

1. Wraround

۱-۳- فرضیات:

در این کار تحقیقی فرض شده که رفتار مصالح به صورت الاستیک خطی است. دینامیک سازه های پیوسته تیر، میله و قاب به صورت مصالح همگن ایزوتروپیک، تنها با تغییر شکل‌های کوچک فرض شده‌اند؛ و همچنین رفتار ترک‌ها فرض شده که به صورت مفصل الاستیک بوده و نه پلاستیک (یعنی رفتار فنرها ارتجاعی است) و غیرقابل گسترش می‌باشند.

و در قاب‌ها برای المان‌های تیر- ستون از تئوری تیر اولر-برنولی[1] استفاده شده است.

۱-٤- ساختار پایان نامه:

پس از ارائه کلیاتی از موضوع پایان نامه که در این قسمت بدان پرداختیم، در فصل دوم به بررسی دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه انتشار امواج در سازه‌ها خواهیم پرداخت. سپس در فصل سوم به گسترش روابط مرتبط با سازه های فولادی از جمله میله، تیر و در نهایت قاب و فرمولبندی ماتریس سختی دینامیکی آنها و همچنین معرفی انواع شاخهای خرابی در سازه ها می پردازیم. در فصل چهارم توابع شکل و فرمولبندی ماتریس سختی دینامیکی برای سازه های بتنی گسترش داده خواهد شد و همچنین در این فصل به معرفی انواع شاخهای خرابی در تیر بتن مسلح نیز خواهیم پرداخت. سپس در فصل پنجم نتایج عددی در سازه های فولادی و بتنی بررسی و تحلیل می گردند و در نهایت نتایج و پیشنهادات در فصل ششم ارائه می گردند.

1. Euler-Bernoulli

۲– فصل دوم

مروری بر ادبیات موضوع

دو نوع مدل در پدیده انتشار امواج وجود دارد، مدل گسسته و مدل پیوسته. مشکل اصلی در مدل کردن پدیده انتشار امواج در سازه‌ها با استفاده از مدل پیوسته، محدود بودن آن‌ها به هندسه ساده و شرایط مرزی مشخص می‌باشد. برخلاف آن روش مدل گسسته را می‌توان برای سازه‌هایی با هندسه، شرایط مرزی و خواص مصالح پیچیده بکار برد. علی رغم این همه مزایا، این روش دارای معایبی در ارتباط با گسسته سازی فضای مناسبی که برای حل مسائل انتشار امواج نیاز است، می‌باشد.

در میان انواع روش‌های گسسته برای آنالیز دینامیکی، روش المان محدود [۱] از جمله روش‌های معمولی است که از آن سالیان متمادی در پیدا کردن آسیب در سازه‌ها استفاده شده است، که از آن جمله می‌توان به جین هی لی[1] [۲] اشاره کرد که در مقاله خود به موضوع پیدا کردن چندین ترک در تیرها با استفاده از روش المان محدود پرداخته است.

اما از جمله معایب روش المان محدود مرسوم طولانی بودن زمان انجام محاسبات، به خصوص زمانی که از امواج با فرکانس بالا به عنوان بار ضربه ای استفاده شده است می‌باشد که این امر باعث می‌شود تا زمان انجام محاسبات بیشتر گردد زیرا برای همگرا شدن به جواب مورد نظر مش‌ها را می‌بایست ریزتر کرد. از این‌رو دویل[2] [۳] روشی را در حوزه فرکانسی به عنوان تبدیل فوریه سریع بر اساس روش المان طیفی به منظور رفع این مشکل ارائه داد. او با استفاده از این روش توانست علاوه بر کاهش چشمگیر زمان انجام محاسبات، با دقت بسیار خوبی سازه مورد نظر را تحلیل کند.

همان‌گونه که اشاره کردیم در این روش دویل از تبدیل فوریه سریع برای آنالیز انتشار امواج در سازه‌ها بر اساس روش‌هایی دقیق در حوزه فرکانسی استفاده کرده است که ایگاوا و همکارانش[3] [۴]

1. Jinhee Lee
2. Doyle
3. Igawa et al.

اذعان داشتند استفاده از تبدیل لاپلاس (LT[1]) بسیار مناسب‌تر از تبدیل فوریه سریع بـه دلیـل دوره ای بودن روش موجود می‌باشد.

سپس گپالاکریشنان و همکارانش[2] [۵] در مجموعه ای تحت عنوان روش المان محدود طیفی تمـامی کارهای خود را در محیط‌های ناهمگن و مرکب گسترش دادند و به بررسی انواع آسـیب در سـازه بـا استفاده از روش ذکر شده پرداختند.

پالاکز و کراکزک[3] [۶] به بررسی آنالیز انتشار امواج به منظور پیدا کردن آسـیب بـا اسـتفاده از روش المان طیفی فوریه پرداختند که در این مقاله آن‌ها آسیب را به عنوان یک تـرک غیرقابـل گسـترش در میله مدل کرده و آن را توسط فنر بی بعد با استفاده از تئوری کاستیگلیانو و مکانیک شکسـت در میلـه جایگزین کردند. سپس مارک کراکزک و همکارانش[4] [۷] تفاوت بین تئوری‌هـای مختلـف اصـلاح شده در میله را با استفاده از دو نوع سیگنال محرکه با محتوای فرکانسی بالا و پایین بـرای پیـدا کـردن آسیب در میله‌ها استفاده کردند. مارک کراکـزک و همکـارانش[5] [۸] ایـن نـوع تـرک‌هـا را در انـواع تیرهای تیموشینکو[6] با استفاده از روش المان طیفی گسترش دادند و بدین نتیجه رسیدند که استفاده از این روش در مقایسه با دیگر روش‌های عددی برای پیدا کـردن آسـیب در سـازه‌هـا بسـیار کارآمـدتر می‌باشد.

تورق در تیر نیز به عنوان دیگر انواع آسیب در سازه توسط ویسـلو اسـتاکویکز و همکـارانش[7] [۹] بـه وسیله انتشار امواج با استفاده از روش المان طیفی بررسی شده است، امـا آن‌هـا اذعـان داشـتند کـه در سازه‌ها با شرایط پیچیده ، تنها قادر به نشان دادن وجود آسیب در سازه هستیم ، این در حالی است کـه

1. Laplace Transform
2. Gopalakrishnan et al.
3. Palacz , Krawczuk
4. Marek Krawczuk et al.
5. Marek Krawczuk et al.
6. Timoshinko
7. Wieslaw Ostachowicz et al.

نمی‌توان به محل دقیق آن‌ها پی برد. از این‌رو آن‌ها برای رفع این مشکل در مقاله ای دیگر برای پیدا کردن محل و بزرگای آسیب در سازه از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۱۰].

آسیب در سازه های بتن مسلح در نتیجه بارهای دینامیکی اعمال شده به سازه می‌تواند شکل بگیرد، که این امر می‌تواند کل سازه را در معرض تخریب قرار دهد از این‌رو پیدا کردن آسیب در سازه های بتن مسلح نیز حائز اهمیت می‌باشد.

سوح و همکارانش[1] [۱۱] برای سطح تماس بین آرماتور و بتن ، آسیبی را مدل کردند که شامل ضرایب آسیب مماسی و عمودی بود. با مقایسه بین نتایج تجربی و تئوریکی بدین نتیجه رسیدند که برای مدل آسیب ارائه شده ، این نتایج دارای همگرایی خوبی بودند. سپس سوح و همکارانش [۱۲] در مقاله ای دیگر آسیب‌های موجود در سازه های بتن مسلح را به سه نوع آسیب در بتن ، آرماتور و آسیب در سطح تماس بین بتن و فولاد گسترش دادند.

زو و لاو[2] [۱۳] پاسخ‌های استاتیکی تیر آسیب دیده و عدم چسبندگی بین بتن و آرماتور در سازه های بتن مسلح را با استفاده از روش المان محدود مرسوم ارائه دادند. سپس ینگ ونگ و همکارانش[3] [۱۴] به بررسی آسیب ناشی از عدم چسبندگی بین سطح تماس آرماتور و بتن با استفاده از روش المان طیفی پرداختند. طی انجام تست‌های آزمایشگاهی و شبیه سازی‌های عددی توانستند صحت و کارایی روش مزبور را برای مدل انتشار امواج در امتداد آرماتور فولادی در بتن مسلح تایید کنند.

سونگ داء کیم و همکارانش[4] [۱۵] بر روی چارچوب تئوریکی جدید ان دی تی (NDT)[5] برای پیدا کردن آسیب ناشی از عدم چسبندگی CFRP بدون استفاده از داده های قبلی نیز کار کردند.

1. Soh et al.
2. Zhu and Law
3. Ying Wang et al.
4. Seung Dae Kim et al.
5. Non-destructive Test

در تمام کارهای قبلی تنها به بررسی آسیب در میله و تیر پرداخته شده است و در مورد آسیب در قاب‌ها سخنی به میان نیامده، از این‌رو در این کار پژوهشی سعی بر آن است تا علاوه بر مروری بر کارهای گذشته که پیدا کردن آسیب در میله می‌باشد، به انتشار امواج در قاب‌های یک دهانه با هدف پیدا کردن آسیب در آن‌ها، پرداخته شود.

علاوه بر آن به پیدا کردن آسیب در سازه های بتن مسلح با انواع آسیب از نوع آسیب بین آرماتور و بتن، آسیب در بتن و همچنین در آرماتور پرداخته می‌شود؛ و همچنین به نوع دیگری از آسیب در سازه های بتن مسلح خواهیم پرداخت که در مقالات سخنی از این نوع آسیب به میان نیامده و آن ترک در بتن می‌باشد که با استفاده از انتشار امواج در آرماتور می‌توان از وجود ترک‌های احتمالی در بتن که به آرماتور منتهی شده‌اند نیز آگاهی کسب کرد.

۳– فصل سوم

سازه های فولادی

در این بخش به بررسی آسیب در سازه های فولادی اعم از میله و قاب دو بعدی می‌پردازیم. از این‌رو ابتدا معادله دیفرانسیل و سپس معادله موج و ماتریس سختی اعضاء را با استفاده از روش المان طیفی نوشته و در مرحله بعد به بررسی آسیب در انواع آن‌ها می‌پردازیم. همچنین لازم است خاطر نشان گردد که آسیب‌ها در سازه های فولادی به دو صورت کاهش مدول الاستیسیته و ترک بررسی شده‌اند.

۳-۱- المان طیفی میله:

روش المان طیفی میله های یک بعدی بر اساس تئوری المنتری[1] با چگالی حجمی ρ و مدول یانگ E در نظر گرفته شده است. جابجایی طولی عضو با مساحت مقطع یعنی A در موقعیت x در امتداد میله با $u(x,t)$ در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که تغییر شکل طولی میله برای تمامی سطوح سطح مقطع یکسان باشد و از جابجایی عرضی صرف‌نظر گردد [۳].

$$EA\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \rho A\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = 0 \qquad (۱-۳)$$

و با شرایط مرزی:

$$F(x) = EA\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \qquad (۲-۳)$$

معادله موج در حوزه فرکانسی نیز به صورت ذیل می‌باشد:

1. Elementary theory