

# تولید شتاب نگاشت های مصنوعی با استفاده از تبدیل موجک و ارزیابی رفتار خطی سازه تحت اثر شتاب نگاشت های تولیدی

مهرنوش حاجی پور<sup>۱</sup>، سعید پورزینلی<sup>۲</sup>

گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

hajipour\_m@yahoo.com

## خلاصه

در این مقاله برای تولید شتاب نگاشت های مصنوعی از تبدیل موجک برای انطباق طیف پاسخ شتاب نگاشت های واقعی انتخابی با طیف پاسخ آئین نامه ۲۸۰۰ (وبرایش سوم) استفاده شد. شتاب نگاشت های تولیدی دارای خصوصیات لرزه ای کاملاً متفاوت با شتاب نگاشت های واقعی انتخابی هستند، و نیز میزان پاسخ های لرزه ای ناشی از تحلیل تاریخچه زمانی خطی یک ساختمان ۴ طبقه با سیستم مهاربند هم محور فولادی، با استفاده از شتاب نگاشت های مصنوعی کمتر از مقادیر متناظر حاصل از تحلیل با شتاب نگاشت های واقعی مقیاس شده طبق آئین نامه ۲۸۰۰ هستند.

کلمات کلیدی: تبدیل موجک، تحلیل تاریخچه زمانی خطی، تولید شتاب نگاشت مصنوعی، انطباق طیف پاسخ با طیف طرح

## مقدمه

در کلیه ی آئین نامه های لرزه ای، نیاز به تحلیل دینامیکی در موارد خاص مانند نامنظمی در پلان و یا توزیع غیر یکنواخت جرم و سختی در ارتفاع ساختمان وجود دارد. در آئین نامه ها، متناسب با نوع زمین، چند طیف طرح پیشنهادی ارائه شده است. روش تحلیل طیف پاسخ به دلیل سادگی و توجه ویژه ای که آئین نامه ها در تهیه ی طیف های طراحی داشته اند، در اغلب تحلیل های خطی برای طراحی سازه ها مورد استفاده فراوان قرار می گیرد. نقطه ضعف اصلی آن، عدم توانایی در فراهم نمودن اطلاعات وابسته به زمان از پاسخ سازه است، که این اطلاعات گاهی در طراحی مناسب یک سازه ضروری است.

امروزه طراحی نهایی بسیاری از سازه های مهم مانند نیروگاه های هسته ای، سدها، سازه های بلند، پل های معلق، بر پایه آنالیز تاریخچه زمانی خطی و یا غیر خطی صورت می گیرد. برای انجام این گونه تحلیل ها نیاز به شتاب نگاشت های حرکت زمین در ساختمانگاه سازه وجود دارد. شبکه شتابنگاری در ایران در سال ۱۳۵۲ تأسیس شده است، و این امر سبب شده است که امروزه دسترسی به تاریخچه ی زلزله ی مناطق مختلف کشور دشوار گردد. با توجه به نیاز به شتاب نگاشت ها، در موارد عدم دسترسی، یک راه یافتن مکانی با شرایطی مشابه با شرایط فیزیکی منطقه ی مورد نظر برای طراحی سازه است، تا بتوان از شتاب نگاشت های ثبت شده در آن مناطق به طور مستقیم استفاده نمود، البته یافتن چنین نواحی عملاً کار دشواری است، با توجه به خصوصیت منحصر به فرد نیروهای زلزله در طراحی سازه ها، که هیچ گاه دو زلزله مشابه با هم وجود ندارد [۱]. استفاده از این روش هم دشواری و مشکلات خاص خود را دارد.

به جز نواحی خاصی از جهان که شتاب نگاشت های ثبت شده ی مناسب دارند، در سایر نقاط می توان از شتاب نگاشت های مصنوعی برای انجام تحلیل استفاده نمود. برای تولید شتاب نگاشت مصنوعی از گذشته تاکنون روشهای مختلفی ارائه شده است. با توجه به اینکه طبیعت شتاب نگاشت ها دارای دو حوزه زمان و فرکانس هستند، می توان تولید شتاب نگاشت ها را با توجه به حوزه ی استفاده شده در فرایند تولید آنها، به سه شاخه کلی تقسیم نمود، که عبارتند از: (۱) روشهای حوزه زمان، از قبیل نویز سفید فیلتر شده، فیلتر کانای-تاجیمی [۲]. (۲) روش های حوزه فرکانس، که در آنها محتوای فرکانسی مبنای مشابه سازی است، از قبیل روی هم گذاری موجهای سینوسی که با فازهای تصادفی تولید می شود [۳]. (۳) روش حوزه زمان - فرکانس، که مهمترین آن استفاده از تبدیل موجک در تولید شتاب نگاشت ها است.

برای اینکه شتاب نگاشت ها ی مصنوعی، پارامتر های لرزه ای معقول و نزدیک به واقعیت داشته باشند، استفاده از شتاب نگاشت های واقعی و اصلاح آنها توصیه شده است. این اصلاح از طریق همساز کردن طیف پاسخ شتاب نگاشت واقعی با طیف طرح آئین نامه صورت می گیرد. تبدیل موجک از

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> دانشیار سازه، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

جمله تبدیلات ریاضی جدیدی است که امروزه به طور وسیعی در علوم مختلف استفاده می شود، و کاربرد بسیار مناسبی برای بیان پدیده های غیر ایستا هم در حوزه زمان و هم حوزه فرکانس دارد. در این پژوهش به منظور انطباق طیف پاسخ شتاب نگاشت ها با طیف طرح آئین نامه از روش تبدیل موجک استفاده شده است. در نهایت، با استفاده از شتاب نگاشت های مصنوعی تولید شده و همچنین شتاب نگاشت های واقعی مقیاس شده مطابق با بند های آئین نامه ۲۸۰۰، یک ساختمان ۴ طبقه فولادی مورد تحلیل تاریخیچه زمانی خطی قرار گرفته است.

#### از تبدیل فوریه تا تبدیل موجک

تبدیلات ابزار مناسبی برای ارائه اطلاعات اضافی و مخفی از تابع اصلی هستند، و نیز استفاده از تابع تبدیل یافته نسبت به تابع اولیه، آسان تر است. تبدیلات در ابتدا به وسیله فوریه در سال ۱۸۰۵ آغاز شد. آنالیز فوریه به بیان تابع با استفاده از تکه نمودن آن به موجهای سینوسی با فرکانس های مختلف می پردازد [۵و۴]. در این تبدیل، ضریب  $a(s)$ ، به صورت معادله (۱) بیان می شود که در واقع دامنه ی مؤلفه های فرکانس را در تابع  $f$  نشان می دهد. با توجه به محدوده ی انتگرال گیری، مشخص است که تعیین محل فرکانس خاص در محدوده مکانی (زمانی) با استفاده از تبدیل فوریه غیر ممکن است و تنها می توان میزان حضور فرکانس  $s$  را در تابع  $f$  اندازه گیری نمود. بنابراین، در پدیده های غیرایستا، که دارای مؤلفه های فرکانسی متغیر نسبت به زمان هستند، با استفاده از تبدیل فوریه نمی توان به زمان وقوع مؤلفه ها پی برد و تنها کاربرد مؤثر تبدیل فوریه، در پدیده های ایستا است، که مؤلفه های فرکانسی ثابت در زمان دارند و نیازی به دانستن اطلاعات زمانی وجود ندارد [۶].

$$a(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u).e^{-i2\pi su} du. \quad (1)$$

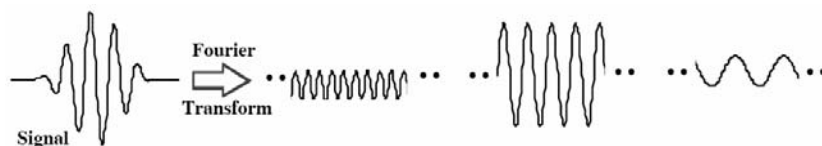
به منظور آنالیز پدیده های غیر ایستا، اولین اصلاح در تبدیل فوریه توسط گابور در سال ۱۹۴۶، انجام شد. او بیان می کند که سیگنال با استفاده از پنجره های زمانی به بخش هایی جدا شود و سپس با فرض ایستا بودن هر بخش برای آن تکه آنالیز فوریه صورت گیرد [۵و۴]. تابع معیار مربوط به تبدیل فوریه در یک تابع پنجره ای  $g(u)$  ضرب می شود و تابع معیار فوریه پنجره زمانی ایجاد می شود. مطابق معادله (۲) با استفاده از توابع ثانویه  $g(u)$  که از انتقال تابع پنجره ای در طول سیگنال و یا تابع اصلی حاصل می شود، تابع معیار در یک همسایگی حوزه ی زمانی متمرکز می شود. برای هر مکانی که پنجره قرار می گیرد، تبدیل فوریه متفاوت بدست می آید، بنابراین به طور همزمان اطلاعات زمانی - فرکانسی حاصل می گردد.

$$\tilde{f}(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(u-t).f(u).e^{-i2\pi\omega u} du = \int_{-\infty}^{\infty} g_{\omega,t}(u).f(u)du \quad (2)$$

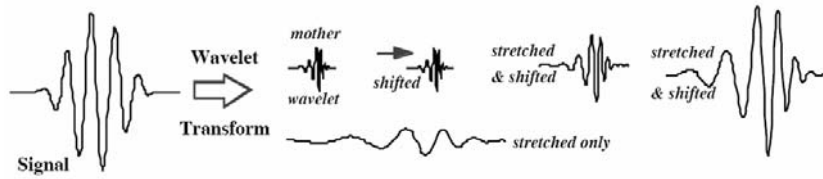
اساس تبدیل فوریه پنجره زمانی با فرض ایستا بودن هر بخش داخل پنجره است. بنابراین، باید پنجره ها به میزان کافی باریک باشند. این امر سبب می شود که اطلاعات زمانی، مناسب ارائه گردند، اما در ارائه اطلاعات فرکانسی ضعیف عمل می کند. برای بیان دقیق فرکانس ها (جداسازی فرکانس های نزدیک به یکدیگر) باید عرض پنجره ها بزرگ باشند، که این امر سبب ارائه اطلاعات ضعیف زمانی می شود. در تبدیل فوریه پنجره ای، عرض پنجره ها ثابت است، بنابر این با توجه به مطالب اشاره شده نمی توان همزمان به اطلاعات مناسب از زمان و فرکانس دست یافت [۷].

برای حل مشکلات اشاره شده در سال ۱۹۸۰، مرلت و گروسمن، استفاده از توابع پنجره ای با اندازه های مختلف برای بررسی محدوده ی فرکانس متفاوت سیگنال و یا تابع اصلی پیشنهاد کردند [۵و۴]. یک تابع اولیه که به عنوان تابع پنجره ای استفاده می شود، موجک مادر نامیده می شود و سایر توابع پنجره ای با استفاده از مقیاس نمودن این موجک مادر و جابه جا نمودن در طول زمان سیگنال اصلی حاصل می شوند. ادامه کار مانند روش تبدیل فوریه پنجره زمانی است، به این تبدیل، تبدیل موجک می گویند. به این دلیل موجک نامیده می شود، که آنها به مانند موجها یک تابع نوسانی از زمان و مکان هستند اما بر خلاف موجها (مانند توابع سینوسی در تبدیل فوریه) که در طول زمان گسترده شده اند، موجک ها شامل یک شروع و خاتمه هستند و انرژی خود را در زمانی خاص متمرکز می کنند [۸و۶] و طبق تعریف باید میانگین آنها صفر باشد [۹و۱۰].

تفاوت میان تبدیل موجک و تبدیل فوریه در شکل (۱) و (۲) ترسیم شده است. هنگامیکه ابعاد پنجره کوچکتر باشد، موجک فشرده تر می گردد و آشکار سازی جزئیات مربوط به تابع اصلی نیز بیش تر می گردد. در آنالیز فرکانس های پائین، تبدیل موجک به طور خود به خود از پنجره های عریض تر برای نمایش بهتر فرکانس استفاده می کند. در مورد فرکانس های بالا از پنجره های باریک تر برای نمایش بهتر زمانی استفاده می کند. طبق آنچه تاکنون گفته شد، تبدیل موجک ابزار بسیار قدرتمند و مناسب برای آنالیز پدیده های غیرایستا و متغیر زمانی است، و تابع را هم در حوزه ی زمان و هم در حوزه فرکانس بیان می کند.



شکل ۱- تبدیل فوریه با استفاده از توابع سینوسی با فرکانس های مختلف.



شکل ۲- تبدیل موجک با استفاده از مقیاس های مختلف و انتقال تابع پایه.

تبدیل موجک تابع  $f(t)$  نسبت به تابع پایه  $\psi(t)$  به صورت زیر تعریف می شود.

$$C(s, p) = \tilde{f}(s, p) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{s,p}(t) dt \quad (3)$$

$$\psi_{s,p}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-p}{s}\right) \quad (4)$$

در این روابط  $s, p$  به ترتیب مقیاس و پارامتر انتقال هستند.  $s$  بیانگر معکوس فرکانس است. تابع  $f(t)$  با استفاده از ضرایب قابل بازیابی است.

$$f(t) = \frac{1}{K_\psi} \iint_{\mathbb{R}^2} |s|^{-2} \tilde{f}_{s,p}(t) \psi_{s,p}(t) ds dp \quad (5)$$

که در آن ضریب  $K_\psi$ ، به تابع موجک پایه بستگی دارد.

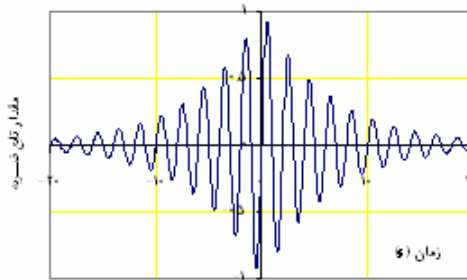
$$K_\psi = \int_0^\infty \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (6)$$

فرایند تولید شتاب نگاشت مصنوعی

کارائی تبدیل موجک بستگی به نوع موجک مادر (پایه) پیشنهادی دارد. برای تولید شتاب نگاشت مصنوعی از تابع موجک پایه پیشنهادی سوارز و مونتجو استفاده شده است. موجک پایه به صورت زیر است.

$$\psi(t) = e^{-\xi|t|} \sin \Omega t \quad (7)$$

پارامتر  $\xi$  و  $\Omega$ ، به ترتیب کاهش دامنه و تغییرات زمانی موجک را مشخص می کنند و از آنها به عنوان ضریب میرایی و فرکانس طبیعی یک نوسانگر یک درجه آزادی تفسیر می شوند. در تولید شتاب نگاشت از مقادیر  $\xi = 0.05$  و  $\Omega = \pi$  استفاده می شود [۱۱]. تابع موجک مطابق با شکل (۳) است.



شکل ۳- مقادیر تابع موجک پایه بر حسب زمان برای  $\Omega = \pi$  و  $\xi = 0.05$ .

در این بررسی، تابع  $f(t)$  همان شتاب نگاشت های مربوط به حرکت زمین است، که با  $\ddot{X}_g(t)$  نمایش داده می شود، و نیز چون در اینجا هدف ایجاد شتاب نگاشتی متفاوت با شتاب نگاشت اولیه است، نیازی به بازیابی تابع اولیه وجود ندارد، پس  $K_\psi = 1$  است، بنابر این معادله (۵) به صورت معادله (۸) اصلاح می گردد.

$$\ddot{X}_g(t) = \int_{s=0}^{\infty} \left( \int_{p=-\infty}^{\infty} |s|^{-2} C(s, p) \psi_{s,p}(t) dp \right) ds = \int_0^{\infty} D(s, t) ds \quad (8)$$

که تابع  $D(s, t)$  تابع جزئیات نامیده می شود. در تبدیل فوریه هرچه تعداد فرکانس های بررسی شده بیش تر باشند میزان دقت بیان تابع افزایش می یابد، در تبدیل موجک نیز هرچه تعداد توابع جزئیات بیش تر باشند، دقت بیان تابع اصلی افزایش می یابد [۱۲]. در عمل به جای پارامتر های پیوسته مقیاس، از مجموعه ای متشکل از  $n$  مقدار گسسته  $a_j$  استفاده می شود که به صورت معادله (۹) تعریف می گردد.

$$s_j = 2^{j/8}, \quad j = -50, -49, \dots, 12 \quad (9)$$

در کاربردهای عملی، شتاب زمین در بازه های زمانی مساوی  $\Delta t$ ، نمونه برداری می شود، اگر فرض شود که شتاب نگاشت در  $N$  زمان مجزای  $t_k$ ، نمونه گیری شده است،  $p$  هم باید یک مجموعه  $N$  تایی غیر پیوسته باشد. ضرایب گسسته تبدیل موجک با عبارت تقریبی (۱۰) و تابع جزئیات به شکل گسسته در معادله (۱۱) قابل بیان است:

$$C(s_j, p_i) \approx \frac{\Delta t}{\sqrt{s_j}} \sum_{k=1}^N f(t_k) \psi\left(\frac{t_k - p_i}{s_j}\right), \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$D(s_j, t_k) \approx \frac{\Delta p}{s_j^{5/2}} \sum_{i=1}^N C(s_j, p_i) \psi\left(\frac{t_k - p_i}{s_j}\right), \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, N \quad (11)$$

فرکانس غالب و دوره تناوب هر تابع جزئیات به صورت معادله (۱۲) بیان می گردد:

$$T_j = \frac{2\pi}{\Omega} s_j, \quad \omega_j = \frac{\Omega}{s_j} \quad (12)$$

فرایند تولید بدین صورت است که در ابتدا با توجه به مقیاس های اشاره شده، توابع جزئیات محاسبه می شوند. طیف پاسخ شتاب نگاشت واقعی انتخابی در دوره تناوب های  $T_j$ ، محاسبه و نسبت طیف هدف به این طیف در پیوندهای مختلف با توجه به معادله (۱۳) محاسبه می شوند [۱۱].

$$\gamma_j = \frac{[S_a(T_j)]_{target}}{[S_a(T_j)]_{reconstructed}} \quad (13)$$

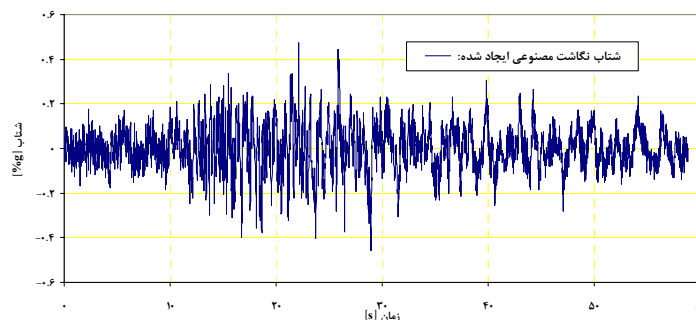
هر تابع جزئیات در نسبت  $\gamma_j$  مربوطه، ضرب و نگاشت جدید بازسازی می شود. مجدداً طیف پاسخ این نگاشت بدست می آید. این فرایند تکرار ادامه می یابد تا هنگامیکه میزان خطای محاسبه شده با استفاده از معادله (۱۴) در گام های تکرار، کمتر از  $1\%$  گردد، و به عبارتی دیگر همه مقادیر  $\gamma_j$ ، به میزان کافی به ۱ نزدیک گردند.

$$e(\%) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{S_a(T_j)_{target} - S_a(T_j)_{reconstructed}}{S_a(T_j)_{target}} \right)^2} \times 100 \quad (14)$$

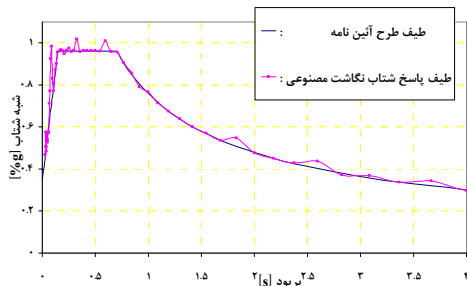
بدین ترتیب در آخرین گام، با کمترین خطا، شتاب نگاشتی با طیف پاسخی منطبق بر طیف هدف تولید خواهد شد.

تولید شتاب نگاشت مصنوعی با استفاده از شتاب نگاشت های واقعی انتخابی

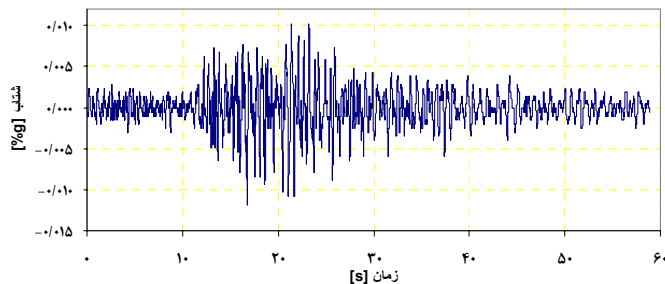
در این تحقیق، شتاب نگاشت مربوط به ۵ زلزله با خصوصیات کاملاً متفاوت، ثبت شده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران [۱۳]، انتخاب شده است. این تفاوت ها شامل فاصله از گسل، مدت زمان زلزله، انرژی ورودی و ... است. البته در تمامی موارد بزرگای گشتاوری کمتر از ۶.۵ و خاک ها از نوع III هستند. همان طور که اشاره شد، طیف پاسخ شتاب نگاشت مصنوعی تولید شده باید با طیف طراحی زمین شرح داده شده در آئین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش سوم)، برای منطقه با خطر لرزه خیزی بسیار زیاد و خاک نوع III، سازگار باشد. طیف هدف، استفاده شده در این مقاله، از حاصلضرب طیف بازتاب آئین نامه ۲۸۰۰، در شتاب مبنای طرح حاصل شده است، و به صورت ضربی از  $g$  بیان می شود. با اعمال روش انطباق طیفی با استفاده از تبدیل موجک، شتاب نگاشت های مصنوعی با خصوصیات کاملاً متفاوت با شتاب نگاشت های اولیه، حاصل شدند. به منظور درک بهتر، شتاب نگاشت واقعی مربوط به مؤلفه  $T$ ، زلزله کجور- فیروز آباد ثبت شده در ایستگاه کیاسر در شکل (۴) نشان داده شده است. انطباق طیفی در شکل (۵) و شتاب نگاشت مصنوعی تولید شده، برای همین مؤلفه شتاب نگاشت، در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴- شتاب نگاشت حقیقی مربوط به مؤلفه  $T$ ، زلزله کجور - فیروز آباد در ایستگاه کیاسر.



شکل(۵): انطباق طیف های پاسخ هدف و شتاب نگاشت مصنوعی حاصل از مؤلفه ی T زلزله کجور- فیروز آباد در ایستگاه کیاسر.



شکل(۶): شتاب نگاشت مصنوعی مربوط به مؤلفه ی T، زلزله کجور - فیروز آباد در ایستگاه کیاسر.

مطالعات نشان داد که زلزله حقیقی اشاره شده دارای  $PGA = 0.12g$  در زمان  $16.76$  ثانیه است، و نیز  $PGV = 1.07 \text{ cm/s}$  در زمان  $21.58 \text{ s}$  است. شتاب نگاشت مصنوعی تولید شده از همین مؤلفه زلزله دارای  $PGA = 0.47g$  در زمان  $22.14$  ثانیه است، و نیز  $PGV = 68.69 \text{ cm/s}$  در زمان  $29.04 \text{ s}$  است. همان طور که مشاهده می شود مقادیر حداکثر شتاب و سرعت در دو حالت کاملاً متفاوت و حتی زمان وقوع کاملاً متمایز دارند. مشخصات سایر شتاب نگاشت های واقعی و مصنوعی تولید شده در جدول (۱) ارائه شده است. مشاهده می شود که حتی فرکانس غالب و مدت زمان حرکت شدید هم تغییر نموده است، در واقع انطباق طیفی سبب تغییر مشخصات ذاتی شتاب نگاشت های واقعی گردیده است.

جدول ۱- مقایسه میان داده های شتاب نگاشت های ورودی و شتاب نگاشت های شبیه سازی شده.

مدت زمان حرکت شدید (sec)	پریود غالب (sec)		PGV cm/s		زمان وقوع حداکثر شتاب [s]		PGA [%g]		$\frac{S_a}{g}$	ایستگاه	زلزله
	مصنوعی	واقعی	مصنوعی	واقعی	مصنوعی	واقعی	مصنوعی	واقعی			
۲۴,۲۸	۰,۱۴	۰,۳	۹۸,۷	۲۲,۱۷	۱۰,۷۴	۱۲,۱	۰,۴۳	۰,۱۳	L	ایهر- ۱۳۵۴	منجیل
۲۱	۰,۲۴	۰,۳	۱۰۶,۲۷	۶۲,۴۴	۱۰,۲۴	۱۰,۲۲	۰,۵۱	۰,۲۱	T		
۲۱,۲۷	۰,۳۶	۰,۱	۸۵,۶۴	۱۰,۲	۱۸,۷۶	۱۸,۷۶	۰,۵۵	۰,۱۶	L	خان زاینو- ۲۱۳۰-۱	کره بس
۲۰,۵	۰,۲۴	۰,۱۸	۷۰,۴۹	۱۰,۲۸	۱۴,۳۸	۱۴,۳۸	۰,۴۶	۰,۱۲	T		
۲۳,۲۶	۰,۱۸	۰,۴۴	۹۱,۹۸	۱۳,۴۲	۱۸,۷۲	۱۵,۰۴	۰,۴۷	۰,۱۲	L	آبگرم -	آوج -
۲۲,۵۸	۰,۴۸	۰,۴۲	۸۷,۸۴	۱۰,۵	۱۶,۸۴	۱۶,۱۲	۰,۴۶	۰,۱۳	T	۲۷۴۸-۱	چنگوره
۲۶,۰۸	۰,۶۸	۰,۱۴	۷۱,۳۴	۱,۵۵	۱۵,۷۴	۱۳,۹۶	۰,۴۷	۰,۰۴۲	L		آوج -
۲۶,۹۶	۰,۵۶	۰,۱۶	۱۰۵,۴۸	۱,۶۹	۱۵,۱۴	۱۵,۱۴	۰,۴۸	۰,۰۲۴	T	۲۷۸۷-۳	چنگوره
۴۲,۲۸	۰,۲۲	۰,۴۶	۷۸,۶۳	۱,۳۳	۲۰,۵	۲۰,۵	۰,۴۷	۰,۰۱۴	L		کجور -
۴۴,۷۶	۰,۰۸	۰,۵۲	۶۸,۶۸۹	۱,۰۷	۲۲,۱۴	۱۶,۷۶	۰,۴۷	۰,۰۱۲	T	۳۳۷۹	فیروز آباد

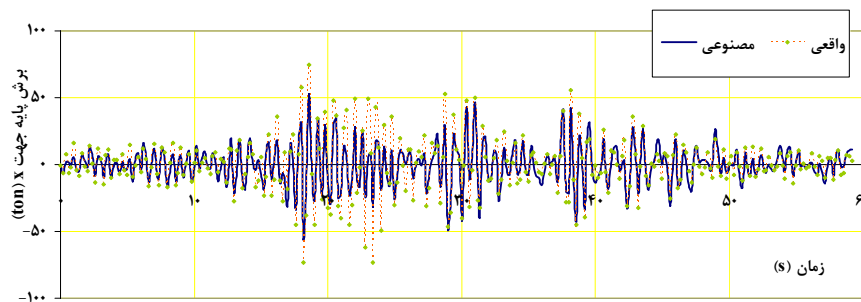
تحلیل تاریخیچه زمانی خطی

به منظور بررسی تفاوت خواص مربوط به شتاب نگاشت های مصنوعی تولید شده و شتاب نگاشت های واقعی، به بررسی اثر آنها بر روی یک ساختمان فولادی ۴ طبقه با سیستم قاب مهاربندی هم محور فولادی، در منطقه ای با خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع III پرداخته شد، پارامتر های طراحی مربوط به این ساختمان در جدول (۲) آمده است.

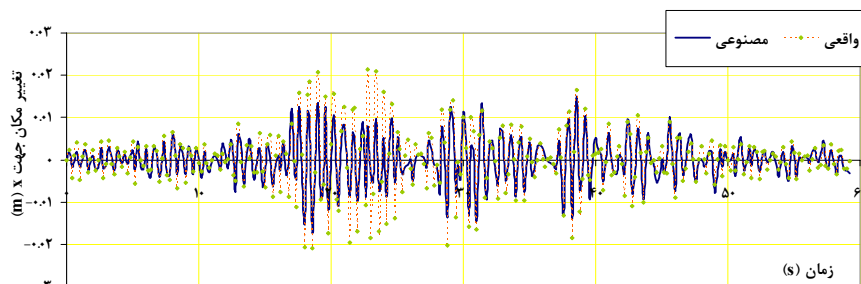
جدول ۲- پارامتر های مربوط به سازه مورد نظر با توجه به آئین نامه ۲۸۰۰.

سیستم مقاوم	ضریب رفتار	شتاب مبنای طرح	ضریب اهمیت ساختمان	پریود سازه
قاب ساده - مهاربند هم محور فولادی	R=۶	A=۰,۳۵	I=۱	$T = 0.05H^{3/4} = 0,38$

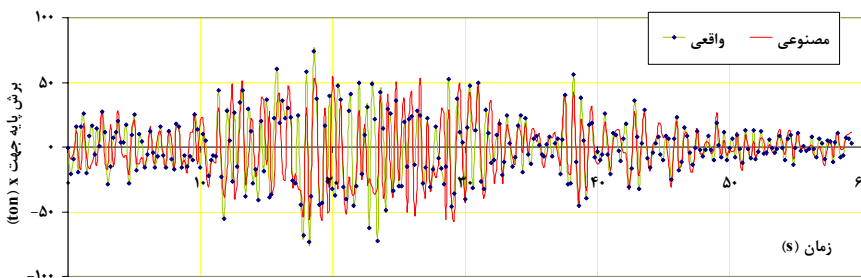
اعمال روش انطباق طیفی با استفاده از تبدیل موجک، سبب بوجود آمدن مقدار قابل ملاحظه سرعت و جابه جایی در انتهای دامنه ی زمانی نگاشت های تولید شده می گردد. برای رفع این مشکل از تصحیح خط مبنا با استفاده از نرم افزار SeismoSignal [۱۴] استفاده شد. بررسی نشان داد که استفاده از تصحیح خط مبنا، انطباق طیفی را چندان تغییر نمی دهد، و شتاب نگاشت های مصنوعی اصلاح شده، با دقت مناسبی دارای طیف پاسخی منطبق بر طیف هدف اولیه هستند [۱۵]. در ادامه تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی، با استفاده از شتاب نگاشت های واقعی و مصنوعی، که در هر دو مورد تصحیح خط مبنا صورت گرفته، انجام شد. شتاب نگاشت های واقعی، مطابق با دستورات آئین نامه ۲۸۰۰ ایران مقیاس شده اند و در تحلیل مورد استفاده قرار گرفتند. روش تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان در تراز پایه ساختمان، حاصل می شود. هر زوج شتاب نگاشت همزمان در دو جهت عمود بر هم، در امتداد اصلی سازه به آن اثر داده می شود، و بازتاب های سازه به صورت تابعی از زمان تعیین می گردند. بازتاب نهایی سازه در هر لحظه برابر با حداکثر بازتاب های به دست آمده از تحلیل با مجموعه زوج شتاب نگاشت ها است. برای نمونه بازتاب های بدست آمده از تحلیل با شتاب نگاشت های مصنوعی و واقعی مقیاس شده مربوط به زلزله کجور- فیروز آباد ثبت شده در ایستگاه کیاسر برای برش پایه در جهت X و تغییر مکان مرکز جرم طبقه بام در جهت X در شکل (۷) و (۸) و مقادیر مشابه برای مقادیر ماکزیمم ناشی از تحلیل با مجموعه شتاب نگاشت ها در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود، مقادیر بازتاب های سازه ناشی از تحلیل با شتاب نگاشت های مصنوعی کمتر از تحلیل با شتاب نگاشت های واقعی مقیاس شده، هستند.



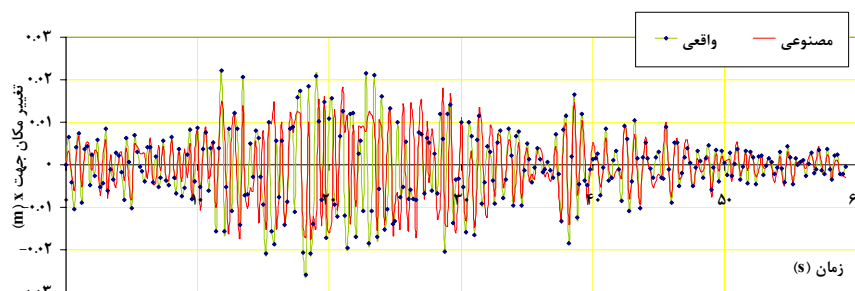
شکل ۷- برش پایه در جهت X بر حسب زمان، مربوط به زلزله کجور- فیروز آباد ثبت شده در ایستگاه کیاسر، در دو حالت مصنوعی و واقعی مقیاس شده.



شکل ۸- تغییر مکان مرکز جرم طبقه بام در جهت X بر حسب زمان، مربوط به زلزله کجور- فیروز آباد ثبت شده در ایستگاه کیاسر، در دو حالت مصنوعی و واقعی مقیاس شده.



شکل ۹- برش پایه نهایی در جهت X بر حسب زمان، مربوط به مجموعه زلزله های انتخابی در دو حالت مصنوعی و واقعی مقیاس شده.



شکل ۱۰- تغییر مکان نهایی مرکز جرم طبقه بام، در جهت X برحسب زمان، مربوط به مجموعه زلزله های انتخابی در دو حالت مصنوعی و واقعی مقیاس شده.

جدول ۳- مقادیر بازتاب نهایی سازه ناشی از تحلیل با مجموعه شتاب نگاشت ها.

تحلیل با شتاب نگاشت های مصنوعی	تحلیل با شتاب نگاشت های واقعی	بازتاب	بازتاب نهایی
۵۷۰۹۰	۷۴۷۹۸	ماکزیمم برش پایه در جهت X (kgf)	
۰,۰۱۸۶۳	۰,۰۲۵۹	ماکزیمم تغییر مکان مرکز جرم طبقه بام در جهت X (m)	

#### نتیجه گیری

روش تبدیل موجک ابزاری مناسب و قدرتمند برای تولید شتاب نگاشت ها، از طریق اصلاح شتاب نگاشت های واقعی است. اصلاح از طریق همساز نمودن طیف پاسخ شتاب نگاشت های واقعی با طیف هدف (طیف طرح آئین نامه ۲۸۰۰ ایران) صورت می گیرد. روش انطباق طیفی با استفاده از تابع موجک پایه پاسخ ضربه، با افزایش اثر مؤلفه های با فرکانس بالا و پائین به ترتیب سبب افزایش و کاهش فرکانس غالب خواهد شد و به نوعی مانند یک فیلتر عمل می کند. روش پیشنهادی دارای سرعت و دقت مناسب در همگرایی است. شتاب نگاشت های مصنوعی تولید شده دارای خصوصیات ذاتی کاملاً متفاوت با شتاب نگاشت های واقعی انتخابی هستند، به عبارت دیگر مقادیر حداکثر شتاب و سرعت و زمان وقوع آنها، فرکانس غالب، مدت زمان حرکت شدید و انرژی ورودی کاملاً متمایزی دارند. بازتاب های نهایی ناشی از تحلیل خطی تاریخچه ی زمانی با شتاب نگاشت های مصنوعی مقادیر کمتری نسبت به تحلیل با شتاب نگاشت های واقعی مقیاس شده دارند.

#### قدردانی

در پایان لازم است از همکاری جناب آقای دکتر هاشم صابری نجفی، که راهنمایی های ارزنده ای در اختیار نگارندگان قرار داده اند، صمیمانه سپاسگزاری گردد.

#### مراجع

- Clough, R. W. and Penzien, J. (1993) *Dynamics of Structures*. Second Edition, McGraw-Hill.
- Rofooei, F. R., Aghababaii Mobarake, A. and Ahmadi, G. (2001) Generation of artificial earthquake records with a nonstationary Kanai-Tajimi model. *Engineering Structures*, 23, 827-837.
- Sato, T. and Murono, Y. (2003) Simulation of earthquake motion from phase information. *Journal of Natural Disaster Science*, 25 (2), 93-101.
- Graps, A. (1995) An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering*, 2 (2), 50-61.
- Lang, W. C. and Forinash, K. (1998) Time –frequency analysis with the continuous wavelet transform. *Am. J. Phys*, 66 (9), 794-707.
- Fugal, D. L. (2006) *Conceptual Wavelet in Digital Signal Processing*. Space and Signals Technologies.
- Loh, R. H. (2003) Time –series forecast with neural network and wavelet technique. *Bachelor Thesis*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Queensland.
- Burrus, C. S., Gopinath, R. A. and Guo, H. (1998) *Introduction to Wavelets and Wavelets Transforms*. Prentice – Hall.
- Rafiqul Islam, M. (2005) Approximation by wavelets. *Master Thesis in Mathematics*. King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.
- Strang, G. (1989) Wavelets and Dilation Equations: A Brief Introduction. *SIAM Review*, 3 (4), 614-627.
- Suarez, L. E. and Montejo, L. A. (2005) Generation of artificial earthquakes via the wavelet transform. *International Journal of Solids and Structures*, 42, 5905-5919.

12. Newland, D. E. (1993) *An Introduction to Random Vibrations, Spectral and wavelet analysis*. Third Edition, John Willey & Sons.
13. Building and Housing Research Center (BHRC). Available from URL: <http://www.bhrc.ac.ir/>
14. SeismoSignal, ver.3.2.0: SeismoSignal is A Computer Program for Signal Processing of Strong-Motion Data, Available from URL: <http://www.seismosoft.com/>
15. Boore, D. M., Stephens, C. D. and Joyner, W. B. (2002) Comments on baseline correction of digital strong-motion data: examples from the 1999 Hector Mine, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (4), 1543-1560.