

# استفاده از تئوری موجک در تحلیل دینامیکی توامان دیوارهای حائل بتنی و محیط خاک

احمدرضا سيفالدين'، هيثم حيدرزاده\*' و حامد رضا ظريف صنايعي "

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد ۲۳ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد ۳ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: [۱٤٠٢/٠٢/٠٩]

Email: heidarzadeh@sku.ac.ir

تاريخ پذيرش:[١٤٠٢/١٢/٠٩]

#### چکیدہ

استفاده از تئوری موجک در تحلیل مسائل دینامیکی مرتبط با مهندسی عمران روند رو به رشد دارد. تحقیق پیشرو تلاش دارد تا به بررسی تاثیر استفاده از تئوری موجک در تحلیل دینامیکی دیوار حائل بتنی، بپردازد. برای این منظور یک محیط خاکی به همراه دیوارهای حائل بتنی با ابعاد (ارتفاع) مختلف در نظر گرفته می شوند. تحلیل های عددی، بر اساس روش عددی المان محدود انجام می ذیرد. رکورد زلزله سرپل ذهاب به همراه رکوردهای حاصل از چهار مرحله (گام) فیلتر کردن آن رکورد توسط تئوری موجک، برای تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین، در اولین مرحله مدلسازی، رکورد زلزله سرپل ذهاب در چهار مرحله با استفاده از تئوری موجک گسسته فیلتر می شود. در واقع با هر بار استفاده از تئوری موجک تعداد دادههای زلزله تقریباً نصف می شود. در مرحله بعد، مدلهای عددی آماده شده و تحت اثر بارگذاری دینامیکی رکوردهای موجود قرار می گیرند. درصد تفاوت در نتایج تحلیل با رکوردهای حاصل از مراحل مخلتف فیلتر کردن رکورد زلزله با موجک نسبت به تحلیل با رکورد اصلی، به همراه کاهش زمان محاسبات به طور ویژه مورد ارزیابی قرار می گیرد. همان گونه که انتظار می رفتن موجک نسبت به تعلیل با رکورد اصلی، به همراه کاهش زمان محاسبات به طور ویژه مورد ارزیابی قرار می گیرد. همان گونه که انتظار می رفت، بهترین هماهنگی نتایج بعد از فیلتر کردن نسبت به نتایج رکورد اصلی، مربوط به فیلتر مرحله اول است. ملاحظه می شود که حتی فیلتر مرحله اول باعث می شود که زمان تحلیل فیلتر کردن نسبت به نتایج رکورد اصلی، مربوط به فیلتر مرحله اول است. ملاحظه می شود که حتی فیلتر مرحله اول باعث می شود که زمان تحلیل مدود ۲۰ درصد کاهش زمان محاسبات به طور ویژه مورد ارزیابی قرار می گیرد. همان گونه که انتظار می رفت، بهترین هماهنگی نتایج بعد از ماند نسبت به نتایج رکورد اصلی، مربوط به فیلتر مرحله اول است. ملاحظه می شود که حتی فیلتر مرحله اول باعث می شود که زمان تحلیل شده نسبت به رکورد اصلی، کمتر می شود. همچنین ملاحظه می شود که با افزایش ارتفاع دیوار، اختلاف نتایج بدست آمده از رکوردهای فیلتر شده نسبت به رکورد اصلی، کمتر می شود. همچنین ملاحظه شده است که تا فیلتر مرحله سه، کماکان نتایج قابل قبولی حاصل می شود؛ ضمن اینکه زمان تحلیل تقریبا ۸۰ درصد کاهش می ایاد.

**کلیدواژهها:** تحلیل دینامیکی، تحلیل توامان خاک و دیوار، دیوار حائل، المان محدود، تئوری موجک.

#### ۱ – مقدمه

سازه نگهبان یا دیوار حائل، دیواری است که بتواند به صورت یک سازه نگهدارنده و تکیهگاهی برای پایداری سازه دیگر یا جلوگیری از ریزش و مهار خاک و بهطورکلی هر جا

که احتیاج به تکیهگاه جانبی باشد استفاده شود. دیوار حائل میتواند به صورتهای وزنی، طرمای، پشتبنددار طراحی شود.

v

استفاده از تئوري موجک در تحلیل دینامیکی ...

با توجه به اینکه کار دیوارهای حائل در حفاظت سازههای مرتبط با آنها بسیار پراهمیت است، لزوم مطالعه رفتار دینامیکی این نوع سازهها را به دلیل وارد آمدن خسارت مالی و جانی، دوچندان می نماید [1]. این گونه سازهها باید در برابر نیروهای وارد بر دیوار پایداری داشته باشند. علاوه بر بارهای استاتیکی که همواره جزء جدانشدنی محاسبات این گونه دیوارها هستند، نیروهای از قبیل نیروهای سیکلیک ناشی از حرکت ماشین آلات و همچنین نیروی دینامیکی ناشی از زمین لرزه که در طول دوران بهرهبرداری امکان وارد آمدن بر دیوار وجود دارد، نیز میتواند بر این سازهها وارد آیند که باید موردبررسی و ارزیابی قرار گیرد.

تلاش برای بررسی و تحلیل رفتار دینامیکی دیوارهای حائل مختلف یکی از موضوعات چالشی، بسیار پرکاربرد و جذاب بین پژوهشگران مختلف است که از گذشته تا حال بسیاری را به خود مشغول کرده است [6-2]. مطالعه روی رفتار دیوارهای حائل را میتوان در حالت کلی به سه بخش تفکیک کرد: مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات تحلیلی و مطالعات عددی (شبیهسازیهای عددی). در اینجا، تاکید روی مطالعه رفتار دینامیکی این سازهها در مطالعات (شبیهسازیهای) عددی است.

تحلیل دینامیکی سازه ها با استفاده از رکوردهای ثبت شده زلزله ها می تواند بسیار زمان بر باشد. بنابراین در اینجا تلاش می شود تا با استفاده از تئوری موجک تعداد داده های مربوط به هر زلزله کاهش داده شود و اثر این کاهش بر تحلیل دینامیکی دیوارهای حائل مورد ارزیابی قرار گیرد. با هر بار استفاده از تئوری موجک می توان تعداد داده های زلزله را تقریباً نصف و در نتیجه زمان اجرای محاسبات را کوتاه تر کرد (سرعت محاسبات را افزایش داد). ازاین رو، تعداد مراحل استفاده از تئوری موجک در یک زلزله و خطای حاصل از این مراحل باید مورد ارزیابی قرار گیرد تا مشخص شود که برای تحلیل استفاده نمود. همچنین بررسی می شود که با هر مرجله اعمال تئوری موجک بر زلزله، با دینامیکی خروجی، چقدر از زلزله اصلی فاصله می گیرد. برای این منظور، در این پژوهش در

راستای انجام شبیهسازیهای عددی (مطالعات عددی) از روش المان محدود و با استفاده از نرمافزار ABAQUS بهره برده شده است.

#### ۲- استفاده از تئوری موجک

واژه موجک نخستین بار توسط آلفرد هار در سال ۱۹۰۹ استفاده شد. امروزه هم این موجکها به همان نام یعنی موجکهای هار معروف شدهاند. موجک هار اولین و سادهترین نوع موجک گسسته است. در آنالیز تابعی، تبدیل موجک گسسته تبدیل موجکی است که توابع موجک آن نمونهبرداری شدهاند. در مقایسه با تبدیل فوریه میتوان گفت که تبدیل موجک دارای ویژگی محلی سازی بسیار خوبی است. برای نمونه تبدیل فوریه یک پیک تیز دارای تعداد زیادی ضریب است، چراکه توابع پایه تبدیل فوریه توابع سینوسی و کسینوسی هستند که دامنه آنها در کل بازه ثابت است. درحالی که توابع موجک توابعی هستند که بیشتر انرژی آنها در بازه کوچکی متمرکز شده است و به سرعت میرا میشوند. بنابراین با انتخاب مناسب موجک مادر میتوان فشردهسازی بهتری در مقایسه با تبدیل فوریه انجام داد. در تبدیل موجک، توابع مادر و مقیاس متفاوتی وجود دارند [7].

سلاجقه و حیدری در سال ۲۰۰۵ میلادی تلاش کرده اند تا به کمک تئوری موجک، طراحی بهینه ساختمانها در مقابل زلزله را ارائه دهند [8]. در تحقیق آنها ملاحظه شد که زمان تحلیل تا ۱۰ درصد روشهای متداول کاهش یافت و خطای آن (تفاوت نسبت به زلزله اصلی) حدود ۷ درصد ارزیابی شد [8]. همچنین این مؤلفین در جای دیگر [9] با استفاده از روش ترکیبی ژنتیک و تبدیل گسسته موجکی اقدام به طراحی بهینه ساختمان در مقابل زلزله نمودند. زمان موردنیاز در این حالت ۳۵ درصد زمانی بود که از تبدیل موجکی استفاده نشده بود و

کامگار و همکاران [10] از تبدیل موجک گسسته در تحلیل غیرخطی لرزهای مسائل اندرکنش خاک و سازه استفاده کردند. شبیهسازی آثار اندرکنش خاک-سازه (SSI) فرآیندی زمانبر و پرهزینه است و نادیده گرفتن تأثیر SSI بر پاسخ سازه ممکن است منجر به نتایج نادرست، به ویژه در مورد

تحلیل غیرخطی لرزهای، شود. با این توصیف ایشان در پژوهش خود از روش تبدیل موجک برای بررسی پاسخ لرزهای سیستمهای خاک – سازه استفاده کردهاند. برای این منظور، ساختمانهای طبقهبندی متفاوتی که روی دو نوع خاک متفاوت قرار دارند، برای تحلیل SSI در نظر گرفته شدند. برای هر سیستم SSI، چندین رکورد لرزهای، با مقادیر مختلف پیک شتاب زمین (PGA) و بیشترین سرعت زمین (PGV)، ابتدا با استفاده از تبدیل موجک گسسته به سیگنالهای تقریبی و دقیق تجزیه شدهاند. سپس پاسخهای لرزهای سیستمهای SSI در معرض سیگنال تقریبی ارزیابیشدهاند. نتایج مطالعه نشان میدهد که برای زلزلههای با نسبت PGA/PGV پایین، درصد خطای تمامی پارامترها برای سطح اول کمتر از ۵ درصد و برای سطح سوم کمتر از ۱۰ درصد است. با افزایش نسبت PGA/PGV یک زلزله، تطابق نتایج تقریبی با نتایج اصلی کاهش مییابد. بااین حال، حتی برای زمین لرزههایی با نسبت PGA/PGV بالاتر از 1.2 g s/m مى توان از تقريب سطح اول برای پیشبینی پاسخهای لرزهای با دقت حداقل ۹۰ درصد و درعینحال کاهش قابل توجه زمان محاسباتی استفاده کرد.

دادخواه و همکاران [11] از تبدیل موجک گسسته برای کاهش هزینه محاسبات برای تحلیل دینامیکی افزایشی سازههای ساختمانی استفاده کردند. در این روش با توجه به اینکه تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) یکی از دقیق ترین تحلیلهای غیرخطی لرزهای است اما روشی زمانبر است و هزینه محاسباتی بالایی دارد. همچنین، منحنی IDA باید از تجزیهوتحلیل ساختمان در معرض یک سری زمین لرزه به دست آید که باید تمام مناطق پاسخهای سازه را پوشش دهد. استفاده از تبدیل موجک گسسته برای حل این مسائل نشان داد که استفاده از رکوردهای فیلتر شده هزینه و زمان محاسباتی را به ترتیب حدود ۲۰.۲٪ و ۲۰۰٪ کاهش میدهد، درحالی که بیشترین خطای آن فقط حدود ۲۰۰٪ است.

کانکانامگ و همکاران [12] برای پایش سازه از تبدیل موجک استفاده کردند. الگوریتمهای مختلف تشخیص آسیب مبتنی بر ارتعاش در چند دهه گذشته توسعهیافتهاند. در میان آنها، تبدیل موجک (WT) بهعنوان یک روش کارآمد برای پردازش سیگنال برای ساخت چارچوبی برای شناسایی

ویژگیهای مودال و تشخیص اَسیب در سازهها محبوبیت پیدا کرد.

خاناحمدی و همکاران [13] از تبدیل موجک دوبعدی گسسته در تشخیص آسیب در صفحات فولادی استفاده کردند. در ابتدا صفحه فولادی در نرمافزار المان محدود ABAQUS با شرایط تکیهگاهی آزاد مدلسازی شد و سپس شکل هشت مود اول سالم و آسیبدیده استخراج شد.

ژیئو چوین و همکاران [14] به منظور هشدار پایداری در دیوار حائل شمعی آسیبدیده از موجک بهره بردهاند. ایشان یک شاخص هشداردهنده آسیب، ERVC، بر اساس تجزیه و تحلیل طیف انرژی باند فرکانس حاصل از موجک، پیشنهاد دادند. سپس، ارتباط ذاتی بین ERVC، فشار زمین و پایداری دیوارهای حائل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان میدهد که با افزایش مقدار SRVC، پایداری دیوار کاهش مییابد و زمانی که ERVC به مقدار آستانه برسد، وارد حالت پایدار بحرانی می شود.

همچنین، آقامولایی و همکاران [15] برای ارزیابی عملکرد لرزهای دیوارهای حائل طرهای تحت اثر زلزلههای نزدیک به گسل، از مفهوم تئوری موجک کمک گرفتند. آنها در تحقیق خود از موجک برای استخراج پالس سرعت حرکات استفاده كردند. معماريان سرخابي و همكاران [16] از تجزيه موجك سه بعدی (3WD) برای کاهش نویز، بازسازی و اصلاح فاز در تحلیل شیروانی ها و زمین لغزش ها استفاده کردند. از موارد دیگری که از تئوری موجک در تحلیل های خود استفاده کردند مي توان به مقالهها و همكاران [17] اشاره نمود. پاسخ ديناميكي دیوارهای حائل طرهای به همراه تئوری موجک مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها تمرکزشان بر جابهجاییهای دیوار و خاک اطراف قرار داشت. بر این اساس، آنها نتیجه گرفتند که جابهجاییهای نسبی دیوار، بسته به جهت حرکت زمین در برابر حرکت دیوار می تواند بسیار موثر و تا حدود ٤٦٪ اثرگذار بودند. همچنین، جاودانیان و گودرزی [18] رفتار دینامیکی خاک مسلح شده با ژئوگرید را با کمک تئوری موجک مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که جابهجایی جانبی و بیشترین نیروی کششی ایجاد شده در ژئوگریدها در تحلیلهای

استفاده از تئوري موجک در تحلیل دینامیکی ...

انجام شده با سطوح ۱ و ۲ فیلتر شده با موجک، انطباق مناسبی را با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی با زلزله اصلی دارد.

#### ۳- خلاصهای از تئوری موجک

تبدیل فوریه پاسخگوی تمام نیازها در زمینه پردازش فرکانسی نبود؛ و به همین دلیل، تبدیل موجک به وجود آمد. تبدیل موجک توانمندی خود را در بهینهسازی دینامیکی و تحلیلهای دینامیکی بهخوبی نشان داده است [22-19]. در تبدیل فوریه برای پیدا کردن فرکانسهای موجود، سیگنال موردنظر روی توابع سینوس – کسینوسی و هارمونیکهای آنها تصویر میشود. در تبدیل موجک، سیگنال روی دستهای از توابع که موجک نامیده شده و با (1) به g<sub>b,r</sub>

(t) تابع مادر و پارامترهای b و τ مقیاس و انتقال نامیده میشوند. رابطه بین موجک مادر و پارامترهای مقیاس و انتقال به صورت زیر است:

$$g_{b,\tau}(t) = \frac{g\left(\frac{t-\tau}{b}\right)}{\sqrt{b}} \tag{1}$$

اگر پارامتر b افزایش یابد، موجک مادر کشیده شده و بخش بزرگی از سیگنال را پوشش می دهد. بنابراین با افزایش پارامتر b محتوای فرکانسی پایینتر آشکار می شود. با کاهش پارامتر b، موجک منقبض شده و بخش کوچکی از سیگنال را پوشش می دهد. در این حالت نیز مقیاس کوچک متناظر با محتوای فرکانسی بالای سیگنال است. پارامتر τ موجک را روی سیگنال اصلی انتقال داده و متناظر با انتقال در حوزه زمان است.

برای محاسبه تبدیل پیوسته سیگنال، ابتدا موجک مادر انتخاب می شود. موجک مادر با عامل b منبسط یا منقبض شده و با عامل  $\tau$  انتقال میابد. سپس سیگنال موردنظر روی (t)  $g_{b,\tau}(t)$ تصویر شده و تبدیل موجک سیگنال محاسبه می شود. این عمل به ازای تمامی مقادیر  $\tau$  (انتقال موجک روی کل سیگنال) و تمامی مقادیر b (جستجو به ازای تمامی فرکانس ها) برای به دست آوردن تبدیل موجک انجام می شود. با استفاده از تبدیل فوریه، ساختار فرکانسی موجود در سیگنال با این فرض که

تمام مؤلفه های فرکانسی آن از ابتدا تا انتهای سیگنال حضور دارند، تعیین می شود. در مقابل در تبدیل موجک، موقعیت زمانی هر فرکانس مشخص شده و امکان تحلیل فرکانس های غیر پایدار و محل ناپیوستگی در سیگنال فراهم می آید [23]. در حالت کلی موجکها به دو دسته، موجک گسسته (DWT) و موجک پیوسته (CWT) تقسیم می شوند.

در تبدیل موجک گسسته (DWT) پیادهسازی تبدیل موجک با استفاده از مجموعهای گسسته از مقیاس های موجک و تبدیلهایی است که از برخی قوانین تعریفشده پیروی میکنند. به عبارت دیگر، این تبدیل، سیگنال را به مجموعهای متعامد از موجکها تجزیه میکند. در مقابل، تبدیل موجک پیوسته (CWT)، پیادهسازی تبدیل موجک با استفاده از مقياس هاي دلخواه و موجكهاي تقريباً دلخواه است. موجکهای مورد استفاده متعامد نیستند و دادههای به دست آمده از این تبدیل، همبستگی بالایی دارند. برای سریهای زمانی گسسته می توان از این تبدیل نیز استفاده کرد، با این محدودیت که کوچکترین تبدیل موجک باید برابر با نمونه گیری داده باشد. گاهی اوقات به آن تبدیل موجک پیوسته زمان گسسته (DT-CWT) میگویند و این پرکاربردترین روش برای محاسبه CWT در کاربردهای واقعی است. در عمل، می توان تبدیل های موجک پیوسته و گسسته را به کمک ابزارها و توابع موجود در نرم افزار متلب (MATLAB) استخراج نمود. بر این اساس، رکوردهای زلزله را میتوان وارد نرمافزار متلب کرد و با کدنویسی مناسب، رکوردهای خروجی فيلتر شده (با مراحل مختلف فيلتراسيون) بدست أورد. سپس از رکوردهای بدست آمده (فیلتر شده توسط تبدیل موجک) در تحلیل های دینامیکی استفاده نمود.

## ٤- روند مدلسازی

هدف این تحقیق مقایسه و ارزیابی رفتار لرزهای دیوار حائل بتنی وزنی با استفاده از تئوری موجک در تحلیل دینامیکی است. دیوارهای حائل مورداستفاده در این پژوهش شامل دیوار حائل به ارتفاع ۵، ۷ و ۹ متر است. عرض دیوار حائل در تاج ۲ متر و در پاشنه دیوار ۵ متر است. هندسه

مجله علمي – پژوهشي مهندسي عمران مدرس

۱–٤– ویژگی های میرایی عمومی مدل های ایجاد در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. در این شکل، بخش ذوزنقهای سبز رنگ، نشان دهنده موقعیت دیوار حائل و بخش خاکستری رنگ، محیط اصلی خاک زیر و اطراف دیوار حائل را نشان میدهند. دو بخش کناری که به رنگ قرمز تیره نشان داده شده اند، معرف بخشی از مش بندی خاک اطراف مدل است که دارای المان های نیمه (٤) بینهایت از نوع المانهای CPS4R میباشند که برای

مدلسازی دینامیکی خاک ضروری است. گسترش جانبی محیط مدلسازی، شامل ۱۰۰ متر میباشد که از هر طرف ۲۵ متر بهعنوان مرز بینهایت در نظر گرفتهشده است.

در این تحقیق، سازه دیوار حائل مستقیما روی خاک قرار داده شده است و تحلیل همزمان خاک و سازه دیوار حائل با روش عددي المان محدود انجام مي گيرد. بنابراين، اثر تواماني که خاک و سازه به هم اعمال می کنند نیز در نتایج تحلیل در نظر گرفته می شود.

شکل ۱. تصویر کلی از دیوار حائل و خاک در مدل سازی های عددی

Fig .1. Schematic view of retaining wall and soil in numerical modeling

مشخصات مصالح مربوط به ديوار حائل وزنى مورد استفاده در جدول (۱) و مشخصات خاک محیط در جدول (۲) ارائه شده است.

ديوار حائل وزني	مصالح	مشخصات	۱.	جدول
-----------------	-------	--------	----	------

Poisson's ratio	Elastic modulus (Pa)	$(Kg/m3)\gamma$	Constitutive model	Material		
0.2	2.35e10	2500	Elastic	Concrete		
Table 1. Properties of retaining wall materials						
<b>جدول ۲</b> . مشخصات خاک ماسهای						

	~	Poisso	Elastic			Constitu	
(D	) 	n's	modulus	φ (deg)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	tive	Soil
(Pa)	a)	ratio	(Pa)	(ueg)	(kg/m)	model	
	10	0.3	40.66	37	2000	Mohr-	cand
0	00	0.5	4000	52	2000	columb	sallu

Table 2. Sandy soil parameters

دوره ۲۲ / شماره ۲ / سال ۱٤۰۳

بەمنظور تحلیل دینامیکی خاک - سازہ نیاز به ماتریس میرایی است. میرایی در نظر گرفته شده در این روش متناسب با جرم و سختی سیستم بوده و از میرایی رایلی استفاده می شود. ماتریس میرایی در حالت کلی به صورت ذیل تعریف می شود:

 $C = \alpha M + \beta K$ 

که در رابطه فوق، M و K به ترتیب ماتریس های جرم و سختی هستند. ضرایب eta و lpha در ماتریس میرایی بر اساس روش رایلی محاسبه می شوند. برای استخراج ضرایب میرایی ابتدا توده خاک موردنظر مورد تحلیل فرکانسی قرار داده شد و بر اساس زمان تناوب استخراجی مقادیر ضرایب میرایی خاک محاسبه شد. در جدول (۳) مقادیر ضرایب  $\beta$  و  $\alpha$  برای مسئله موردمطالعه ارائه شده است.

**جدول ۳**. مقادیر ضرایب میرایی a و β برای محیط مورد مطالعه

β	α
0.000443	0.0571

Table 3. Values of damping coefficients  $\alpha$  and  $\beta$  for the studied environment

۲-٤- مشخصات مشبندی

ابعاد مش در توده خاکی به طور متوسط ۱ متر و برای دیوار حائل وزنی به طور متوسط ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است (شکل ۲). در تحلیلهای دینامیکی، برای جلوگیری از بازتابهای کاذب امواج به داخل محدوده مدلسازی، لازم است از مرزهای جاذب (مرزهای ویژه) استفاده شود. روشهای مختلفی برای اعمال مرز جاذب انرژی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از المانهای نیمه بینهایت است که در این پژوهش نیز از آن بهره برده شده است. بر این اساس، فرض می شود که مصالح خاک در جهت موردنظر تا بی نهایت ادامه دارند و امواج حاصل از زلزله بدون انعکاس وقتی به مرزهای اصلی مدلسازی عددی میرسند از آنها رد می شوند (و بىجهت، به محيط مدلسازى بازتاب نمىيابند). بنابراين، براى مشبندی خاک اطراف مدل که دارای المانهای نیمه بینهایت میباشند از المانهای CPS4R و برای خاک درون مدل و

احمد رضا سيف الدين و همكاران

مورد نظر انجام شده و ارزیابیهای مربوط به آن انجام می پذیرد. در شکلهای (۳ تا ۷) شتاب زلزله در ٤ مرحله (گام) فیلتر شده و رکوردهای حاصل از فیلتر تئوری موجک، نشان داده شده است. تعداد نقاط زلزله اصلی ۱۹۸۹ نقطه است که در گام اول ۹۹٤۵، گام دوم ۲۹۷۳، گام سوم ۲٤۸۷ و در گام چهارم ۱۲٤٤ نقطه شده است. در هر مرحله تعداد نقاط شتاب نگاشت زلزله نصف شده است. تمامی رکوردهای موجود (رکورد اصلی زلزله و رکوردهای حاصل از فیلتر موجک) در شتاب بیشتر به شتاب جاذبه g مقیاس شده اند.





Fig .3. The main record of the Sarpol Zahab earthquake scaled to the acceleration g



شکل ٤. رکورد حاصل از فیلتر موجک در گام اول از زلزله سرپل ذهاب

Fig .4. The record obtained by the first step of the wavelet filter on the Sarpol Zahab earthquake





دیوار حائل از المانهای CPE4R در نرمافزار آباکوس استفاده شده است. همچنین، در محل اتصال سازه به خاک (برای اعمال اندرکنش خاک – سازه) از المان tie استفاده شده است.

### **شکل ۲**. مش بندی و اعمال شرایط مرزی جاذب برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

							_		_	
			1							
			6	计	ht		i-i		-	
					++-					
					++-	H	-	-	-	
			6	<b>3</b>			-	-	_	
 _										
					Ц_			_		
3										
					П					
		111			h	i t				
			i i i i				1			
		+++			++-	$\vdash$	-	-	-	
		+++				$\vdash$	-	-	_	
					Ш_				_	
		111			Π					
					Πī		1 T			
			TTT.		H	H				8
	لللب	الملك		_ا_ا			_			

Fig .2. Mesh and absorbent boundary conditions for dynamic time history analysis

۳–٤– رکوردهای زلزله اصلی و فیلتر شده توسط تئوری موجک در این پژوهش از رکورد زلزله سرپل ذهاب استفاده شده است. به دلیل آنکه در ثبت رکوردهای زلزله ممکن است خطاهایی به وجود آید، معمولا باید شتابنگاشت زلزلهها اصلاح شوند. برای اصلاح شتابنگاشت زلزله از شیوههای گوناگونی استفاده می شود. در این پژوهش از روش باند گذر و با استفاده از نرمافزار Seismosignal با محدوده فرکانسی صفر تا ۳۰ هرتز اصلاح رکورد انجام گرفته است. بیشینه شتاب در رکورد اصلاح نشده ۲۸۱/٤۵ و رکورد اصلاح شده ۱۸۱/٤٥ سانتی متر بر مجذور ثانیه است که بهاندازه ۲۰/۵۰ درصد اصلاح شده است.

جدول ٤. مشخصات زلزله سرپل ذهاب

	Max. Dis.	Max. Vel.	Max. Acc. (adjusted)	Max. Acc. (unadjusted)	
	31.04 cm	45.50 cm/s	$\frac{681.45}{cm/s^2}$	$684.42  cm/s^2$	Value
_	25.81	20.34	20.34	20.34	Time (s)

Table 4. Characteristics of Sarpol Zahab earthquake

در ادامه با استفاده از فیلتر موجک گسسته هار زلزله سرپل ذهاب در مراحل مختلف فیلتر شد. با استفاده از رکوردهای بدست آمده از هر مرحله از فیلتر تحلیلهای دینامیکی مسئله

Fig .5. The record obtained by the second step of the wavelet filter on the Sarpol Zahab earthquake

مشخصات رکوردهای مورد استفاده از نظر پریود غالب، مدت زمان حرکت قوی و شدت اریاس در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به این جدول، از نظر مدت زمان حرکت قوی زلزله و شدت اریاس زلزله اصلی و رکورد تجزیه سطح اول تطابق بسیار زیادی با هم دارند. اما با افزایش سطح تجزیه تفاوت قابل توجهی در شدت اریاس و مدت زمان حرکت مقوی زلزله نسبت به زلزله اصلی به وجود می آید. همچنین با مقایسه طیف شتاب رکوردها (شکل ۹) مشخص است که تمامی زمان تناوبها وجود دارد. درصورتیکه، با افزایش سطح تجزیه، اختلاف قابل توجهی بین طیف پاسخ شتاب زلزله های با سطح تجزیه ۳ و ٤ و زلزله اصلی به وجود میآید. بر این اساس، زلزله سطح ۲ را شاید بتوان بهترین یا بهینه ترین سطح تجزیه دانست.

ل: له	; L	مقاسبه	مختلف در	ر که ردهای	مختلف	مشخصات	٥.	حدەل
- v y	ب ر	-un (er	محتلف در	رىورىسى	Ceuro	مسحصات	•••	جماون

اصلى

Records	Arias intensity (m/sec)	Duration of strong movement (sec)	Dominant period (sec)
Main	6.91	10.36	0.22
Level 1	6.95	10.36	0.22
Level 2	7.17	10.36	0.22
Level 3	7.72	10.96	0.22
Level 4	8.60	11.12	0.22

 Table 5. Different features of records compared to the main earthquake

شکل ۹. مقایسه طیف شتاب رکوردها



Fig. 9. Comparison between acceleration spectrums

٤-٤- تعداد و مشخصات کلی مدلهای عددی مورد مطالعه

برای رسیدن به اهداف این پژوهش، ۱۵ عدد دیوار حائل بتنی وزنی بررسی شده است. با توجه به تعداد رکوردهای مرحله از اعمال تئوری موجک با توجه به اینکه مدت زمان زلزله ثابت میماند و مقدار گام زمانی دو برابر میشود، بنابراین، فرکانس نایکوئیست در هر سطح تجزیه موجک به نصف مقدار سطح قبلی تقلیل پیدا میکند. برای نمونه زلزله اصلی فرکانس نایکوئیست ۱۰۰ هرتز میباشد که در سطح تجریه اول به ۵۰ هرتز و به ترتیب در سطحهای بعدی ۲۵ هرتز، ۱۲/۵ هرتز و ۲۰/۵ هرتز کاهش پیدا می کند. بنابراین با توجه به شکل (۸) تمامی دامنه فوریه برای زلزله اصلی و زلزله می شود. همان گونه که از این شکل مشخص است، تا سطح میشود. همان گونه که از این شکل مشخص است، تا سطح شده، تطابق بسیار مناسبی برقرار است؛ درصورتی که در سطح غریزان اختلاف با زلزله اصلی قابل توجه می شود.



Fig.6. The record obtained by the third step of the wavelet filter on the Sarpol Zahab earthquake





Fig .7. The record obtained by the fourth step of the wavelet filter on the Sarpol Zahab earthquake





زلزله موجود (رکورد اصلی و رکوردهای حاصل از فیلتر موجک) تعداد مدلهای عددی که تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفتند شامل ۷۵ مدل دینامیکی میشود. شایان ذکر است که تعداد مدلسازی به گونهای اختیار شده است که اثر ابعاد دیوار حائل و رکوردهای زلزله قابل بررسی باشد. ابعاد محیط مدلسازی ۱۰۰ متر طول که از هر طرف ۲۵ متر به عنوان مرز بی نهایت در نظر گرفته شده است. ارتفاع توده خاک ۲۵، ۲۷ و بی نهایت در نظر گرفته شده است. ارتفاع توده خاک ۲۵، ۲۷ و دیوارهای حائل ۵، ۷ و ۹ متر) در نظر گرفته شده است. مدلسازی سازه موردنظر برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مدلسازی سازه المان محدود ABAQUS2017 انجام شده است.

#### ٥- نتایج حاصل از تحلیل مدلهای عددی

رفتار لرزهای دیوارهای حائل موردنظر (تنش، جابهجایی افقی و شتاب افقی) در نرمافزار آباکوس به روش تحلیل غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی شتاب تحت اثر رکورد اصلی زلزله به همراه رکوردهای فیلتر شده موردبررسی قرارگرفتهاند. این ارزیابیها مربوط به دیوارهای حائل به ارتفاع ۵، ۷ و ۹ متر میباشد که در ادامه ارائه شده اند. لازم به ذکر است که در ارزیابی نتایج تحلیلهای عددی، برخی از کنتورهای جابهجایی ماندگار (نهایی) به تصویر کشیده شدهاند و مقادیر حداکثر آنها (جابهجایی حداکثر ماندگار) نیز در نمودارهای میلهای برای مقایسه بکار رفتهاند.

۱–۵– ارزیابی رفتار لرزهای دیوار حائل وزنی به ارتفاع ۵ متر

روابط با استفاده از Equation نرمافزار MS Word نسخه روابط با استفاده از Equation نرمافزار MS word نسخه ۲۰۱۳ یا ۲۰۱۲ تهیه و به ترتیب شمارهگذاری شوند. شماره رابطه در داخل پرانتز و مماس بر حاشیه راست و خود رابطه مماس بر حاشیه چپ باشد. اندازه فونت روابط pt ۹ باشد. برای حفظ ویژگی Display در ظاهر رابطه، باید رابطه مورد نظر مانند نمونه زیر در داخل یک جدول فاقد مرز (با استفاده از گزینه Border) تایپ شود. قبل و بعد از هر رابطه، ای

در این بخش، جابهجایی ماندگار افقی در دیوار حائل به همراه شتاب افقی ماکزیمم و تنشهای انحرافی ایجاد شده در دیوار تحت رکوردهای مختلف (رکورد زلزله اصلی و رکوردهای فیلترشده آن به کمک تئوری موجک) مورد مقایسه قرار می گیرد. در شکل (۱۰) کنتورهای جابهجایی ماندگار (نهایی) افقی در دیوار حائل ۵ متری و محیط خاک اطراف به تصویر کشده شده است. این تحلیلها روی دیوار حائل پنج متری توسط رکوردهای مختلف مورد تکرار شد و تغییر مکان افقی ماکزیمم ماندگار (نهایی) حاصل، برای مقایسه در شکل (۱۱) ارائه شد. همین طور شتابهای ماکزیمم حاصل در دیوار حائل ناشی از تحلیل به کمک رکوردهای مختلف در شکل اساس، مقایسه عملکرد دینامیکی دیوار حائل به ارتفاع ۵ متر، تحت رکورد زلزله اصلی نسبت به رکوردهای فیتر شده حاصل از تئوری موجک، نتایج ذیل قابل استنباط هستند.

# **شکل ۱۰**. جابهجایی افقی دیوار حائل وزنی بتنی به ارتفاع ۵ متر تحت اثر رکورد اصلی زلزله



Fig.10. The horizontal displacement of the 5-meterhigh retaining wall under the main earthquake record

اختلاف جابهجایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده در مرحله (گام) ۱ از تئوری موجک، به ترتیب ۷/۸، ۲/۰۲ و ۲/۷۱ درصد میباشد. اختلاف جابهجایی افقی، شتاب افقی و تنش

دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۲ به ترتیب ۱۳/۸، ۲۵/۶ و ۲/۲۶ درصد شده است. اختلاف جابهجایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۳ به ترتیب ۱۷/۸، ۱۶/۱۹ و ۲/۵ درصد شده است و در نهایت اختلاف جابهجایی افقی، شتاب و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ٤ به ترتیب ۲۰/۵۶ و ۲۰/۹۸ و ۹/۳ درصد میباشد.

**شکل ۱۱**. نمودار مقایسه جابهجایی افقی دیوار حائل به ارتفاع ۵ متر تحت اثر رکوردهای مختلف



Fig.11. Comparison diagram of the horizontal displacement of the 5-meter-high retaining wall under different records

شکل ۱۲. مقایسه شتاب افقی حداکثر تحت رکوردهای مختلف فیلتر شده



Fig .12. Comparison diagram of the maximum horizontal acceleration under different records: 5-meter-high retaining wall



Fig.13. Comparison diagram of the maximum deviatoric stress under different records: 5-meter-high retaining wall

۲-٥- ارزیابی رفتار لرزهای دیوار حائل وزنی به ارتفاع ۷ متر پس از پایان تحلیل دینامیکی دیوار حائل وزنی ۷ متری بر اساس رکورد زلزله اصلی، تغییر مکان های دائمی ایجاد شده در شکل (۱٤) به تصویر کشیده شده است. با تکرار تحلیل ها روی این محیط و دیوار به کمک رکوردهای زلزله فیلتر شده با موجک، نتایج حاصل برای مقایسه جابه جایی افقی ماندگار در تراز تاج دیوار در شکل (۱۵) ارائه شده است. همچنین در شکل (۱۲) و شکل (۱۷) به ترتیب شتاب های افقی ماکزیمم و تنش های انحرافی برای مقایسه عملکرد رکوردهای فیلتر شده مختلف روی دیوار حائل ۷ متری، ارائه شده است.

با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل زلزله اصلی در مقابل رکوردهای فیلتر شده با موجک، نتایج ذیل حاصل در مورد دیوار حائل به ارتفاع ۷ متر، به دست میآید. اختلاف جابهجایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۱ به ترتیب ۱، ۸۹۸۲ و ۲/۲ درصد میباشد. اختلاف جابهجایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۲ به ترتیب متاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۲ به ترتیب متاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۳ به ترتیب ۲/۱۲، اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۳ به ترتیب ۲/۱۲، اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۳ به ترتیب ۲/۱۲، اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۳ به ترتیب ۲/۱۲، شکل ۱٦. مقایسه شتاب افقی حداکثر تحت رکوردهای مختلف فیلتر شده





Fig. 16. Comparison diagram of the Max horizontal acc. under different records: 7-meter-high retaining wall



Fig.17. Comparison diagram of the maximum deviatoric stress under different records: 7-meter-high retaining wall

همچنین، در شکل (۲۰) کنتور شتاب ماکزیمم در بدنه دیوار حائل تحت بارگذاری زلزله اصلی و مقایسه شتابهای ماکزیمم در بدنه تحت بارگذاری رکوردهای فیلتر شده مختلف ارائه شده است. کنتور تنش انحرافی در دیوار حائل و مقایسه مقادیر حداکثر ناشی از تحلیل به کمک رکوردهای مختلف بارگذاری نیز در شکل (۲۱) به نمایش گذاشته شده است.

بر اساس مقایسه صورت گرفته، ملاحظه می شود که اختلاف جابه جایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی به ارتفاع ۹ متر تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۱ به ترتیب ۱/۵۱، ۱/۵ و ۷/۱۷ درصد می باشد. اختلاف جابه جایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ۲ به ترتیب ۲/٦۵، ۲/۱۳ و ۲/۱۲ درصد شده است. اختلاف جابه جایی افقی، شتاب افقی و تنش دیوار حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله استفاده از تئوري موجک در تحلیل دینامیکی ...

زلزله اصلی با رکورد زلزله فیلتر شده مرحله (گام) ٤ به ترتیب ۱۸/۹۹، ۱٦/۲٤ و ۹/٦۳ درصد میباشد.

**شکل ۱**٤. جابهجایی افقی دیوار حائل وزنی بتنی به ارتفاع ۷ متر تحت اثر رکورد اصلی زلزله



Fig .14. The horizontal displacement of the 7-meterhigh retaining wall under the main earthquake record

شکل 10. نمودار مقایسه جابهجایی افقی دیوار حائل به ارتفاع ۷ متر تحت



Fig .15. Comparison diagram of the horizontal displacement of the 7-meter-high retaining wall under different records

۳–٥– ارزیابی رفتار لرزهای دیوار حائل وزنی به ارتفاع ۹ متر

برای ارزیابی عملکرد دیوار حائل وزنی به ارتفاع ۹ متر در بارگذاری زلزله اصلی در مقایسه با بارگذاری رکوردهای فیلتر شده با موجک، ابتدا کنتور تغییرشکل های افقی ماندگار در کل محیط در شکل (۱۸) ارائه شد و سپس تغییرشکلهای ماکزیمم افقی ماندگار حاصل از تحلیل با رکوردهای فیلتر شده در شکل (۱۹) ارائه شد.



**شکل ۱**۸. جابهجایی افقی دیوار حائل وزنی بتنی به ارتفاع ۹ متر تحت اثر رکورد اصلی زلزله



Fig. 18. The horizontal displacement of the 9-meterhigh retaining wall under the main earthquake record



Fig.19. Comparison diagram of the horizontal displacement of the 9-meter-high retaining wall under different records





Fig .20. Comparison diagram of the maximum horizontal acceleration under different records: 9-meterhigh retaining wall

شکل ۲۱. مقایسه تنش انحرافی حداکثر تحت رکوردهای مختلف فیلتر شده – دیوار حائل وزنی بتنی به ارتفاع ۹ متر 600 592.22 573.4 580 Stress (kPa 555.7 560 539.6 540 527.1 520 500 480 Filtered Level 2 Fileeedtevel 3 filtered level a reditevel1 Main

Records Fig .21. Comparison diagram of the maximum deviatoric stress under different records: 9-meter-high retaining wall

٤-٥- مقایسه کلی نتایج حاصل از تحلیل مدل های عددی

مقایسه میزان و درصد جابهجایی افقی، شتاب افقی، تنش و مدتزمان تحلیل دیوارهای حائل وزنی تحت اثر رکورد زلزله اصلی در مقایسه با رکوردهای زلزله فیلتر شده توسط موجک در جداول (٦ تا ٩) ارائه شده است. با توجه به این جداول، موارد ذیل قابل ذکر است:

با توجه به جدول (٦) که مدت زمان تحلیل هر مسئله تحت زلزله اصلی و رکوردهای حاصل از فیلتر موجک را نشان میدهد، ملاحظه میشود که استفاده از تئوری موجک در کاهش زمان محاسبه بسیار موثر است. بطوریکه حتی در گام (مرحله) اول از فیتر کردن رکورد زلزله، به طور قابل توجهی زمانی تحلیل کاهش یافته است (کاهش حدود ٤٠ درصدی در گام اول فیلتر موجک).

اختلاف جابهجایی افقی جدول (۷) دیوارهای حائل ۵، ۷ و ۹ متری تحت اثر رکورد اصلی زلزله در مقایسه با رکورد فیلتر شده گام اول بسیار ناچیز است. همچنین با افزایش ارتفاع دیوار ملاحظه میشود که در حالت کلی این اختلاف نیز کاهش می یابد. حتی در رکوردهای فیلتر شده گامهای بزرگتر از یک (گام دوم و سوم) نیز نتایج بسیار به نتایج حاصل از تحلیل با رکورد اصلی زلزله نزدیک است (به ویژه وقتی ارتفاع دیوار افزایش مییابد).

بر اساس جدول (۸) که اختلاف شتاب افقی دیوارهای حائل ۵، ۷ و ۹ متری تحت اثر رکورد اصلی زلزله در مقایسه با

رکورد فیلتر شده را نشان میدهد، ملاحظه می شود که کماکان نتایج حاصل از گام اول در حد قابل قبولی به نتایج حاصل از تحلیل با رکورد اصلی زلزله نزدیک است. اختلاف تنشهای ثبت شده در دیوارهای حائل ۵، ۷ و ۹ متری تحت اثر رکورد اصلی زلزله با رکورد فیلتر شده با موجک در جدول (۹) ارائه شده است. با توجه به این نتایج، ملاحظه می شود که درصد خطای رخ داده در تحلیل رکوردهای فیلتر شده توسط موجک در مقایسه با رکوردهای زلزله اصلی چندان زیاد نیست.

جدول ٦. مدت زمان تحلیل دیوار حائل و درصد اختلاف آن در رکوردهای فیلتر شده در مقایسه با زلزله اصلی– کامپیوتر مورد استفاده: dell N5110 Intel(R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20GHz 2.20 GHz

Filtered- Level 4	Filtered- Level 3	Filtered- Level 2	Filtered- Level 1	Main record	Wall height	
25	65	126	255	350	5 m 👔	uc
25	46	91	157	250	7 m Ale	rati
24	47	91	152	255	9 m ₹	np
92	81	63	36	-	5 m 5	age
90	82	64	37	-	7 m T	cent
90	82	65	40	-	و ۲ 9 m	per

**Table 6.** Analysis duration of the retaining wall and its difference percentage in the filtered records compared with the main earthquake by computer:

جدول ۷. تغییر مکان افقی دیوار حائل و درصد اختلاف آن در
رکوردهای فیلتر شده در مقایسه با زلزله اصلی

234	244
487.7	503.6
527.1	539.6
9.3	5.4
9.63	6.68
11	8.88
Table	9. Devi
differen	nce per

 Table 9. Deviatoric stress in the retaining wall and its

 difference percentage in the filtered records compared

 with the main earthquake

	٦- نتيجەگىرى
رهش، تلاش شده است تا امکان بکارگیری از	در این پژو
در تحلیل دینامیکی دیوار حائل مورد بررسی	تئوري موجك

Filtered- Filtered- Filtered- Main Wall Level 4 Level 3 Level 2 Level 1 record height

						-	
-	27	28	29.35	31.41	34.07	5 m	Dis
	28.19	32.77	33.77	34.44	34.8	7 m	ital ,
	48.1	49.8	51.3	51.9	52.7	9 m	Horizon
	50.54	17.8	13.8	7.8	-	5 m	n 1021
	18.99	6.12	2.95	1	-	7 m	atio
	8.72	5.5	2.95	1.51	-	9 m	Devi

 

 Table 7. Horizontal displacement of the retaining wall and its difference percentage in the filtered records compared with the main earthquake

از یک طرف، با توجه به اینکه زمان تحلیل دینامیکی با افزایش گام (مرحله) فیلتر کردن توسط موجک به شدت کاهش می یابد، از طرف دیگر، با مقایسه درصد اختلاف نتایج حاصل از تئوری موجک نسبت رکورد اصلی زلزله، ملاحظه میشود که در تحلیل دینامیکی دیوار حائل، حتی می توان از مراحل بالای فیلتر کردن (مرحله ۳) نیز نتایج قابل قبول و نزدیک به تحلیل با رکورد اصلی زلزله را کسب نمود.

جدول ۸. شتاب افقی دیوار حائل و درصد اختلاف رکوردهای فیلتر شده

در مقایسه با زلزله اصلی

	Wall height	Main record	Filtered- Level 1	Filtered- Level 2	Filtered- Level 3	Filtered- Level 4
1	5 m	3.1	3.21	3.08	2.84	2.45
onta n2/s	7 m	4.87	4.53	4.3	4.12	4.07
Horize Acc. (r	9 m	5.49	5.41	5.06	4.86	4.61
1 (%)	5 m	-	3.02	6.94	14.19	25.98
atior age (	7 m	-	6.98	11.7	15.40	16.24
Devi: percenta	9 m	-	1.45	7.83	11.47	16

 Table 8. Horizontal acceleration of the retaining wall

 and its difference percentage in the filtered records

 compared with the main earthquake

اختلاف آن در	حائل و درصد	افي در ديوار -	<b>۹</b> . تنش انحرا	جدول
--------------	-------------	----------------	----------------------	------

Level 2 Level 1

247

514.3

555.7

4.26

4.7

6.16

Filtered- Filtered- Filtered-

Level 4 Level 3

251

527.8

2.71

2.2

3.17

Main

record

258

539.7

573.4 592.22 9 m

-

-

Wall

height

5 m

7 m

5 m

7 m

9 m

Deviatoric tress (kPa)

Deviation percentage

قرار گیرد. استفاده از تئوری موجک می تواند زمان تحلیل و به نتیجه رسیدن را کاهش دهد. تحلیلهای عددی مورد نظر بر اساس روش المان محدود و با استفاده از نرم افزار ABAQUS انجام پذیرفت. تحلیل المان محدود دیوار و خاک محیط اطراف به طور همزان در نرم افزار طرح ریزی و مورد تحلیل قرار گرفت تا اثر متقابل خاک و دیوار بر هم نیز در ارتفاعهای مختلف در نظر گرفته شد. برای تحلیل دینامیکی از رکورد شتاب زلزله سر پل ذهاب استفاده شد. این رکورد در چهار مرحله (گام) به کمک تئوری موجک فیلتر شد و شد. تحلیل دینامیکی غیرخطی از مدلهای عددی به کمک رکورد اصلی و رکوردهای فیلتر شده توسط موجک انجام شد و نتایج وارد بر دیوار حائل ثبت و مورد بررسی قرار گرفت.

با مقایسه نتایج تحلیل انجام شده توسط رکورد اصلی زلزله و نتایج تحلیل انجام شده توسط رکوردهای فیلتر شده با تئوری موجک، ملاحظه می شود، در دید کلی، استفاده از تئوری موجک در فیلتر کردن رکورد باعث شده است ضمن کاهش قابل توجه در زمان محاسبات، دقت قابل قبولی نیز حاصل شود. به عبارت دیگر، فیلتر کردن زلزله توسط تئوری موجک باعث شده است، زمان محاسبات به طور چشم گیری کاهش پیدا کند. همان گونه که انتظار میرفت، بیشترین سازگاری نتایج تحلیل با رکوردهای فیلتر شده با نتایج حاصل از رکورد اصلی زلزله، مربوط به فیلتر مرحله (گام) اول است. با افزایش گامهای فیلتر، ضمن کاهش زمان تحلیل، درصد اختلاف نتایج تحلیل نسبت به رکورد اصلی، بیشتر می شود.

با افزایش ارتفاع دیوار، نتایج تحلیل مربوط به مراحل بالاتر فیلتر کردن به نتایج تحلیل با رکورد اصلی زلزله نزدیکتر می شود. به عبارت دیگر، درصد اختلاف نتایج پس از فیلتر کردن زلزله نسبت به رکورد اصلی زلزله، با افزایش ارتفاع دیوار کاهش مییابد (تحلیل ها با دقت بیشتری انجام می شود).

رویهم رفته، می توان چنین برداشت کرد که در تحلیل دینامیکی دیوار حائل با رکوردهای فیلتر شده توسط تئوری موجک، می توان تا گام سوم فیلتر به راحتی و با دقت قابل

قبول از تئوری موجک برای فیلتر کردن زلزله، استفاده نمود. این کار باعث کاهش کاهش قابل توجه در زمان محاسبات (تا حدود ۸۰ درصد کاهش زمان محاسبات) میشود؛ ضمن اینکه اختلاف نتایج نسبت به حالتی که تحلیل ها با رکورد اصلی زلزله انجام میشود، خیلی چشمگیر نیست. این نتیجه زمانی که

ارتفاع ديوار بلندتر است، به مراتب قويتر مي شود. در انتها باید اشاره داشت که در تحلیل های انجام شده در این تحقیق، از مدل رفتاری موهر – کولمب استفاده شده است. این مدل رفتاری به طور ذاتی توانایی مدل کردن رفتار میرایی هیسترزیس در کرنشهای پایین را ندارد. بنابراین، باید توجه داشت که این نکته می تواند روی نتایج تغییر شکل ها و تنشهای بدست آمده از تحلیل های دینامیکی تاثیر داشته باشد. در هر صورت، از آنجا که هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد موجک در تحلیل دینامیکی دیوار حائل میباشد؛ و در کليه تحليلها (چه تحليل انجام شده با زلزله اصلي و چه تحلیل های انجام شده با رکوردهای فیلتر شده با موجک) از یک ساختار و روند استفاده شده است، می توان چنین برداشت نمود که اثر استفاده از موجک در مقایسه با زلزله اصلی می تواند دید کلی و کیفی قابل قبولی بدهد. بنابراین، هر چند با توجه به هندسه، لایه های مختلف خاک و استفاده از مدل های رفتاری متفاوت، ممکن است باعث تغییر در مقادیر عددی تغییرشکل ها و تنش ها شود، اما تاثیر نسبی استفاده از تئوری موجک را می توان کماکان صادق دانست.

**اعلام تعارض منافع** نویسندگان اعلام میکنند که هیچ نوع تعارض منافعی وجود ندارد.

مراجع

- 1. Fakher, A., Principles of Advanced Foundation Engineering. 2010, Tehran: University of Tehran.
- 2. Abdul-Hussain, N., M. Fall, and M. Saatcioglu, Blast response of cantilever retaining wall: Modes of wall movement. Transportation Geotechnics, 2023. 40: p. 100950.
- 3. Singh, P., et al., Numerical investigation and estimation of active earth thrust on gravity retaining walls under seismic excitation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2023. 167: p. 107798.
- 4. Kamalzadeh, A. and M.J. Pender, Dynamic response of Mechanically Stabilised Earth (MSE) structures: A

Decomposed Earthquake Records. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 2023. 47(4): p. 2365-2377.

- 19. Segaline, H., E. Sáez, and J. Ubilla, Evaluation of dynamic soil-structure interaction effects in buildings with underground stories using 1 g physical experimentation in a transparent shear laminar box. Engineering Structures, 2022. 266: p. 114645.
- Lin, J., et al., Application of wavelet transforms to the simulation of corrosion fields on buried pipelines. Computers & Structures, 2023. 276: p. 106957.
- Kamgar, R., M. Dadkhah, and H. Naderpour, Seismic response evaluation of structures using discrete wavelet transform through linear analysis. Structures, 2021. 29: p. 863-882.
- 22. Majidi, N., et al., Estimation of earthquake frequency content and its effect on dynamic analysis using continuous and discrete wavelet transform. Scientia Iranica, 2022. 29(6): p. 2773-2788.
- Sarkar, K., V.K. Gupta, and R.C. George, Waveletbased generation of spatially correlated accelerograms. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2016. 87: p. 116-124.

numerical study. Geotextiles and Geomembranes, 2023. 51(1): p. 73-87.

- 5. Hung, W.-Y., et al., Centrifuge modeling on the effect of mechanical connection on the dynamic performance of narrow geosynthetic reinforced soil wall. Geotextiles and Geomembranes, 2023.
- Guan, X. and G.S.P. Madabhushi, Dynamic response of a retaining wall with a structure on the dry backfill. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2022. 157: p. 107259.
- 7. Salajegheh, E. and A. Heidari, Time history dynamic analysis of structures using filter banks and wavelet transforms. Computers & Structures, 2005. 83(1): p. 53-68.
- 8. Salajegheh, E. and A. Heidari, Optimum design of structures against earthquake by wavelet neural network and filter banks. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2005. 34(1): p. 67-82.
- Salajegheh, E., A. Heidari, and S. Saryazdi, Optimum design of structures against earthquake by discrete wavelet transform. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2005. 62(15): p. 2178-2192.
- 10. Kamgar, R., et al., Application of discrete wavelet transform in seismic nonlinear analysis of soil– structure interaction problems. Earthquake Spectra, 2021. 37: p. 1980 - 2012.
- 11. Dadkhah, M., R. Kamgar, and H. Heidarzadeh, Reducing the Cost of Calculations for Incremental Dynamic Analysis of Building Structures Using the Discrete Wavelet Transform. Journal of Earthquake Engineering, 2022. 26(7): p. 3317-3342.
- 12. Kankanamge, Y., Y. Hu, and X. Shao, Application of wavelet transform in structural health monitoring. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2020. 19(2): p. 515-532.
- 13. Khanahmadi, M., O. Rezayfar, and M. Gholhaki, Damage Detection in Steel Plates Based on Comparing Analytical Results of the Discrete 2-D Wavelet Transform of Primary and Secondary Modes Shape. Journal of Structural and Construction Engineering, 2021. 8(5): p. 198-214.
- 14. XU Qian, Y.C., GUO Hong, GUO Guangling, Stability alarming for a pile plate retaining wall with damage. China Safety Science Journal, 2020. 30(2): p. 47-53.
- 15. Aghamolaei, M., et al., Performance-based analysis of cantilever retaining walls subjected to near-fault ground shakings. Computers and Geotechnics, 2021. 130: p. 103924.
- 16. Memarian Sorkhabi, O., M. Khajehzadeh, and S. Keawsawasvong, Landslides monitoring with SBAS-InSAR and 3D wavelet phase filtering. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2023: p. 103486.
- 17. Ha, S.J., H. Seo, and B. Kim, Effects of pulse-like ground motions and wavelet asymmetry on responses of cantilever retaining wall. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2023. 166: p. 107724.
- 18. Javdanian, H. and N. Goudarzi, Seismic Analysis of Geogrid-Reinforced Soil Retaining Walls Under

DOI: 10.22034/24.6.7 ]

# Using wavelet theory in the dynamic analyses of retaining walls coupled with soil medium

AhmadReza Seifoddin<sup>1</sup>, Heisam Heidarzadeh<sup>2\*</sup>, HamedReza Zarif<sup>3</sup>

1- MSc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2\*- Assotiate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: Heidarzadeh@sku.ac.ir.

3- Assotiate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

#### Abstract:

Retaining structure or retaining wall is a wall that acts as supporting structure and the stability of another structure. This wall is used for preventing collapse of soil and generally wherever lateral support is needed. The retaining wall can be designed as gravity, cantilever and supported. Considering that the retaining walls are essential in protecting the related structures to them, therefore, studying the dynamic behavior of these structures is very important due to the financial and human damages. Such structures should be stable against the forces acting on the wall. In addition to static loads, which are always an inseparable part of the calculations of such walls, forces such as cyclic forces caused by the movement of machinery and also dynamic forces caused by earthquake occur on the wall during the period of operation. These forces can be effected on retaining walls and should be investigated and evaluated. Trying to investigate and analyze the dynamic behavior of different retaining walls is one of the most challenging for different researchers.

The wavelet theory in the dynamic analysis of the issues related to civil engineering is going to be widespread. This research aims to investigate the effect of using wavelet theory in the dynamic analyses of concrete retaining walls. For this purpose, a soil medium along with concrete retaining walls with different dimensions (heights) are considered. Dynamic analyses are performed based on the finite element method. In the first stage of modeling, the Sarpol-e Zahab earthquake record is filtered during four steps using the discrete wavelet theory. The numerical models are prepared and subjected to the available records. The percentage of the difference in the results of the analyses done with the records obtained from the different steps of filtering record with wavelet compared to the analyses done with the main record, along with the reduction of the time consumption, is evaluated. As expected, the best match of the post-filtering results to the main earthquake results is for the first-step filter. It can be seen that even the first step filter reduces the analysis time by about 60%. Based on the obtained results, the difference between the results obtained with the filtered records becomes less compared to the main earthquake with the increase in the height of the wall. It has also been observed that acceptable results are still obtained, and the analysis time is reduced by almost 80% until the third step filter.

It should be noted that the Mohr-Coulomb behavioral model is used in the conducted analyzes in this research. This behavioral model is not inherently able to model hysteresis damping behavior at low strains. Therefore, this issue can affect the results of deformations and stresses obtained from dynamic analysis. However, the purpose of this research is to evaluate the performance of the wavelet in the dynamic analysis of the retaining wall. Considering that in all the analyses (both the performed analysis with the main earthquake and the performed analyzes with the wavelet filtered records) the same structure and trend are used, it can be concluded that the effect of using the wavelet compared to the main earthquake gives an acceptable overview and quality.

Keywords: Dynamic analysis, Retaining wall, Soil, Finite element, Wavelet theory.