



بررسی زلزله حوزه نزدیک گسل به کمک شتاب‌نگاشت شبیه‌سازی شده و ارائه طیف طراحی

علیرضا عباس‌زاده*^۱ و محمدسعیدخرمی^۲

۱- دانشگاه ایلام، دانشکده فنی و مهندسی، ایلام، ایران
۲- دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۲؛ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

* نویسنده مسئول مکاتبات: a.abaszadeh@ilam.ac.ir

چکیده

در دسترس نبودن نگاشت با ویژگی راستاگرایی پیش‌رونده در مناطق نزدیک گسل و همچنین ضعف آیین‌نامه‌ها در ارائه طیف‌های طرح متناسب با مناطق نزدیک گسل، اهمیت بررسی زلزله‌های نزدیک گسل را نشان می‌دهد. مدل‌های ارائه‌شده برای بیان بخش فرکانس پایین نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل، به پارامترهای مختلفی وابسته است. مهمترین این پارامترها دوره پالس و بیشینه سرعت افقی است. همچنین ارائه طیف طراحی برای مناطق نزدیک گسل می‌تواند در طراحی بسیاری از سازه‌های مجاور گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه به کمک رگرسیون غیرخطی و با در نظر گرفتن خطاهای احتمالی به ارائه روابطی برای پیش‌بینی مقادیر دوره پالس و بیشینه سرعت افقی پرداخته شده است. مقایسه دقت روابط ارائه‌شده با مقادیر واقعی ثبت‌شده حکایت از دقت ۸۵ درصدی روابط دارد. بررسی شتاب‌نگاشت‌های شبیه‌سازی شده در این مطالعه و مقایسه با نگاشت‌های واقعی در حوزه فرکانس نشان‌دهنده یک الگوی پایدار در بخش فرکانس پایین است. همچنین طیف طراحی ارائه‌شده در این مطالعه تمامی مقادیر طیف طراحی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم را به طور کامل پوشش می‌دهد.

واژگان کلیدی

زلزله حوزه نزدیک گسل،
دوره تناوب پالس، بیشینه سرعت افقی،
طیف طراحی، شبیه‌سازی شتاب‌نگاشت

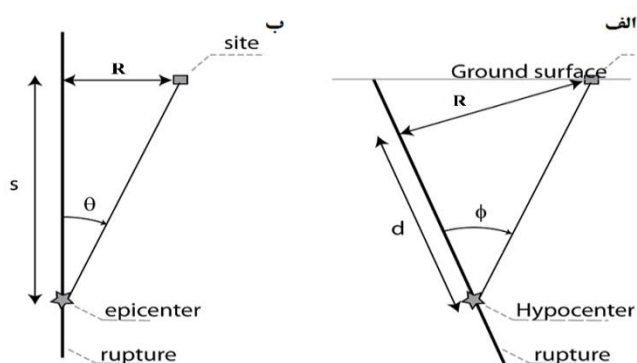
کارایی معادلات از معیار اطلاعاتی آکائیکه استفاده شده است (Somerville et al. 1997).

در طراحی بسیاری از سازه‌ها استفاده از طیف طرح دارای اهمیت زیادی است. بنابراین باید اثرات راستاگرایی پیش‌رونده بر روی طیف‌های طراحی مورد توجه قرار گیرد تا بتوان طیف‌هایی ویژه مناطق نزدیک گسل برای طراحی سازه‌ها در دسترس داشت. طیف بسیاری از آیین‌نامه‌ها از جمله آیین‌نامه زلزله ایران (آیین-نامه ۲۸۰۰)، از در نظرگرفتن اثرات راستاگرایی پیش‌رونده خودداری کرده و با از بیان آن پرهیز کرده‌اند. با توجه به تاثیرات راستاگرایی پیش‌رونده بر روی بخش دوره‌های بلند طیف پاسخ، می‌توان پیش‌بینی کرد که طیف طراحی در بخش دوره بلند برای مناطق نزدیک گسل نیاز به اصلاح دارد. ارائه طیف طراحی برای مناطق نزدیک گسل دارای پیچیدگی بسیار زیادی است. در این مطالعه سعی شده است که به صورت قدم به قدم یک طیف طرح برای مناطق نزدیک گسل ارائه شود.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد تحلیل رگرسیون غیرخطی دارای دقت بالایی برای تعیین مقادیر حداکثر سرعت افقی و دوره تناوب پالس می‌باشد. تحلیل نگاشت‌های شبیه‌سازی شده در این مطالعه در حوزه زمان و فرکانس نشان می‌دهد نگاشت واقعی و شبیه‌سازی شده از نظر بیشینه مقدار سرعت، شتاب و دوره تناوب دارای شباهت بیش از ۸۵ درصد هستند. همچنین طیف طراحی ارائه شده در این مطالعه اثرات ناشی از زلزله‌های حوزه نزدیک گسل را به خوبی در نظر گرفته، به نحوی که هم در بخش فرکانس بالا و هم فرکانس پایین طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم را پوشش می‌دهد.

۲- بررسی آماری مجموعه اطلاعات مورد استفاده

اطلاعات استفاده شده در این مطالعه شامل تعدادی از نگاشت‌ها با ویژگی راستاگرایی پیش‌رونده از مجموعه داده‌های NGA-WEST2 می‌باشند (Ancheta et al. 2013). مجموعه اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه شامل زلزله‌های ناشی از گسل امتداد لغز و غیر امتداد لغز می‌باشند. خصوصیات این دو نوع گسل در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱: نمایشی از پارامترهای مختلف بین سایت و منبع زلزله مورد استفاده در تحلیل‌های برازش در الف) گسل غیر امتداد لغز ب) گسل امتداد لغز (Dabaghi and Kiureghian, 2011).

تمامی نگاشت‌ها در فاصله کمتر از ۳۰ کیلومتر ثبت شده‌اند. بزرگای نگاشت‌های مورد استفاده بین ۵ تا ۷٫۶ می‌باشد. جدول ۱ جزئیات نگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. قابل ذکر است در تحلیل برازش از اطلاعات

بعد از زلزله ۱۹۷۱ پارکفیلد نظر مهندسان سازه نسبت به زلزله و صدمات ناشی از آن عوض شد (Mavroeidis and Papageorgiou, 2003). صدمات ناشی از زلزله ۱۹۷۱ پارکفیلد سال‌ها بعد در زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریج و ۱۹۹۹ چی‌چی دوباره تکرار شد (McRae and Mattheis 2000; McRae et al. 2001). نقطه مشترک تمامی این زلزله‌ها نزدیکی مناطق پر جمعیت به گسل‌های فعال بود (Alavi et al. 2001; Liao et al. 2001). تحقیقات نشان داد که دو عامل راستاگرایی پیش‌رونده و جایجایی ماندگار سبب ایجاد این صدمات بوده است (Somerville, 1998; Somerville et al., 2003). بررسی شتاب نگاشت‌های ثبت شده در این مناطق این موضوع را ثابت کرد که به روش‌های جدیدی برای بررسی این دو عامل نیاز است (Akkar et Somerville 1997; al., 2005). اثرات راستاگرایی پیش‌رونده (راستاگرایی) زمانی اتفاق می‌افتد که علاوه بر جهت انتشار شکست گسل، جهت لغزش گسل نیز به سمت ساختگاه باشد (Bray and Rodriguez, 2004; Xu et al. 2006). این اثر به دلیل نزدیک بودن سرعت انتشار شکست به سرعت موج برشی در سنگ نزدیک چشمه زلزله رخ می‌دهد (Sehhati and et al. 2001). به عنوان مثال، در سازوکار امتداد لغز، انرژی زلزله در هر شکست در طول گسل متراکم شده و در نهایت به صورت یک پالس ارتعاشی بزرگ همراه با موج برشی به سمت ساختگاه پیش رفته و به صورت یک مؤلفه پالسی در جهت عمود بر امتداد گسل در ابتدای نگاشت ظاهر می‌شود. این گونه ارتعاشات معمولاً دارای یک مدت زمان کوتاه، با یک پالس ویژه با دامنه زیاد و زمان تناوب متوسط تا بلند هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که زلزله‌های نزدیک گسل دارای بیشینه سرعت افقی شدید می‌باشند که در پی پالس شدید شتاب زمین ایجاد می‌شود. پالس‌های ایجاد شده در یک مدت زمان کوتاه در امتداد عمود بر گسل موجب افزایش پاسخ سازه شده و خرابی را نیز به شدت افزایش می‌دهند (Somerville et al., 1997; Archuleta and Hartzell, 1981).

همان طور که مشخص است نگاشت‌های مناطق نزدیک گسل محدود بوده و برای انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی نیاز به تولید نگاشت‌های مصنوعی با ویژگی زلزله حوزه نزدیک گسل است (Mavroeidis and Papageorgiou, 2003; Somerville et al. 1997). مدل‌های بسیار زیادی برای بررسی بخش فرکانس پایین نگاشت‌های نزدیک گسل ارائه شده است. این مدل‌ها تاثیرات زلزله حوزه نزدیک را بر طیف پاسخ یا بر تاریخیچه زمانی شتاب بررسی می‌کنند (Dabaghi and Kiureghian, 2011; Alavi and Krawinkler, 2004). مدل پالس پاپاجورجیو و ماوردیس یکی از مهم‌ترین مدل‌های تولید بخش فرکانس پایین نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل است. در این مدل دو پارامتر بیشینه سرعت افقی و دوره تناوب پالس دارای اهمیت بالایی هستند (Liao et al. 2001).

تحلیل برازش غیرخطی کاربرد بسیار زیادی در پیش‌بینی پارامترهای معادله تولید پالس شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک دارد. در نظر گرفتن خطاهای درون و میان رخداد سبب افزایش دقت معادلات پیش‌بینی می‌شود. خطای درون رخداد به خطاهای بین نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف یک زلزله مشخص اشاره دارد. خطای میان رخداد به خطای ایجاد شده در بین رخدادها ثبت شده در یک ایستگاه مشخص در طول زمان اشاره دارد.

با توجه به پیچیدگی دو پارامتر زمان تناوب پالس و بیشینه سرعت افقی، جهت پیش‌بینی این دو پارامتر نیاز به دقت بالایی است. بدین منظور برای افزایش

جدول ۱: فهرست شتاب نگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه

NGA #	Earthquake Name	Year	Station Name	F	Magnitude	Closest Dist. (km)
77	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper)	0	6.6	1.8
143	Tabas, Iran	1978	Tabas	0	7.3	2
171	Imperial Valley-06	1979	El Centro - Meloland	1	6.5	0.1
178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	1	6.5	12.9
179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	1	6.5	7
180	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	1	6.5	4
181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	1	6.5	1.4
182	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	1	6.5	0.6
185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	1	6.5	7.5
250	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)	1	5.9	16
415	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill	0	5.8	9.5
418	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm	0	5.2	10.9
459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	1	6.2	9.9
568	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	1	5.8	6.3
569	San Salvador	1986	National Geografical Inst	1	5.8	7
615	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Co Maint Bldg	0	6	20.8
645	Whittier Narrows-01	1987	LB - Orange Ave	0	6	24.5
723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	1	6.5	0.9
143	Tabas, Iran	1978	Tabas	0	7.35	2
766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	0	6.9	11.1
828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	0	7	8.2
900	Landers	1992	Yermo Fire Station	1	7.3	23.6
1084	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	0	6.7	5.3
1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	0	6.7	5.2
1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	1	6.9	1
1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	1	6.9	0.3
1120	Kobe, Japan	1995	Takatori	1	6.9	1.5
1161	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	1	7.5	10.9
1182	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	0	7.6	9.8
1193	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY024	0	7.6	9.6
1244	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	0	7.6	9.9
1481	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU038	0	7.6	25.4
1476	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU029	0	7.6	28
1491	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU051	0	7.6	7.6
1483	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040	0	7.6	22.1
1503	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	0	7.6	0.6
1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	0	7.6	0.9

1530	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	0	7.6	6.1
1548	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128	0	7.6	13.1
1550	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU136	0	7.6	8.3
1595	Chi-Chi, Taiwan	1999	WGK	0	7.6	9.9
1853	Yountville	2000	Napa Fire Station #3	1	5	11.5
2457	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY024	0	6.2	19.6
2495	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY080	0	6.2	22.4
3763	Kobe, Japan	1995	Port Island (83 m)	1	6.9	3.3
3965	Tottori, Japan	2000	TTR008	1	6.6	6.9
4040	Bam, Iran	2003	Bam	1	6.6	1.7
6906	Darfield,	2010	GDLC	1	7	1.2
6962	Darfield	2010	ROLC	1	7	1.5
8606	El Mayor-Cucapah	2010	Westside Elementary School	1	7.2	11.4
8130	Christchurch	2011	SHLC	0	6.1	5.6

دوره تناوب پالس

$$R, \ln(Vs30), M_w$$

۳-۱ تعیین روابط پیش‌بینی‌کننده و تولید پالس

دوره تناوب پالس

$$M_w, \sqrt{R}, \ln(Vs30)$$

دوره تناوب پالس

$$M_w, R^2$$

بیشینه سرعت

$$M_w, R$$

بیشینه سرعت

$$M_w, \ln(R^2 + 25),$$

بیشینه سرعت

$$\ln(R^2), M_w$$

تعیین یک رابطه دقیق برای پیش‌بینی یک پارامتر مشخص مستلزم یافتن متغیرهایی است که بیشترین تأثیر را بر آن پارامتر دارند. معیار اطلاعاتی AIC می‌تواند در این مورد بسیار راه‌گشا باشد. فرم کلی معیار اطلاعاتی AIC به صورت رابطه ۱ است (Somerville et al. 1997)

$$AIC = 2k - 2\ln(p(x|\theta, M)) \quad (1)$$

در این رابطه مقدار k برابر تعداد پارامترهای مدل، x مقادیر مشاهده شده و θ بیانگر بیشینه تابع درست‌نمایی مدل است. در صورتی که اطلاعات محدود باشند به نحوی که اگر نسبت تعداد اطلاعات به تعداد پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی پارامتر مورد نظر کمتر از ۴۰ باشد می‌توان از نسخه اصلاح‌شده معیار اطلاعاتی AIC استفاده کرد (رابطه ۲).

$$AIC = 2k - 2\ln(p(x|\theta, M)) + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (2)$$

در این رابطه n تعداد داده‌ها است.

به‌منظور تعیین دقیق‌ترین مقدار روابط پیش‌بینی بیشینه سرعت افقی و دوره تناوب پالس، از آرایش‌های مختلف متغیرهای متأثر به صورت جدول ۲ استفاده شده است.

جدول ۲: ورودی‌های معیار اطلاعاتی AIC جهت انتخاب بهترین پارامتر برای

تشکیل معادله پیش‌بینی دوره تناوب پالس

پارامتر پیشنهادی برای تشکیل معادله

متغیر مورد استفاده در

معادله تولید پالس

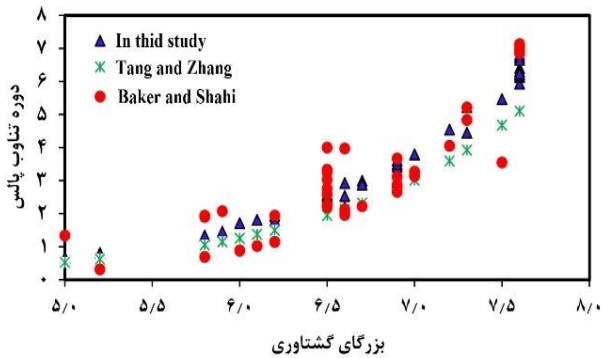
دوره تناوب پالس

$$R, M_w$$

پس از انجام محاسبات دقیق بر اساس جدول شماره ۶ برای دوره تناوب پالس $R, \ln(Vs30), M_w$ ، به عنوان پارامترهای مؤثر، و $\ln(R^2 + 25) M_w$ به عنوان پارامترهای مؤثر در تعیین مقدار بیشینه سرعت افقی در نظر گرفته شده است. در این مطالعه به منظور تعیین بهترین رابطه و پیش‌بینی دقیق مقدار T_p و PGV از تحلیل برازش غیر خطی و با در نظر گرفتن مقادیر خطاها استفاده شده است. فرم کلی رابطه به صورت معادله (۳) خواهد بود. در این رابطه j نگاشت ثبت شده و i نشان دهنده یک زلزله مشخص است.

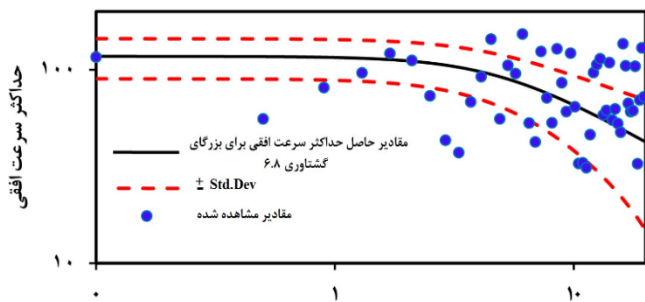
$$\ln(y_{i,j}) = f(\theta_{ij}|\beta) + \eta_i \tau + \varepsilon_{i,j} \sigma \quad (3)$$

همچنین $y_{i,j}$ یک شدت اندازه‌گیری شده از حرکت زمین در نگاشت j (مثلاً اوج حرکت زمین) از یک زلزله خاص i می‌باشد. $f(\theta_{ij}|\beta)$ مقدار متوسط اندازه‌گیری شده که θ_{ij} یک بردار خاص با پارامترهای مختلف (مثلاً M_w, R_{rup}, \dots) بوده و



شکل ۳. مقایسه دقت رابطه ارائه شده در این مطالعه

مدل های زیادی برای بیان اثرات راستاگرایی پیشرونده وجود دارد. مدل دباقی و کایروخیان (Dabaghi and Kiureghian, 2011) یکی از این مدل هاست. این مدل وابسته به مقادیر دوره تناوب پالس و دامنه پالس است. دامنه پالس بر اساس تحقیقات هالدرسون با ۰.۸ بیشینه سرعت افقی رابطه دارد (Halldorsson et al. 2011). رابطه ۸ و ۹ جزئیات این مدل را نشان می دهد.



شکل ۴. مقایسه پراکندگی مقادیر بیشینه سرعت افقی نگاشت های واقعی با مقادیر حاصل از رابطه ۷

همان طور که در روابط ۶ و ۷ قابل مشاهده است مقادیر دوره تناوب پالس به بزرگای گشتاوری، فاصله از امتداد گسیختگی گسل و جنس ساختگاه بستگی دارد. شکل ۳ و ۴ به صحت سنجی روابط ارائه شده در این بخش پرداخته است.

$$v(t) = \left\{ \frac{1}{2} V_p \cos \left[2\pi \left(\frac{t - t_{\max,p}}{T_p} \right) + v \right] - \frac{D_r}{\gamma T_p} \right\} \quad (8)$$

$$* \left\{ 1 + \cos \left[\frac{2\pi}{\gamma} \left(\frac{t - t_{\max,p}}{T_p} \right) \right] \right\} \quad t_{\max,p} - \frac{\gamma}{2} T_p < t < t_{\max,p} + \frac{\gamma}{2} T_p \quad (9)$$

$$D_r = V_p T_p \frac{\sin(\nu + \gamma\pi) - \sin(\nu - \gamma\pi)}{4\pi(1 - \gamma^2)}$$

که در روابط ۸ و ۹ دامنه پالس، T_p دوره پالس، γ تعداد نوسانات پالس، ν تغییرات زاویه فاز و $t_{\max,p}$ زمان معادل

همچنین β ضرایب پارامترهای مختلف بردار را نشان می دهد. همان طور که در جدول ۵ و شکل ۸ قابل مشاهده است نگاشتهای مربوط به یک زلزله ثابت وجود دارد مثلا چندین نگاشت از زلزله ۱۹۹۹ چی چی تایوان استفاده شده است. این امر در تحلیل های رگرسیون سبب وزن گرفتن نتایج به سمت یک زلزله خاص با بزرگای گشتاوری مشخص می شد. برای بر طرف کردن این موضوع از خطاهای درون و میان رخداد استفاده شده است. که در رابطه ۳ خطا میان رخدادی (همبستگی بین رویداد هایی که در دوره زمانی در یک ساختگاه مشخص به وقوع پیوسته) η_i با انحراف از معیار τ و خطا درون رخدادی (همبستگی بین نگاشت های ثبت شده در ساختگاه مختلف ناشی از یک رویداد مشخص) $\varepsilon_{i,j}$ با انحراف از معیار σ نشان داده می شود. σ_{total} مقدار انحراف از معیار کل را نشان می دهد که از رابطه $\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ قابل محاسبه است. مقادیر خطاهای درون و میان رخدادی بر اساس روابط (۴) و (۵) محاسبه می شوند [۱۷]

$$\eta_i = \frac{1}{\tau} \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \tau^2} \sum_{j=1}^{N_{j,i}} (Lny_{i,j} - f(\theta_{ij} | \beta)) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{\ln y_{i,j} - \{f(\theta_{ij} | \beta) + \eta_i \tau\}}{\sigma}$$

$$\ln(T_{Pij}) = -4.27 + 0.901M_W + 0.0038R \quad (5)$$

$$- 0.08 \ln(V_{S30}) + \eta_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\sigma_{total} = 0.51, \sigma = 0.51, \tau = 0.12$$

بعد از تحلیل برازش غیر خطی بر مجموعه اطلاعات دقیقترین مقدار برای پارامتر T_p و PGV نتیجه مطابق رابطه ۶ و ۷ قابل مشاهده است.

$$\ln(PGV)_{ij} = 5.432 + 0.081 - 0.332 \ln(R^2 + 25) + \eta_i + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

$$\sigma_{total} = 0.354, \sigma = 0.301, \tau = 0.19 \quad (7)$$

همان طور که در روابط ۶ و ۷ قابل مشاهده است مقادیر دوره تناوب پالس به بزرگای گشتاوری، فاصله از امتداد گسیختگی گسل و جنس ساختگاه بستگی دارد. شکل ۳ و ۴ به صحت سنجی روابط ارائه شده در این بخش پرداخته است. بدین منظور مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده دوره پالس با مقادیر مشاهده شده واقعی شده است. هم چنین مقایسه ای بین مقادیر بیشینه سرعت افقی پیش بینی شده توسط رابطه ارائه شده در این مقاله و روابط محققان دیگر انجام شده است.

ها Sa_{RotD50} و طیف با بیشینه مقدار در همه‌ی جهت‌ها $Sa_{RotD100}$ مقایسه شده است. قابل ذکر است Sa_{RotD50} یا مقدار متوسط بیشینه شدت در همه جهت‌ها به ازاء دوره‌های مختلف به صورت $Sa_{RotD50}(T) = median_{\theta}[Sa(\theta, T)]$ تعریف می‌شود و $Sa_{RotD100}$ یا مقدار بیشینه در هر جهت به صورت $Sa_{RotD100}(T) = \max_{\theta}[Sa(\theta, T)]$ تعریف می‌شود. شکل ۵ تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و طیف پاسخ پالس‌های شبیه سازی شده را نشان می‌دهد.

بیشینه مقدار پالس می‌باشد. در این بخش برای بررسی دقت روابط پیش بینی کننده دوره پالس و بیشینه سرعت افقی به تولید پالس حوزه نزدیک بر اساس نگاشتهای ثبت شده در مناطق نزدیک گسل پرداخته شده است. بر این مبنا ۵ نگاشت زلزله حوزه نزدیک گسل مربوط به گسل شیب لغز با بزرگراهی مختلف مطابق جدول ۳ انتخاب شده است. سپس به کمک مدل دباقی و کیروخیان و روابط پیش بینی کننده دوره پالس و بیشینه سرعت افقی به شبیه سازی بخش فرکانس پایین نگاشتهای انتخابی اقدام کرده و طیف پاسخ پالس تولید شده با طیف پاسخ نگاشت مشاهده شده با ROT D50 و ROT D100 یا طیف با مقدار متوسط در همه‌ی جهت-

جدول ۳. جزئیات نگاشتهای مورد استفاده

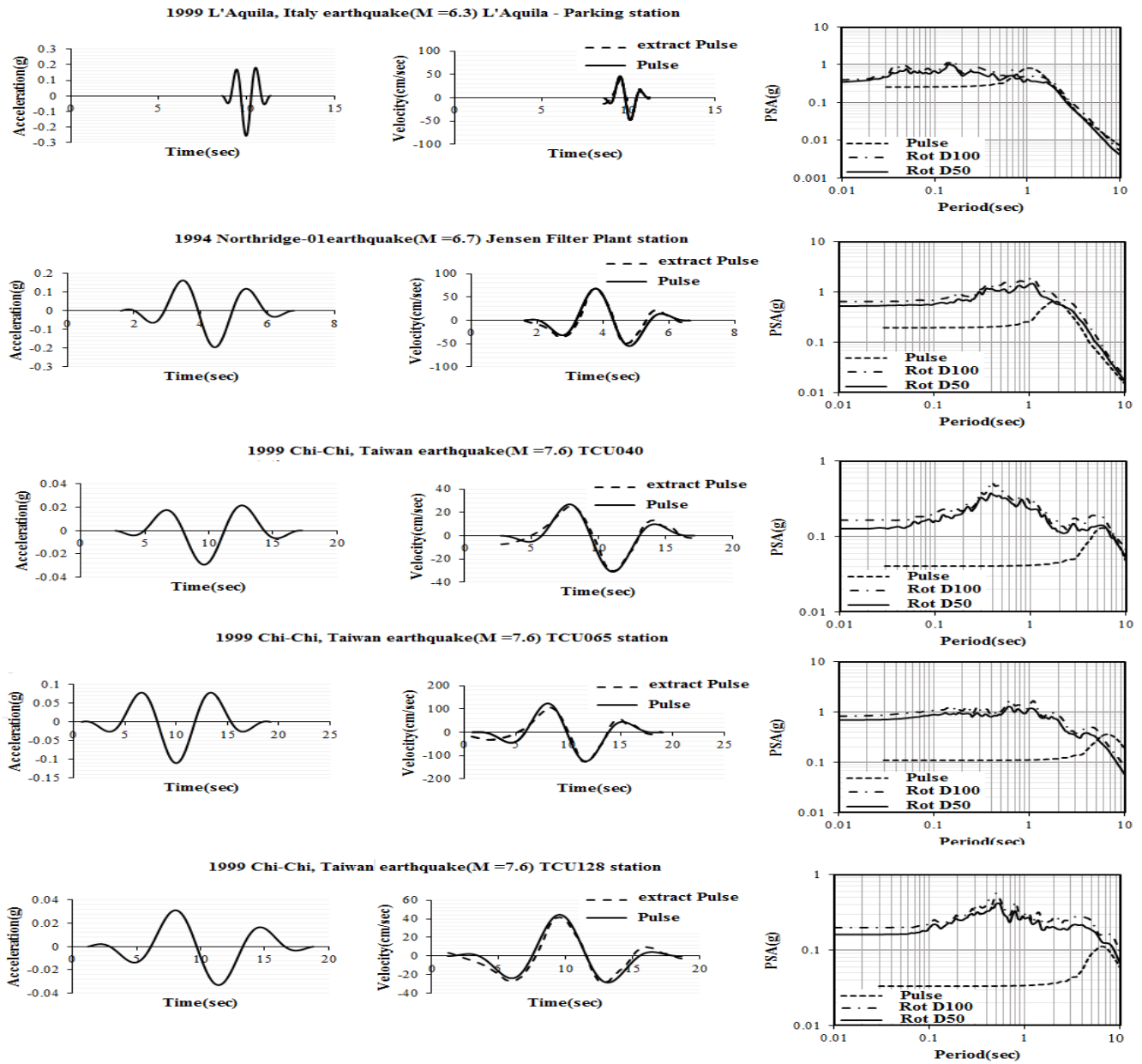
Earthquake Name	Year	Station Name	M_w	R	V_{S30}	T_p	PGV	γ	ν°
L'Aquila, Italy	2009	L'Aquila - Parking	6.3	5.4	717	1.98	46.3	2.1	195
Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	6.7	5.4	373	3.16	101.5	2.3	100
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040	7.6	22.1	362	6.43	47.6	2	225
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	7.6	0.6	306	5.74	136.5	2.3	0
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128	7.6	13.1	600	9.02	60.7	2.2	150

۲-۳ تولید بخش فرکانس بالای نگاشت

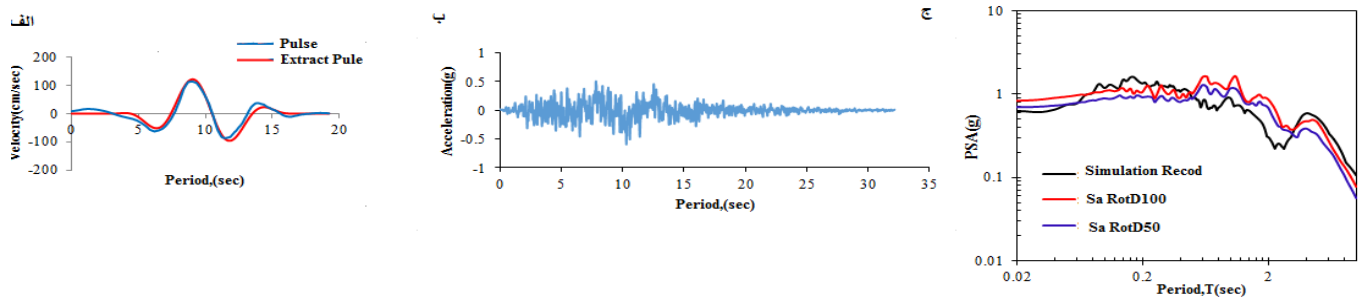
۳-۳ تولید نگاشت شبیه سازی شده برای مناطق نزدیک گسل

پس از تولید هر دو بخش فرکانس بالا و پایین باید این دو بخش را برای تولید نگاشت شبیه سازی شده باید ترکیب کرد. در این مطالعه برای بررسی دقت روش مورد استفاده و روابط کاهندگی به تولید دو نگاشت زلزله چی چی و بم پرداخته شده است. این دو نگاشت مربوط به دو مکانیزم مختلف گسل می باشند(مطابق جدول ۱). شکل ۶ و ۷ تاریخچه زمانی نگاشت و طیف پاسخ مربوط به ای دو نگاشت را نمایش می‌دهد

برای تولید یک شتاب نگاشت شبیه سازی باید بخش فرکانس بالای نگاشت با بخش فرکانس پایین جمع شود. روش های زیادی برای تولید بخش فرکانس بالای نگاشتهای شبیه سازی شده وجود دارد. از جمله ی این روش‌ها می‌توان به تابع تجربی گرین، تابع نیمه تجربی گرین، روش‌های کاتوره ایی، روش های مبتنی بر شبکه عصبی شبیه سازی و روش های ترکیبی اشاره کرد. در این مطالعه برای تولید بخش فرکانس بالا از روش کاتوره‌ایی (به کمک نرم افزار $SGMS$) استفاده شده است. بزرگای زلزله، فاصله از گسل و جنس خاک عوامل تاثیر گزار در این روش است

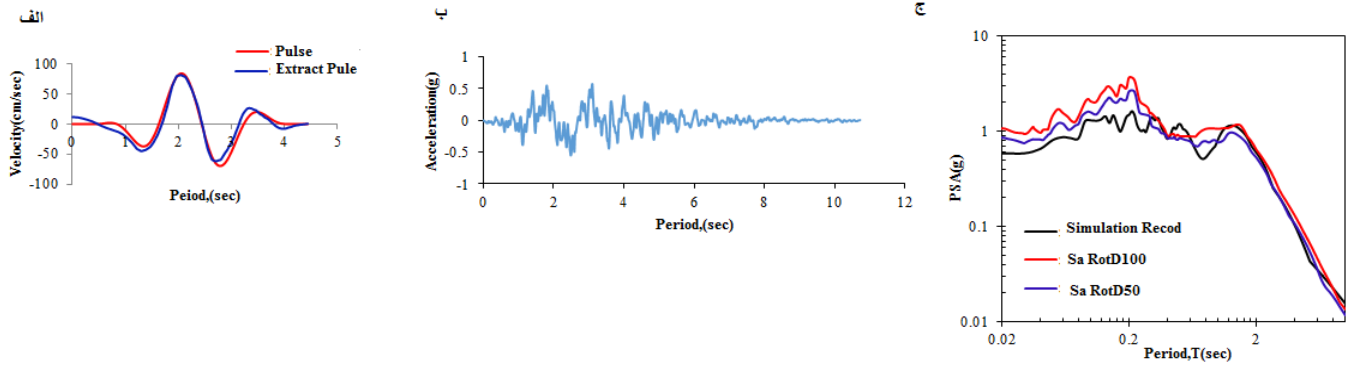


شکل ۵. تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و طیف پاسخ پالس شبیه سازی شده



شکل ۶. الف) تاریخچه زمانی سرعت پالس ب) تاریخچه زمانی شتاب شبیه سازی شده ج) مقایسه طیف پاسخ نگاشت شبیه سازی شده و نگاشت واقعی (chi-chi)

(1990- Tcu 065 NGA#1503)

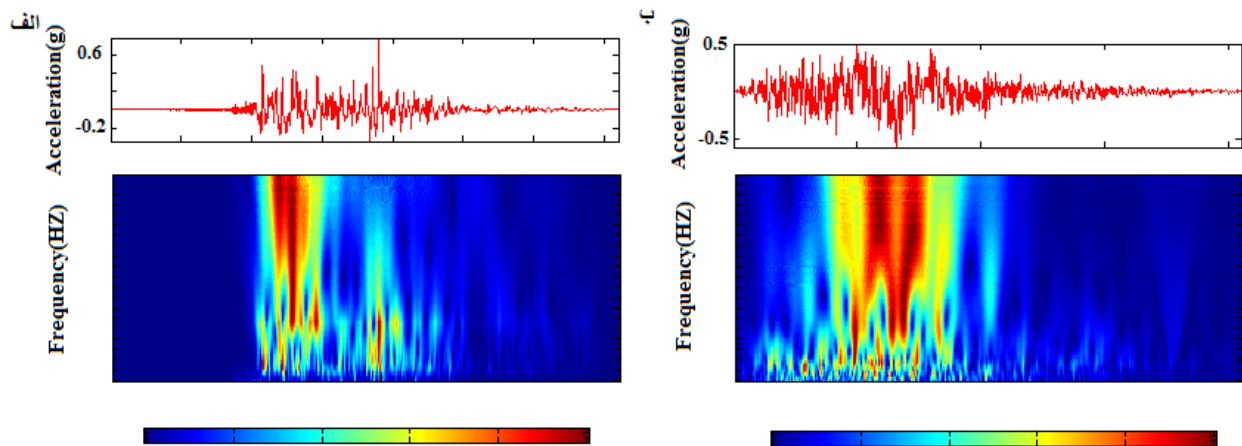


شکل ۷. الف) تاریخچه زمانی سرعت پالس ب) تاریخچه زمانی شتاب نگاشت شبیه سازی شده ج) مقایسه طیف پاسخ نگاشت شبیه سازی شده و نگاشت واقعی

(Bam,iran 2003- Bam NGA#4040)

موجک شده است. شکل ۸ و ۹ تحلیل دو نگاشت مشاهده شده و شبیه سازی شده را در حوزه فرکانس نمایش می دهد. همان طور در شکل ۸ و ۹ قابل مشاهده است بخش فرکانس پایین نگاشتهای شبیه سازی شده به توجه به ترکیب رنگ ها به راحتی قابل تشخیص بوده و وجود یک پالس با انرژی بالا را نمایش می دهد

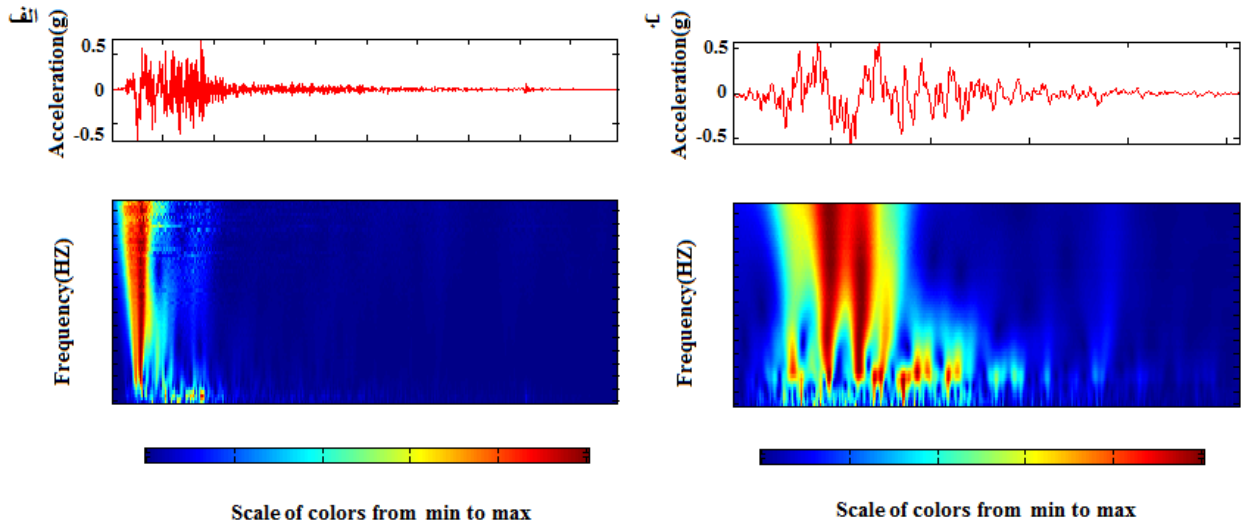
شکل ۶ و ۷ بیانگر دقت خوب تولید شتاب نگاشت شبیه سازی شده و محاسبه طیف پاسخ و مقایسه با طیف پاسخ نگاشت مشاهده شده زلزله چی چی و بم می باشد که در تولید نگاشت شبیه سازی شده استفاده شده است. برای مطالعه نگاشتهای شبیه سازی شده اقدام به بررسی نگاشتها در حوزه فرکانس به کمک تبدیل های



Scale of colors from min to max

Scale of colors from min to max

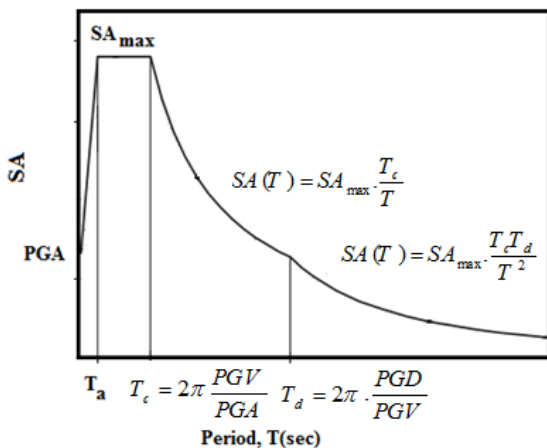
شکل ۸: بررسی نگاشت زلزله زلزله ۱۹۹۹ چی چی (NGA#1503) در حوزه فرکانس الف) نگاشت مشاهده شده ب) نگاشت شبیه سازی شده



شکل ۹. بررسی نگاشت زلزله زلزله ۱۹۹۹ چی چی (NGA#1503) در حوزه فرکانس الف) نگاشت مشاهده شده ب) نگاشت شبیه سازی شده

در آیین نامه های معتبر ASCE 7 و Euro code 8 می-باشد. (ASCE, 2010; Eurocode 8, 2002) نتایج جمع بندی انجام شده به شکل کلی طیف شکل ۱۰ به عنوان مبنای کار می‌باشد. این طیف پیشنهادی دارای سه بخش کنترل شتاب، سرعت و جابجایی است.

همان طور که در شکل (۱۰) نیز مشخص است اولین قدم در تعیین طیف طرح محاسبه مقادیر دوره‌های T_c و T_d است که این دو پارامتر به مقادیر بیشینه مقدار طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابجایی وابسته است. با توجه به مقادیر ضریب بزرگ نمایی می توان مقادیر T_c و T_d را به کمک روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه کرد



شکل ۱۰. طیف پیشنهادی برای تشکیل طیف طراحی

۴- تهیه طیف طرح با ویژگی راستگرایی پیش رونده در مناطق نزدیک گسل

یکی از اهداف مطالعه زلزله حوزه نزدیک گسل تهیه طیف طرح برای استفاده مستقیم آن در طراحی لرزه‌ای سازه هاست. محققان بسیاری به بررسی این موضوع پرداخته اند که می توان به کارهای لونگ جی اون و همکاران^۱ و اشاره کرد (Xu Longjun et al. 2006; Xu Longjun et al. 2010). همچنین بسیاری از آیین نامه ها برای سازه های حساس به بررسی این اثرات بر طیف طرح پرداخته اند که می توان به طیف انرژی اتمی کره و طیف شرق و غرب آمریکا برای سازه های حساس اشاره کرد.

در این بخش با استفاده از مجموعه اطلاعاتی شامل اطلاعات در ساختگاه سنگی و خاک به تهیه طیف طرح و پارامترهای آن با ویژگی زلزله حوزه نزدیک گسل پرداخته می‌شود

۴-۱ معرفی مجموعه اطلاعات و روش انجام کار

اطلاعات استفاده شده در این بخش مجموعه‌ای از اطلاعات NGA-WEST2 بوده که شامل اثرات شدید راستگرایی پیشرونده می-باشند. مجموعه اطلاعات استفاده شده در این بخش از تحقیق در جدول (۴) قابل مشاهده است.

همان طور که در جدول (۱) مشخص است ساختگاه های مورد بررسی به دو بخش شرایط سنگی و خاکی دسته بندی شده است که اساس کار این دسته بندی شرایط ذکر شده در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران است. اساس تعیین طیف طرح در این مطالعه قواعد ذکر شده

¹Xu Longjun

جدول ۴. اطلاعات استفاده شده برای تهیه طیف طراحی

NGA #	Earthquake Name	Year	Station Name	F	Magnitude	Closest Dist. (km)	Site
171	Imperial Valley-06	1979	El Centro - Meloland Geot. Array	1	6.5	0.1	soil
179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	1	6.5	7	soil
180	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	1	6.5	4	soil
181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	1	6.5	1.4	soil
182	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	1	6.5	0.6	soil
185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	1	6.5	7.5	soil
568	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	1	5.8	6.3	soil
569	San Salvador	1986	National Geographical Inst	1	5.8	7	soil
723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	1	6.5	0.9	soil
766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	0	6.9	11.1	soil
828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	0	7	8.2	soil
1084	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	0	6.7	5.3	soil
1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	0	6.7	5.2	soil
1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	1	6.9	1	soil
1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	1	6.9	0.3	soil
1120	Kobe, Japan	1995	Takatori	1	6.9	1.5	soil
1182	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	0	7.6	9.8	soil
1193	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY024	0	7.6	9.6	soil
1244	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	0	7.6	9.9	soil
1491	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU051	0	7.6	7.6	soil
1503	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	0	7.6	0.6	soil
1528	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101	0	7.6	2.1	soil
1530	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	0	7.6	6.1	soil
4040	Bam, Iran	2003	Bam	1	6.6	1.7	soil
6906	Darfield, New Zealand	2010	GDLC	1	7	1.2	soil
6962	Darfield, New Zealand	2010	ROLC	1	7	1.5	soil
8123	ChristchurchNew Zealand	2011	REHS	0	6.1	5.1	soil

پارامتر به مقادیر بیشینه مقدار طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابجایی وابسته است. با توجه به مقادیر ضریب بزرگ نمایی می

همان طور که در شکل (۱۰) نیز مشخص است اولین قدم در تعیین طیف طرح محاسبه مقادیر دوره‌های T_d T_c است که این دو

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۲، ۱۴۰۱.

بیشینه شتاب، سرعت و جابجایی می‌باشد. حال اینکه مقادیر رابطه PGV به کمک رابط ارائه شده در بخش (۳-۱) محاسبه شود (بیگلری و همکاران ۱۳۹۴). مقادیر ضرایب بزرگ نمایی نیز به کمک طیف پاسخ تمامی نگاشت‌های ارائه شده در این بخش محاسبه شده است. بدین منظور ابتدا پارامترهای هر نگاشت مطابق جدول ۵ استخراج و در نهایت در بخش بعد از مقادیر پارامترهای استخراج شده در تهیه طیف کمک می‌گیریم.

توان مقادیر T_c و T_d را به کمک روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه کرد.

$$T_c = 2\pi \frac{a_v}{a_a} \cdot \frac{PGV}{PGA} \quad (10)$$

$$T_d = 2\pi \frac{a_d}{a_v} \cdot \frac{PGD}{PGV} \quad (11)$$

در روابط (۱۰) و (۱۱) مقادیر a_a ، a_v و a_d به ترتیب ضرایب بزرگ نمایی طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابجایی متناظر با مقادیر

جدول ۵. استخراج پارامترهای مورد نیاز در تشکیل طیف طراحی از نگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه مطابق جدول (۱)

Earthquake Name	Year	Station Name	Closest Dist. (km)	Site	PGA	PGV	PGD	PGV/PGA	PGD/PGV
Imperial Valley-06	1979	El Centro - Meloland Geot. Array	0.1	soil	2.95281	0.73	0.351	0.247222	0.480822
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	7	soil	3.5316	0.80245	0.69	0.22722	0.859867
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	4	soil	3.75723	0.98	0.735	0.26083	0.75
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	1.4	soil	4.655826	1.12	0.68	0.240559	0.607143
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	0.6	soil	4.47336	1.119	0.483	0.250148	0.431635
Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	7.5	soil	2.4525	0.55	0.388	0.224261	0.705455
San Salvador	1986	Geotech Investig Center	6.3	soil	6.90624	0.7869	0.119	0.11394	0.151226
San Salvador	1986	National Geographical Inst	7	soil	3.924	0.57	0.198	0.14526	0.347368
Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	0.9	soil	4.10058	1.21	0.457	0.29508	0.377686
Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	11.1	soil	3.1392	0.4	0.179	0.127421	0.4475
Cape Mendocino	1992	Petrolia	8.2	soil	6.43536	0.93279	0.414	0.144948	0.44383
Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	5.3	soil	6.07239	1.15878	0.39	0.190828	0.336561
Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	5.2	soil	8.35812	1.21	0.338	0.144769	0.279339
Kobe, Japan	1995	KJMA	1	soil	8.3385	0.92	0.23	0.110332	0.25
Kobe, Japan	1995	Takarazuka	0.3	soil	5.9841	0.85	0.217	0.142043	0.255294
Kobe, Japan	1995	Takatori	1.5	soil	5.89581	1.2	0.357	0.203534	0.2975
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	9.8	soil	3.5316	0.6	0.235	0.169895	0.391667
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY024	9.6	soil	2.7468	0.52	0.548	0.189311	1.053846
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	9.9	soil	3.90438	1.09	0.7348	0.279174	0.674128
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU051	7.6	soil	1.5696	0.54	0.734	0.344037	1.359259
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	0.6	soil	7.7499	1.2548	1.061	0.161912	0.845553

عباس‌زاده و خرمی، بررسی زلزله حوزه نزدیک گسل به کمک شتاب نگاشت شبیه سازی شده و ارائه طیف طراحی، صفحات ۱۴۳-۱۶۰.

Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101	2.1	soil	1.99143	0.76802	0.752	0.385663	0.979141
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	6.1	soil	1.25568	0.75	0.673	0.597286	0.897333
Bam, Iran	2003	Bam	1.7	soil	7.26921	1.25	0.322	0.171958	0.2576
Darfield, New Zealand	2010	GDLC	1.2	soil	7.38693	1.1777	1.021	0.15943	0.866944
Darfield, New Zealand	2010	ROLC	1.5	soil	3.8259	0.85	0.973	0.22217	1.144706
Christchurch, New Zealand	2011	REHS	5.1	soil	6.94548	0.87	0.283	0.125261	0.325287

۲-۴ طیف طرح در ساختگاه با جنس خاک

به منظور تولید طیف طرح با ویژگی راستاگرایی پیش رونده در زلزله حوزه نزدیک گسل ابتدا مقادیر پارامترهای بزرگنمایی و سپس به کمک آن مقدار دو دوره $T_d T_c$ تعیین می‌شود جدول

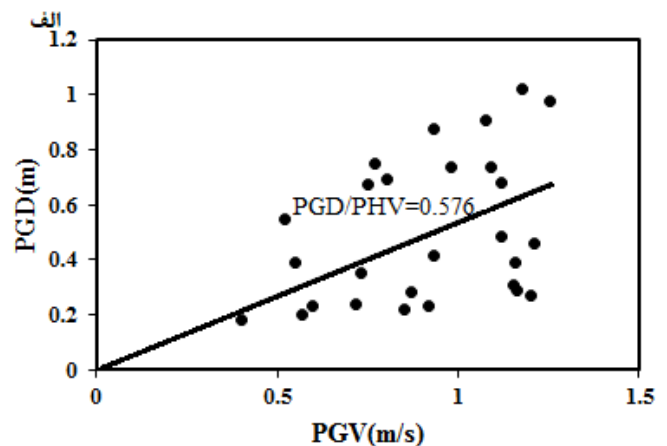
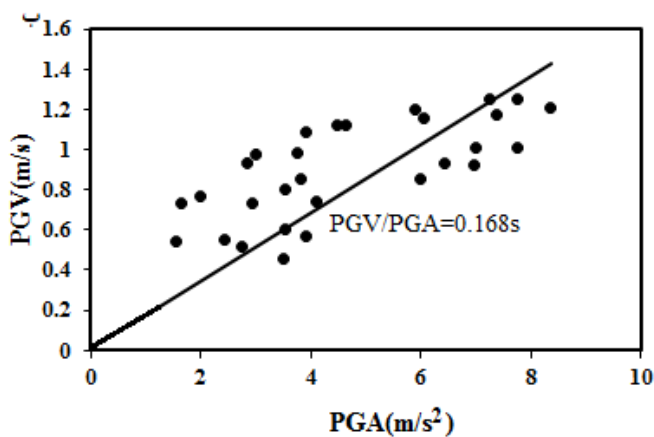
جدول ۶. مقادیر ضریب بزرگنمایی و $T_d T_c$ در ساختگاه با جنس خاک

Earthquake Name	Year	Station Name	a_a	a_v	a_d	T_c	T_d
Imperial Valley-06	1979	El Centro - Meloland Geot. Array	3.156	1.5	1.42	0.737906	2.858518
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	2.3611	2.18	1.826	1.317493	4.523088
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	3.472	2.122	1.768	1.001114	3.92426
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	2.377	2.32	2.27	1.474483	3.730683
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	3.01	1.876	2.308	0.979089	3.334876
Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	3.8	1.909	1.98	0.707515	4.595026
San Salvador	1986	Geotech Investig Center	2.25	2.105	1.818	0.669433	0.820217
San Salvador	1986	National Geografical Inst	2.68	2.1	2.18	0.714809	2.264577
Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	2.68	2.1	2.18	1.452059	2.462225
Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	3.84375	3.625	1.842	0.754664	1.42802
Cape Mendocino	1992	Petrolia	2.66768	1.93	2.22	0.658558	3.206061
Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	2.908	2.672	3	1.101141	2.373056
Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	2.054	1.695	2.42	0.750249	2.50459
Kobe, Japan	1995	KJMA	2.625	2.7	1.9	0.712679	1.104815
Kobe, Japan	1995	Takarazuka	3.9672	2.176	1.8894	0.489277	1.392084
Kobe, Japan	1995	Takatori	3.45	3.33	3.22	1.233737	1.806584

Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	3.75	2.6	2.5	0.739744	2.365064
Chi-Chi,	1999	CHY024	2.89	2.6	1.916	1.069576	4.87707
Chi-Chi,	1999	CHY101	2.964	2.64	3.13	1.561564	5.019295
Chi-Chi,	1999	TCU051	3.5625	1.76	1.66	1.067388	8.05114
Chi-Chi,	1999	TCU065	2	2.8685	2.45	1.458354	4.53536
Chi-Chi,	1999	TCU101	3.84	1.74	2.127	1.097451	7.51663
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	3.71	2.428	2.7	2.454803	6.26655
Bam, Iran	2003	Bam	3.643	2.16	2.04968	0.64029	1.535104
Darfield, New Zealand	2010	GDLC	2.0053	1.95	1.95	0.973611	5.444409
Darfield, New Zealand	2010	ROLC	2.1538	2.58	2.31	1.671319	6.436442
Christchurch, New Zealand	2011	REHS	2.33	3	3.8	1.012843	2.587552

تعیین مقادیر PGV به کمک رابطه ارائه شده در بخش (۳-۱) می‌توان به ازاء هر بزرگا و فاصله از گسل مقادیر PGA و PGD را محاسبه کرد.

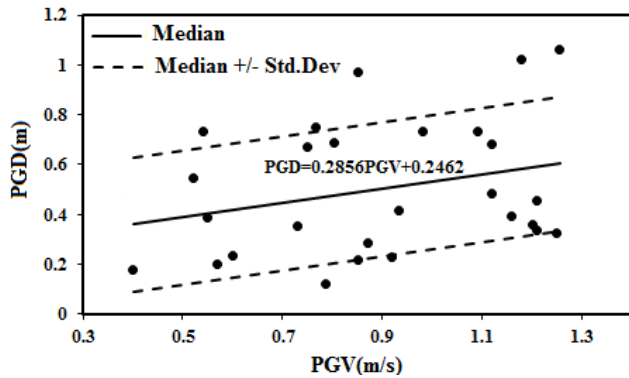
شکل (۱۱) رابطه بین بیشینه سرعت افقی و بیشینه شتاب برای مقادیر متوسط و دنباله صفر و رابطه بین مقادیر بیشینه سرعت افقی و بیشینه جابجایی را نشان می‌دهد به کمک این نمودار و



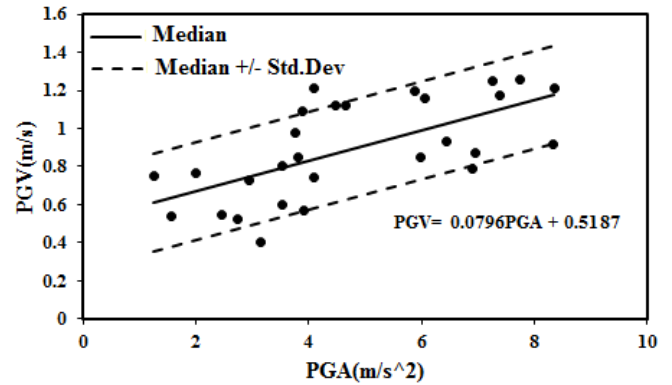
شکل ۱۱. رابطه بین بیشینه سرعت افقی با جابجایی و شتاب بیشینه برای مقادیر متوسط (a) شتاب (b) جابجایی

گرفتن انحراف از معیار را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان به کمک مقادیر تعیین شده یک پیش بینی کلی از تغییرات مقادیر T_d T_c با افزایش بزرگای زلزله ارائه داد با توجه به این موضوع شکل (۱۴) نمایشی از این تغییرات است.

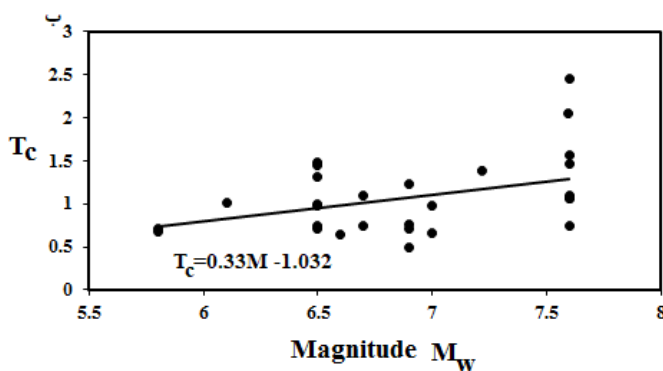
با توجه به پراکندگی داده‌ها برای مطالعه دقیق‌تر موضوع نیاز به در نظر گرفتن انحراف از معیار داده‌ها می‌باشد بر این اساس به کمک نرم افزار متلب انحراف از معیار داده‌ها محاسبه و تاثیرات آن بر مجموعه اطلاعات وارد شد شکل (۱۲) و (۱۳) تاثیرات در نظر



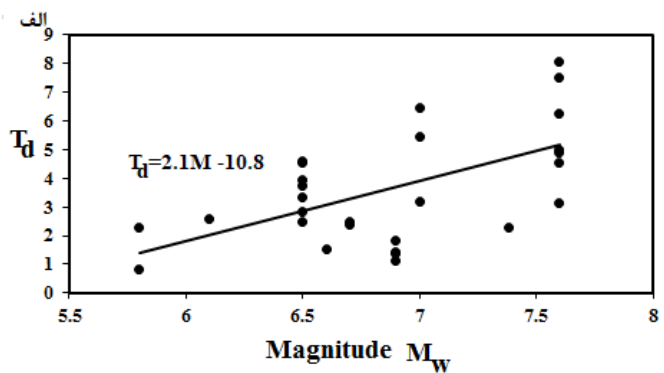
شکل ۱۳. رابطه بین بیشینه سرعت افقی و بیشینه جابجایی با و بدون انحراف از معیار



شکل ۱۲. رابطه بین بیشینه سرعت افقی و بیشینه شتاب با و بدون انحراف از معیار



شکل ۱۴. تغییرات مقادیر T_c و T_d در بزرگ‌های مختلف (a) تغییرات T_c (b) تغییرات T_d



گشتاوری می توان از جدول (۷) استفاده کرد

در این مطالعه برای تعیین مقادیر ضرایب بزرگنمایی با در نظر گرفتن میرایی طیف ۰.۵٪ و مقادیر متوسط فاصله از گسل و بزرگای

جدول ۷. مقادیر پیشنهادی برای تهیه طیف طراحی در ساختگاه با جنس خاک

a_a	a_v	a_d	PGV / PGA $in.sec^{-1}.g^{-1}$	$PGA.PGD / PGV^2$
۲,۵۰۲	۲,۳۰۴	۲,۴۰۳	۶۶,۰۸۷	۳,۱۸

است که نگاشت های ثبت شده در این مناطق با وجود اثرات حوزه نزدیک گسل بسیار محدود است. از طرفی بسیاری از آیین نامه ها این اثرات را در طیف های پیشنهادی در نظر نمی گیرند.

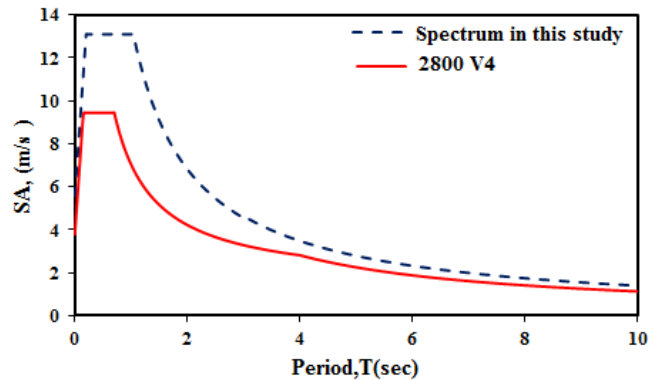
شکل ۱۵ مقایسه طیف پیشنهادی در این مطالعه با ویژگی حوزه نزدیک گسل و طیف آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم در خاک و پهنه بندی با خطر نسبی خیلی زیاد می باشد. همان طور که مشخص است مقادیر طیف پیشنهادی می تواند پوشش خوبی برای اثرات راستاگرایی پیشرونده در زلزله حوزه نزدیک گسل به نسبت طیف آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم باشد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به گسترش شهر ها در مناطق نزدیک گسل خطر ایجاد فجایع جانی و مالی در این مناطق افزایش یافته است. این در حالی

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۲، ۱۴۰۱.

مطالعه به کمک یک تحلیل رگرسیون غیر خطی با در نظر گرفتن خطاهای احتمالاتی به تعیین رابطه پیش بینی کننده بیشینه سرعت افقی پرداخته شده است. از طرفی دیگر تولید نگاشت‌های مصنوعی می‌تواند مشکل کمبود نگاشت حوزه نزدیک گسل در تحلیل‌های دینامیکی را بر طرف کند. بر این اساس در این مطالعه هر یک از بخش‌های فرکانس بالا و پایین تولید و با هم ترکیب شدند. بررسی نتایج مطالعه نشان می‌دهد روابط پیش بینی کننده و به موجب آن نگاشت‌های تولیدی دارای دقت بیش از ۸۵ درصد می‌باشد. همچنین طیف ارائه شده در ساختگاه خاکی مقادیر بیشتری برای مناطق نزدیک گسل به نسبت طیف آیین نامه ۲۸۰۰ نمایش می‌دهد. مقادیر شتاب طیف پیشنهادی در ناحیه با دوره تناوب کوتاه به نسبت طیف آیین نامه زلزله ایران ویرایش چهارم حدود ۴۰ درصد بیشتر و در مناطق با دوره تناوب بلند شتاب طیف پیشنهادی بین ۴۰ تا ۵ درصد بیشتر از طیف آیین نامه است.



شکل ۱۵. مقایسه طیف پیشنهادی در این مطالعه با طیف آیین نامه ۲۸۰۰. بنابراین به منظور بر طرف کردن این مشکلات ارائه طیف طراحی با نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک گسل بسیار با اهمیت است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد استفاده از نگاشت‌های نزدیک گسل و استخراج پارامترهای موثر در طیف طراحی می‌تواند در ارائه یک طیف کارآمد موثر باشد. تولید طیف طراحی وابسته به تعیین مقادیر بیشینه سرعت افقی است در این

- engineering application using the specific barrier model. *Jornal of structure engineering*. Asce/march 2011 (al 2011) (al 2011) (al. 2011)
- Mavroeidis, G.P. and Papageorgiou, A.S. (2003) A mathematical representation of near-fault ground motions. *Bull Seismol Soc Am*. 93(3):1099–1131.
- MacRae, G.A. and Mattheis, J. (2000) Three-dimensional steel building response to near-fault motions. *J Struct Eng*. 126(1):117–126.
- MacRae, G.A. and et al. (2001) Near-fault ground motion effects on simple structures. *J Struct Eng*. 127(9):996–1004.
- Liao, W.I. and et al. (2001) Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions. *Struct Des Tall Special Build*. 10(3):219–229.
- Sehhati, R. and et al. (2011) Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses o n multi-story structures. *Eng Struct*. 33(3):767–779.
- Somerville, P.G. (1998) Development of an improved g round motion representation f or near fault g round motions. Paper presented at the proceedings of SMIP98 seminar on utilization of strong-motion data. Oakland. CA.September.
- Somerville, P.G. (2003) Magnitude scaling o f the near fault rupture directivity pulse. *Phys Earth Planet Int*.137(1–4):201–212.
- Somerville, P.G. and et al. (1997) Modification of empirical strong ground motion attenuation r elations to include the amplitude and duration effects of rupture d irectivity. *Seismol Res Lett*. 68(1):180–203
- Xu, L. and et al. (2006) Design spectra including effect of rupture directivity in near-fault region. *Earthq Engng Vib*. 5 (2):159–170.
- Xu Longjun, Rodriguez-Marek A and Xie Lili (2006), “Design Spectra Including Effect of Rupture-Directivity in Near-fault Region,” *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* , 5(2): 159–170 (Xu Longjun 2006)
- Xu Longjun, Yang Shengchao & Xie Lili(2010), Response spectra for nuclear structures on rock sites considering the near-fault directivity effect. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* (2010) 9: 357-365. DOI : 10.1007/s11803- (Y. S. Xu Longjun 2010)010-0020-6
- Abrahamson, N. A., Youngs, R.R. (1992). “A stable algorithm for regression analyses using the random effects model”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1):505–510. (Abrahamson 1992)
- Alavi, B. and Krawinkler, H. (2001) Effects of near-fault ground motions on frame structures. The John A. Blume earthquake engineering center. Stanford University.
- Alavi, B. and Krawinkler, H. (2004) Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 33(6):687–706.
- Akkar, S. and et al. (2005) Drift estimates in frame buildings subjected to near-fault ground motions. *J Struct eng*. 131(7):1014–1024.
- Archuleta, R.J. and Hartzell, S.H.(1981) Effects of fault finiteness on near-source ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*.71(4):939–57.
- Ancheta, T. and et al. (2013) PEER NGA-West2 database, Technical Report 2013/03, Paicfic Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California. Anderson, J. C.,
- ASCE, 2010, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia. (ASCE 2010)
- Bray, J.D. and Rodrigue, A. (2004) Characterization o f forward-directivity ground motions in the n ear-fault region. *Soil Dyn Earthq Eng*. 24(11):815–828.
- Dabaghi, M. and Der Kiureghian, A. (2011) Stochastic model and simulation of near fault ground motions for specified earthquake source and site characteristics. Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley.USA.
- Eurocode, (2002) design of structures for earthquake resistance. prEN 1998-1, CEN/TC250/SC8/N317
- Halldorsson B. et al. (2011). Near-Fault and Far-Field strong ground-motion simulation for earthquake



Earthquake investigation near the fault using simulated acceleration mapping and design spectrum

Alireza Abbaszadeh^{1*} and Mohammadsaeid Khorami²

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.

2- MSc Graduate of Earthquake Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 24 September 2021; Accepted: 24 January 2023

Corresponding author: a.abaszadeh@ilam.ac.ir

Keywords

Earthquake near the fault basin

Pulse period

Maximum horizontal velocity

Design spectrum

Simulation mapping acceleration

Extended Abstract

Summary

The locations of large cities in Iran in areas close to the faults and the activities of many of these faults have caused attention to the seismic characteristics of the areas near the faults. Meanwhile, the unavailability of near-fault field maps in these areas, and also, the weakness of design regulations in providing design spectra appropriate to the near-fault areas, lead to a detailed study and parameterization of earthquakes near the faults. The parameters of maximum horizontal velocity and pulse frequency are very important in parameterizing near-fault earthquakes and producing simulation maps. Moreover, design

spectra provided for areas close to faults can be used in the design of many structures near active faults. In this study, with the help of AIC information criterion, nonlinear regression analysis and by considering the errors within and between events on a set of near-fault field maps, equations for predicting pulse periodicity and maximum horizontal velocity have been obtained. The resulting pulse model and the low frequency section of the mapping are generated. To produce a simulated acceleration, the high frequency portion of the mapping must be combined with the low frequency portion. Thus, after producing the high frequency section and its combination with the low frequency portion, the simulated acceleration map is generated. Furthermore, with the help of a set of near-fault maps and extraction of parameters related to each map, the spectrum with the characteristics of the near-fault area has been presented. The results of this study show that the produced acceleration in this study has a very high accuracy. In addition, the spectrum presented in this study can eliminate the weakness of the spectrum of regulations for the areas close to the faults. In this study, to investigate the accuracy of the results and the reduction relations, two maps of Chi Chi and Bam earthquakes have been produced. These two maps are related to two different fault mechanisms. One of the objectives of studying the earthquakes near the faults is to prepare the design spectrum for its direct use in the seismic design of structures. In this research, using a data set including information on rock and soil structures, the design spectrum and its parameters with the seismic characteristics of the areas near the faults are prepared.

Introduction

Maps recorded in areas near an active fault show that areas less than 30 km from the fault rupture zone are prone to earthquakes near the fault. Most of the maps recorded in areas near the fault are different from maps far from the fault. These differences are often seen in the time history of velocity and displacement when the two factors of progressive orientation and sustained displacement cause these differences. As it turns out, the recorded maps are limited by the progressive orientation feature. Therefore, there is a need to use simulation models of this powerful earth movement.

Methodology and Approaches

The information used in this study is a set of NGA-WEST2 information that includes the severe effects of progressive orientation. In this regard, the studied buildings are classified into two parts: rock and soil conditions, which are based on the conditions mentioned in the Iranian regulations No. 2800. The other part is the design spectrum that is, in this study, based on the rules mentioned in the valid ASCE 7 and Euro code 8 regulations. To study the simulated maps, the frequency domain maps have been analyzed with the help of wavelet transforms. In this study, with the help of a nonlinear regression analysis, the predictive relationship for the horizontal maximum velocity is determined by considering the errors within and between the events. Due to the dispersion of data, for a more detailed study of the subject, the need to data processing is considered accordingly with the help of MATLAB software. Deviation from the

data standard has been calculated and its effects on the data set have also been entered.

Results and Conclusions

The results of this study show that the use of close fault mapping and extraction of effective parameters in the design spectrum can be effective in providing an efficient spectrum. On the other hand, the production of artificial maps can solve the problem of lack of near-fault field mapping in dynamic analysis. Accordingly, in this study, each of the high and low frequency components have been generated and combined. Examination of the results of this study shows that the predictive relationships, and therefore, the production maps have appropriate accuracy. Moreover, the spectrum presented in the earthen site shows higher values for the areas near the fault than the spectrum of the regulations No. 2800.
