



تأثیر شتابنگاشت‌های مصنوعی تولید شده بر پایه روش موجک بر قاب‌های فولادی مهاربندی شده

مهرسا میرزا حسینی^۱، محمدعلی کافی^۲، رضا وهدانی^۳
(تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۳، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴)

چکیده

امروزه استفاده از رکوردهای زلزله در تحلیل و طراحی سازه‌ها بسیار مرسوم گردیده است، با این وجود رکوردهای ثبت شده زمین لرزه برای هر منطقه با شرایط مورد نظر وجود ندارد. به جز تعداد خاصی از نواحی جهان که شتاب نگاشت‌های ثبت شده‌ی مناسب دارند، در سایر مناطق می‌توان برای انجام تحلیل از شتاب نگاشت‌های مصنوعی استفاده نمود. تبدیلات موجک یکی از روش‌های قدرتمندی است که جهت تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی منطبق بر طیف هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقاله حاضر به منظور بررسی روش مذکور، تعدادی از رکوردهای ثبت شده در نواحی مختلف، مربوط به زلزله‌های دور از گسل، با استفاده از روش تبدیل موجک تجزیه و با طیف پاسخ هدف انطباق داده شده است، جهت انطباق طیفی از طیف طرح لرزه‌ای موجود در استاندارد ۲۸۰۰ ایران مربوط به زمین نوع III و منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد استفاده شده است. در ادامه جهت بررسی اثر رکوردهای اولیه و نگاشت‌های مصنوعی تولید شده، ساختمان فولادی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده‌ی کارایی مطلوب روش موجک در فرآیند انطباق طیفی بوده و میزان خطای عدم انطباق را تا حدود ۵ درصد کاهش می‌دهد و شتابنگاشت‌هایی با خواص متمایز نسبت به رکوردهای اولیه تولید خواهد شد. همچنین کاربرد شتابنگاشت‌های حاصل، نتایج تحلیل سازه را تا حد زیادی تغییر خواهد داد.

کلمات کلیدی

زلزله مصنوعی، طیف پاسخ هدف، تبدیل موجک، قاب فولادی

The Effect of Wavelet based Artificial Earthquake in Concentrically Braces Frame

M. Mirzahassemi, M.A. Kafi, R. Vahdani

ABSTRACT

Nowadays, the earthquakes records have been severally used in order to analysis and design of structures. Nevertheless, there are no registered earthquake records for each region regarding its conditions except some regions which have appropriate recorded accelerograms. In other regions, the artificial accelerograms can be used in order to analysis. Transform wavelet is one of the powerful methods which has been used to production of artificial accelerograms according to target spectrum. In the present study, in order to investigate the mentioned method, some of the registered records in different areas, related to far filled earthquakes, has been coincident to target responded spectrum. Iran's designing spectrum based on the 2800 constitution related to the ground of type III, has been used for spectrum adaptation. In order to investigate the effect of initial records and synthetic generated records, steel frames containing 5, 10 and 15 floors have been evaluated. The results indicate that the wavelet method has a good performance for spectrum adaptation, and mismatch error reduces to about 5% and it produces accelerograms with different characteristics compared with the primary records. Also, the amounts of constituent response in the produced artificial records have been increased considerably compared to primary records.

KEYWORDS

Artificial earthquake, Target responded spectrum, Wavelet, Concentrically brace, Steel frame

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، mirzahassemi@semnan.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، mkafi@semnan.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان



قطعیت‌های بسیاری بوده و دارای پارامترهای ناشناخته بسیار زیادی می‌باشند. پارامترهای این مدل‌ها معمولاً برای هر زلزله منحصر به فرد است بنابراین مدل‌های ژئوفیزیکی برای پیش بینی حرکات زمین در رخداد‌های آینده مناسب نمی‌باشد.

مدل‌های تصادفی به طور صریح مکانیزم‌های فیزیکی را در طول حرکات زمین مدل نمی‌کنند بلکه از خصوصیات و ویژگی‌های حرکات ثبت شده زمین و یا معیارهای مورد انتظار حرکات زمین (مانند طیف پاسخ طرح) برای بدست آوردن حرکات زمین استفاده می‌کنند. از مدل‌های تصادفی اولیه می‌توان الگوریتم (Gasparini و همکاران در سال ۱۹۷۶) [۴] را نام برد که براساس طیف تکاملی Priestely (سال ۱۹۶۵) [۵] بنا شده است. در روش‌های طیفی مذکور، شبیه‌سازی‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که نتیجه حاصل دارای تابع چگالی طیفی توان و یا طیف پاسخ مورد نظر باشد. این روند با تولید فرآیندهای نوفه سفید فیلتر شده به همراه مدولاسیون برای مدل کردن غیر ایستایی انجام می‌پذیرد.

ابزار آنالیز توابع زمانی مانند تکنیک Autoregressive-moving-average (ARMA) نیز برای شبیه‌سازی حرکات زمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Box و همکارانش در سال ۱۹۹۴ [۶]) که در آن غیر ایستایی سیگنال زلزله در فضاها فرکانس و زمان مورد نظر قرار می‌گیرند. مدل‌های ARMA مقدار یک فرآیند تصادفی ایستا را در یک زمان مشخص به صورت ترکیب خطی مقادیر پیشین فرآیند به اضافه ترکیب خطی مقادیر پیشین و حال فرآیند ایستای گوسی با واریانس معلوم در نظر می‌گیرد. محققان زیادی از روش ARMA برای شبیه‌سازی حرکات زمین استفاده کرده‌اند (Chang و همکارانش [۷] در سال ۱۹۸۲، Mobarakeh و همکارانش [۸] در سال ۲۰۰۲). این امر با محاسبه پارامترهای ARMA مربوط به سیگنال هدف، به عنوان کمیت‌های متغیر زمانی امکان پذیر می‌باشد. کاربر باید طول پنجره‌ای را که پارامترها در آن محاسبه می‌شوند و نیز مرتبه را که پنجره‌های مجاور روی هم قرار می‌گیرند، محاسبه کند. برای انتخاب طول پنجره

جهت تعیین نیروی ناشی از زلزله در سازه‌ها، آیین نامه‌ها عموماً سه روش متفاوت با درجات دقت مختلف پیشنهاد می‌کنند: روش معادل استاتیکی، روش تحلیل مودی و روش تحلیل تاریخچه زمانی. با توجه به محدودیت روش‌های معادل استاتیکی و مودال به ویژه در تحلیل سازه‌های خاص (که دارای مودهای نزدیک به هم یا درصد مشارکت مودی پایین هستند) عموماً روش سوم پیشنهاد می‌شود [۱]. از طرفی در کلیه آیین نامه‌های لرزه‌ای، نیاز به تحلیل دینامیکی در موارد خاص مانند نامنظمی در پلان و یا توزیع غیر یکنواخت جرم و سختی در ارتفاع ساختمان وجود دارد. انجام این گونه تحلیل‌ها نیازمند شتاب نگاشت‌های حرکت زمین در ساختگاه سازه می‌باشد.

با توجه به کمبود شتابنگاشت‌های ثبت شده زلزله و همچنین محدودیت و اشکالات موجود در آنها از یک سو و استفاده روز افزون از آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی از سوی دیگر، تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی امری ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون روش‌های مختلفی جهت تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی ارائه شده است که هر یک برگرفته از الگویی خاص می‌باشد. مدل‌های موجود برای شبیه‌سازی حرکات زمین عموماً به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدل‌های ژئوفیزیکی (فیزیکی) و مدل‌های تصادفی. در مدل‌های ژئوفیزیکی، حرکت زمین در یک محل، از مجموع یک فرآیند چشمه لرزه‌زا و توابعی که انتشار امواج رادر لایه‌های زمین توصیف می‌کنند بدست می‌آید. مدل‌های ژئوفیزیکی به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدل‌های دینامیک و مدل‌های کینماتیک.

مدل‌های دینامیکی نیازمند اطلاعات و جزئیات بسیار زیاد و محاسبات پیچیده می‌باشد، در اکثر موارد این مدل‌ها برای بدست آوردن دید مناسب بر روی فرآیند زلزله و یا گذاشتن قیود لازم روی مدل‌های کینماتیکی بکار می‌روند. مدل‌های کینماتیکی اولیه توسط Aki [۲] در سال ۱۹۶۸ و Haskell [۳] در سال ۱۹۶۹ ارائه شدند. مدل‌های ژئوفیزیکی، اعم از مدل‌های دینامیکی و کینماتیکی، دارای عدم



باید توجه خاصی مدنظر قرار گیرد. به هر حال روش ARMA به صورت موفقیت آمیزی در شبیه‌سازی حرکات زمین مورد استفاده قرار گرفته است.

از روش‌های دیگری که اخیراً مورد استفاده قرار گرفته است استفاده از شبکه‌های عصبی می‌باشد. استفاده از هر یک از الگوها در مطالعات مهندسی زلزله منوط به تعیین پارامترهای الگو به نحو مطلوب و در نظر داشتن نقاط ضعف آن بگونه ای شایسته می‌باشد. در بیشتر الگوهای ارائه شده یک مجموعه نگاشت مصنوعی براساس تئوری ارتعاشات تصادفی تولید شده و در نهایت به گونه‌ای اصلاح می‌شود که طیف پاسخ آن شبیه به طیف هدف گردد. به دلیل کارایی تبدیلات موجک جهت تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی منطبق بر طیف هدف، روش‌های گوناگونی مبتنی بر تئوری موجک شکل گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Mukherjee و همکارانش [9] در سال ۲۰۰۲ اشاره نمود. همچنین Legrue و همکارانش [۱۰] در سال ۲۰۰۴ با استفاده از تجزیه موجک گسسته بر روی شتابنگاشت‌های موجود، جداسازی ترازهای موجک و مقیاس نمودن ضرایب هر تراز موجک با یک متغیر تصادفی رایلی به تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی اقدام نموده و روش مذکور را در شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار دادند. همچنین Fadavi Amiri و همکارانش [۱۱] تحقیقات متعددی در این زمینه انجام داده‌اند، آنها با بهره‌گیری از روش شبکه عصبی و تبدیلات موجک گسسته به تولید رکوردهای سازگار با طیف طرح پرداخته‌اند.

در مقاله حاضر به منظور بررسی روش مذکور، تعدادی از رکوردهای ثبت شده در نواحی مختلف، مربوط به زلزله‌های دور از گسل، با استفاده از روش تبدیل موجک تجزیه و باطیف پاسخ هدف انطباق داده شده است. در ادامه جهت بررسی اثر رکوردهای اولیه و نگاشت‌های مصنوعی تولید شده، ساختمان فولادی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه مورد ارزیابی قرار گرفته، جزئیات روش مورد استفاده در ادامه مطرح شده است.

۲- روش مورد استفاده جهت انطباق شتابنگاشت با طیف پاسخ

انطباق شتابنگاشت‌های موجود با طیف پاسخ آیین نامه‌ای برپایه تحقیقات انجام شده توسط Suarez و همکارانش [۱۲]، صورت گرفته شده است. در این روش با بهره‌گیری از موجک پیوسته، شتابنگاشت ثبت شده به تعدادی تاریخچه‌های زمانی مناسب، بدون همپوشانی در بازه فرکانسی تجزیه شده است، سپس هر یک از تاریخچه‌های زمانی جهت انطباق طیف پاسخ شتاب نگاشت اصلاح شده با طیف طراحی معین بطور مناسب مقیاس شده‌اند. روش پیشنهادی با اصلاح ۴ شتابنگاشت معرفی شده با مشخصه‌های متفاوت نشان داده شده است به گونه ای که همگی آنها با طیف طراحی ایران موجود در استاندارد ۲۸۰۰ [۱۳] ویرایش سوم مطابقت داشته باشند.

تابع موجک کاربردی بصورت یک موجک جدید، بر پایه‌ی پاسخ ضربه‌ای یک نوسانگر با میرایی زیر بحرانی، پیشنهاد شده و موجک مادر در رابطه (۱) ارائه شده است.

$$\psi(t) = e^{-\xi|\Omega|t} \sin \Omega t \quad (1)$$

پارامترهای ξ و Ω به ترتیب کاهش دامنه و تغییرات زمان موجک را تعیین می‌کنند. آن‌ها را می‌توان به صورت ضرایب میرایی و فرکانس طبیعی یک نوسانگر یک درجه آزادی تعریف نمود. در مقاله حاضر مقادیر پارامترها بصورت $\xi=0.05$ و $\Omega=\pi$ استفاده شده است.

با در نظر گرفتن تبدیل موجک پیوسته می‌توان یک سیگنال زمانی را به صورت مجموع همه زمان‌های سیگنال ضرب در مدل موجک مادر (اصلی) مقیاس شده و انتقال یافته تعریف نمود. روابط (۲) و (۳) به ترتیب تبدیل موجک و تبدیل معکوس جهت بازسازی سیگنال اولیه را نشان می‌دهد.

$$C(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{1}{k_{\Theta\psi}} \int_{a=0}^{+\infty} \int_{b=-\infty}^{+\infty} C(a,b) \psi_{a,b}(t) db \frac{da}{a^2} \quad (3)$$

$$k_{\psi} = \int_0^{+\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (4)$$

در این روابط a و b به ترتیب پارامتر مقیاس و انتقال موجک، C تبدیل موجک، f سیگنال اولیه، ψ موجک مادر، t پارامتر زمان و ω فرکانس تابع موجک می باشد. اگر به جای سیگنال زمانی اولیه شتاب زمین $\ddot{X}_g(t)$ ناشی از زلزله قرار گیرد رابطه (۳) به صورت رابطه (۵) تغییر خواهد کرد.

$$\ddot{X}_g(t) = \frac{1}{k_{\psi}} \int_{a=0}^{+\infty} \left(\int_{b=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{a^2} C(a,b) \psi_{a,b}(t) db \right) da = \int_0^{+\infty} D(a,t) da \quad (5)$$

تابع $D(a,t)$ "تابع جزئیات" می باشد. با محاسبه توابع جزئیات برای رکورد مورد نظر، کار تولید شتابنگاشت منطبق با طیف خاص بسیار راحت و مستقیم خواهد بود. در عمل، به جای پارامترهای پیوسته‌ی مقیاس a ، از مجموعه ای متشکل از N مقدار گسسته a_j استفاده شده است. انتخاب مقادیر مقیاس گسسته‌ی a_j به گونه‌ای انجام شده است که پربردهای غالب توابع جزئیات در معادله (۶)، نسبتاً در محدوده‌ی پربردهای طیف پاسخ لرزه‌ای که به عنوان طیف هدف استفاده شده، قرار گیرد.

$$T_j = \frac{2\pi}{\Omega} a_j \quad (6)$$

با محاسبه توابع جزئیات شتابنگاشت اولیه و بازسازی رکورد جدید براساس رابطه (۵)، طیف پاسخ شتابنگاشت اصلاح شده محاسبه و تقریباً معادل یک طیف طرح معین قرار داده می شود. سپس مطابق رابطه (۷) نسبت γ_j بین مقادیر طیف های هدف و طیف محاسبه شده، بدست می آید. اکنون کافی است که هر تابع جزئیات D_j در نسبت γ_j مربوط به آن ضرب شده و شتاب نگاشت جدیدی با استفاده از معادله‌ی (۵) محاسبه شود. سپس طیف پاسخ این شتاب نگاشت های جدید که تطابق بهتری با طیف هدف دارند محاسبه می شود، مجموعه‌ای جدید از ضرایب

γ_j محاسبه شده و توابع جزئیات قبلی تصحیح می شوند. این روند تا زمانی که تمام ضرایب γ_j به اندازه‌ی کافی به یک نزدیک شوند یا این که به تعداد حداکثری از تکرار از پیش تعیین شده دست یابند، ادامه می یابد.

$$\gamma_j = \frac{[S_a(T_j)]_{target}}{[S_a(T_j)]_{reconstructed}} \quad (7)$$

در رابطه (۷) $[S_a(T_j)]_{target}$ و $[S_a(T_j)]_{reconstructed}$ به ترتیب مقادیر طیف هدف و طیف شتاب بازسازی شده را نشان می دهد [۱۲]. محاسبه میزان خطا در هر مرحله تکرار، براساس درصد جذر میانگین مربعات در هر یک از n مقدار پربرود انجام می گیرد رابطه (۸) نحوه محاسبه آن را نمایش می دهد.

$$Err(\%) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{[S_a(T_j)]_{target} - [S_a(T_j)]_{reconstructed}}{[S_a(T_j)]_{target}} \right)^2} \times 100 \quad (8)$$

۳- مشخصات زمین لرزه های مورد استفاده

در مقاله حاضر جهت بررسی روش مذکور با استفاده از نرم افزار Matlab [۱۴]، ۴ رکورد ثبت شده (دور از گسل) با مشخصات مختلف مطابق جدول (۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است، با توجه به محل قرار گیری سازه‌های مورد نظر در زمین نوع III و با خطر نسبی خیلی زیاد، از طیف مربوط به این منطقه جهت انطباق استفاده شده است.

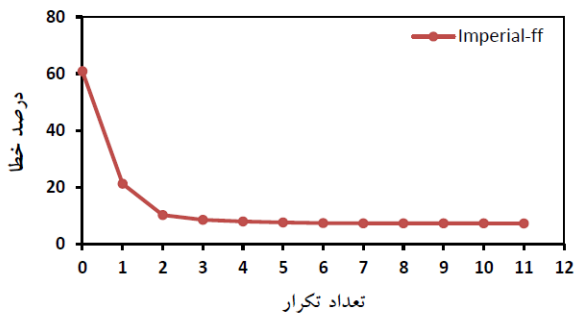
شکل (۱) نمودار طیف هدف و طیف اصلی رکوردهای مورد نظر را نمایش می دهد. ملاحظه می شود طیف رکوردهای مذکور در پربردهای مختلف، دارای مقادیر متفاوتی نسبت به طیف هدف می باشند. در زمین لرزه‌های دور از گسل به جز زمین لرزه ChiChi این مقادیر طیفی در تمامی پربردها کمتر از طیف هدف می باشد که نتایج حاصل از اصلاح شتابنگاشت های مذکور پس از ۱۱ بار تکرار استخراج شده است. تقریباً در تمامی رکوردها میزان خطای محاسبه شده در معادله (۸) تا مرحله ۶ به مقدار زیاد کاهش یافته و از آن پس روند نزولی با سرعت کمتر



ادامه یافته است. به عنوان نمونه نمودار انطباق طیف اصلی و اصلاح شده با طیف هدف، میزان خطای هر مرحله و تاریخچه زمانی شتاب، برای زلزله Imperial، در شکل های (۲) تا (۴) ارائه شده است.

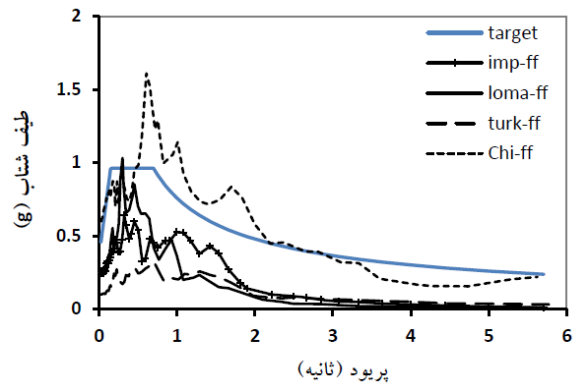
جدول (۱): مشخصات زمین لرزه های به کار رفته

نام زمین لرزه	سال و منطقه وقوع	مختصات رومرکزی (درجه)	بزرگا M_w (ریشدر)	شتاب حداکثر (g)	پریود غالب (s)	مدت تداوم (s)
Imperial	۱۵ اکتبر ۱۹۷۹ کالیفرنای آمریکا	۲۳/۳۷ شمالی ۱۱۵/۱۹ غربی	۶/۴	۰/۲۴	۰/۳۲	۳۹/۹۴۵
Lomaperieta	۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ خلیج سانفرانسیسکو	۳۷/۴ شمالی ۱۲۱/۸۷ غربی	۶/۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۳۹/۹۴۵
Chichi	۲۰ سپتامبر ۱۹۹۹ Taichung county تایوان	۲۳/۸۷ شمالی ۱۲۰/۷۵ شرقی	۷/۳	۰/۶	۰/۶۲	۸۹/۹۹۵
Turkey	۲۸ فوریه ۱۸۵۵ ترکیه بارسای	۴/۲ شرقی ۲۹/۱ غربی	۶/۷	۰/۱	۰/۶۸	۱۳۸/۵۵



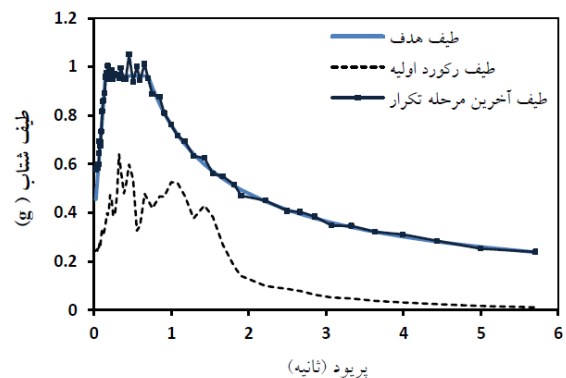
شکل (۳): درصد خطای محاسبه شده در هر مرحله تکرار

مربوط به زلزله Imperial



شکل (۱): طیف هدف و طیف رکوردهای اصلی

همانطور که ملاحظه می شود نمودار تاریخچه زمانی رکورد اولیه و اصلاح شده نمایانگر تغییرات در محتوای فرکانسی، مقادیر ماکزیمم شتاب و زمان وقوع آن بوده است. همچنین میزان درصد خطای عدم انطباق طیفی شتابنگاشت اصلی و اصلاح شده نسبت به طیف آیین نامه، در شکل (۵) آورده شده است، مشاهده شده است روند انطباق طیفی به صورت مطلوب انجام و میزان خطا بطور متوسط تا حدود ۰.۵٪ کاهش یافته است.



شکل (۲): انطباق طیف رکورد اولیه و اصلاح شده پس

از آخرین روند تکرار مربوط به زمین لرزه Imperial vally

مساحت زیر قدرمطلق شتاب می‌باشد که این پارامتر ارتباط مستقیم با پتانسیل خرابی سازه دارد و در تمامی زمین لرزه‌ها با افزایش ۶۰ تا ۸۰ درصدی همراه بوده است. تنها در زمین لرزه Chichi با توجه به انطباق طیفی نزدیکتر، درصد افزایش CAV حدود ۱۴ درصد بوده است.

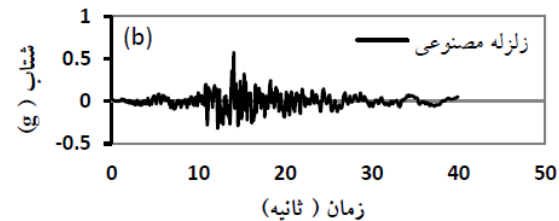
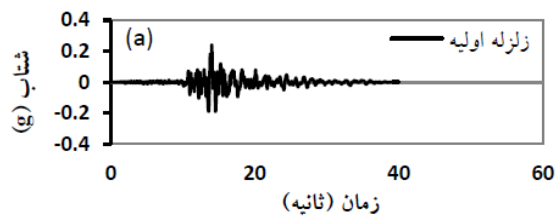
جهت مقایسه پارامترهای انرژی در دو حالت پارامترهای شدت آریاس و چگالی ویژه انرژی مورد بررسی قرار گرفته است، شدت آریاس وابسته به متوسط ریشه دوم شتاب و برای تعیین محتوای فرکانسی و چگالی طیفی توان شتابنگاشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۹) نحوه محاسبه آن را نمایش می‌دهد. در این رابطه g شتاب جاذبه زمین و T_d طول مدت رکورد را نمایش می‌دهد همچنین چگالی ویژه انرژی جهت ارائه اطلاعات مفیدی پیرامون پتانسیل خرابی حرکت زمین وابسته به اثرات ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به رابطه (۱۰) معرفی می‌گردد در این رابطه نیز T_d طول مدت رکورد و \dot{v}_g سرعت حرکت زمین می‌باشد ملاحظه می‌شود مقادیر هر دو پارامتر در شتابنگاشت‌های مصنوعی تولید شده با افزایش همراه بوده است که این امر ناشی از انطباق طیفی رکوردها بوده است [۱۵]. مقایسه نتایج در دو حالت نشان می‌دهد شتابنگاشت‌های مصنوعی تولید شده با حفظ ساختار کلی رکورد اولیه دارای پارامترهایی متفاوتی نسبت به آن خواهند بود این امر در آنالیز سازه بسیار موثر می‌باشند.

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_d} [a_g(t)]^2 dt \quad (9)$$

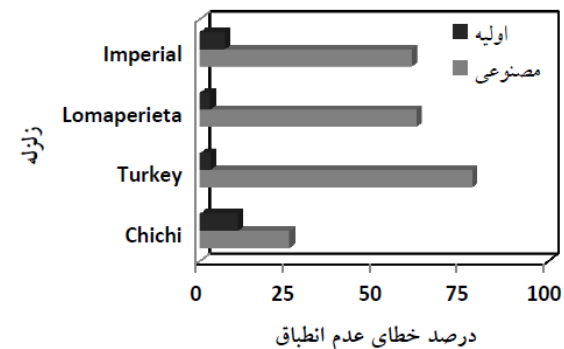
$$SED = \int_0^{T_d} [\dot{v}_g(t)]^2 dt \quad (10)$$

۴- آنالیز سازه تحت زلزله های مورد نظر

به منظور بررسی اثر زلزله های اصلاح شده در مقایسه با رکورد اولیه سه قاب ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه (قاب فولادی ۴ دهانه با یک دهانه مهاربندی شده) با ارتفاع طبقات ثابت معادل ۳/۵ متر و طول دهانه ۵ متر با استفاده از نرم افزار ETABS [۱۶] مدل سازی شده است. کاربری قاب‌های



شکل (۴): (a) تاریخچه زمانی شتابنگاشت اصلی زلزله Imperial (b) تاریخچه زمانی شتابنگاشت اصلاح شده مربوط به زلزله Imperial



شکل (۵): درصد خطای عدم انطباق شتابنگاشت اصلی و اصلاح شده نسبت به طیف آیین نامه

به منظور بررسی تفاوت رکوردهای تولید شده و رکوردهای اولیه در جدول (۲) برخی مشخصه‌های آنها در دو حالت آورده شده است. از جمله پریود غالب شتابنگاشت، که در واقع پریود متناظر با ماکزیمم دامنه طیف فوریه می‌باشد و از اهمیت بالایی برخوردار است. ملاحظه شده است با انطباق طیفی، مقدار شتاب ماکزیمم در تمامی زمین لرزه‌ها به جز زلزله Chichi با افزایش همراه بوده است. با توجه به نمودار شکل (۱) تنها مقادیر طیفی زلزله Chichi در برخی پریودها بیش از مقادیر طیف هدف می‌باشد که خود این امر را قابل توجیه می‌سازد. با اینحال مقدار PGA بطور متوسط در تمامی زمین لرزه‌ها به حدود ۰/۵ رسیده است. سرعت مطلق تجمعی (CAV)



در فرآیند انطباق طیفی با استفاده از روش شرح داده شده، مقادیر قابل ملاحظه‌ای سرعت و جابه‌جایی در انتهای دامنه زمانی رکوردهای تولید شده ایجاد می‌گردد. جهت حل این مشکل از قابلیت تصحیح خط مبنا در نرم افزار SeismoSignal [۱۹] استفاده شده است. پس از تصحیح، مقادیر طیفی تا حدودی تغییر خواهد کرد که البته قابل اغماض می‌باشند. سپس هر یک از شتابنگاشت‌های تصحیح شده جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی به کار برده شده‌اند. همچنین رکوردهای اولیه به منظور انجام تحلیل تاریخچه زمانی با توجه به محل قرارگیری سازه همگی به شتاب ۰/۳۵ مقیاس شده‌اند.

مذکور مسکونی در نظر گرفته شده است، لذا براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۱۷]، مقدار بار زنده در تمامی طبقات برای مدل‌های مذکور معادل 200 kg/m^2 بار مرده کف طبقات برابر 600 kg/m^2 لحاظ شده است. جنس زمین محل ساخت از نوع III و در ناحیه با خطر نسبی خیلی زیاد منظور گردیده است، لذا براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۳]، شتاب مبنای طرح برابر ۰/۳۵ می‌باشد. طراحی قاب بر اساس آیین نامه معتبر طراحی سازه‌های فولادی AISC-ASD89 [۱۸] صورت گرفته است. در طراحی از مقاطع تیوروق برای تیرها، از مقاطع قوطی برای ستون‌ها و همچنین از زوج ناودانی برای مهاربندها استفاده شده است.

پس از تحلیل و مدلسازی، قاب مورد نظر تحت آنالیز تاریخچه زمانی قرار گرفته است.

جدول (۲): پارامترهای مربوط به زمین لرزه‌های اصلی و مصنوعی

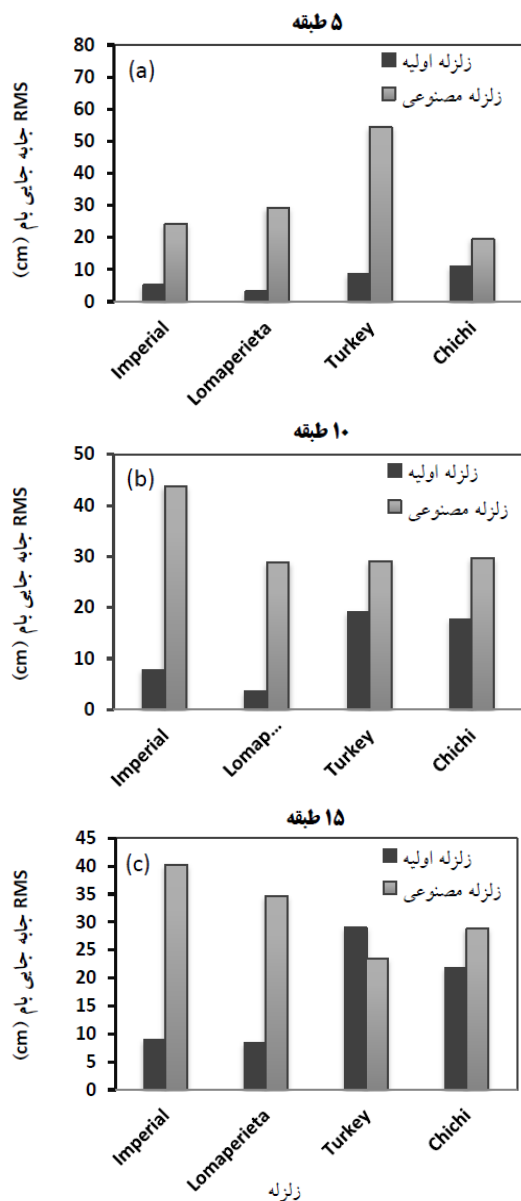
SED (cm ² /s)	I _a (m/s)	CAV (cm/s)	V _{max} /A _{max} (g)	پریود غالب (s)	PGA (g)	زلزله اعمال شده		
۱۰۸۳/۵۵	۰/۶۲۸	۶۶۴/۵	۰/۱۵۱	۰/۳۲	۰/۲۴	EQ	Imperial	دور از گسل
۲۳۸۸۹/۳۴	۳/۷۱۳	۱۹۷۷/۹	۰/۱۳۶	۰/۶۴	۰/۵۵	A-EQ		
۵۳۷/۷۶	۰/۸۱	۷۶۵/۱	۰/۱۸	۰/۳	۰/۲۳	EQ	Lomaperieta	
۲۲۹۰۲/۵۷	۴/۰۵۳	۲۱۴۹/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴۷	A-EQ		
۲۷۱۶۲/۰۵	۷/۱۲۱	۳۳۳۳/۱	۰/۱۳۳	۰/۶۲	۰/۶	EQ	Chichi	
۳۲۶۶۵/۷۶	۷/۱۹۰	۳۷۸۰/۱	۰/۱۶۲	۰/۴۸	۰/۵۵	A-EQ		
۱۱۳۹/۵۷	۰/۴۲۲	۱۰۰۹	۰/۲۱۰	۰/۶۸	۰/۱	EQ	Turkey	
۴۴۹۱۱/۵۹	۸/۱۱۳	۵۰۹۰/۸	۰/۱۸۷	۰/۴۸	۰/۴۸	A-EQ		

$$Y_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}} \quad (11)$$

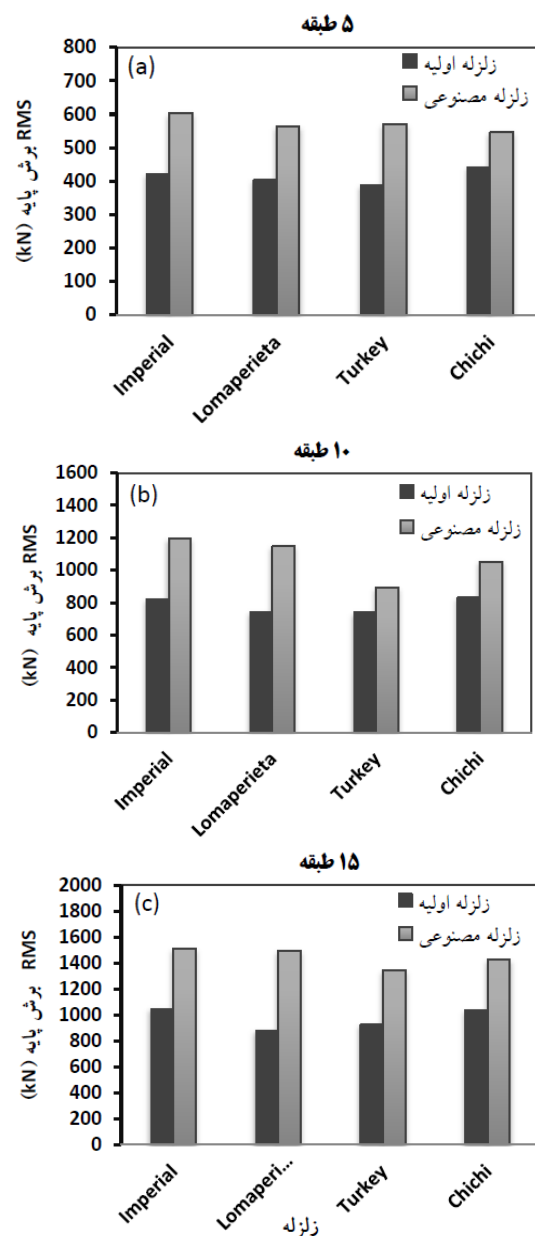
شکل (۶) به ترتیب میزان RMS برش پایه قاب ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه را در دو حالت نمایش می‌دهد. میزان RMS برش پایه قاب در تمامی قاب‌ها، تحت زلزله‌های مصنوعی تولید شده افزایش داشته است. درصد افزایش برش پایه در قاب ۵ طبقه در زلزله‌های متفاوت از ۱۹ تا ۳۲ درصد متغیر بوده است. این میزان در قاب ۱۰ طبقه بین ۱۷ تا ۳۵ درصد و در قاب ۱۵ طبقه بین ۲۷ تا ۴۱ درصد می‌باشد.

جهت بررسی چگونگی عملکرد قاب‌ها در طول زمان بهتر است معیاری غیر از بیشینه پاسخ مورد مطالعه قرار گیرد، چراکه بیشینه پاسخ تنها در یک لحظه اتفاق می‌افتد. لذا پیشنهاد می‌شود معیار جذر میانگین مربعات یا RMS (Root Mean Square) پاسخ سازه در طول مدت تحلیل مورد بررسی قرار گیرد. رابطه (۱۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۲۰]. در این رابطه Y_i نمایانگر پاسخ سازه اعم از تغییر مکان طبقه بام و یا برش پایه در زمان t_i می‌باشد و n بیانگر تعداد گام‌های زمانی که پاسخ سازه در آن محدوده سنجیده خواهد شد.

شکل (۸) میزان تغییر مکان نسبی طبقات قاب ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه راتحت زلزله‌های اولیه و مصنوعی تولید شده نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با کاربرد نگاشت‌های مصنوعی میزان تغییر مکان نسبی طبقات به ویژه در طبقات پایین تا حد زیادی نسبت به نگاشت‌های اولیه افزایش یافته است.



شکل (۷): جابجایی بام قاب (a) طبقه ۵، (b) طبقه ۱۰، (c) طبقه ۱۵ طبقه تحت زلزله‌های اولیه و رکوردهای مصنوعی تولید شده با معیار RMS



شکل (۶): برش پایه قاب (a) طبقه ۵، (b) طبقه ۱۰، (c) طبقه ۱۵ طبقه تحت زلزله‌های اولیه و رکوردهای مصنوعی تولید شده با معیار RMS

شکل (۷) RMS ماکزیمم تغییر مکان قاب ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه را در دو حالت نمایش می‌دهد. این مقدار تحت زلزله‌های مصنوعی تولید شده تقریباً در تمامی قاب‌ها افزایش داشته است. درصد افزایش تغییر مکان بام در قاب ۵ طبقه در زلزله‌های متفاوت بطور متوسط ۷۴ و در قاب ۱۰ طبقه بطور متوسط ۶۱ درصد می‌باشد و همچنین درصد تغییرات قاب ۱۵ طبقه ۲۹ درصد می‌باشد.

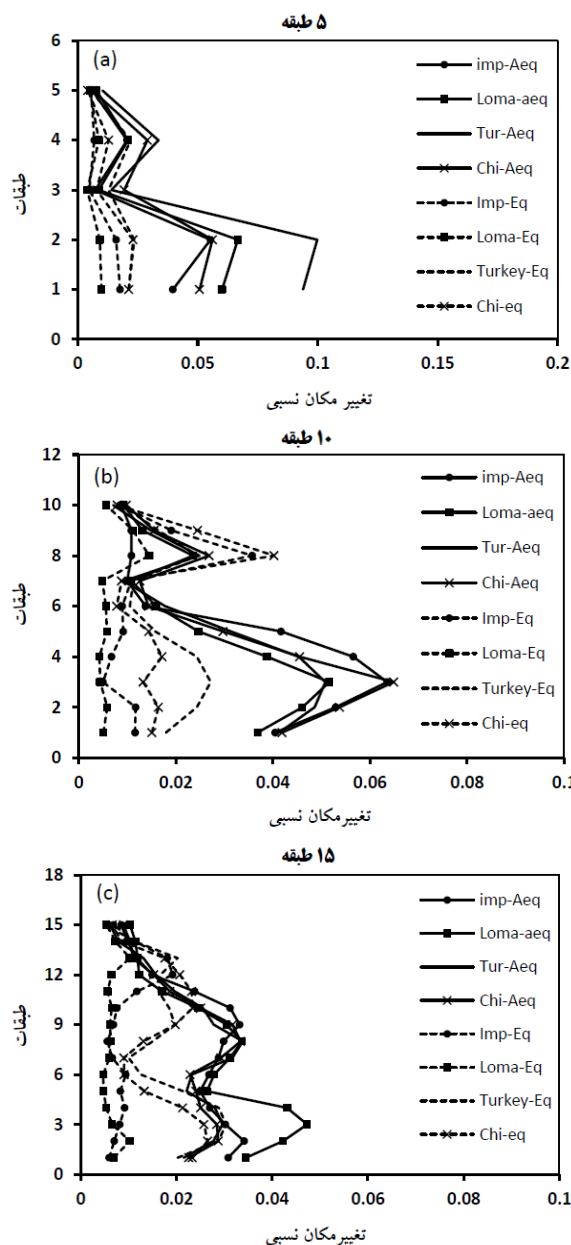


ترتیب سبب افزایش و کاهش فرکانس غالب خواهد شد و به نوعی مانند یک فیلتر عمل می‌کند.

- یکی از مزایای روش کاربردی عدم تغییر در زمان دوام شتابنگاشت اصلاح شده نسبت به شتابنگاشت اصلی در حرکت تولیدی می‌باشد. همچنین روش مورد نظر دارای سرعت و دقت مناسب در همگرایی می‌باشد.

- رکوردهای تولید شده در این روش دارای مشخصات متفاوتی نسبت به رکورد اولیه می‌باشند، تاریخچه زمانی رکورد اولیه و اصلاح شده نمایانگر تغییرات در محتوای فرکانسی، مقادیر ماکزیمم شتاب و زمان وقوع آن بوده است. ضمن انجام فرآیند انطباق با طیف تعیین شده مقدار PGA بطور متوسط در تمامی زمین لرزه‌ها به حدود ۰/۵ رسیده است. سرعت مطلق تجمعی که ارتباط مستقیم با پتانسیل خرابی سازه دارد و در تمامی زمین لرزه‌ها با افزایش ۶۰ تا ۸۰ درصدی همراه بوده است تنها در زمین لرزه Chichi با توجه به انطباق طیفی نزدیک‌تر درصد افزایش CVA حدود ۱۴ درصد بوده است. مقایسه نتایج در دو حالت نشان می‌دهد شتابنگاشت‌های مصنوعی تولید شده با حفظ ساختار کلی رکورد اولیه دارای پارامترهایی متفاوتی نسبت به آن خواهند بود این امر به نوبه‌ی خود در تحلیل سازه و میزان خرابی آن موثر خواهد بود.

- نتایج آنالیز تاریخچه زمانی قاب تحت رکوردهای اصلی و مصنوعی نشان می‌دهد تحت رکوردهای مصنوعی تولید شده از رکوردهای دور از گسل نتایج مربوط به پاسخ سازه تقریباً در تمامی رکوردها افزایش داشته است. لذا انطباق طیفی و شتابنگاشت‌های مصنوعی در آنالیز سازه با تغییرات قابل ملاحظه در پاسخ همراه بوده است و نتایج RMS مربوط به تحلیل قاب، نشان می‌دهد متوسط درصد تغییرات در برش پایه قاب ۵ طبقه حدود ۲۷ درصد، در قاب ۱۰ طبقه ۲۶ درصد و در قاب ۱۵ طبقه ۳۳ درصد بوده است. همچنین با کاربرد شتابنگاشت‌های مصنوعی منطبق بر طیف طرح مقادیر تغییر مکان نسبی طبقات به ویژه در طبقات تحتانی افزایش داشته است. این امر بیانگر اهمیت کاربرد زمین لرزه‌های مصنوعی، متناسب با ساختگاه سازه در تحلیل و طراحی می‌باشد.



شکل (۸): میزان تغییر مکان نسبی (Drift) طبقات قاب (a) ۵ طبقه، (b) ۱۰ طبقه، (c) ۱۵ طبقه تحت زلزله های اولیه و مصنوعی تولید شده

۵- نتایج

- روش تبدیل موجک ابزاری مناسب و قدرتمند برای تولید شتاب نگاشت‌های مصنوعی می‌باشد، در این روش اصلاح از طریق همساز نمودن طیف پاسخ شتاب نگاشت‌های واقعی با طیف هدف صورت می‌گیرد.

- روش انطباق طیفی با استفاده از تابع موجک پایه پاسخ ضربه، با افزایش اثر مؤلفه‌های با فرکانس بالا و پائین به

- [15] Campbell, K. and Bozorgnia, Y. (2010), "A Ground Motion Prediction Equation for the Horizontal Component of Cumulative Absolute Velocity (CAV) Based on the PEER-NGA Strong Motion Database", *Earthquake Spectra*, Vol. 26- 3, p. 635-650.
- [16] CSI, Computers and Structures Inc. (2009), ETABS V9.2.0 Analysis Reference Manual. CSI, Berkeley.
- [17] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۸۰). "مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان".
- [18] American Institute of steel construction, (AISC). (2005), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", Standard ANSI/AISC, 341-05, Chicago (IL,USA): AISC.
- [19] Seismosoft. (2009), "Software Applications for Analysis of Structures subjected to Seismic Actions", SeismoSignal V4.3.0, Italy.
- [20] Bakun, W.H. and Wentworth, C.M. (1997), "Estimating Earthquake Location and Magnitude from Seismic Intensity Data", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 87-6, pp. 1502-1521.
- [1] زعفرانی، ح.، نورزاد، ا. و برگگی، خ. (۱۳۸۴)، "تولید شتابنگاشت هاس مصنوعی سازگار با طیف طرح با استفاده از تبدیل موجک".
- [2] Aki, K. (1968), "Seismic Displacements Near a Fault", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73, pp. 5359-5376.
- [3] Haskell, N.A. (1969), "Elastic Displacements in the Near-field of a Propagating Fault", *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 59, pp. 865-908.
- [4] Gasparini, D.A. and Vanmarcke, E.H. (1976), "Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra", *Massachusetts Institute of Technology*, 76-4, 65, 1976.
- [5] Priestley, M.B. (1965), "Evolutionary Spectral Analysis and Non-stationary Process", *Journal of Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Vol. 27, No. 2, pp. 204-237.
- [6] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel G.C. (1994), "Time Series Analysis Forecasting and Control", prentice Hall.
- [7] Chang, M.K., Kwiatkowski. J.W., Nau, R.F., Oliver, R.M. and pister, K.K. (1982), "ARMA Model for Earthquake Ground Motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 10, pp. 651-662.
- [8] Mobarakeh, A.A., Rofooei, F.R. and Ahmadi, G. (2002), "Simulation of Earthquake Records using Time-varying ARMA (2,1) Model", *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 17, pp. 15-34.
- [9] Mukherjee, S. and Gupta, V.K. (2002), "Wavelet-Based Generation of Spectrum-compatible Time-histories", *Soil Dynamic Earthquake Engineering*, Vol. 22, pp. 799-804.
- [10] Legrue, J. and Menun, C. (2004), "Simulation of Non-stationary Ground Motions using Wavelets", 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C, Canada, pp. 296.
- [11] Fadavi Amiri, M., Ghodrati Amiri, G. and Akbari, A. (2008), "New Method for Generation of Artificial Earthquake Record," The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [12] Suarez, L.E. and Montejo, L.A. (2005), "Generation of Artificial Earthquakes via the Wavelet Transform", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. ????, pp. 5905-5919.
- [۱۳] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۴)، "آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله " استاندارد ۲۸۰۰"، ویرایش سوم.
- [14] The MathWorks, Inc. (2009), mathematical computing software for engineers and scientists, MATLAB V7.8.0 (R2009a).

