دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران

گرایش سازه های هیدرولیکی

عنوان

آسیب شناسی سد بتنی دوقوسی با استفاده از روش اجزای محدود و تبدیل موجک بسته ای

استاد راهنما

دکتر محمدحسین امین فر

استاد مشاور

دکتر محمدعلی لطف اللهی یقین

پژوهشگر

امین لطف اللهی یقین

خرداد ۹۰

تقدیم به پدر گرامی و استاد ارجمندم،

آقای دکتر محمدعلی لطف اللهی یقین

و تقدیم به مادر فداکار و خواهر مهربانم.

نام خانوادگی دانشجو: لطف اللهی یقین **نام:** امین

عنوان پایان نامه: آسیب شناسی سد بتنی دوقوسی با استفاده از روش اجزای محدود و تبدیل موجک بسته ای

استاد راهنما: دکتر محمدحسین امین فر

استاد مشاور: دکتر محمدعلی لطف اللهی یقین

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه های هیدرولیکی

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۹۰.۳.۷ **تعداد صفحه:**

کلیدواژه ها: سد بتنی دوقوسی، تحلیل دینامیکی، روش اجزای محدود، نرم افزار ABAQUS، نرم افزار Wavelet Packet، پایش سلامت سازه ها.

چکیده:

سازه های موجود بدلیل افت کارایی و بارگذاری های پیش بینی نشده، در معرض تهدیدات عمده ای مانند تولید و رشد ترک ها و گسیختگی می باشند. این مشکلات با بارگذاری اضافی حاصل از خطرات طبیعی یا مصنوعی مانند زلزله و انفجار تشدید می شوند. آسیب های سازه ای موجب تغییرات نامطلوب در کارایی سازه می گردند. خرابی ها ممکن است بطور ناگهانی رخ دهند مانند گسیختگی یک المان در اثر بارگذاری زلزله یا از نوع رشد آسیب و بصورت پیشرونده باشند مانند کاهش سختی و مقاومت در اثر رشد ترک. متدهای پایش سلامت سازه ها (Structural Health Monitoring) که به اختصار SHM نامیده می شود، موضوع تحقیقات پردامنه ای است که تاکنون انجام شده است. در سال های اخیر نیز برای توسعه سیستم های قابل اعتماد و بهینه SHM کوشش های فراوانی شده است. این سیستم ها باید جوابگوی سوالاتی مانند تشخیص محل خرابی و شدت آن در سازه ها باشند که در اینصورت می توان به تمهیدات بعدی برای تعمیر و بهسازی سازه ها اندیشید.

امروزه شیوه‌های متنوعی برای کشف و مکان‌یابی خرابی در سازه‌ها بکار می‌رود . از جمله مطالعه تغییرات فرکانس های ویژه و شکل مودهای سازه، تکنیک تحریک دینامیکی سازه، روش تبدیل موجک، موجک بسته ای و ... . بسیاری از این روش‌ها دامنه کاربرد محدودی دارند و در اکثر این روشها می بایست محل تقریبی خرابی، از ابتدای کار مشخص باشد. در میان انواع آسیب ها ، ترک ها از مهمترین دلایل شکست سازه ای هستند که شناسایی و نمایان کردن آنها در زمره متدهای SHM قرار می گیرد.

بکارگیری روش های تشخیص خرابی با مشکلاتی مانند دسترسی نداشتن به پاسخ ارتعاشی سازه قبل از وقوع خرابی، مشکل بودن اطلاع از خواص مکانیکی دقیق مواد بکار رفته و پیچیدگی آنالیز دینامیکی کامل سازه روبروست. با توجه به مشکلات موجود در سیستم های قدیمی SHM، در سال های اخیر تلاش ها و تحقیقات گسترده ای برای ارائه روش های جایگزین در جهت رفع مشکلات این روش ها، انجام گرفته است. هدف اصلی این پژوهش ها، ارائه روشی برای پایش سازه هاست که نیاز کمتری به پاسخ سازه سالم داشته باشد و یا بدون داشتن پاسخ سازه سالم امکان این پایش وجود داشته باشد.

تشخیص آسیب در سدهای بتنی با توجه به حساسیت این سازه ها از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. این

تحقیق امکان شنایایی آسیب در نقاط مختلف از جمله تاج و کوله های سد کرج که یک سد بتنی دو قوسی در ایران می باشد را بررسی می کند. ابتدا مدل این سد در دو حالت سالم و ترکدار در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS ایجاد شد و تحت زلزله El Centro تحلیل دینامیکی روی آن انجام گرفت. ترک در مراحل مختلف در نقاط گوناگون و نزدیک به کوله ها و تاج سد قرار گرفته و پس از تحلیل، نتایج مختلفی از جمله تغییر مکان، سرعت و شتاب نقاط گوناگون استخراج شده است. بررسی ها نشان داد که نمودارهای شتاب- زمان بهترین معیار برای تشخیص آسیب هستند بنابراین این داده ها در برنامه ای که توسط محقق با توجه به اصول Wavelet Packet در نرم افزار MATLAB نوشته شده بود بررسی شده و آسیب ها تشخیص داده شدند.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مروری بر کارهای گذشتگان در زمینه تشخیص ترک ۳
۱-۳- معرفی روش موجک معمولی و موجک بسته ای بعنوان سیستم های جدید SHM ۴
۱-۴- پیشینه استفاده از روش تبدیل موجک در تشخیص آسیب ۵
۱-۵- هدف اصلی تحقیق ۶
۱-۶- مروری بر تحقیق حاضر ۷

فصل دوم: مبانی ریاضی تبدیل موجک

۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- تبدیل فوریه ۱۰
۲-۳- تبدیل فوریه بازمان کوتاه (STET) ۱۳
۲-۴- تبدیل موجک پیوسته (Continuous Wavelet Transform) ۱۹
۲-۵- مسئله وضوح زمانی و فرکانسی ۲۶
۲-۶- تعریف ریاضی تابع موجک ۳۰
۲-۶- ۱- تابع موجک Haar ۳۲
۲- ۶- ۲- تابع موجک مورلت (Morlet) ۳۲
۲- ۶- ۳- خانواده تابع موجک Daubechies ۳۳
۲- ۶- ۴- تابع موجک Symlet ۳۴
۲- ۶- ۵- تابع موجک Gausian ۳۴
۲-۷- تبدیل موجک بسته ای (Wavelet Packet Transform) ۳۵

فصل سوم: سدهای بتنی قوسی

۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- انواع سدهای قوسی ۴۳
۳-۲-۱- سدهای تک قوسی ۴۳

۳-۲-۲-سدهای دو قوسی ۴۶
۳-۳- نیروهای موثر در تحلیل و طراحی ۴۷
۳-۳-۱- نیروی حاصل از فشار آب بر سد ۴۸
۳-۳-۲- نیروی حاصل از رسوب ۴۹
۳-۳-۳ نیروی حاصل از فشار بلند کننده آب (Uplift) ۵۱
۳-۳-۴- فشار یخ ۵۴
۳-۳-۵- نیروی ناشی از امواج سطحی آب ۵۶
۳-۳-۶- فشار باد ۵۷
۳-۳-۷- تغییرات دما ۵۸
۳-۳-۸- نیروی وزن سد ۵۸
۳-۳-۹- نیروی حاصل از فشار هیدرودینامیک آب بر روی سد ۵۸
۳-۳-۱۰- نیروی زلزله ۵۹
۳-۴- تحلیل دینامیکی سد ۶۰
۳-۴-۱- انواع آنالیز دینامیکی سدهای بتنی ۶۰
۳-۴-۲- آنالیز دینامیکی طیف پاسخ ۶۰
۳-۴-۳- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۶۵
۳-۴-۴- تحلیل دینامیکی سد بتنی با مخزن خالی ۶۶
۳-۴-۵-تحلیل دینامیکی سد بتنی با مخزن پر ۷۰
۳-۵- آنالیز مودال ۷۲
۳-۵-۱ معرفی آنالیز مودال ۷۳
۳-۵-۲ کاربردآنالیز مودال ۷۳

فصل چهارم: معرفی نرم افزار ABAQUS و شیوه شبیه سازی سد بتنی دوقوسی

۴-۱- مقدمه ۷۵
۴-۲- نرم افزار اجزای محدود ۷۶
۴-۲-۱- تحلیل سازه‌ها به روش اجزا محدود (FEM) ۷۶
۴-۲-۱- روند عمومی روش اجزا محدود ۷۶
۴-۳- نرم افزار ABAQUS ۷۷
۴-۴- صحت سنجی مدلسازی در ABAQUS ۹۰
۴-۵- نحوه مدلسازی سد ۹۲

۴-۵-۱- معرفی سد کرج (مطالعه موردی) ۹۲
۴-۵-۲- مدلسازی سد در ABAQUS ۹۳
۴-۵-۳- تحلیل دینامیکی سد ۹۵
۴-۵-۴- معرفی مدلهای مورد استفاده برای تشخیص ترک ۹۵
۴-۵-۵- آنالیز مودال سد ۹۶

فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه ۱۰۰
۵-۲- مراحل تحلیل موجک ۱۰۰
۵-۳- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D1 ۱۰۰
۵-۴- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D2 ۱۰۳
۵-۵- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D3 ۱۰۵
۵-۶- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D4 ۱۰۸
۵-۷- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D5 ۱۱۰
۵-۸- نتایج آنالیز تبدیل موجک برای مدل D6 ۱۱۲

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری ۱۱۷
۶-۱- پیشنهادات ۱۱۷

منابع و مراجع ۱۱۸
چکیده انگلیسی ۱۲۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱. شماتیک آنالیز فوریه، بیان یک سیگنال به فرم سینوسی هایی در فرکانس های مختلف ۱۰
شکل ۲-۲. شمای تغییر مبنای سیگنال از Time-domain به Frequency-domain توسط تبدیل فوریه ۱۱
شکل ۲-۳. سیگنال ساکن با فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ هرتز ۱۲
شکل ۲-۴. نمایش سیگنال در قلمرو فرکانسی ۱۲
شکل۲-۵. سیگنال غیر ساکن با فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰، و ۵۰ هرتز در زمان های متفاوت ۱۲
شکل ۲-۶. نمایش سیگنال شکل ۲-۳، در قلمرو فرکانسی ۱۳
شکل ۲-۷. شماتیک STFT به زبان ساده ۱۴
شکل ۲-۸. سیگنال غیر ساکن با فرکانسهای ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ هرتز ۱۴
شکل۲-۹. نمایش سیگنال در صفحه فرکانس – زمان (a=0.001) ۱۵
شکل ۲-۱۰. نمودار پنجره ای گاوس به ازای ۴ مقدار مختلف a ۱۶
شکل ۲-۱۱. نمایش سیگنال در صفحه فرکانس – زمان (a=0.01) ۱۷
شکل ۲-۱۲. نمایش سیگنال در صفحه فرکانس – زمان (a=0.0001) ۱۷
شکل ۲-۱۳. نمایش سیگنال در صفحه فرکانس – زمان (a=0.00001) ۱۸
شکل ۲-۱۴. نحوه ارائه دقت زمان – فرکانس در تابع موجک ۱۸
شکل ۲-۱۵. مقایسه هسته های STFT (بالا) و تبدیل موجک(پایین) برای آنالیز فرکانسی پایین و بالا ۲۰
شکل ۲-۱۶. شماتیک آنالیز موجک، بیان یک سیگنال به فرم موجک هایی در مقیاس و موقعیت های مختلف ۲۰
شکل ۲-۱۷. شمای تغییر مبنای سیگنال از time-domain به time-scale توسط تبدیل موجک ۲۱
شکل ۲-۱۸. شمای مقیاس کردن تابع سینوسی f(x)=sin(sx/2) ۲۲
S=1/2<1 برای نمودار بالا، s=1 برای نمودار وسط (تابع اصلی)، s=2>1 برای نمودار پایین
شکل ۲-۱۹. شمای مقیاس کردن تابع سینوسی $f(x)=\psi(sx)$ ۲۲
S=1/2<1 برای نمودار بالا، s=1 برای نمودار وسط (تابع اصلی)، s=2>1 برای نمودار پایین
شکل ۲-۲۰. شمای انتقال تابع موجک $\psi(x)$ به مقدار b ۲۳
شکل ۲-۲۱. پیمایش سیگنال با استفاده از تابع موجک با مقیاس پایین (فرکانس بالا) ۲۴
شکل ۲-۲۲. پیمایش سیگنال با استفاده از تابع موجک با مقیاس بالا (فرکانس پایین) ۲۴
شکل ۲-۲۳. سیگنال غیر ساکن با فرکانس های ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۵ هرتز ۲۵
شکل ۲-۲۴. گراف ضرایب موجک برای سیگنال شکل ۲-۱۴ با استفاده از تابع morlet ۲۵
شکل ۲-۲۵. موج سینوسی با ناپیوستگی بسیار کوچک ۲۶
شکل ۲-۲۶. نمودارهای زمان- فرکانس (ضرایب فوریه، سمت چپ) و زمان- مقیاس (ضرایب موجک، سمت راست) ۲۶
شکل ۲-۲۷. تفاوت تبدیل های گوناگون از نظر توانایی ارائه وضوح زمان - فرکانس ۲۷
شکل ۲-۲۸. سیگنال غیر ساکن با فرکانس های ۲، ۱۰، ۳۰ هرتز و طیف فوریه آن ۲۸
شکل ۲-۲۹. گراف ضرایب موجک سیگنال ۲۸

شکل ۲-۳۰. گراف "ضرایب موجک – فرکانس" و " ضرایب موجک – مقیاس" برای زمان t=۰/۳۷۹ ثانیه ۲۹
شکل ۲-۳۱. گراف ضرایب موجک سیگنال شکل ۲-۱۸ که با ۱۰۰ نقطه نمونه برداری شده است ۳۰
شکل ۲-۳۲. طیف فرکانسی در زمان ۰/۳۹ ثانیه برای برداشت نقاط با ۱۰۰ عدد ۳۰
شکل ۲-۳۳. تابع موجک morlet و تبدیل فوریه ۳۳
شکل ۲-۳۴. گراف تابع مادر خانواده Daubechies ۳۳
شکل ۲-۳۵. گراف تابع مادر خانواده Symlet ۳۴
شکل ۲-۳۶. گراف تابع مادر خانواده Gausian ۳۴
شکل ۲-۳۷. نمودار سیگنال رابطه ۲-۳۲ ۳۷
شکل ۲-۳۸. توزیع درختی سیگنال در سطح ۵ ۳۸
شکل ۲-۳۹. توزیع درختی سیگنال در سطح ۴ ۳۸
شکل ۲-۴۰. ۸ مولفه بدست آمده از سیگنال رابطه ۲-۳۲ ۳۹
شکل ۲-۴۱. گراف رنگی ضرایب موجک بسته ای (سیگنالهای شکل ۲-۴۰) ۳۹
شکل ۲-۴۲. تفاوت تبدیل موجک معمولی و بسته ای در تمرکز فرکانسی ۴۰
شکل۲-۴۳. تفاوت تبدیل موجک معمولی و تبدیل موجک بسته ای در نمایان کردن فرکانسها ۴۱
شکل۳-۱. سد قوسی با شعاع ثابت ۴۴
شکل۳-۲. سد قوسی با شعاع متغییر ۴۵
شکل ۳-۳. سدهای قوسی با زاویه ثابت ۴۶
شکل ۳-۴. سد دو قوسی ۴۷
شکل ۳-۵. نیروی حاصل از فشار آب بر سد ۴۹
شکل ۳-۶. نیروی حاصل از فشار آب ۴۹
شکل ۳-۷. نیروی حاصل از فشار Uplift ۵۲
شکل ۳- ۸. توزیع فشار Uplift در سدهای وزنی بدون پاشنه و با پاشنه ۵۳
شکل ۳-۹. اثر گالری در توزیع فشار Uplift در یک سد وزنی ۵۴
شکل ۳-۱۰. روش جرم افزوده وسترگارد ۵۹
شکل ۳-۱۱. طیف پاسخ شتاب زلزله بر اساس دوره تناوب ۶۴
شکل ۴-۱. پنجره اصلیABAQUS/CAE ۷۹
شکل ۴-۲. پنجره Tool bar ۸۰
شکل ۴-۳ . پنجره تعریف مواد ۸۳
شکل ۴-۴. پنجره و ویژگی‌های ماده ۸۳
شکل ۴-۵. پنجره و ویژگی‌های الاستیک و پلاستیک ۸۳
شکل ۴-۶. بخش تماس ۸۵
شکل ۴-۷. فهرست اصلی Load ۸۶
شکل ۴-۸. پنجره مربوط به بار متمرکز ۸۶
شکل ۴-۹. انواع المانها ۸۸
شکل ۴-۱۰. انتخاب نوع المان برای یک ناحیه دو بعدی ۸۸

شکل ۴-۱۱. پنجره Job Manager ۸۹
شکل ۴-۱۲. مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی ۹۰
شکل ۴-۱۳. مدل ساخته شده در آزمایشگاه ۹۱
شکل ۴-۱۴. مدل ساخته شده در ABAQUS ۹۱
شکل ۴-۱۵. پلان قوس های افقی سد کرج ۹۳
شکل ۴-۱۶. المان C3D10M ۹۴
شکل ۴-۱۷. مدلسازی انجام گرفته در ABAQUS ۹۴
شکل ۴-۱۸. رکورد مولفه شمال- جنوب زلزله Elcentro ۹۵
شکل ۴-۱۹. مکان ترک مدلسازی شده در نقاط مختلف سد ۹۵
شکل ۴-۲۰. تغییر شکل سد در مود اول ۹۷
شکل ۴-۲۱. تغییر شکل سد در مود دوم ۹۷
شکل ۴-۲۲. تغییر شکل سد در مود سوم ۹۷
شکل ۴-۲۳. تغییر شکل سد در مود چهارم ۹۸
شکل ۴-۲۴. تغییر شکل سد در مود پنجم ۹۸
شکل ۵-۱. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت سالم ۱۰۱
شکل ۵-۲. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت ترکدار ۱۰۱
شکل ۵-۳. پاسخ شتاب - زمان گره ۷ در حالت سالم ۱۰۱
شکل ۵-۴. پاسخ شتاب - زمان گره ۷ در حالت ترکدار ۱۰۲
شکل ۵-۵. نتایج آنالیز موجک برای D1 در سطح تجزیه ۳ (ترک در گره ۱۳) ۱۰۲
شکل ۵-۶. نتایج آنالیز موجک برای D1 در سطح تجزیه ۴ (ترک در گره ۱۳) ۱۰۲
شکل ۵-۷. نتایج آنالیز موجک برای D1 در سطح تجزیه ۵ (ترک در گره ۱۳) ۱۰۳
شکل ۵-۸. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۹ در حالت سالم ۱۰۳
شکل ۵-۹. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۹ در حالت ترکدار ۱۰۴
شکل ۵-۱۰. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۳ در حالت سالم ۱۰۴
شکل ۵-۱۱. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۳ در حالت ترکدار ۱۰۴
شکل ۵-۱۲. نتایج آنالیز موجک برای D2 در سطح تجزیه ۳ (ترک در گره ۱۹) ۱۰۵
شکل ۵-۱۳. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۴ در حالت سالم ۱۰۵
شکل ۵-۱۴. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۴ در حالت ترکدار ۱۰۶
شکل ۵-۱۵. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۲ در حالت سالم ۱۰۶
شکل ۵-۱۶. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۲ در حالت ترکدار ۱۰۶
شکل ۵-۱۷. نتایج آنالیز موجک برای D3 در سطح تجزیه ۳ (ترک در گره ۲۴) ۱۰۷
شکل ۵-۱۸. نتایج آنالیز موجک برای D3 در سطح تجزیه ۴ (ترک در گره ۲۴) ۱۰۷
شکل ۵-۱۹. نتایج آنالیز موجک برای D3 در سطح تجزیه ۵ (ترک در گره ۲۴) ۱۰۷
شکل ۵-۲۰. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۶ در حالت سالم ۱۰۸
شکل ۵-۲۱. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۶ در حالت ترکدار ۱۰۸
شکل ۵-۲۲. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت سالم ۱۰۹

شکل ۵-۲۳. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت ترکدار ۱۰۹
شکل ۵-۲۴. نتایج آنالیز موجک برای D4 برای سطح تجزیه ۵ (ترک در گره ۱۶) ۱۰۹
شکل ۵-۲۵. نتایج آنالیز موجک برای D4 برای سطح تجزیه ۶ (ترک در گره ۱۶) ۱۱۰
شکل ۵-۲۶. نتایج آنالیز موجک برای D4 برای سطح تجزیه ۷ (ترک در گره ۱۶) ۱۱۰
شکل ۵-۲۷. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت سالم ۱۱۱
شکل ۵-۲۸. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۳ در حالت ترکدار ۱۱۱
شکل ۵-۲۹. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۵ در حالت سالم ۱۱۱
شکل ۵-۳۰. پاسخ شتاب - زمان گره ۲۵ در حالت ترکدار ۱۱۲
شکل ۵-۳۱. نتایج آنالیز موجک برای D5 برای سطح تجزیه ۴ (ترک در گره های ۱۳ و ۲۵) ۱۱۲
شکل ۵-۳۲. پاسخ شتاب - زمان گره ۹ در حالت سالم ۱۱۳
شکل ۵-۳۳. پاسخ شتاب - زمان گره ۹ در حالت ترکدار ۱۱۳
شکل ۵-۳۴. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۶ در حالت سالم ۱۱۳
شکل ۵-۳۵. پاسخ شتاب - زمان گره ۱۶ در حالت ترکدار ۱۱۴
شکل ۵-۳۶. نتایج آنالیز موجک برای D6 برای سطح تجزیه ۵ (ترک در گره های ۹ و ۱۶) ۱۱۴
شکل ۵-۳۷. نتایج آنالیز موجک برای D6 برای سطح تجزیه ۶ (ترک در گره های ۹ و ۱۶) ۱۱۴
شکل ۵-۳۸. نتایج آنالیز موجک برای D6 برای سطح تجزیه ۷ (ترک در گره های ۹ و ۱۶) ۱۱۵

فهرست جداول

جدول ۳-۱. نیروی وارد از طرف یخ با ضخامت‌های مختلف بر واحد طول سد ۵۵
جدول ۴-۱. مشخصات سد و مصالح در مدل آزمایشگاهی و مدل نرم افزاری ۹۲
جدول ۴-۲. فرکانس طبیعی محاسبه شده برای ۶ مود اول ۹۲
جدول ۴-۳. مشخصات هندسی سد کرج ۹۳
جدول ۴-۴. نامگذاری مدل ها و مکان ترکها در سد ۹۶
جدول ۴-۵. نتایج آنالیز مودال برای مدلهای مختلف ۹۶

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

سازه های موجود بدلیل افت کارایی و بارگذاری های پیش بینی نشده، در معرض تهدیدات عمده ای مانند تولید و رشد ترک ها و گسیختگی می باشند. این مشکلات با بارگذاری اضافی حاصل از خطرات طبیعی یا مصنوعی مانند زلزله و انفجار تشدید می شوند. آسیب های سازه ای موجب تغییرات نامطلوب در کارایی سازه می گردند. خرابی ها ممکن است بطور ناگهانی رخ دهند مانند گسیختگی یک المان در اثر بارگذاری زلزله یا از نوع رشد آسیب و بصورت پیشرونده باشند مانند کاهش سختی و مقاومت در اثر رشد ترک. متدهای پایش سلامت سازه ها (Structural Health Monitoring) که به اختصار SHM نامیده می شود، موضوع تحقیقات پردامنه ای است که تاکنون انجام شده است. در سال های اخیر نیز برای توسعه سیستم های قابل اعتماد و بهینه SHM کوشش های فراوانی شده است. این سیستم ها باید جوابگوی سوالاتی مانند تشخیص محل خرابی و شدت آن در سازه ها باشند که در اینصورت می توان به تمهیدات بعدی برای تعمیر و بهسازی سازه ها اندیشید . امروزه شیوه‌های متنوعی برای کشف و مکان‌یابی خرابی در سازه‌ها بکار می‌رود . از جمله مطالعه تغییرات فرکانس های ویژه و شکل مودهای سازه، تکنیک تحریک دینامیکی سازه، روش تبدیل موجک، موجک بسته ای و ... . بسیاری از این روش‌ها دامنه کاربرد محدودی دارند و در اکثر این روشها می بایست محل تقریبی خرابی از ابتدای کار مشخص باشد. در میان انواع آسیب ها ، ترک ها از مهمترین دلایل شکست سازه ای هستند که شناسایی و نمایان کردن آنها در زمره متدهای SHM قرار می گیرد. بکارگیری روش های تشخیص خرابی با مشکلاتی مانند دسترسی نداشتن به پاسخ ارتعاشی سازه قبل از وقوع خرابی، مشکل بودن اطلاع از خواص مکانیکی دقیق مواد بکار رفته و پیچیدگی آنالیز دینامیکی کامل سازه روبروست. با توجه به مشکلات موجود در سیستم های قدیمی SHM، در سال های اخیر تلاش ها و تحقیقات گسترده ای برای ارائه روش های جایگزین در جهت رفع مشکلات این روش ها، انجام گرفته است. هدف اصلی این پژوهش ها، ارائه روشی برای پایش سازه هاست که نیاز کمتری به پاسخ سازه سالم داشته باشد و یا بدون داشتن پاسخ سازه سالم امکان این پایش وجود داشته باشد. تشخیص آسیب در سدهای بتنی با توجه به حساسیت این سازه ها از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. این تحقیق امکان شنایایی آسیب در نقاط مختلف از جمله تاج و کوله های سد کرج که یک سد بتنی دو قوسی در ایران می باشد را بررسی می کند. ابتدا مدل این سد در دو حالت سالم و ترکدار در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS ایجاد شد و تحت زلزله El Centro تحلیل دینامیکی روی آن انجام گرفت. ترک در مراحل مختلف در نقاط گوناگون و نزدیک به کوله ها و تاج سد قرار گرفته و پس از تحلیل، نتایج مختلفی از جمله تغییر مکان، سرعت و شتاب نقاط گوناگون استخراج شده است. بررسی ها نشان داد که نمودارهای شتاب- زمان بهترین معیار برای تشخیص آسیب هستند بنابراین این داده ها در برنامه ای که توسط محقق با توجه به اصولWavelet Packet در نرم افزار MATLAB نوشته شده بود بررسی شده و آسیب ها تشخیص داده شدند. در ادامه این تحقیق، امکان تشخیص آسیب در دو نقطه مختلف همزمان بررسی شد.

۱-۲- مروری بر کارهای گذشتگان در زمینه تشخیص ترک

در سال های گذشته برای نیل به هدف شناسایی مشخصات ترک پژوهش های فراوانی صورت گرفته است که در ادامه به مهمترین این تلاش ها اشاره می شود:

دیمارگوناس به عنوان ایده اولیه، ترک را به صورت نرمیت موضعی مدل کرد و سختی معادل را توسط آزمایشاتی بدست آورد [۱]. چاندراس این روش را برای مطالعه پاسخ دینامیکی تیر ترک خورده بکار برد [۲]. کاولی و آدامز روش تجربی را برای محاسبه موقعیت و عمق ترک از تغییرات در فرکانس های طبیعی ارائه دادند [۳]. چاندراس و دیمارگوناس روشی را برای شناسایی ترک در اتصالات جوش شده پیشنهاد دادند [۴]. پتروسکی تکنیکی را برای مدل کردن ترک با استفاده از مدول مقطع ارائه داد [۵]. گودمانسون روش اختلال (آشفتگی) را برای پیش بینی تغییرات در فرکانسهای طبیعی سازه منتج از ترکها مورد استفاده قرار داد [۶]. دیمارگوناس و پاپیتس ترک را به صورت نرمیت موضعی مدل کردند و سختی معادل آنرا با استفاده از روش مکانیسم گسیختگی به دست آوردند [۷]. ریزاس روشی را پیشنهاد داد که برای استفاده از دامنه اندازه گیری شده در دو نقطه از تیر طره که در یکی از مودهای طبیعی اش می لرزد بکار گرفته می شود [۸]. لیانگ و همکارانش مسئله مشابهی را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که معادله مشخصه می تواند برای محاسبه مقدار سختی برای یک فرکانس طبیعی و موقعیت ترک، حل شود [۹]. بنکس و همکاران متد دیگری را برای شناسایی آسیب پیشنهاد دادند. آنها از تغییرات در سختی و نسبت میرایی برای شناسایی آسیب سازه ای استفاده کردند [۱۰]. روتولو و سورس متدی را ارائه دادند که پارامترهای مودال را برای تخمین اندازه و موقعیت ترک در یک تیر دارای ترک دوبل مورد استفاده قرار می دهد [۱۱]. شیفرین و روتولو متدی را برای مطالعه تاثیر تعداد ترک روی فرکانس های طبیعی ارائه کردند [۱۲]. کورنول و همکاران متد انرژی کرنشی برای تشخیص موقعیت ترک ارائه دادند. [۱۳]. در روند شناسایی ترک ها، کارهای فراوانی بر اساس تغییرات فرکانس طبیعی انجام شده است. اما در برخی موارد به دلیل کوچک بودن آسیب و وقوع خطا در اندازه گیری ها توانایی تشخیص مشخصات ترک کاهش می یافت. برای چیره شدن بر این مشکل استفاده از مد شکلها مورد توجه قرار گرفت. از جمله مزایای استفاده از مدشکلها به این ترتیب عنوان شده است که تغییرات در مد شکلها بسیار حساس تر از فرکانس طبیعی می باشد. مقاله مهمی در این زمینه در سال ۲۰۰۳ منتشر شد که در آن مقاله مقایسه دقیقی میان دو روش فرکانس- مبنا و مد شکل- مبنا برای شناسایی آسیب در تیرهای سازه ای توسط کیم و همکاران انجام شد[۱۴].

در تمامی تحقیقات و مطالعات ذکر شده در بالا، روشهای شناسایی ترک بر پایه خصوصیات حدی از سازه می‌باشند ولی اخیراً دانشمندان مطالعاتی بر روی رفتار دینامیکی سازه انجام داده و به نتایج بسیار مفیدی در این باره رسیده اند که از آن جمله: سال و چانگ یک روش انرژی بر پایه تبدیل موجک بسته ای برای شناسایی خرابی پیشنهاد کردند [۱۵]. لین و ین در حدود استفاده از تبدیل موجک بسته ای برای سیگنالهای ارتعاشی تحقیق کردند. آنها یک شاخص انرژی گرهی موجک بسته ای تعریف کرده و نتیجه گرفتند که این شاخص می تواند معیار خوبی برای شناسایی ترک مورد استفاده قرار گیرد [۱۶].

زنگ و همکاران روشی بر پایه شاخص نرخ انرژی موجک بسته ای را برای شناسایی مشخصات ترک پیشنهاد کردند. [۱۷]. در ادامه تبدیلات موجک معمولی و موجک بسته ای بعنوان روشهای پایش سلامت سازه معرفی می شوند و در قسمت ۱-۴ کارهای پیشین انجام شده با استفاده از این تبدیلات بصورت تفضیل بیان شده است.

۱-۳- معرفی روش موجک معمولی و موجک بسته ای بعنوان سیستم های جدیدSHM

بکارگیری روش های تشخیص خرابی با مشکلاتی مانند دسترسی نداشتن به پاسخ ارتعاشی سازه قبل از وقوع خرابی، مشکل بودن اطلاع از خواص مکانیکی دقیق مواد بکار رفته و پیچیدگی آنالیز دینامیکی کامل سازه روبروست.

با توجه به مشکلات موجود در سیستم های قدیمی SHM، در سال های اخیر تلاش ها و تحقیقات گسترده ای برای ارائه روش های جایگزین در جهت رفع مشکلات این روش ها، انجام گرفته است. هدف اصلی این پژوهش ها، ارائه روشی برای پایش سازه هاست که نیاز کمتری به پاسخ سازه سالم داشته باشد یا بدون داشتن پاسخ سازه سالم امکان این پایش وجود داشته باشد. روش تبدیل موجک (Wavelet Transform [WT]) یکی از روش هایی است که در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این روش اساساً بر پایه مشاهدات مورد استفاده در آنالیز مودال، مانند تاثیر خرابی بر پاسخ بنا نهاده شد، ولی بعدها پاسخ اشکال مودی مورد توجه قرار گرفت. دو رویکرد مختلف در روش WT و یک رویکرد WPT مورد توجه قرار داده می شود:

۱- پاسخ ارتعاشی سازه با یک تحریک ارتعاشی منظم یا تصادفی در یک نقطه خاص از آن برداشت می‌شود. که این پاسخ در واقع یک سیگنال زمان- قلمرو (time- domain) می باشد. پس از تحلیل با WT می توان زمان وقوع هر گونه ناپیوستگی یا ناهماهنگی (مانند کاهش ناگهانی سختی) را از روی گراف ضرایب موجک(Wavelet Coefficients) به صورت یک یا چند نقطه نزدیک به هم دارای اغتشاش یا مقادیر ناهماهنگ با نقاط دیگر، تشخیص داد.

۲- پاسخ ارتعاشی یا استاتیکی یک سازه در نقاط مختلف آن در یک زمان معین برداشت می شود که در حقیقت یک سیگنال مکان- قلمرو (Space-domain) می باشد. محل هر گونه عیب و خرابی بر روی گراف ضرایب موجک به صورت نقاط دارای اغتشاش نمایان می گردد.

۳- پاسخهای ارتعاشی برداشت شده از روی سازه در اثر اعمال بار ضربه، در تبدیل موجک بسته ای به مؤلفه‌های مربوط تجزیه شده که این مؤلفه ها می توانند در ادامه پروسه شناسایی ترک، موقعیت و عمق ترک را شناسایی کنند.

روش تبدیل موجک بسته ای (Wavelet packet Transform) یکی از روشهای کارا و مفیدی است که بعد از روش تبدیل موجک معمول مورد توجه قرار گرفته است. این روش به علت دارا بودن برتری ها و کارایی هایی نسبت به روشهای مشابه، در سالهای اخیر مورد توجه دانشمندان و محققان قرار گرفته است ولی متأسفانه تحقیقات و مطالعات کمی در این مورد صورت گرفته است.

بطور کلی روش های SHM بر پایه های WPT و WT در دهه اخیر بوجود آمده اند. معرفی این روش ها به مباحث مهندسی عمران، مکانیک و هوا فضا سرآغاز مطالعات گسترده ای برای کشف خرابی در این مباحث شدند. در ادامه به برخی از این تلاش ها اشاره خواهد شد.

۱-۴- پیشینه استفاده از روش تبدیل موجک در تشخیص آسیب

- از جمله اولین مقاله های منتشر شده در زمینه کشف ترک با استفاده از روش موجک مقاله لیو و وانگ در سال ۱۹۹۸ می باشد. در این مقاله تلاش برای شناسایی ترک در تیر با تکیه گاه ساده ارائه شده است. پاسخ تیر از یک مدل ریاضی برای تیر ترک خورده استنتاج شده و از تئوری مقادیر ویژه و آنالیز موجک برای تحلیل پاسخ استفاده شده است [۱۸].

- مقاله دیگری توسط وانگ و دنگ به سال ۱۹۹۹ در راستای امکان کشف ترک در تیر بر اساس آنالیز موجک ارائه شد. در این پژوهش Discrete Wavelet Transform (DWT) برای تحلیل پاسخ استاتیکی یک تیر دوسر ساده تحت بارگذاری متمرکز با وجود یک شکاف (با نسبت ارتفاع شکاف به ارتفاع تیر برابر با d/h =۰/۱) و پاسخ دینامیکی یک تیر طره تحت بارگذاری ضربه ای، استفاده شد. پاسخ تیرها در این مقاله بصورت تحلیلی و با روش تفاضل محدود (Finite Differences) بدست آمد [۱۹].

- کووک و همکارانش در سال ۲۰۰۱ به بررسی تاثیر عمق آسیب و نیز شکل آن و نوع تابع موجک بر روند کشف خرابی بوسیله تبدیل موجک پرداختند. پاسخ استاتیکی تیر آسیب دار به روش اجزا محدود محاسبه شده، با DWT مورد تحلیل قرار گرفت [۲۰].

- در مقاله ای که توسط دوکا و همکارانش در سال ۲۰۰۳ انتشار یافت، از اشکال مودی برای کشف ترک استفاده شده است. مزیت استفاده از شکل مودی برای تشخیص خرابی آن است که حساسیت اشکال مودی بیشتر از تغییرات فرکانسی بوده، بروز آسیب های کوچک سبب تغییر بیشتر اشکال مودی می شود. در این مقاله Continuous Wavelet Transform (CWT) برای آنالیز موجک پاسخ تیر طره مورد استفاده قرار گرفته است. برای بدست آوردن پاسخ تیر، فرض شده است که تیر از دو قسمت وصل شده بوسیله یک فنر بدون جرم در محل ترک تشکیل شده است. سختی فنر در این مقاله متناسب با عمق ترک در نظر گرفته شده است [۲۱].

- در پژوهش انجام شده به وسیله چانگ و چن در سال ۲۰۰۳، محل آسیب بر روی یک تیر دو سرگیردار با استفاده از تبدیل موجک بر روی پاسخ ارتعاشی مودهای اول، دوم و سوم بدست آمد. برای محاسبه شکل مد ارتعاشی از روش تحلیلی استفاده شده و ترک با فنر پیچشی معادل جایگزین شد [۲۲].

- در مقاله دیگری که توسط اواسنا و سوارز در سال ۲۰۰۳ نگاشته شده است، از هر دو روش CWT و DWT برای کشف محل ترک و از روش اجزا محدود برای محاسبه پاسخ ارتعاشی و استاتیکی تیر دو سرگیردار استفاده شده است. در این مقاله موجک bior6.8 بهترین موجک برای کشف اغتشاش در سیگنال معرفی شده است. لازم

به توضیح است که چنانچه در فصل بعد ملاحظه خواهد شد، علاوه بر این تابع موجک، توابع موجک دیگری نیز برای کشف محل آسیب در تیرها با عملکرد بهینه وجود دارند [۲۳].

- در مقاله ای که توسط کیم و ملهم در سال ۲۰۰۳ منتشر شد، دو نوع سازه بتنی شامل دال بتنی و تیر بتنی با مقیاس کامل، مورد بررسی قرار گرفته است. پاسخ تیر با دو روش Continuous Wavelet Transform (DWT) و fast Fourier Transform (FFT) بررسی و ارزیابی شده است. از واکنش دینامیکی سازه در برابر ضربه بعنوان پاسخ تیر برای آنالیز موجک استفاده شده است [۲۴].

- از جمله مهمترین مقاله هایی که به کشف ترک در تیرها با استفاده از CWT پرداخته است و مبانی ریاضی و چرایی برخی پدیده ها را مورد توجه قرار داده است، متعلق به جنتایل و مسینا به سال ۲۰۰۳ می باشد. در این مقاله نویسندگان به مرور مبانی تئوریک تبدیل موجک پرداخته اند. موجک Haar به عنوان ساده ترین تابع موجک برای انجام تحلیل انتخاب شده است [۲۵].

- مقاله دیگری در سال ۲۰۰۴ توسط لی، هی و چن ارائه شد. که در آن متدی را برای شناسایی مشخصات آسیب بر اساس اجزای محدود موجکی Wavelet Finite Element Method (WFEM) ارائه شده است. در این روش به شناسایی نقاط تکین مانند ترک خوردگی تیر پرداخته شده است [۲۶].

- مقاله دیگری در سال ۲۰۰۰ توسط لین و ین ارائه شد. که در مورد استفاده از تبدیل موجک بسته ای برای سیگنالهای ارتعاش تحقیق کردند. آنها یک شاخص انرژی گرهی موجک بسته ای، تعریف کردند [۲۷].

- مقاله ی دیگری در سال ۲۰۰۴ توسط سان و چانگ ارائه شد. آنها یک شاخص انرژی بر پایه موجک بسته ای را پیشنهاد کرده و در یک مدل شبکه عصبی برای شناسایی خرابی استفاده کردند. که این تئوری را بر روی یک پل سه دهانه که در اثر بار ضربه تحریک می شد، آزمایش کردند و نتایج نشان می داد که این شاخص می تواند معیار خوبی برای شناسایی ترک مورد استفاده قرار گیرد [۲۸].

- مقاله ی دیگری در سال ۲۰۰۵ توسط زانگ و همکارانش ارائه شد. آنها شاخص نرخ انرژی بر پایه موجک بسته ای پیشنهاد کردند و این روش را در مورد یک تیر دو سر مفصل در آزمایشگاه، امتحان کردند و نتایج نشان می داد که این شاخص معیار خوبی برای شناسایی ترک می باشد [۲۹].

۱-۵- هدف اصلی تحقیق

در این تحقیق امکان شناسایی ترک در سدهای بتنی دو قوسی بررسی خواهد شد. پس از حصول اطمینان از صحت مدلسازی در نرم افزار ABAQUS ترک در مدل اصلی در مراحل مختلف و نقاط گوناگون و نزدیک به کوله ها و تاج سد مدلسازی شده و پس از تحلیل در نرم افزار، نتایج مربوط به نقاط مشخصی استخراج شده و داده ها به برنامه ای که بر اساس اصول تبدیل موجک در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شده، انتقال یافته و تحلیل خواهد شد. نتایج حاصله مشخص خواهد کرد که آیا امکان شناسایی آسیب با استفاده از داده های

شتاب زمان نقاط مختلف سد وجود دارد. معیار شناسایی ترک بر اساس تغییراتی خواهد بود که در شاخص نرخ انرژی نقاط مختلف ایجاد خواهد شد. این شاخص در نقاط نزدیک به ترک با افزایش همراه خواهد بود.

۱-۶- مروری بر تحقیق حاضر

پایان نامه حاضر در شش فصل تنظیم شده است:

در فصل اول ضمن آشنائی با کلیات، به اهمیت تحقیق و پیشینه پژوهشهای انجام گرفته در زمینه تشخیص ترک با روش های گوناگون و روش تبدیل موجک پرداخته شده است. در فصل دوم به مبانی ریاضی تبدیل موجک پرداخته می شود. تبدیل موجک در ابتدا باید به عنوان یک ابزار ریاضی مورد بررسی قرار گیرد تا با درک کامل مفاهیم آن، بتوان از قابلیت های ویژه آن در زمینه های مهندسی استفاده کرد. در این فصل، پس از مرور تبدیل فوریه و فوریه زمان کوتاه به مبحث تبدیل موجک پرداخته می شود. در مورد مزایا، معایب و دلایل کاربرد هر کدام بطور کامل بحث خواهد شد. فصل سوم انواع سدهای بتنی قوسی و نیروهای موثر در تحلیل و طراحی آنها را بررسی کرده و در انتهای فصل به پایه های تئوریک تحلیل دینامیکی سد و اصول حاکم بر آن پرداخته شده است. در فصل چهارم روند عمومی المان محدود بعنوان یک روش دقیق محاسباتی شرح داده شده است. در این فصل محیط نرم افزار المان محدود ABAQUS و نحوه مدلسازی بدنه، فونداسیون سد و مخزن توضیح داده شده است. در فصل پنجم، نتایج آنالیز تبدیل موجک در تشخیص آسیب بر پایه شاخص نرخ انرژی آورده شده است و در فصل آخر به جمع بندی و نتیجه گیری مباحث انجام شده پرداخته می شود.

فصل دوم

مبانی ریاضی تبدیل موجک