

The Effect of Debonding Damage of Steel Tube from Concrete Core on the Dynamic Parameters of CFT Column



ARTICLE INFO

Authors

Younesi A.^{1*},
Rezaifar O.²,
Gholhaki m.²,
Esfandiari A.³

¹Department of Civil Engineering,
Esfarayen University of Technology,
Esfarayen, Iran.

²Department of Civil Engineering,
Esfarayen University of Technology,
Esfarayen, Iran.

³Department of Marine Engineering,
Amirkabir University of Technology,
Tehran, Iran.

* Correspondence

Department of Civil Engineering,
Esfarayen University of Technology,
Esfarayen, Iran.
a.younesi@esfarayen.ac.ir

How to cite this article

Younesi A, Rezaifar O, Gholhaki m, Esfandiari A. The Effect of Debonding Damage of Steel Tube from Concrete Core on the Dynamic Parameters of CFT Column. *Proceedings of the 6th National Conference on Mechanical-Civil Engineering and Advanced Technologies*. 2024; 24(11):17-22.

ABSTRACT

Health monitoring allows small failures and damages to be identified and fixed before they turn into major and irreparable damages, to prevent loss of life and to make it possible to reinforce or improve it at the lowest cost. Currently, in the field of civil engineering, the health monitoring of structures is done in sensitive structures. One of the parts of the structure that may suffer initial damage before loading and during implementation due to difficulty in implementation is Concrete Filled Tube (CFT) columns. One of the most likely damages in CFT columns is interface debonding damage. This damage causes the column to become weak and not benefit from the characteristics of steel and concrete together. Accordingly, in the present study, this damage and its severity in seismic (dynamic) parameters have been investigated. The results of the study show that damage causes changes in the mode shape of the structure, and it has caused a ۶.۳۸% reduction in the frequency in the first (main) mode of the structure. Also, the damping of the damaged specimen is reduced by approximately 12% compared to the healthy specimen. On the other hand, the results show that the severity of damage is very effective in changing seismic parameters. So that by doubling the damage area, the frequency decreased by approximately 0.35% and reached from 873.27 Hz to 20.870.20 Hz, but the mode shape of damage did not affect the frequency.

Keywords Structural Health Monitoring, CFT Column, Debonding Damage, Mode Shape, Frequency, Wavelet Transform.

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک، عمران و فناوری های پیشرفته



تاثیر شدت آسیب جاشدگی تیوب فولادی از هسته بتنی بر پارامترهای دینامیکی ستون های فولادی پر شده با بتن



چکیده

مشخصات مقاله

نویسندگان

عال یونسسی^{۱*}
امید رضائی^۲
مجید قلعهکی^۲
اکبر اسفندیاری^۳

^۱ دانشگاه صنعتی اسفراین، اسفراین
^۲ دانشگاه سمنان، سمنان
^۳ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

* نویسنده مسئول

آدرس: دانشکده مهندسی عمران،
دانشگاه صنعتی اسفراین، ایران
a.younesi@esfarayen.ac.ir

پایش سلامت موجب می شود خرابی ها و آسیب های کوچک قبل از آنکه تبدیل به خرابی های بزرگ و جبران ناپذیر شوند شناسایی شده و رفع گردند تا هم خسارات جانی به بار نیآورد و هم با هزینه کم عملیات مقاوم سازی و یا بهسازی آن صورت پذیرد. در حال حاضر در رشته عمران، پایش سلامت سازه ها در سازه های حساس صورت می پذیرد. یکی از المان های سازه ای که ممکن است در حین اجرا بدلیل صعوبت در اجرا دچار آسیب های اولیه و قبل از بارگذاری گردد ستون های فولادی پر شده با بتن (CFT) است. یکی از محتمل ترین آسیب ها در ستون های CFT جاشدگی هسته بتن مرکزی از جداره تیوب فولادی می باشد که این امر سبب ضعف ستون و عدم بهره مندی از خصوصیات فولاد و بتن بطور توانمند می گردد. بر همین اساس در تحقیق حاضر به بررسی این آسیب و شدت آن در پارامترهای لرزه ای (دینامیکی) پرداخته شده است. نتایج بررسی نشان می دهد که وجود این آسیب سبب تغییر در شکل مود سازه شده است و از طرفی سبب کاهش ۶/۳۸ درصدی فرکانس در مود اول و اصلی سازه شده است. همچنین میرایی سازه در این حالت نسبت به حالت سالم کاهش تقریباً ۱۲ درصدی داشته است. از طرفی نتایج نشان می دهد که شدت آسیب در تغییر پارامترهای لرزه ای بسیار موثر است. بطوریکه با دوبرابر شدن سطح آسیب، فرکانس تقریباً ۰/۳۵ درصد کاهش یافته و از ۸۷۳/۲۷ هرتز به ۸۷۰/۲۰ هرتز رسیده است، اما شکل آسیب تأثیری در تغییر فرکانس نداشته است.

کلیدواژه ها شناسایی خرابی در سازه ها، ستون CFT، آسیب جاشدگی، شکل مود، فرکانس، تبدیل موجک.

۱- مقدمه

فولادی شبیه‌سازی شده و با استفاده از تبدیل موجک پیوسته شکل مود، موقعیت جداشتگی هسته بتنی و جداره فولادی با موفقیت شناسایی شده است. همچنین، آن‌ها در پژوهش دیگری با استفاده از آنالیز موجک داده‌های شکل مود، محدوده تقریبی آسیب در ستون‌های فولادی پر شده با بتن شناسایی شده است [۱۳-۲۰].

شناسایی منطقه جداشتگی هسته بتنی از جداره فولادی ستون CFST بر اساس طیف انرژی موجک و پیژوسرامیک توسط ژو و همکاران در مراجع [۲۱ و ۲۲] انجام شده است. در این مطالعات با تعبیه پیژوالکتریک‌ها در مکان‌های از پیش تعیین شده از سطح خارجی به عنوان حسگر، یک روش پایش وضعیت سطح داخلی پیشنهاد شده است. در این مطالعه، تجزیه و تحلیل طیف انرژی موجک انجام شده و شاخص شناسایی بر پایه تغییرات وزنی تعریف شده است. نتایج نشان داده که شاخص پیشنهادی به نقص جداشتگی حساس است و سطح داخلی ستون را به طور کامل ارزیابی می‌کند. شناسایی آسیب جداشتگی ستون CFST بر مبنای پاسخ حسگر پیژوالکتریک تعبیه شده در بتن نیز انجام شده نتایج نشان داده که اثر جداشتگی فعال جداره فولادی از هسته بتنی روی PZT غالب است. این پژوهش امکان شناسایی آسیب جداشتگی ستون‌های CFST با مقطع مستطیلی شکل با ساختار هسته بتنی چند مقیاسی را تأیید کرده است [۲۳] برای درک سازوکار شناسایی برای مقاطع مستطیلی و دایره‌ای با استفاده از PZT نصب شده روی سطح و PZT جاسازی شده در هسته بتنی، شبیه‌سازی عددی تغییرات انتشار موج تنش به علت وجود نقص‌های جداشتگی صورت گرفته است [۲۴ و ۲۵]. به منظور بررسی اثر پیژوالکتریک، مواد PZT بکار گرفته شده و اثر کوپلینگ بین PZT و ستون CFST، کوپلینگ چند فازی ایجاد شده است و علاوه بر این، مطالعه عددی بررسی تأثیر آسیب‌های جداشتگی بر فرآیند انتشار موجک و کاهش تنش موج در ستون انجام شده است. سرانجام حساسیت سیگنال‌های خروجی به ابعاد آسیب مورد بررسی قرار گرفته و با یافته‌های مربوطه مقایسه شده است [۲۶].

۲- روش کار و معرفی نمونه‌ها

۲-۱- معرفی تبدیل موجک

تبدیل موجک یکی از روش‌های توانمند پردازش سیگنال‌ها است که نسبت به دیگر روش‌های پردازش سیگنال (تبدیل فوریه^۱ (FT) و تبدیل فوریه زمان کوتاه^۲ (STFT)) مشکلات مربوط به رزولوشن ثابت را ندارد؛ در واقع تبدیل موجک مجموعی از یک سری توابع اساسی است که برای هر رزولوشن فرکانسی تغییر کرده و اجزا فرکانسی در رزولوشن‌های مختلف به دست می‌آید [۲۷ و ۲۸]. تبدیلات موجک به دو صورت تبدیل موجک پیوسته^۳ (CWT) و تبدیل موجک گسسته^۴ (DWT) تعریف شده‌اند که در این مقاله

ستون‌های CFT بعلت قابلیت بالای باربری تحت بارهای ثقلی و جانبی و همچنین بهره‌مندی از خواص مکانیکی دو ماده فولاد و بتن بطور همزمان، و ایجاد مقاطع کوچک برای ستون‌های ساختمان‌ها و افزایش فضای مفید داخلی ساختمان بطور گسترده در صنعت ساختمان بخصوص مناطق با خطر لرزه‌خیزی بسیار بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به جایگاه و اهمیت این ستون‌ها و به دلیل آنکه اگر تحت هر شرایطی این المان سازه‌ای دچار آسیب جزئی شود ممکن است به مرور تحت تاثیر بار و زمان، آسیب‌ها گسترده‌تر شده و خرابی‌های جبران‌ناپذیر مالی و جانی به بار بیاورد، شناسایی آسیب آن بسیار حائز اهمیت است.

یکی از ابزارهای شناسایی محل آسیب تبدیلات موجک است. تبدیل موجک یک ابزار توانمند پردازشی سیگنال‌ها است که با استفاده از آن اطلاعات بیشتری از سیگنال آنالیز شده بر اساس توانایی آن در محلی‌سازی سیگنال در حوزه زمان-فرکانس حاصل می‌شود [۱-۳]. نیولند [۴] با استفاده از تبدیل موجک به تحلیل پاسخ‌های ارتعاشی پرداخت و با معرفی این روش در مهندسی سرآغاز مطالعات بعدی بررسی‌های سلامت سازه‌ای شده است. سون و همکاران [۵] با استفاده از تحلیل موجک پاسخ تاریخچه زمانی سیستم یک درجه آزادی، زمان وقوع آسیب را تعیین نمودند. وانگ و دنگ [۶] یک روش شناسایی آسیب بر مبنای آنالیز موجک با فرض اینکه آسیب باعث اختلال در پاسخ سازه می‌شود، معرفی نمودند و نشان دادند که اگرچه این اختلالات در داده‌های پاسخ کلی ظاهر نمی‌شوند، اما اغلب از روی مؤلفه‌های موجک قابل شناسایی هستند.

از آنجایی که انتقال نیرو از تیر به ستون در ستون‌های با مقطع قوطی شکل (طور خاص CFT) همواره یکی از مساله‌های مورد بحث مهندسان و محققان این حرفه بوده و آئین‌نامه‌ها، ورق‌های پیوستگی را برای ستون‌های H شکل و قوطی پیشنهاد کرده‌اند و از آنجایی که اجرای این اتصال در ستون‌های قوطی با مشکلاتی همراه است، سخت‌کننده‌های خارجی مانند مثلثی، دوزنقه‌ای شکل و المان‌های با شبکه میلگرد و دیگر اتصالات پیشنهاد شده‌اند. مطالعات انجام شده توسط رضایی‌فر و همکاران موجب شده است تا عیوب احتمالی در این نوع ستون‌ها برای مولفین بیش از پیش محرز شود [۷-۱۲].

در دیگر مطالعات صورت گرفته، به شناسایی آسیب جداشتگی در ستون‌های فولادی پر شده با بتن بر اساس داده‌های مودال آزمایشگاهی پرداخته شده است. آسیب جداشتگی توسط یک لایه پلی استایرن نازک در یکی از وجوه ستون بین هسته بتنی و جداره

^۳Continuous Wavelet Transform (CWT)
^۴Discrete Wavelet Transform (DWT)

^۱Fourier Transform (FT)
^۲Short Time Fourier Transform (STFT)

بازه‌های کوچک و بزرگی روی سیگنال توسط تبدیل موجک برای انجام آنالیز موجک انتخاب می‌شود.

۲-۲ معرفی نمونه‌ها

نمونه‌ها ستون‌های CFT بوده که دارای مقطع مربعی به ابعاد ۱۲ سانتیمتر و ضخامت ورق مورد استفاده ۳ میلیمتر می‌باشد که توسط بتن پر شده‌اند و طول نمونه‌ها ۸۰ سانتی‌متر است. در این تحقیق یک نمونه شاهد (سالم) و یک نمونه با آسیب جداشدگی (آسیب دیده) تهیه شده است تا اثرات آسیب جداشدگی و تشخیص آن مورد بررسی قرار گیرد. جهت تکمیل مطالعه مذکور، شدت آسیب جداشدگی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌ها ارائه شده است.

نوع پیوسته تبدیل موجک استفاده شده و در ادامه به مبانی ریاضی آن پرداخته شده است.

تبدیل موجک پیوسته سیگنال $x(t)$ در بازه $-\infty$ تا ∞ با رابطه (۱) تعریف می‌شود [۲۷ و ۲۸]:

$$CWT_{b,a}^{x(t),\psi(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

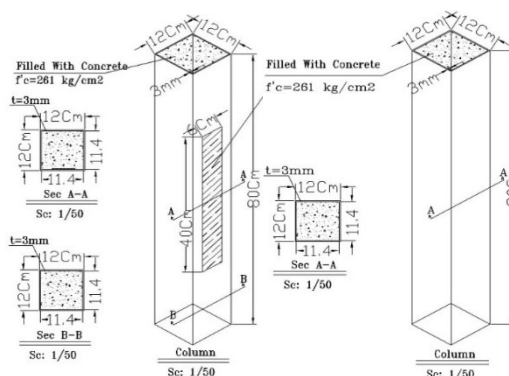
که در آن

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، a و b به ترتیب پارامترهای مقیاس و انتقال هستند. ψ^* مزدوج مختلط تابع موجک ψ است. تابع موجک در آنالیز موجک با پارامتر مقیاس و انتقال تعریف می‌شود. این ویژگی منجر به ارائه تحلیل چندگانه سیگنال‌های غیرایستا می‌شود، به این صورت که با انتخاب مقیاس‌های کوچک و بزرگ به ترتیب

جدول ۱) نوع و اندازه قلم‌های استفاده

شماره نمونه‌ها	تعریف	نحوه شبیه‌سازی آسیب	موقعیت آسیب	نوع آسیب	حضور برشگیر	ابعاد آسیب (Cm)	نمونه
	UnDamage/ Specimen/Plain	نمونه فاقد آسیب	-	-	ندارد	فاقد آسیب	UDS-P
	Damage/ DeBonding/Plain	استفاده از لایه پلی‌استایرن به ابعاد آسیب و ضخامت ناچیز بین هسته بتنی و جداره فولادی در محدوده آسیب	میان ستون	جداشدگی	ندارد	۴۰*۶۰*۰/۳	DDB-P



الف) نمونه UDS-P ب) نمونه DDB-P

شکل ۱) جزئیات اجرایی نمونه‌ها

در جدول ۲ مقادیر فرکانس و میرایی نمونه‌های سالم و آسیب دیده به ازای مدهای مختلف ارائه شده و نسبت به حالت مبنا مقایسه شده است.

جدول ۲) مقایسه فرکانس و میرایی نمونه‌ها

نمونه	UDS-P	DDB-P
فرکانس (هرتز)	۸۰۸/۴۰	۷۵۶/۸۲
اختلاف (درصد)	مبنا	-۶/۳۸
نسبت میرایی	۱/۳۸۰	۰/۵۵۱
اختلاف (درصد)	مبنا	-۶۰/۰۷
فرکانس (هرتز)	۱۹۷۱/۵	۱۴۹۸/۵
اختلاف (درصد)	مبنا	-۲۴/۰۰
نسبت میرایی	۱/۱۴۰	۰/۷۰۴
اختلاف (درصد)	مبنا	-۳۸/۲۵
فرکانس (هرتز)	۳۲۱۸/۹	۲۵۷۱/۶
اختلاف (درصد)	مبنا	-۲۰/۱۱
نسبت میرایی	۲/۰۹	۰/۸۲۴
اختلاف (درصد)	مبنا	-۶۰/۵۷

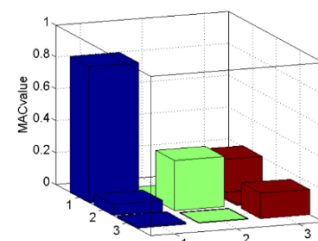
۳- نتایج و تفسیر آن

در این مطالعه به بررسی رفتار ستون CFT تحت آسیب جداشدگی و شناسایی وجود آسیب عمده تعبیه شده در سازه با استفاده از تبدیلات موجک، روش MAC و COMAC و تغییرات فرکانسی پرداخته شده است. روش کار بدین صورت است که ابتدا نمونه سالم تحت آنالیز فرکانسی قرار گرفته و خصوصیات دینامیکی آن نظیر شکل مود، فرکانس، میرایی و ضرایب MAC و COMAC استخراج می‌شود و سپس نمونه آسیب دیده تحت آنالیز قرار می‌گیرد و نتایج حاصله مقایسه می‌گردد، چنانچه تغییری در مشخصات دینامیکی رخ دهد مبین این است که سازه دچار آسیب شده است. سپس به کمک تبدیلات موجک محل آسیب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

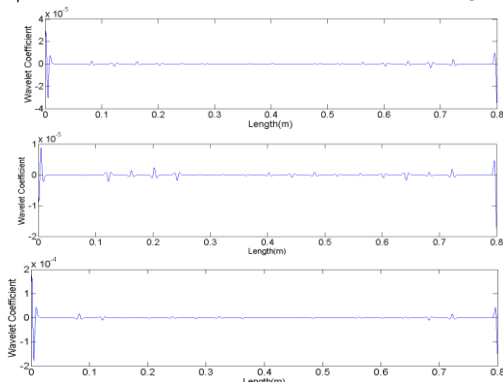
در جدول ۳ و شکل ۲ ضرایب پارامترهای MAC و COMAC ارائه شده است. از آنجایی که نمونه سالم با خود مقایسه شده است این مقدار برای نمونه مبنا (سالم) یک بوده ولی در نمونه آسیب دیده کاهش نشان داده است.

جدول ۳) مقادیر MAC و COMAC نمونه‌ها

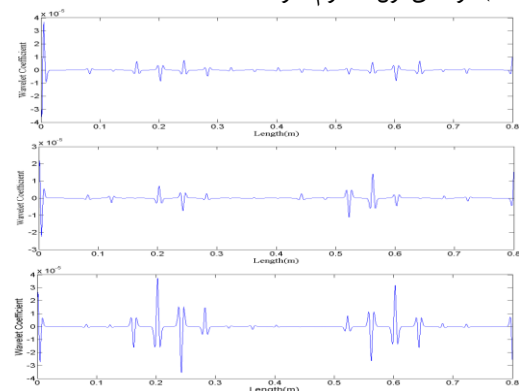
نمونه	UDS-P	DDB-P
مود اول	MAC	۰/۸۵۰۹
	COMAC	۰/۸۵۳۸
مود دوم	MAC	۰/۳۱۱۵
	COMAC	۰/۶۱۴۷
مود سوم	MAC	۰/۱۵۷۵
	COMAC	۰/۳۴۸۷



شکل ۲) نمودار MAC نمونه آسیب دیده در مقابل نمونه سالم



الف) مودهای اول تا سوم نمونه UDS-P



ب) مودهای اول تا سوم نمونه DDB-P

شکل ۳) تبدیل موجک نمونه‌ها

مطابق جدول ۲ فرکانس و نسبت میرایی سازه آسیب دیده DDB-P نسبت به سازه سالم UDS-P در هر سه مود اول (مودهای اصلی)

کاهش یافته است که این امر بیانگر این است که در سازه آسیب رخ داده است. یکی از موضوعات مهم و اولیه در علم شناسایی خرابی تشخیص وجود آسیب است که تحلیل فرکانسی و میرایی یکی از روش‌های اصلی این مهم است. از طرفی معیارهای MAC و COMAC با توجه به شکل مود سازه و اعمال روابط مربوطه که برگرفته از ضرب داخلی بردارها است به ارائه ضرایبی کوچک‌تر از یک می‌پردازد که هر چه این ضرائب به عدد یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده همپوشانی بیشتر شکل مودهاست و اگر این ضرائب صفر بدست آید بیانگر این است که دو بردار مورد بحث متعامدند. با استفاده از این خاصیت این روش، می‌توان وجود آسیب در سازه را مورد بررسی قرارداد. زمانی که سازه دچار آسیب گردد (هرچند جزئی)، شکل مود آن دچار تغییراتی می‌شود که گاهی بسیار ناچیز است ولی این روش‌ها قادرند با دقت بالایی وجود آسیب را که همان کاهش ضریب است تشخیص دهند. مطابق شکل ۲ و جدول ۳ مقادیر MAC در سه مود اول سازه دچار تغییرات محسوسی شده است که علت آن وجود آسیب نسبتاً بزرگ بوده است.

یکی از ابزارهای پر قدرت در بحث شناسایی محل آسیب تبدیلات موجک می‌باشد، که قادر است با فراخوانی شکل مود بعنوان سیگنال ورودی و ارسال موجک به شکل مود، نقاط ناپیوسته و یا نقاطی که دچار تغییرات در خواص مکانیکی شده باشد را تشخیص دهد. این روش پس از تشخیص، نقاط مذکور را برجسته می‌نماید. مطابق شکل ۳، تبدیل موجک در نقاط ابتدایی و انتهایی آسیب (یعنی در فواصل ۰/۲ و ۰/۶ از طول ستون) دارای جهش بوده است که بیانگر تغییر خواص مکانیکی این نقاط بدلیل جدا شدن هسته بتنی از جداره فولادی بوده است که در واقع همان محل‌های آسیب است.

پس از تشخیص وجود آسیب و محل آن، در این تحقیق به بررسی شدت آسیب در پارامترهای دینامیکی نظیر فرکانس پرداخته شده است (جدول ۴ و اشکال ۴ تا ۶).

جدول ۴) فرکانس شدت‌های مختلف آسیب مدل DDB-P (هرتز)

شماره	0.5A (20x6)	0.5A (40x3)	مدل آسیب دیده مبنا	2A (80x6)	2A (40x12)
مود اول	۸۷۴/۲۹	۸۷۴/۲۹	۸۷۳/۲۷	۸۷۰/۲۰	۸۷۰/۲۰
مود دوم	۲۱۳۸/۱۰	۲۱۳۸/۱۰	۲۱۳۸/۰۰	۲۱۳۶/۲۲	۲۱۳۶/۲۲
مود سوم	۳۶۸۶/۸۰	۳۶۸۶/۸۰	۳۶۸۵/۷۷	۳۶۸۴/۵۰	۳۶۸۴/۵۰

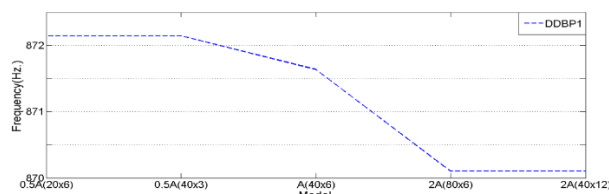
مطابق جدول ۴ اشکال ۴ تا ۶، مدل‌های با شدت آسیب کمتر از شدت مبنا، فرکانس بیشتری نسبت به مدل‌های با شدت آسیب بیشتر دارند.

آسیب نیز بررسی شده است که نتایج به خوبی گویای وجود آسیب بوده است. جهت شناسایی محل آسیب از روش تبدیل موجک استفاده شده است که بطور دقیق محل آسیب (شروع و پایان) آسیب را بصورت اغتشاش گونه نشان داده است.

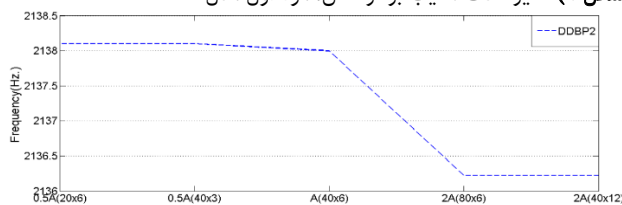
تأثیر شدت در فرکانس، یکی از پارامترهایی بوده است که مورد ارزیابی قرار گرفته است. با افزایش سطح آسیب فرکانس کاهش نشان داده است و نتیجه دیگری که از تحقیق حاضر حاصل شده است این بوده که ابعاد آسیب (با مساحت یکسان) تأثیری در کاهش میزان فرکانس نداشته است بعنوان نمونه در دو مدل با ابعاد ۸۰×۶ و ۴۰×۱۲ مقدار فرکانس $۸۷۰/۲۰$ هرتز بوده است.

مراجع

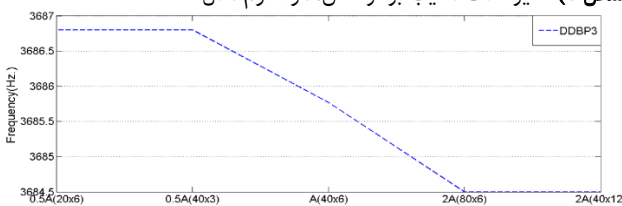
- 1- M.M. Reda-Taha, A. Noureldin, J. L. Lucero, T.J. Baca. "Wavelet transform for structural health monitoring: A compendium of uses and features". Structural Health Monitoring, 5(3), 267-295, 2006.
- 2- U. Andreass, P. Baragatti, P. Casini, D. Iacoviello. "Experimental damage evaluation of open and fatigue cracks of multi-cracked beams by using wavelet transform of static response via image analysis". Structural Control and Health Monitoring, 24(4), 2017.
- 3- S. Zhou, B. Tang, R. Chen. "Comparison between non-stationary signals fast fourier transform and wavelet analysis, Intelligent Interaction and Affective Computing". International Asia Symposium, IEEE, 2009.
- 4- D.E. Newland, "Wavelet analysis of vibration". Theory Journal of Vibration and Acoustics, 116(4), 409-416, 1994.
- 5- A. Sone, S. Yamamoto, A. Nakaoka, A. Masuda. "Health monitoring system of structures based on orthonormal wavelet transform". Seismic Engineering, ASME, 312, 161-167, 1995.
- 6- Q. Wang, X. Deng, "Damage detection with spatial wavelets". International Journal of Solids and Structures, 36(23), 3443-3468, 1999.
- 7- O. Rezaifar, A. Yoonesi, S.H. Yousefi, M. Gholhaki. "Analytical study of concrete filled effect to the seismic behavior of restrained beam-column steel joints". Sci. Iran, 23 (2), 475-485, 2016.
- 8- O. Rezaifar, A. Yoonesi. "Finite element study the seismic behavior of connection to replace the continuity plates in (NFT/CFT) steel columns". Steel Compos. Struct., 21 (1), 73-91, 2016.
- 9- O. Rezaifar, A. Yoonesi, "Seismic behavior of connection with surrounded stiffeners in the proposed moment frames". Journal of Modeling in Engineering, 19(65), 193-2021.
- 10- O. Rezaifar, A. Yoonesi, "Experimental study discussion of the seismic behavior on new types of internal/external stiffeners in rigid beam-to-CFST/HSS column connections". Construction and Building Materials, 136, 574-589, 2017.
- 11- O. Rezaifar, S.H., Yousefi, A. Yoonesi, M. Gholhaki, M. "Analytical study of seismic behavior types of the arrangement effect on the continuity plates in rigid connection between beam to concrete filled steel tube (CFST) columns". Ferdowsi Civil Engineering, 31(1), 127-140, 2018.



شکل ۴) تأثیر شدت آسیب بر فرکانس، مدل اول مدل DDBP



شکل ۵) تأثیر شدت آسیب بر فرکانس، مدل دوم مدل DDBP



شکل ۶) تأثیر شدت آسیب بر فرکانس، مدل سوم مدل DDBP

در تمامی نمونه‌های بررسی شده، با توجه به رابطه ۳، از آنجایی که جرم (m) تغییر نکرده با افزایش شدت آسیب، سختی (k) کم می‌شود و فرکانس (ω) دچار کاهش می‌شود. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت در آسیب جاشدگی همراه با افزایش آسیب، فرکانس کاهش می‌یابد ولی در دیگر آسیب‌ها به صراحت نمی‌توان چنین نتیجه‌ای گرفت.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (۳)$$

۴- نتیجه و جمع بندی

با توجه به گسترش روزافزون جمعیت و نیاز به ساختمان‌های بلند مرتبه، استفاده از المان‌هایی که بتوانند مقاوت مناسبی در برابر بارهای اعمالی داشته باشند مورد توجه مهندسان و محققین قرار گرفته است. یکی از المان‌هایی که به عنوان ستون در ساختمان‌های بلند مرتبه استفاده می‌شود ستون CFT است. از آنجایی که اجرای این ستون‌ها مستلزم دقت بالایی است، گاهی در اجرا، نوافسی رخ می‌دهد که یکی از مهم‌ترین این نواقص، جاشدگی هسته بتنی از جداره فولادی بوده است. بنابراین شناسایی آسیب و رفع آن جهت جلوگیری از گسترش خرابی بسیار حائز اهمیت است.

در این تحقیق با ایجاد آسیب عمدی این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داده با روش‌های ساده دینامیکی می‌توان وجود آسیب و محل آن را تشخیص داد. با توجه به نتایج، در نمونه آسیب دیده فرکانس در هر سه مود اصلی کاهش یافته است که این مقدار در مود اول حدود ۶ درصد و در مود دوم حدود ۲۴ درصد بوده است. علاوه بر فرکانس دیگر پارامترها نیز دچار تغییر شده‌اند، بطوریکه با استفاده از روش MAC و COMAC نیز وجود

for rectangular CFSTs based on wavelet packet analysis with piezoceramics", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 86, 108-121, 2017.

25-Xu B., Chen H., and Xia S., "Wave propagation simulation and its wavelet package analysis for debonding detection of circular CFST members", *Smart Structure Systems*, 19(2), 181-194, 2017.

26-Xu B., Chen H., Mo Y.L., and Chen X. "Multi-physical field guided wave simulation for circular concrete-filled steel tubes coupled with piezoelectric patches considering debonding defects", *International Journal of Solids Structures*, 122(123), 25-32, 2017.

27-K.R. Rao, D.E. Kim, and J.J. Hwang J.J., "Fast fourier transform: Algorithm and applications", Springer, Berlin Heidelberg, 2005.

28-A. Mertins. "Signal Analysis: Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms and Applications", Wiley, 1992.

12-O. Rezaifar, A. Younesi, "Analytical study of beam-to-HSS/CFT column connections by trapezoidal external stiffener". *International Journal of Steel Structures*, 17, 579-592, 2017.

13-A. Younesi, O. Rezaifar, M. Gholhaki, and A. Esfandiari, A., "Structural health monitoring of a concrete-filled tube column". *Magazine of Civil Engineering*, 85(1), 136-145, 2019.

14-O. Rezayfar, A. Younesi, M. Gholhaki, and A. Esfandiari, "Debonding damage detection in concrete filled tube columns by experimental modal data". *Journal of Structural and Construction Engineering*, 6(Special Issue 4), 93-106, 2019.

15-A. Younesi, O. Rezaeifar, M. Gholhaki, and A. Esfandiari, "Damage detection in concrete filled tube columns based on experimental modal data and wavelet technique". *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 7(2), 245-254, 2020.

16-M. Khanahmadi, O. Rezaifar, M. Gholhaki, and A. Younesi, "Detection of debonding damage location of the concrete core from the steel tube of concrete-filled steel tube (CFST) columns using wavelet analysis analytical method". *Modares Civil Engineering journal*, 22(1), 129-142, 2022.

17-A. Younesi, O. Rezaifar, M. Gholhaki, and Esfandiari, A., "Active interface debonding detection of a Concrete Filled Tube (CFT) column by modal parameters and Continuous Wavelet Transform (CWT) technique". *Structural Monitoring and Maintenance*, 8(1), 69-90, 2021.

18-M. Khanahmadi, O. Rezayfar, M. Gholhaki, B. Dejkam, and A. Younesi, A., "Health monitoring and damage assessment of a column under the effect of axial load using modal dynamic data and wavelet analytical method". *Modares Civil Engineering journal*, 23(3), 7-25, 2023.

19-O. Rezaifar, M. Gholhaki, M. Khanahmadi, A. Younesi, B. Dejkam, "Damage detection and localization in steel plates using modal dynamic data and two-dimensional wavelet analysis". *Modares Civil Engineering journal*, 23(1), 135-152, 2023.

20-M. Khanahmadi, M. Gholhaki, O. Rezaifar, A. Younesi, "Mode Shape-Based Damage Localization in Steel Plates Using a Detection Index Based on 2D Wavelet Analysis". *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 11(4), 44-64, 2023.

21-Xu B., Li B., and Song G. "Active debonding detection for large rectangular CFSTs based on wavelet packet energy spectrum with piezoceramics", *Journal of Structural Engineering*, 139(9), 1435-1443, 2012.

22-Xu B., Zhang T., Song G., and Gu H. "Active interface debonding detection of a concrete-filled steel tube with piezoelectric technology using wavelet packet analysis", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 36(1), 7-17, 2013.

23-Xu B., Chen H., Mo Y.L., and Zhou T., "Dominance of debonding defect of CFST on PZT sensor response considering the meso-scale structure of concrete with multi-scale simulation", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 107, 515-528, 2018.

24-Xu B., Chen H., and Xia S. "Numerical study on the mechanism of active interfacial debonding detection