

# فصل اول

## مقدمه

### ۱-۱ مقدمه ای بر تحقیق

شبیه سازی حرکت های زلزله هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که رکوردهای حرکت قوی زمین به اندازه کافی در دسترس نباشند که معمولاً در مناطق خاص جغرافیائی که رکوردهای ثبت شده، با بزرگی های مختلف در فواصل گوناگون و پراکنده از هم می باشند، مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد دیگر شبیه سازی، در هنگام ارائه داده های مصنوعی می باشد که با استفاده از تکمیل یا تغییر در حرکت های رکوردها انجام می شود.

موارد کاربرد معمول شبیه سازی در طراحی مهندسی عبارت است از:

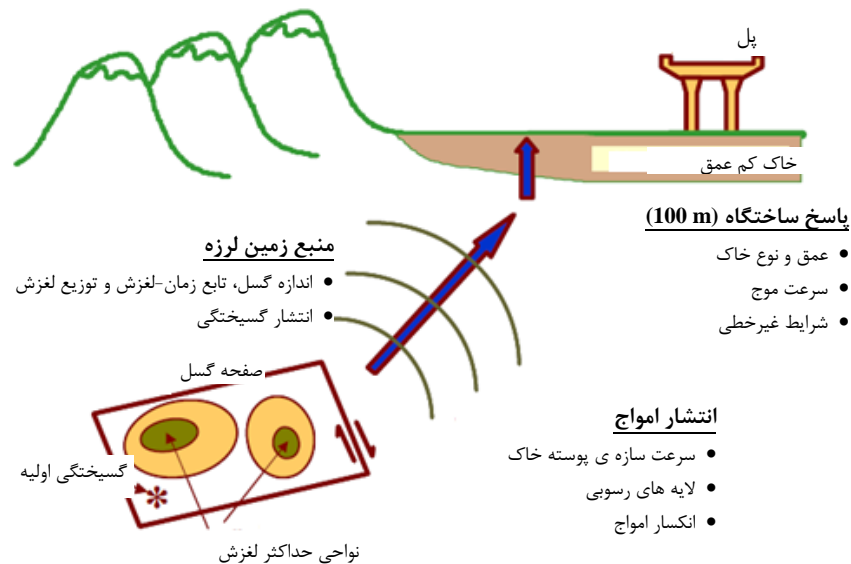
۱. بررسی حرکت زمین برای آنالیزهای پاسخ سازه و پاسخ ژئوتکنیکی برای پروژه های خاص در محل مورد مطالعه.
۲. تهیه اطلاعات مصنوعی برای مناطق مختلف (مانند تغییرات بزرگای لرزه ای با توجه تغییرات فاصله برای مناطق جغرافیائی گوناگون) با داده های پراکنده به منظور تکمیل یا تغییر در حرکت ثبت شده و توسعه روابط کاهندگی یا طراحی بر اساس حرکت زمین.

اولین نمونه کاربردی آن، شبیه سازی لرزه ای تاریخچه زمانی شتاب نزدیک گسل پروژه فولادی SAC در سال ۱۹۹۷ بوده که توسط سامرویل<sup>۱</sup> و سیلوا<sup>۲</sup> دو تن از محققین مرکز تحقیقاتی PEER (مرکز تحقیقات ویژه مهندسی زلزله) با استفاده از تاریخچه زمان ورودی آنالیز سازه در یک ساختمان قاب خمشی فولادی انجام شده است [Somerville, et al., 1997]. دومین کاربرد آن، تسهیل در تهیه و توسعه روابط کاهندگی شتاب طیفی برای مرکز و شرق ایالات متحده آمریکا بوده است [Toro, 1997; Atkinson, 1995; Frankel, 1996].

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، حرکت زمین ناشی از زلزله نتیجه ترکیب پیچیده سه بخش مختلف می باشد؛ در ابتدا امواج لرزه ای به عنوان بخشی از انرژی کرنشی آزاد شده ناشی از گسیختگی گسل فعال<sup>۳</sup> تولید می شوند سپس امواج لرزه ای در داخل پوسته زمین انتشار یافته تا به سطح زمین<sup>۴</sup> برسند و سرانجام در مکانی، که به علت انتشار در خاک کم عمق<sup>۵</sup> است دستخوش تغییرات اضافی می شوند که نتیجه آنها حرکات پیچیده زمین ناشی از زلزله است که با مشخصات مختلف در زمان تناوب های کوتاه و بلند ایجاد می شوند.

به طور کلی حرکات زمین با دوره تناوب طولانی در اصطلاح تعیینی یا قطعی است؛ از این رو شکل امواج و محتوای طیفی آنها قابل پیش بینی می باشد، که آن با استفاده از مدل های لرزه خیزی (که فاقد هرگونه المان تصادفی هم در داده های ورودی و هم در فرمول های تئوری است) صورت می گیرد [Stewart, et al., 2001]. اولین مدل سازی موفق برای رکوردهای نزدیک گسل با استفاده از شبیه سازی قطعی رکوردهای جا به جایی، در ایستگاه شماره ۲ زلزله ۱۹۶۶ پارکفیلد<sup>۶</sup> توسط اکی<sup>۷</sup> و هاسکل<sup>۸</sup> صورت گرفت [Aki, 1968; Haskell, 1969] آنها توانستند اثبات کنند که می توان شکل موج جا به جایی ثبت شده در آن ایستگاه را که تنها ۰/۸ کیلومتر از منبع فاصله داشت، با استفاده از ۵ پارامتر مدل منبع که در یک محیط متوسط همگن قرار داشت را باز تولید کنند.

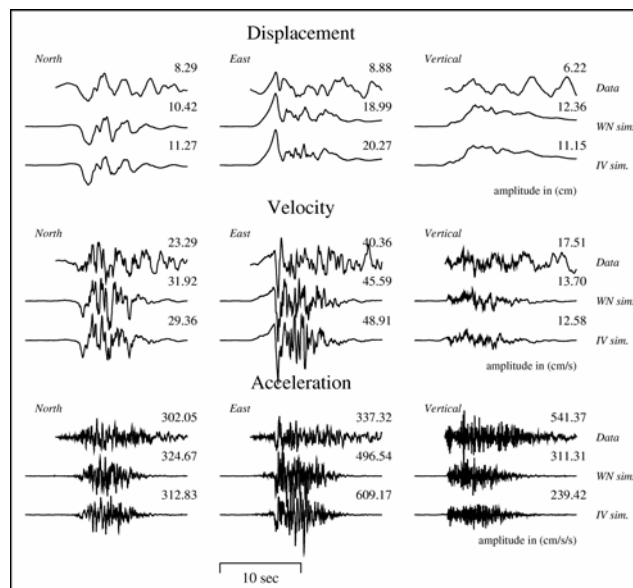
- 1 . Samerville.
- 2 . Silva.
- 3 . Earthquake Source Process.
- 4 . Wave propagation.
- 5 . shallow soil response.
- 6 . Parkfield.
- 7 . Aki.
- 8 . Haskell.



شکل ۱-۱. نمونه ای از سه فرآیند فیزیکی تحت اثر تولید و انتشار امواج لرزه ای [Silva, et al., 1995]

در شکل ۱-۲ می توان نمونه دیگری از تطابق رکوردها با زمان تناوب بلند در آیرتاً در طی زلزله Northridge (۱۹۹۴)، که توسط سامرویل و همکارانش انجام شده است را مشاهده نمود. تطابق و تعیین شکل امواج ناشی زلزله با فرکانس بالا با استفاده از روش های تعیینی نسبتاً سخت تر است. این امر به علت اختلاف میان امواج منتشر شده با امواج ساطع شده از منبع در زمان تناوب کوتاه است [Liu, et al., 1985; Sato, et al., 1998]. که این به علت ماهیت طبیعی مشخصات پوسته و منبع زلزله می باشد. در کل مشاهده می شود که حرکات با فرکانس بالا رفتار تصادفی دارند. که این تغییر زمان تناوب از رفتار قطعی به تصادفی حالت غیر تعیینی دارد ولی در اغلب موارد مقدار آن در حدود یک است ( $T \approx 1$ ).

لرزه شناسان به منظور بررسی و تخمین مقادیر قطعی و تصادفی متغیرها و همچنین بررسی اثرات هر سه بخش یک زلزله (منبع لرزه زاء، انتشار موج، اثرات پاسخ محل)، مدل های بسیاری را بررسی نموده اند که در بخش های بعدی به بررسی هر چه بیشتر آنها پرداخته شده است.



شکل ۱-۲. مقایسه رکوردهای جابه جایی، سرعت و شتاب زلزله واقعی (ردیف بالا) با مدل شبیه سازی شده (ردیف وسط و پائین) در طی زلزله Northridge [Stewart, et al., 2001]

## ۲-۱ لزوم انجام تحقیق

جهت محاسبه لرزه ای سازه های پیچیده مانند نیروگاهها، سدها و یا حتی سازه های بلند و غیرمتعارف نیاز به انجام آنالیزهایی مانند آنالیز تاریخچه زمانی می باشد. در واقع برای اینگونه سازه ها تنها راه قابل قبول برای معین کردن نیروی زلزله انجام آنالیز تاریخچه زمانی است. انجام این آنالیز نیاز به داشتن شتابنگاشتی قابل اعتماد و سازگار با محل مورد نظر دارد. اما برای بسیاری از محل ها یا شتابنگاشتی ثبت نشده و یا تعداد شتابنگاشت های ثبت شده کافی نمی باشند. بنابراین برای حل این مشکل از شتابنگاشت مصنوعی تولید شده به منظور بیان زلزله واقعی محل استفاده می شود.

شتابنگاشت های مناسب، رکوردهایی هستند که به طور میانگین اطلاعات لرزه خیزی و تکتونیکی منطقه و خاک محل احداث سازه را منعکس کنند. محدودیت های کمی شتابنگاشت های حقیقی، همچنین وابستگی زمین لرزه های واقعی به یک سری پارامترهای تصادفی نظیر بزرگای زلزله، فاصله کانونی، محتوای فرکانسی، مدت زمان موثر یا زمان شتاب قوی زلزله و غیره، انگیزه اصلی تولید شتابنگاشت های مصنوعی است. همچنین از دیگر موارد کاربرد شبیه سازی می توان به ارتقا یا تولید روابط کاهندگی شتاب در مناطق نزدیک به گسل به علت کمبود رکوردهای موجود و یا در مناطقی با کمبود رکوردهای موجود جهت تولید طیف بازتاب استاندارد و یا طیف ویژه ساختگاه در حوزه نزدیک و دور از گسل اشاره نمود.

## ۳-۱ اهداف تحقیق و نوآوری

هدف از این تحقیق، بررسی شبیه سازی زمین لرزه های حوزه نزدیک گسل با استفاده از روش های مدل تصادفی حرکت زمین در یک منطقه مشخص و بدست آوردن طیف پاسخ الاستیک برای مناطق حوزه نزدیک گسل می باشد. با توجه به آنکه زمین لرزه های حوزه نزدیک گسل اغلب دارای مدت زمان کم ولی شدت بالا و به صورت پالس گونه می باشند، تعداد رکوردهای ثبت شده زلزله های حوزه نزدیک گسل توسط شتابنگاشت ها کم می باشند و گاهی برای طراحی لرزه ای برخی از سازه های خاص در مناطق خاص مهندسی با مشکلات جدی مواجه می شوند. به طوریکه حتی در استاندارد ۲۸۰۰ ایران، طراحی ساختمان در حوزه نزدیک گسل به صورت مبهم بیان شده است (بند ۱-۳-۱) [۱۳۸۶, ۲۸۰۰].

### ۴-۱ فرضیه های تحقیق

۱. به نظر می رسد در حالت کلی حرکات با فرکانس بالا رفتار تصادفی داشته باشند که این تغییر زمان تناوب از رفتار قطعی به تصادفی حالت غیر تعینی دارد. همچنین در شبیه سازی تفاوت میان مدل های گوناگون به علت چگونگی مدل های پس لرزه ها و چگونگی جمع آنها با یکدیگر (اندازه، موقعیت و زمان پس لرزه) می باشد.
۲. به نظر می رسد که همه مولدهای شبیه ساز نیاز به قسمت های تصادفی و تجربی برای مدلسازی داشته باشند. از این رو، مدلسازی را می توان به تنهایی توسط کالیبره کردن مدل با استفاده از رکوردهای حرکت زمین بدست آورد.
۳. به نظر می رسد که رکوردهای زمین لرزه ای حوزه نزدیک گسل مقدار PGV بالا و رکوردهای آنها حالت ضربه گون داشته باشند.
۴. به نظر می رسد که در ساختمان های واقع در حوزه نزدیک گسل، تفاوت زیادی میان تغییر شکل حداکثر طبقات در مقایسه با حوزه دور از گسل وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که فاصله ساختگاه از منبع جهت در نظر گرفتن اثرات نزدیک گسل، اغلب توسط محققین مختلف در حدود ۱۵ کیلومتر بیان شده است.
۵. به نظر می رسد که مشخصات مولد ارتعاش نزدیک گسل از جمله زمان تداوم، نوع گسیختگی (پیش رونده<sup>۱</sup> یا پس رونده)، نوع انتشار و محتوای فرکانسی نگاشت بر رفتار و عملکرد لرزه ای ساختمان ها تأثیر قابل توجهی داشته باشد.
۶. به نظر می رسد طیف آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران جوابگوی نیاز های سازه ای در حوزه نزدیک گسل نباشد.
۷. به نظر می رسد با افزایش نسبت PGV/PGA (که یکی از پارامترهای اصلی انتخاب نگاشت ها نزدیک گسل می باشد) پاسخ سازه ها نیز افزایش پیدا می کند.

---

10 . rupture directivity.

### ۵-۱ فرضیات تحقیق

در این تحقیق جهت سهولت فرضیات به شرح ذیل در نظر گرفته شده است:

جهت شبیه سازی حرکت زمین، از رکوردها با ممان بزرگای بزرگتر از ۵ ریشتر و از روش تصادفی گسل محدود<sup>۱۱</sup> استفاده شده است.

طیف بدست آمده در این تحقیق برای ساختگاه تهران به خصوص گسل شمال تهران تهیه شده است که با توجه به گسترش ساخت و ساز شهری در آن ناحیه و فعال بودن این گسل بررسی آن ضروری به نظر می رسد.

طیف های بدست آمده برای رکوردهای مختلف با توجه به میرائی ۵٪ محاسبه شده است. سپس طیف طرح آن با توجه به روش های موجود محاسبه و هموار شده است.

جهت مقایسه طیف بدست آمده در این تحقیق برای حوزه نزدیک به گسل با طیف آئین نامه ۲۸۰۰ ایران و دیگر آئین نامه های معتبر از آنالیز استاتیکی غیر خطی (Pushover) در قاب های فولادی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه استفاده شده است.

### ۶-۱ فصول تحقیق

فصل دوم : "مرور مختصری بر برخی از روش های شبیه سازی". در این فصل برخی از روش ها و الگوریتم های موجود جهت شبیه سازی حرکت زمین ناشی از زمین لرزه به اختصار بیان می شود.

فصل سوم : "لرزه زمین ساخت تهران". در این فصل به بررسی لرزه زمین ساخت تهران و معرفی گسل های منطقه پرداخته شده است.

فصل چهارم : "طیف پاسخ - طیف طرح". در این فصل با فرض میرائی ۵٪ برای ساختمان ها طیف رکوردهای موجود محاسبه می شود. سپس با استفاده از روش های استاندارد این طیف طرح محاسبه و هموار می گردد.

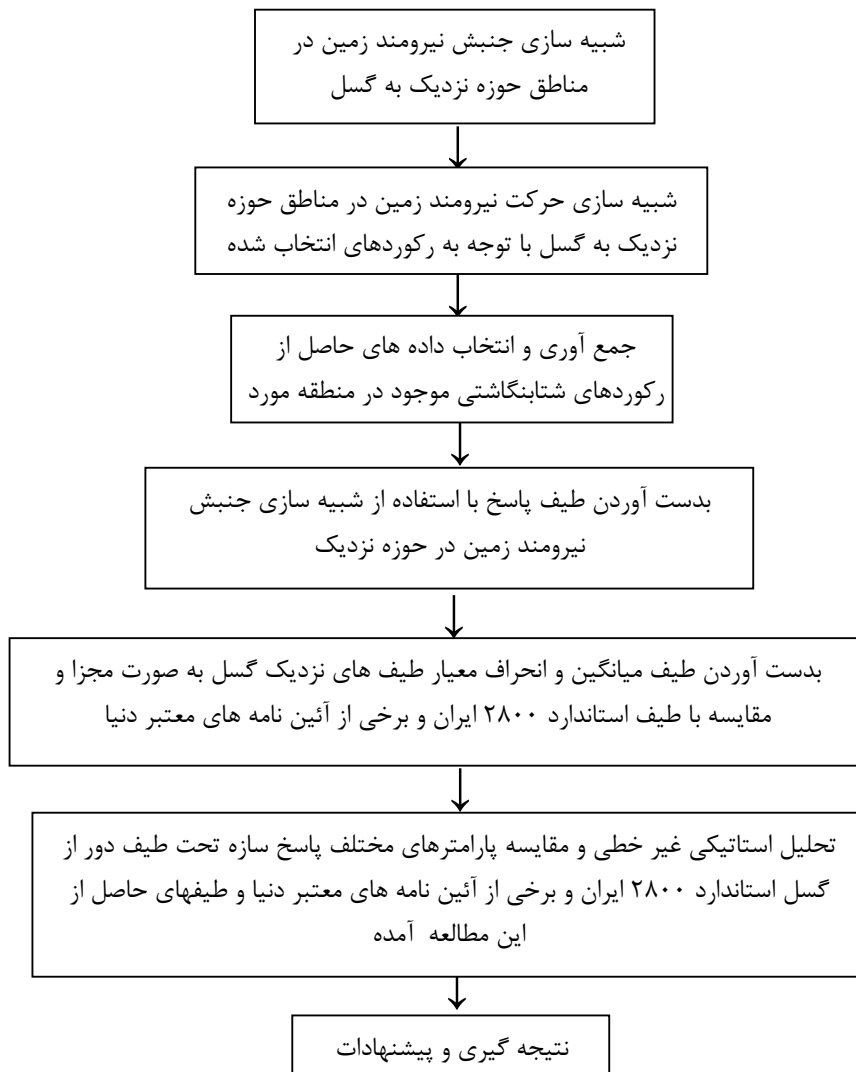
فصل پنجم : "تحلیل و بررسی نتایج". در این فصل در ابتدا با استفاده از شبیه سازی جنبش نیرومند زمین یک طیف طرح جهت ساختگاه تهران بدست آمده، سپس این طیف با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰، تایوان و UBC-97 مقایسه گردیده است. جهت مدلسازی از قابهای خمشی فولادی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه استفاده می شود و سپس با استفاده از آنالیز استاتیکی غیر خطی با یکدیگر مقایسه و بررسی می شود.

11 . Stochastic finite fault method.

فصل ششم: "پیشنهاد و نتیجه گیری". در این بخش مختصری از برخی نتیجه های بدست آمده در فصلهای قبل بیان می شود و سرانجام یک طیف طراحی با میرایی ۵٪ در ساختمانگاه تهران پیشنهاد می شود. همچنین مطالعه حاضر شامل دو پیوست یک و دو می باشد. که در پیوست یک، نتایج حاصل از شبیه سازی و در پیوست دو، نتایج حاصل از تحلیل نشان داده شده است.

### ۷-۱ روند و فلوجارت تحقیق

در این تحقیق به شبیه سازی جنبش زمین در ساختمانگاه تهران پرداخته شده است. گسل در نظر گرفته شده راندگی شمال تهران فرض شده است. پس از تهیه اطلاعات لرزه زمین ساختمانی منطقه و تعیین مشخصات گسل، در سه ایستگاه در فاصله های مختلف از گسل مختصات طول و عرض جغرافیائی تعیین شده و سپس با استفاده از نرم افزار EXSIM به تولید شتابنگاشت مصنوعی برای ممان بزرگای بین ۵ تا ۷/۱ ریشتر با گامهای ۰/۱ ریشتر با استفاده از روش کاتوره ای گسل محدود در هر ایستگاه پرداخته شده است. از شتابهای تولید شده، طیف پاسخ نظیر آن در هر ایستگاه محاسبه و یک طیف طرح برای هر ایستگاه بدست آمده است. در پایان با استفاده از این سه طیف طرح بدست آمده در هر ایستگاه دو طیف طرح الاستیک با میرایی ۵٪ برای ساختمانگاه تهران برای دو بازه ممان بزرگای ۵ تا ۶ ریشتر و ۶/۱ تا ۷/۱ ریشتر پیشنهاد شده است. سرانجام این دو طیف بدست آمده با طیف حوزه نزدیک به گسل آئین نامه های تابوان و UBC-97 و طیف حوزه دور از گسل استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقایسه و نتیجه های آن مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جهت مقایسه و بررسی نتیجه از قابهای خمشی فولادی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه استفاده شده است. در شکل (۱-۳) می توان فلوجارت کلی تحقیق را مشاهده نمود.



شکل ۱-۳. فلورچات کلی تحقیق



## فصل دوم

# مرور مختصری بر برخی از روش های شبیه سازی

در این فصل در ابتدا به بررسی اثر پارامترهای خاص گسلش و موقعیت مکانی ساختگاه بر مشخصات پالس حوزه نزدیک گسل پرداخته و سپس چند روش پرکاربرد جهت شبیه سازی جنبش نیرومند زمین ارائه می شود.

### ۱-۲ بررسی اثر پارامترهای خاص گسلش و موقعیت مکانی ساختگاه بر مشخصات پالس حوزه نزدیک گسل

توزیع خرابی های زلزله های بزرگ اخیر همانند هیوگوکن-نانبو<sup>۱</sup> ژاپن (۱۹۹۳)، کوجائیلی<sup>۲</sup> ترکیه (۱۹۹۹)، چی-چی تایوان (۱۹۹۹) و زلزله بم ایران (۲۰۰۳) نشان دادند که مشخصات زلزله در حوزه نزدیک گسل شدیداً تحت تأثیر اثر چشمه و شرایط ساختگاه می باشد. برای مثال اثرات چشمه مانند لغزش و جابه جایی غیریکنواخت بر روی سطح گسل و جهت پذیری پیش رونده، باعث ایجاد خرابی های زیادی در زلزله هیوگوکن-نانبو گردید. با این وجود بسیاری از برآوردهای جنبش نیرومند زمین در تحلیل خطر زلزله، هنوز به روش های تجربی وابسته می باشند. روش های متداول جهت بررسی جنبش نیرومند زمین نظیر روش احتمالاتی، اغلب به روابط کاهندگی منتهی می شوند. این روابط جهت برآورد پارامترهای مشخصه جنبش زمین همانند بیشینه

---

1 . Hyogo-Ken Nanbu.

2 . Kasaeli.

## فصل دوم. مروری مختصری بر برخی از روشهای شبیه سازی

شتاب زمین<sup>۳</sup> یا شتاب طیفی ( $S_a$ )، به صورت توابعی از بزرگای زلزله و فاصله به کار می روند. این روابط کاهشدهنده ممکن است دقت کافی در ارائه تخمین صحیحی از میزان شتاب زمین و یا شتاب طیفی، به سبب محدودیت پارامترها مخصوصاً در زلزله های نزدیک گسل به لحاظ مشخصات خاص آن نظیر ظهور پالس حوزه نزدیک و پدیده جهت پذیری، برخوردار نباشند. برای واقعی تر نمودن بررسی رفتار جنبش زمین می بایست پارامترهای مؤثر چشمه لرزه ای خصوصاً برای زلزله های حوزه نزدیک گسل در ارزیابی حرکت توانمند زمین لحاظ گردد [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].

این پارامترها را می توان به دو دسته کلی پارامترهای عمومی و پارامترهای خاص تقسیم بندی کرد. پارامترهای عمومی عبارتند از پارامترهایی مانند ابعاد (طول و عرض) گسل، ممان لرزه ای، جهت لغزش روی گسل و زاویه شیب گسل که بر اساس تحقیقات زمین شناسی و زلزله شناسی بر روی زلزله های مهم و گسل مسبب آنها قابل تعیین می باشند. پارامترهای خاص گسل نیز شامل لغزش ناهماهنگ (اسپریتی)، میزان لغزش بر روی اسپریتی، موقعیت اسپریتی و ابعاد آن، زمان فرآیند و سرعت گسیختگی بوده که از آنالیز برگشتی فاز خاصی از امواج در زلزله ها به دست می آیند. توزیع لغزش و سرعت آن بر روی صفحه گسل در محدوده چشمه خصوصاً برای زلزله های با بزرگای بیش از شش ریشتر یکنواخت و همگن نمی باشد. بنابراین برای برآورد حرکت نیرومند زمین بایستی توزیع جا به جایی، میزان آن و نحوه گسیختگی علاوه بر جا به جایی متوسط مشخص گردد. محدوده ای بر روی سطح گسل که میزان جا به جایی بیشتری نسبت به جا به جایی متوسط دارد به عنوان اسپریتی شناخته می شود. مشخصات اسپریتی تأثیر به سزائی در برآورد جنبش نیرومند زمین خصوصاً در محدوده نزدیک گسل دارد. از طرفی از آنجائی که اطلاعات لازم و کافی از موقعیت، مساحت و میزان اسپریتی در سطح گسل ها، زمان فرآیند و سرعت گسیختگی در دسترس نمی باشد، لازم است تا مطالعه این عوامل در تعیین مشخصات حرکت توانمند زمین به صورت پارامتریک صورت پذیرد تا امکان بررسی حالت های بحرانی در تعیین مقادیر شتاب یا سرعت در حین زلزله های آتی ممکن گردد [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷؛ کاشفی، ۱۳۹۰].

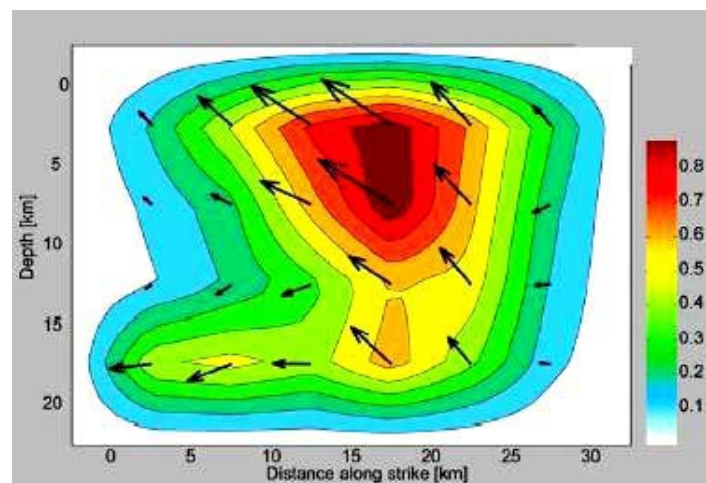
### ۲-۱-۱ اثر توزیع غیر یکنواخت لغزش بر روی سطح گسل (اسپریتی)

فرایند گسیختگی به توزیع تنش اولیه روی گسل و تغییرات خواص فیزیکی محیط گسلش نظیر مقاومت برشی سنگ ها و نحوه پراکندگی نیروهای استاتیکی و دینامیکی بر روی سطح گسل بستگی دارد. تغییرات در هر یک از این پارامترها روی سطح گسیختگی موجب تغییر در سرعت گسیختگی، میزان لغزش و توزیع افت تنش روی گسل می گردد. این ناهمگن بودن را می توان در پیچیدگی شکل نوسان های منتشره در حوزه های نزدیک گسلی نیز مشاهده نمود. بررسی لرزه ای چندگانه منجر به معرفی

3 . Peak Ground Acceleration (PGA).

## فصل دوم. مروری مختصری بر برخی از روشهای شبیه سازی

الگوهائی برای مقاومت و افت تنش ناهمگن روی صفحه گسل شده است. مدل چشمه اسپریتی یکی از مدل های چشمه های ناهمگن زلزله می باشد که در آن لغزش روی صفحه گسل نامنظم است. در این مدل مناطق با تنش بالا (که اسپریتی نامیده می شوند) می شکنند و غالباً عامل انتشار انرژی لرزه ای فرکانس پائین می باشند. به این ترتیب اسپریتی ها به مناطقی بر روی سطح گسل اطلاق می شود که جا به جایی بیشتری نسبت به جا به جایی میانگین بر روی سطح گسل خواهند داشت. سامرویل، اسپریتی را به عنوان مناطقی بر روی سطح گسل که جا به جایی آنها از دو برابر جا به جایی میانگین در روی سطح گسل بیشتر می باشد معرفی نمود [Somerville, et al., 1999]. باید توجه داشت که اصولاً توزیع یکنواخت لغزش بر روی سطح گسل وجود نداشته و یکنواخت در نظر گرفتن جا به جایی در سطح گسل به علت کمبود داده و اطلاعات موجود در خصوص زلزله ها می باشد. اخیراً با توجه به حجم داده های فراوان پس گسلش برای زلزله های بزرگای بیش از شش ریشتر و با استفاده از روش آنالیز برگشتی، مشخصات اسپریتی ها بر روی سطح گسل و تأثیر آن بر حرکات توانمند زمین قابل تعیین می باشد. برای مثال شکل ۱-۲ توزیع غیریکنواخت لغزش بر روی سطح گسل در زلزله بم که توسط یاماناکا<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۳ از روی موج های دور لرزه ای تهیه شده است را نشان می دهد. مطالعات اخیر توسط برخی از محققین داخلی و خارجی تأثیر اسپریتی و مشخصات آن بر حرکات توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل خصوصاً برای پالس های حاصل از جهت پذیری پیش رونده را تأکید می نماید [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].

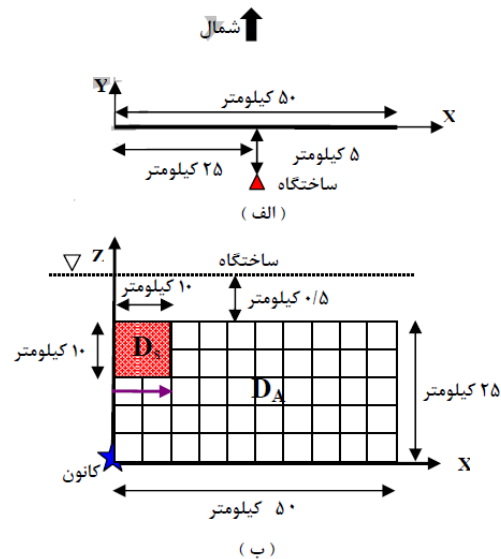


شکل ۱-۲. توزیع لغزش بر روی سطح گسل طی زلزله بم با استفاده از آنالیز برگشتی امواج دور لرزه ای. دو اسپریتی بر روی صفحه گسل قابل مشاهده است [Yamanaka, 2003]

4. Yamanaka.

۲-۱-۲ بررسی پارامتریک عوامل گسلش

به منظور مطالعه پارامتریک عوامل گسلش بر پالس حوزه نزدیک گسل لازم است تا مدلی برای گسل در نظر گرفته شود. بدین منظور مدلی برای گسل امتداد لغزش مطابق با شکل ۲-۲ و ساختگاهی در فاصله ۳ کیلومتری از گسل مفروض جهت شبیه سازی جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل در نظر گرفته شده که پارامترهای لرزه ای آن در جدول ۲-۱ ارائه شده است.



شکل ۲-۲: الف- موقعیت ساختگاه نسبت به گسل از نمای بالا ب- مقطع عرضی گسل و جهت انتشار گسیختگی بر روی آن [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

برای توزیع غیریکنواخت لغزش همانطور که در شکل ۲-۲ نشان دیده می شود، محدوده ای که بر روی صفحه گسل که هاشور خورده است با داشتن جا به جایی بیشتری نسبت به بقیه نقاط به عنوان اسپریتی انتخاب شده است. با توجه به جهت گسلش، ضرایب انتشار و موقعیت ساختگاه عموماً پالس حوزه نزدیک و اثر جهت پذیری پیش رونده در مؤلفه عمود بر امتداد گسل ظاهر می شود، لذا در بررسی های انجام شده مؤلفه سرعت در جهت عمود بر امتداد گسل مد نظر قرار گرفته است.

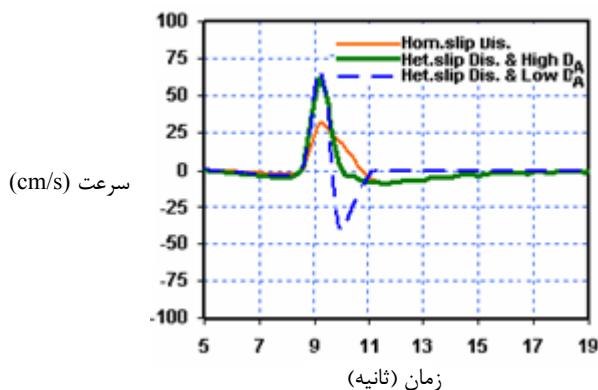
۲-۱-۲-۱ تأثیر گسلش ناهمگن (اسپریتی)

نحوه تأثیر موقعیت و مساحت اسپریتی را در جنبش نیرومند زمین مورد بررسی قرار گرفته است و مشخص گردید زمانی که اسپریتی در کمترین فاصله از سطح زمین قرار می گیرد (اسپریتی کم عمق)، پالس بدست آمده از ساختگاه بیشترین دامنه را خواهد داشت [Ghaymaghamian, 2003; Ghaymaghamian, 2005] بنابراین همانطور که در شکل ۲-۳ مشاهده می شود،

## فصل دوم. مروری مختصری بر برخی از روشهای شبیه سازی

اسپریتی کم عمق انتخاب شده سپس سایر پارامترهای مؤثر بر پالس جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل مورد مطالعه قرار می گیرد.

جهت بررسی بیشتر سه حالت در نظر گرفته شده است؛ در حالت اول میزان لغزش برای تمامی نقاط روی سطح گسل یکسان و برابر با ۲۰۰ سانتیمتر مفروض شده است، در دو حالت دیگر تعدادی از نقاط موجود روی سطح گسیختگی گسل که در شکل ۲-۲ با هاشور نشان داده شده اند به عنوان اسپریتی انتخاب شده و باید جا به جایی بیشتری نسبت به سایر نقاط داشته باشند. بدین ترتیب در حال دوم و سوم جا به جایی اسپریتی برابر با ۴۰۰ سانتیمتر و جا به جایی سایر نقاط بر روی سطح گسل در حالت دوم برابر با ۲۰۰ سانتیمتر و در حال سوم برابر مقدار ناچیزی نزدیک به صفر در نظر گرفته شده است. شکل ۲-۳ پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین را برای این سه حالت نشان می دهد. مطابق شکل، مقایسه حالت اول با دو حالت دیگر مشاهده می شود که در نظر گرفتن اسپریتی سبب می شود که پالس با دامنه بزرگتر در ساختگاه ایجاد گردد. بنابراین می توان نتیجه گرفت بدون در نظر گرفتن اثر گسلش ناهمگن نمی توان برآورد صحیحی از حداکثر جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل بدست آورد. بررسی دو حالت دوم و سوم نشان می دهد آنچه بر دامنه پالس جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل تأثیرگذار می باشد، میزان جا به جایی اسپریتی بوده و جا به جایی سایر نقاط موجود در سطح گسل در شکل و مدت تداوم پالس ایجاد شده مؤثر می باشند و تأثیری بر روی حداکثر سرعت پالس ندارند [کاشفی، ۱۳۹۰؛ قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].



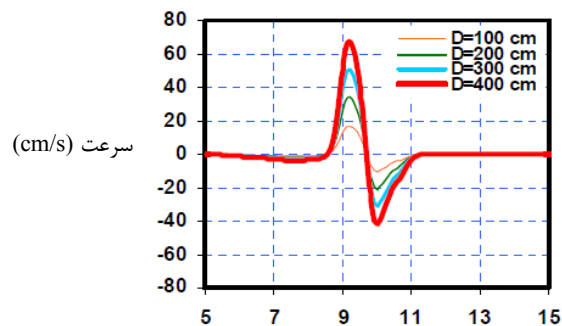
شکل ۲-۳. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل به ازای توزیع یکنواخت لغزش و همچنین توزیع غیر یکنواخت لغزش بر روی سطح گسل [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

### ۲-۲-۱-۲ تأثیر میزان لغزش اسپریتی

یکی دیگر از عواملی که در جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل مؤثر می باشد، میزان لغزش در اسپریتی ها نسبت به میانگین لغزش بر روی صفحه گسل می باشد. جهت بررسی این مؤثرها در مدل مفروض به ترتیب لغزش های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و

## فصل دوم. مروری مختصری بر برخی از روشهای شبیه سازی

۴۰۰ سانتیمتر را برای اسپریتی منظور و پالس های شبیه سازی شده در شکل ۲-۴ رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود افزایش میزان لغزش در روی اسپریتی ها باعث افزایش دامنه پالس دریافتی گردیده و این در حالی است که تغییر میزان لغزش هیچگونه تغییری در پریود پالس ایجاد نمی نماید. به بیان دیگر میزان لغزش اسپریتی صرفاً بر روی دامنه پالس شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل تأثیرگذار خواهد بود [کاشفی، ۱۳۹۰؛ قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].

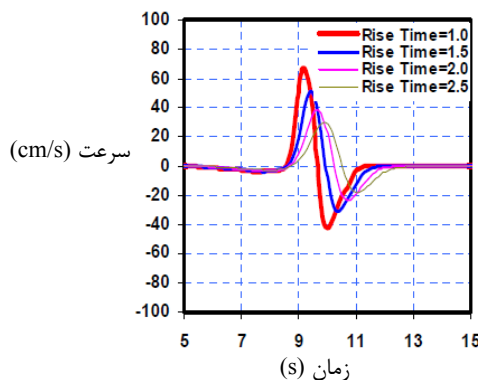


زمان (ثانیه)

شکل ۲-۴. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل برای لغزش های متفاوت اسپریتی [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

### ۲-۱-۳ تأثیر میزان زمان فرآیند

زمان فرآیند مدت زمانی است که طول می کشد تا یک ذره منفرد به جا به جایی نهائی خود بر روی گسل برسد. جهت بررسی اثر تغییرات آن بر پالس حوزه نزدیک برای مدل مفروض به ترتیب زمان فرآیند های ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ منظور و پالس های شبیه سازی شده آنها در شکل ۲-۵ رسم شده است. با توجه به این شکل مشاهده می شود که با افزایش زمان فرآیند دامنه پالس کاهش یافته و در مقابل پریود افزایش می یابد [کاشفی، ۱۳۹۰؛ قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].

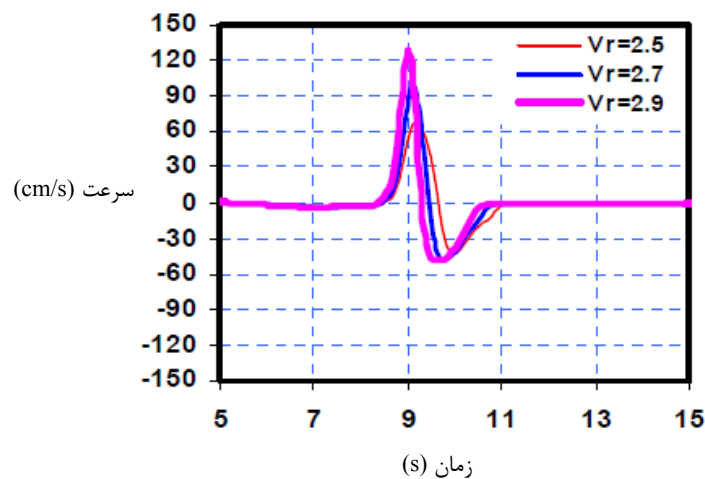


زمان (s)

شکل ۲-۵. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک برای زمان فرآیند های متفاوت [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

۴-۲-۱-۲ تأثیر سرعت گسیختگی

سرعت گسیختگی یا به عبارت دیگر سرعتی که گسیختگی با آن سرعت در طول گسل منتشر می شود نیز برای پالس حوزه نزدیک گسل تأثیر گذار خواهد بود. بنابراین برای در نظر گرفتن اثر تغییرات آن بر پالس ایجاد شده، سرعت های ۲/۵، ۲/۷ و ۲/۹ کیلومتر بر ثانیه برای سرعت گسیختگی فرض شده و پالس های حوزه نزدیک گسل محاسبه و در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل می توان مشاهده کرد که با افزایش سرعت گسیختگی دامنه پالس افزایش یافته و از طرفی پریود پالس کاهش می یابد [کاشفی، ۱۳۹۰؛ قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].



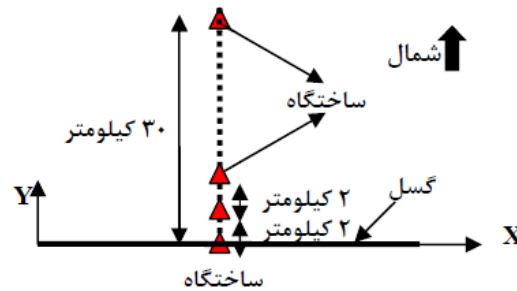
شکل ۶-۲. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک برای سرعت های گسیختگی متفاوت [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

۵-۲-۱-۲ تأثیر موقعیت مکانی ساختگاه

از دیگر عواملی که در تعیین جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل تأثیرگذار خواهد بود، موقعیت ساختگاه، دوری یا نزدیکی آن نسبت به گسل می باشد. جهت بررسی اثر موقعیت ساختگاه بر روی جنبش زمین از مدل گسل ارائه شده در شکل ۲-۲ استفاده گردیده و پالس های حوزه نزدیک گسل برای فواصل مختلف شبیه سازی شده است. به جهت آنکه بررسی دقیق تری بر روی اثر دوری یا نزدیکی ساختگاه نسبت به گسل در برآورد تکان قوی زمین در حوزه نزدیک صورت گیرد، موقعیت ساختگاه در دو جهت عمود بر امتداد و موازی گسل با توجه به فاصله بررسی می شود [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷؛ کاشفی، ۱۳۹۰].

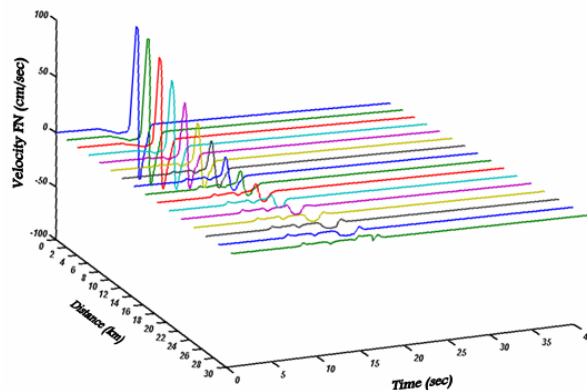
۲-۱-۵-الف تأثیر فاصله در حالت عمود بر امتداد گسل

همانطور که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، تا فاصله ۳۰ کیلومتری در جهت عمود بر امتداد گسل و در بازه های ۲ کیلومتری، پالس حوزه نزدیک ناشی از گسلش مدل ارائه شده در شکل ۲-۲ محاسبه شده است. شکل ۲-۸ پالس های شبیه سازی شده را در موقعیت های مختلف ساختگاه نشان می دهد. همانطوری که مشاهده می شود که با افزایش فاصله از گسل، دامنه پالس کاهش می یابد [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷؛ کاشفی، ۱۳۹۰].



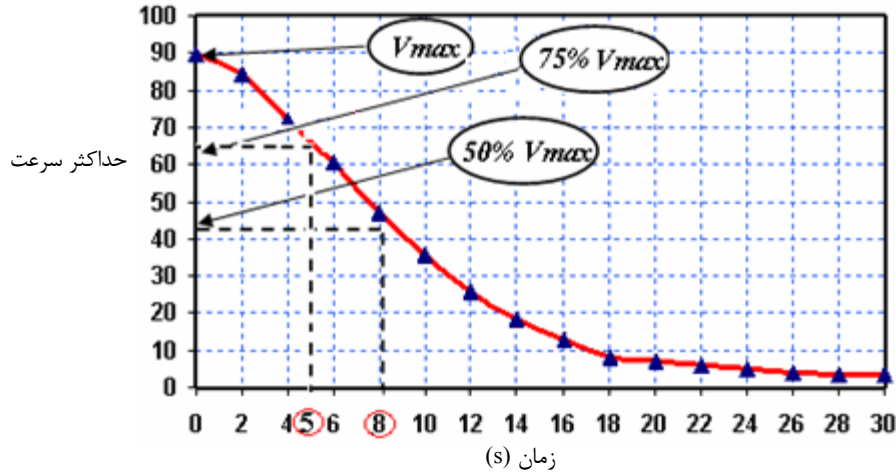
شکل ۲-۷. موقعیت های مختلف ساختگاه در جهت عمود بر امتداد گسل (نمای بالا) [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

اگر مطابق با شکل ۲-۹ نمودار ماکزیمم مقادیر سرعت در پالس های شبیه سازی شده بر حسب فاصله از گسل رسم شود، به خوبی می توان روند کاهشی سرعت ماکزیمم را با افزایش فاصله ساختگاه از گسل تشخیص داد. اگر فواصل متناظر با ۳۰٪ و ۷۳٪ مقدار حداکثر سرعت در نمودار را به عنوان شاخص های تأثیر پالس حوزه نزدیک گسل نسبت به فاصله تا ساختگاه فرض نماییم، مطابق شکل مشاهده می شود برای مدل یاد شده که بیانگر گسلی با بزرگی ۶/۷ ریشتر می باشد، تا فاصله ۳ کیلومتری و یا حداکثر ۸ کیلومتری از گسل، اثر پالس حوزه نزدیک چشمگیر بوده و بعد از این فاصله اثر آن سریعاً کاهش می یابد.



شکل ۲-۸. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در موقعیت های مختلف ساختگاه در جهت عمود بر امتداد گسل [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

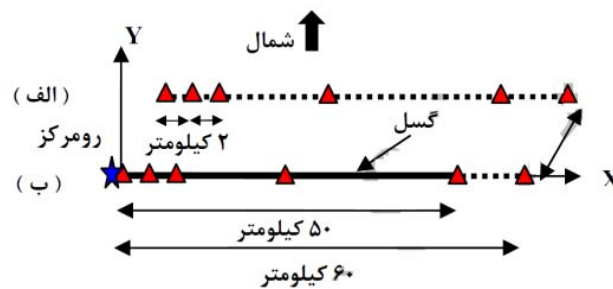




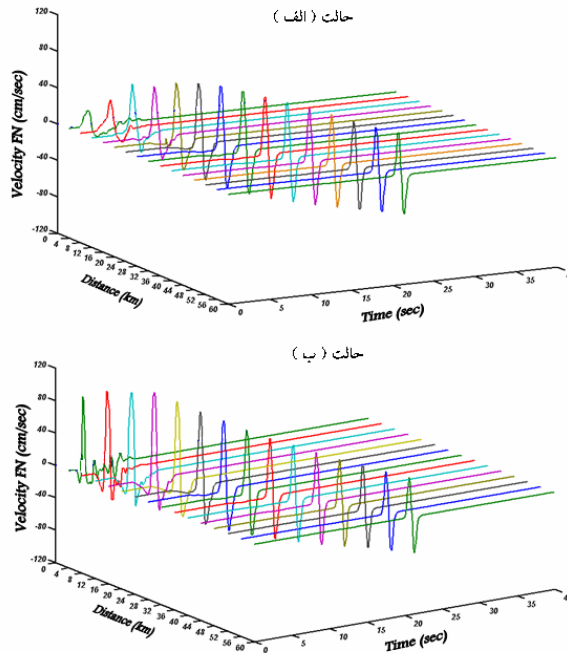
شکل ۲-۹. نمودار حداکثر سرعت پالس های شبیه سازی شده بر حسب فاصله عمودی ساختگاه از گسل [فائقمامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

### ۲-۱-۲-۵-ب تأثیر فاصله در حالت موازی با امتداد گسل

مطابق شکل ۲-۱۰ دو حالت الف و ب یکی بر روی امتداد گسل و دیگری به فاصله ۳ کیلومتر و به موازات گسل برای این قسمت در نظر گرفته شده است. شکل ۲-۱۱ پالس های شبیه سازی شده را در موقعیت های مختلف ساختگاه برای دو حالت الف و ب نشان می دهد. همانطور که در این شکل ها مشاهده می شود، دامنه پالس ایجاد شده در هر دو حالت با افزایش فاصله از رومرکز زلزله، ابتدا افزایش یافته و بعد از طی فاصله ای روند کاهشی دارد [فائقمامیان، و غیره، ۱۳۸۷؛ کاشفی، ۱۳۹۰].

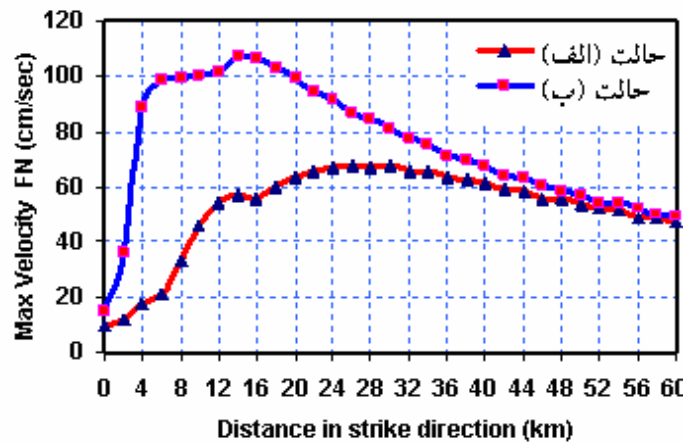


شکل ۲-۱۰. موقعیت های مختلف ساختگاه در جهت موازی امتداد گسل [فائقمامیان، و غیره، ۱۳۸۷]



شکل ۲-۱۱. پالس های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در موقعیت های مختلف ساختگاه در دو حالت الف و ب [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

اگر مطابق با شکل ۲-۱۲، نمودار حداکثر مقدار سرعت در پالس های شبیه سازی شده بر حسب فاصله از گسل برای هر دو حالت الف و ب رسم شود، به خوبی می توان روند تغییرات حداکثر سرعت بر حسب فاصله را تشخیص داد. با توجه به شکل مشاهده می شود که در هر دو حالت تغییرات سرعت بر حسب فاصله از رومرکز زلزله، روند افزایشی-کاهشی دارد. بدین ترتیب مطابق با شکل ۲-۱۲ برای حالت الف، ماکزیمم مقدار سرعت در فاصله ۲۶ کیلومتری و برای حالت ب در فاصله ۱۴ کیلومتری از رومرکز زلزله مشاهده می شود [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷].



شکل ۲-۱۲. نمودار حداکثر مقدار سرعت پالس های شبیه سازی شده بر حسب فاصله از ساختگاه از رومرکز زلزله و به موازات صفحه گسل برای دو حالت (الف) و (ب) [قائمقامیان، و غیره، ۱۳۸۷]

### ۲-۲ روش های ارائه شده جهت شبیه سازی تکان قوی زمین

تاکنون روش های مختلفی توسط محققین برای شبیه سازی تکان قوی زمین ارائه شده است که جدیدترین و پرکاربردترین آنها به شرح زیر ارائه شده است.

#### ۱-۲-۲ مدل تصادفی حرکت زمین

برای شبیه سازی مدل تصادفی حرکت زمین دو سری شبیه ساز وجود دارد. یکی برای منبع لرزه ای نقطه ای و دیگری برای منبع گسل محدود. در منبع نقطه ای از مربع فرکانس طبیعی مدل منبع (Brune, 1970; Brune, 1971)  $(\omega^2)$  و فرکانس گوشه (fc) و مقادیر افت تنش ثابت  $(\Delta\sigma)$  [Atkinson, 1984; Boore, 1983] استفاده می شود. حالت منبع، ترکیبی از چند منبع متناهی با مدل منبع نقطه ای حرکت زمین است، بطوریکه مشخصات مصالح سطحی (در عمق بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت) با استفاده از معادلات خطی بیان می گردد [Silva, et al., 1995; Silva, et al., 1990]. در این مدل اثرات ساختمانگاه با استفاده از منطق سازی بین ۵۰۰ محل و ۱۵ زلزله با بزرگای بین ۵/۲ و ۷/۴ ریشتر با فاصله ای بین ۱ تا ۴۷۰ کیلومتر از گسل برای زلزله های با بزرگای بین ۵ تا ۸/۱ ریشتر تعیین شده است [Silva, et al., 1997]. بنابراین می توان گفت که یکی از روش های مناسب جهت شبیه سازی حرکت زمین استفاده از مدل تصادفی گسل محدود<sup>۶</sup> است. رکوردهای حوزه نزدیک گسل دارای خصوصیات خاصی چون PGV بالا و ضربه گون بودن می باشند که این خواص در مدل تصادفی گسل محدود بهتر در نظر گرفته می شود [Stewart, et al., 2001; Collins, et al., 2006].

#### ۲-۲-۲ روش منبع مرکب

در روش منبع مرکب<sup>۷</sup>، برای منابع پیچیده لرزه ای از مدل منبع مرکب استفاده می شود، که اولین بار توسط زنگ و همکاران ارائه شده است. در این روش از جمع آثار قوا در چند دایره با افت تنش ثابت استفاده می شود. تعداد این دایره بر اساس قانون توزیع توان تعیین می شود. همچنین در گسلش زلزله مرکب، معمولاً بر حسب حداکثر اندازه و میزان افت تنش گسلش کارکترایز می شوند که بستگی به اطلاعات لرزه خیزی محل دارد. انتشار گسیختگی در نقطه اولیه با سرعت ثابت صورت گرفته و برای مدلسازی انتشار امواج از تابع گرین برای زمان تناوب کم و طولانی استفاده می شود [Collins, et al., 2006; Stewart J., 2001/9].

6. Stochastic Finit-Fault Model (PEA).

7. Composite Source Model (UNR).

### ۲-۲-۳ مولد شبیه ساز حرکت زمین باند پهن دوگانه<sup>۸</sup>

در این روش از محاسبه جداگانه حرکت زمین در زمان تناوب کوتاه و بلند استفاده می شود. سپس با استفاده از روش های خاصی با یکدیگر ترکیب می شوند. رفتار حرکتی در زمان تناوب بلند بیشتر یا کمتر از رفتار تخمین زده شده است. در حالیکه در زمان تناوب کوتاه (فرکانس بالا) کاملاً به صورت تصادفی صورت می گیرد. این انتقال رفتار از حالت تعیینی به تصادفی، وابسته به شعاع منبع و شرایط انتشار موج است. در زمان تناوب بلند از مدل منبع و در زمان تناوب کوتاه از تابع منبع تجربی استفاده می شود. با این وجود در مدل منبع مختلط پیشنهاد شده است، که از رکوردهای زلزله های کوچک استفاده شود تا اثر منتشر شدن فرکانس های بالا در نظر گرفته شود [Collins, et al., 2006].

### ۲-۲-۳ مدلسازی زمین لرزه به روشهای متعارف

#### ۲-۳-۱ روش کانی-تاجیمی

مقایسه مدل های تولید شده بوسیله روشهای متعارف جهت بازتولید رکوردهای عادی زمین لرزه می توان به نتیجه های جالبی در مورد رکوردهای زمین لرزه نزدیک به گسل رسید. در یک برنامه نوشته شده در MATLAB با استفاده از روش کانی-تاجیمی<sup>۹</sup> از روی چگالی طیف توان<sup>۱۰</sup> رکورد اصلی، یک رکورد مصنوعی تولید می شود. در این روش با رسم نمودار چگالی طیفی توان، نزدیک ترین تابع با شکلی خاص که پیشنهادی از طرف کانی-تاجیمی محاسبه می شود؛ سپس با استفاده از معکوس طیف فوریه، مقدار شتاب مصنوعی با فرض زاویه های فازی تصادفی تعیین می شود. در بررسی مدلسازی رکوردهای برای زمین لرزه های حوزه نزدیک مشاهده می گردد که پاسخ ها کمتر از مقدار مورد انتظار است؛ به طور کلی می توان گفت که توزیع دامنه طیفی فرکانس ها از مقدار در نظر گرفته شده در مدل کانی-تاجیمی تبعیت نمی کنند.

#### ۲-۳-۲ هموار سازی رکوردها به روش پنجره لغزان<sup>۱۱</sup>

8 . Hybrid Broadband Groun Motion Simulation Procedure (URS).

9 Kanaii-Tajimi

10 Power Spectral Density Function

11 Moving Average