

## مدلسازی پالس حوزه نزدیک - گسل برای گسل شمال تهران

دکتر محمدرضا قائم‌مقامیان<sup>۱</sup> و مقدسه فتحی قادیکلانی<sup>۲</sup>

### چکیده

اکثر شهرهای میلیونی نزدیک گسل‌های فعال واقع شده‌اند. حرکات زمین در حومه گسل‌های فعال به دو پارامتر اصلی امتداد گسیختگی و تأثیرات تغییر مکان ماندگار وابسته هستند. بنابراین، این دو پارامتر برای طرح مقاوم سازی زلزله و کاهش خطر لرزه‌ای مهم می‌باشند تا بتوان مشخصات حرکات توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل را در کلان شهرها ارزیابی کرد.

در این مقاله، حرکت زمین در حوزه نزدیک گسل با استفاده از مدل سینماتیکی شهر تهران، پایتخت ایران مدلسازی شده است. شهر تهران در امتداد گسل شمال تهران (NTF)، که بعنوان یک چشمه لرزه‌ای احتمالی فرض شده بوده گسترش یافته است. مدل‌های سینماتیکی یکی از روش‌های مؤثر برای مدلسازی حرکات توانمند زمین بلند پیروید شامل لغزش ناهمگن بر روی گسل (اسپریتی) و زمین‌شناسی زیرزمینی می‌باشند. در اینجا، حرکات زمین در حوزه نزدیک گسل براساس نمایش NTF فرضی با استفاده از مدل سینماتیکی گسل محدود بوجود آمده است. پس، تغییرات پارامترهای گسلش از قبیل زمان فرآینش، حداکثر لغزش، سرعت گسیختگی و فاصله ساختگاه تا گسل بر روی مشخصات پالس حوزه نزدیک بطور عددی آزمایش و بحث شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** پالس حوزه نزدیک گسل - مدلسازی حرکت توانمند زمین - گسل شمال تهران - لغزش ناهمگن (اسپریتی) - مدل سینماتیکی

### Near-fault ground motion simulation for North Tehran fault

Dr.Mohammad-Reza. Ghayamghamian and Moghadaseh. Fathi Ghadikolai

#### Abstract

Most of the megacities are located near the active faults. Ground motions in the vicinity of the active faults are associated with two main phenomena so called rupture directivity and fling effects. Therefore, it is important for earthquake resistance design and seismic hazard mitigation to evaluate the characteristics of near-fault ground motions in the megacities.

In this paper, the near-fault ground motion was simulated using kinematic model for Tehran City, the capital of Iran. Tehran city was developed along the North Tehran Fault (NTF), which assumed to be the most probable seismic source for the city. Kinematic models are efficient tools to simulate long-period ground motions including slip heterogeneity (Asperities) on the fault and underground geology. Here, the near-fault ground motions are generated assuming NTF scenario using kinematic finite fault model. Then, the variations of faulting parameters such as rise time, maximum slip, rupture velocity, and site to fault distance on the near-fault pulse characteristics are numerically examined and discussed.

**Keywords:** The Near-Fault of Pulse, Ground Motion Simulation, North Tehran Fault, Slip Heterogeneity (Asperity), Kinematic Model

۱- دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

## مقدمه

در این مقاله جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل با توجه به توزیع غیر یکنواخت لغزش بر روی صفحه گسل مورد بررسی قرار گرفته است. بطوریکه حرکات توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل با استفاده از مدل چشمه محدود و تابع تئوری گرین برای محیط نامحدود و همچنین مشخصات لرزه‌ای گسل شمال تهران برای نقاط مختلف شهر در نزدیکی این گسل شبیه سازی شده است. بعلاوه عدم قطعیتها نیز در تعیین مشخصات لرزه‌ای گسل شمال تهران نظیر اسپریتی، میزان لغزش، زمان فرآیش، سرعت گسیختگی در روی گسل بر مشخصات پالس حوزه نزدیک گسل بصورت عددی و پارامتریک مورد مطالعه قرار گرفته است.

از آنجائیکه تخمین پارامترهای حرکت توانمند زمین (ماکسیم شتاب، سرعت، دامنه و فرکانس حاوی طیف پاسخ) برای زمین لرزه‌های متوسط تا بزرگ مرحله اساسی از آنالیز لرزه‌ای سازه‌های مهندسی می‌باشد، لذا سازه‌هایی نظیر سدها، پلها، برجهای مخابراتی و ساختمانهای پرخطر از قبیل نیروگاههای هسته‌ای یا شیمیائی، بایستی به توابع درستی برسند و عملکرد لرزه‌ای شان، بایستی با دقت بوسیله ترکیبی از حرکات مختلف زمین به جای چشمه‌های پرخطر مجاور با پتانسیل لرزه‌ای مطالعه شود (Guaxin WangHongnan,2006).

معمولاً حرکات مهم زمین، می‌تواند با استفاده از رکوردهایی از زلزله‌های قبلی بدست آید. با به خاطر دانستن شاخص‌های لرزه‌ای زمین لرزه‌های قوی

اخیر، از قبیل زلزله‌های ۱۹۹۴ نورس ریج  $(Mw=6.7)$ ، ۱۹۹۵ کوبه  $(Mw=9.1)$  و ۱۹۹۹ چی چی  $(Mw=6.7)$ ، زلزله‌های دیگر بایستی مشخصات و فاکتورهائی شامل پارامترهای چشمه زلزله، توپوگرافی سطح و شرایط خاک را داشته باشند (Guaxin WangHongnan,2006). همانطور که می‌دانیم گسل شمال تهران در نزدیکی شهر تهران واقع شده است، به طوریکه فعالیت این گسل می‌تواند باعث بروز خسارات جانی و مالی سنگین برای شهر تهران گردد، خصوصاً اینکه در حوزه نزدیک گسل الگوی تشعشعی امواج زلزله باعث ایجاد پالس با پیوند بلند می‌گردد که این پالس می‌تواند خطرات و صدمات جدی برای سازه‌های بلند نظیر پل‌ها، ساختمانهای بلند مرتبه و شریانهای حیاتی ایجاد نماید. بنابراین به منظور مطالعات مقاوم سازی و یا تعیین نیروی وارده بر سازه اینگونه حرکات در حوزه نزدیک گسل (۱۰ تا ۱۵ کیلومتری) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

از آنجائیکه توزیع خرابی در زلزله‌های حوزه نزدیک را میتوان غالباً به تأثیر پارامترهای گسلش در سطح گسل نسبت داد، بنابراین استفاده از روشهای متداول به منظور تعیین مشخصات حرکت توانمند زمین و پتانسیل خرابی حاصل از آن در حوزه نزدیک ممکن است به نتایج گمراه کننده‌ای منجر شود. لذا جهت برآورد صحیحی از جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل، بررسی اثر پارامترهای گسل و نحوه انتشار گسلش ناهمگن در سطح گسل ضروری می‌باشد. به این ترتیب لغزش، نحوه توزیع

می‌باشد. تعقیب اثر گسل، بیشتر به دلیل توسعه شهری مشکل بوده و به نظر می‌رسد که به چندین قطعه تقسیم شده است. به این ترتیب برای محدوده شمالی شهر تهران طول ۵۸ کیلومتر را در نظر می‌گیریم و قطعه‌هایی که در غرب تهران بوده صرف‌نظر شده‌اند (Nazari et al., 2008).

از آنجائیکه گسل شمال تهران یکپارچه و در یک راستا نمی‌باشد لذا برای مدلسازی آن را به صورت یک گسل پیوسته فرضی با امتداد ۸۳ درجه در نظر گرفته و سپس پالسهای شبیه سازی شده در این ساختگاهها بررسی شده‌اند.

#### لرزه زمین ساخت گسل شمال تهران

ارتفاع قله‌های نزدیک شمال تهران (مثل توچال ۳۹۵۷ متر) از گسل ممکن است از ۲۵۰۰ متر تجاوز کند (شکل ۱). گسل شمال تهران با یک نشان عمومی "V" شکل در سطح، جهت آن از شمال غرب - جنوب شرق به شمال شرق - جنوب غرب بین شهرهای کرج و تهران تغییر می‌کند.

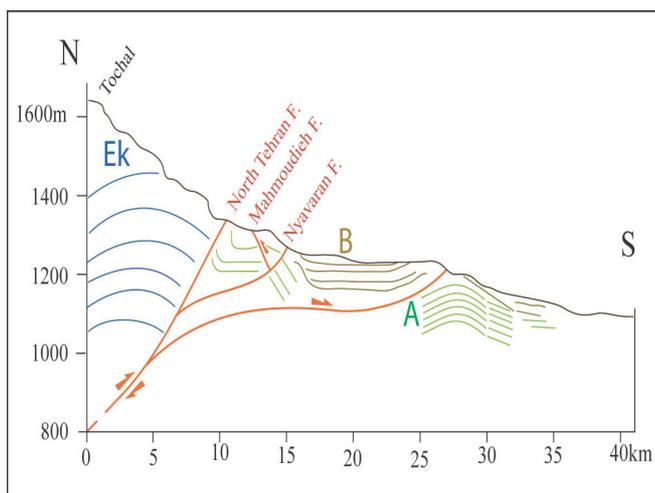
یکی از برون زدگی‌های "کلاسیک" گسل شمال تهران در دره ورودی کن می‌باشد که تشکیلات زمین‌شناسی کرج رسوبات پالئو - کواترنری را همپوشانی کرده است. همچنین می‌توان نوع مشابهی از این ساختار را در دره وردیج بین تهران و کرج مشاهده کرد.

و سرعت انتشار آن بر روی گسل و بطور کلی تأثیر پارامترهای خاص گسلش مشخص شده است. بنابراین در این مقاله حرکت زمین در حوزه نزدیک با استفاده از مدل چشمه گسل شمال تهران و توابع تئوری گرین برای محیط نامحدود شبیه سازی شده است که با بررسی نگاشت‌های شبیه سازی شده مشخصات پالس حوزه نزدیک نظیر دامنه و پریود غالب در نقاط مختلف از گسل شمال تهران با توجه به فاصله و موقعیت مکانی ساختگاههای مفروض در تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

#### گسلش شمال تهران

گسل شمال تهران در امتداد البرز مرکزی و حاشیه دشت تهران قرار دارد. این گسل در بر گیرنده بخش بزرگی از گسل مشاء - فشم، قسمت‌هایی از منطقه لواسان در یک امتداد شرقی - غربی می‌باشد. گسل مزبور همچنین در لشگرک، گردنه قوچک، نیاوران، شمیران و کن مشاهده شده است. ادامه این گسل حتی به شمال کرج و نیمه راه بین کوهها، دشت کرج و قزوین کشیده شده است. گسل شمالی از نوع معکوس، شبیه به گسل مشاء - فشم می‌باشد (Nazari et al., 2008).

این گسل که به عنوان یک گسل فعال مشهور است، مستقیماً شهر تهران، یک کلان شهر با ۱۵ میلیون جمعیت را تهدید می‌کند و منبع چندین زمین لرزه تاریخی مهم در گذشته بوده است. منطقه گسل در یک محدوده ۱۱۰ کیلومتری گسترش یافته است که شیب آن به سمت رشته کوههای البرز (شمال شهر تهران)



شکل ۱- نمودار سطح مقطع زون گسل شمال تهران. EK: سازند کرج، A: سازند هزار دره و B: آبرفت تهران (Nazari et al., 2008).

قرار دارد، تعریف شده است. این موضوع برای برآورد خطر لرزه‌ای در تهران مرتبط است. گسل شمال تهران در شرق به گسل مشاء می‌پیوندد در حالی که در غرب به گسل آبیگ تبدیل می‌شود که سینماتیک یکسانی دارد، گسل آبیگ هم به گسل شمال قزوین می‌پیوندد.

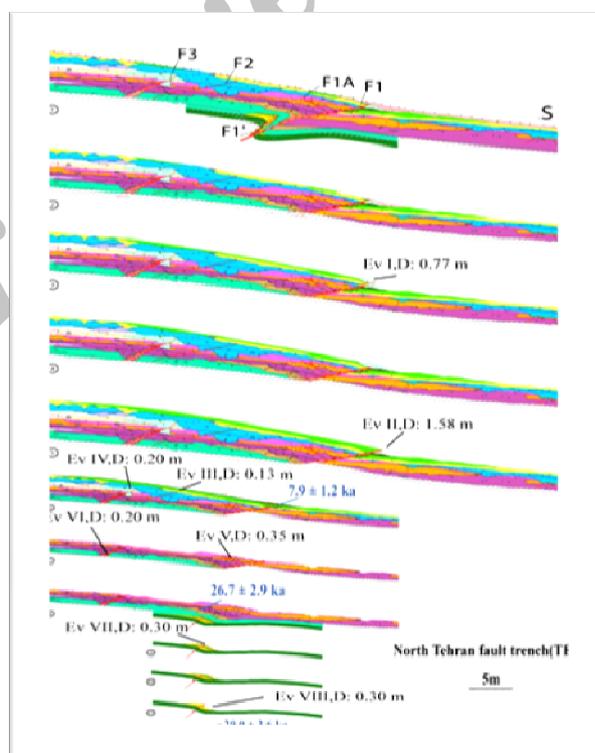
در سال ۱۹۸۵، در چهارچوب برنامه‌های تحقیقاتی تکنیک لرزه‌ای اختصاص یافته به موضوع خطر لرزه‌ای در شهر تهران، چندین گسل و شکاف که بر رسوبات کواترنری اثر می‌گذارند، شناسایی و نقشه برداری شدند برای مثال، نیاوران، محمودیه، عباس آباد، نارمک، تله، قصر فیروزه، کهریزک. با وجود داده‌های لرزه‌ای گذشته، فعالیت این گسلها یا حتی گسل شمال تهران، ثابت نشده است به جز گسل کهریزک. توسعه سریع و گسترده شهری شهر تهران، به خصوص در طول ۱۵ سال اخیر، متأسفانه بیشتر سراسیمی‌هایی را که می‌شد آنها را در عکسهای هوایی دهه ۱۹۵۰، زمانی که تهران

آلن و دیگران، (۲۰۰۳) پیشنهاد می‌کنند که گسل شمال تهران به طور عمیقی در پوسته، ریشه دارد. بر طبق ساختمان و ترمیم ساختارهای البرز مرکزی در دوره میوسن، نظری و همکاران (۲۰۰۶) گسل شمال تهران را به عنوان ساختاری که یک ساختار عمده ی پوسته سنگ کره، یعنی گسل مشاء را متصل می‌کند، تفسیر می‌نماید. در جنوب گسل شمال تهران، رسوبات کواترنری در چندین نقطه تحت تأثیر قرار گرفته اند، از این رو انشعابات چین‌های موازی و فشار را با جهت میانگین گسل اصلی (گسلهای محمودیه، نیاوران) تعریف می‌کند. این چین‌ها، سینماتیک معکوسی را نشان می‌دهند اگر چه برخی از آنها شبیه به سمت جنوب دارند. به دلیل وجود این شیب‌ها به سمت جنوب و طول موج‌های داده شده ساختارها، این سیستم گسل به عنوان گسل مرتبط با چین‌های انتشاری بر روی گسلهای معکوس ثانویه در مجموعه کواترنری که بین مجموعه پالئو - کواترنری و زیر لایه پالئوژن

هنوز کلان شهر گسترده امروزی نبود، شناسایی کرد، تراشیده یا دفن کرده است.

حفره T<sub>1</sub> - در حفره T<sub>1</sub>، ۶ تا ۸ زمین لرزه قدیمی را شناسایی شدند. چهار تا پنج رویداد در ارتباط با منطقه شکستگی اصلی (F<sub>1</sub>, F<sub>1A</sub>, F<sub>1'</sub>) و دو تا سه رویداد مرتبط با گسلهای ثانویه F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub> هستند در حالی که نمی توان شواهدی برای یک جنبش همزمان در امتداد منطقه گسل اصلی یافت (شکل ۲). حفره T<sub>2</sub> - ۶ رویداد در حفره T<sub>2</sub> شناسایی شدند. پنج عدد از این رویدادها در یک منطقه گسل با پهنای ۷ متر شناسایی شد که در بخش جنوبی ترانشه جایی که تغییر شکل در ۴ شکستگی توزیع شده است، قرار دارند. یک رویداد قدیمی تر تقریباً در ۲۵ متری شمال مشاهده شد.

دیرینه لرزه شناسی گسل شمال تهران بررسی لرزه شناسی دیرینه گسل شمال تهران در طول سال ۲۰۰۴ انجام شد. دو ترانشه از میان سرایشی گسل که بر رسوبات دامنه کوهی - رسوبی تولید شده توسط فرسایش قسمت جنوبی کوه نولات بین شهرهای تهران و کرج اثر می گذارد و بر طبق نامگذاری رسوبات تهران باید با واحدهای C و D مطابق باشد، حفر شد. مکان ترانشه ها پیشاپیش توسط تحلیل تکتونیک ریخت شناسی شناسایی شد. این دو مکان، که از این پس T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> نامیده می شوند، ۵۰۰ متر فاصله داشتند.



شکل ۲- نمایش بازنگرانه تفسیری از رسوب گیری/گسیختگی ها در حفره (Nazari et al., 2008).

بازنمایی (Aki and Richards, 1980) می‌توان نشان داد که در محیط نامحدود، همسان وهمگن، جابجایی  $\bar{u}_i(\bar{x}, t)$  در نقطه  $(\bar{x}, t)$  ناشی از تغییر مکان ناپیوسته  $\bar{u}(\bar{\xi}, \tau)$  در نقطه  $(\bar{\xi}, \tau)$  بر روی سطح داخلی  $\Sigma$  بوسیله رابطه زیر ارائه می‌گردد (Ghayamghamian, 2005):

$$\bar{u}_i(\bar{x}, t) = \frac{R_i(\bar{x}, \bar{\xi})}{4\pi\alpha c^3 r} \times \iint_{\Sigma} \Delta U_j(\bar{\xi}, t - \tau) d\Sigma \quad (1-3)$$

که در آن  $\alpha$  معرف صلیبت،  $r$  فاصله مابین صفحه گسل و نقطه ثبت،  $R_C$  (اندیس C بیانگر نوع موج از جمله  $P$ ،  $SV$  و یا  $SH$  می‌باشد) ضریب انتشار،  $\varphi$  امتداد گسل،  $\delta$  شیب گسل می‌باشد. تابع  $\Delta u$  یک مقیاس کننده بوده و از آن به عنوان "تابع چشمه" و یا "تابع لغزش" در هنگام برش گسل یاد می‌شود. برای گسلی با طول  $L$  و پهنای  $W$ ، تغییر مکان موج را می‌توان بصورت رابطه ساده زیر بیان نمود:

$$\bar{u}_i(\bar{x}, t) = \int_0^L \int_0^W \Delta u(\xi, \eta) * \vec{G}(\bar{x}, \xi, \eta, t) d\xi d\eta \quad (2-3)$$

که در آن تابع گرین و \* معرف کانولوشن می‌باشد. برای شبیه سازی جنبش زمین، صفحه گسل به المانهای کوچکتری تقسیم بندی می‌گردد. فرض می‌شود که صفحه گسل به I المان در جهت طول گسل و m المان در جهت پهنای گسل تقسیم بندی گردد، در این صورت معادله بالا را می‌توان به صورت زیر باز نویسی نمود:

$$\bar{u}_i(\bar{x}, t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^m \int_{L_i}^{L_i+\Delta L_i} \int_{W_i}^{W_i+\Delta W_i} \Delta u(\xi_i, \eta_j, t - \tau_{ij}) * \vec{G}(\bar{x}, \xi_i, \eta_j, t) d\xi d\eta \quad (3-3)$$

در امتداد منطقه گسل شمال تهران، یک بخش گسل معکوس فعال را با یک گسل فرعی کوچک بین شهرهای تهران و کرج شناسائی گردید. این بخش یک جابجایی انباشته شده را با چندین زمین لرزه با دامنه ۶/۵ تا ۷/۱ برحسب رابطه تجربی ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) شامل می‌شد. این زمین لرزه‌ها بر طبق تاریخ گذاری به روش OSL مشاهده شده در ترانشه برابر  $3/6ka \pm 29/0$  تعیین گردید. حداقل دو زمینلرزه در زمان  $1/2ka \pm 7/9$  رخ داده است. در ۳۰۰۰۰ سال گذشته، دوره میانگین بازگشت مجدد در این گسل از ۳۳۵۰ تا ۴۴۵۰ سال متغیر است بطوریکه فعالیت در طول ۳۰۰۰۰ سال گذشته به نظر منظم می‌رسد (Nazari et al., 2008).

جدول ۱- پارامترهای عمومی مدل گسل در شبیه سازی حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک برای گسل شمال تهران (آژانس بین المللی جایکا).

طول گسلش	۵۸ کیلومتر
پهنای گسلش	۲۷ کیلومتر
ممان لرزه ای	$26/8 \times 10^{24}$ دین . سانتی متر
بزرگای گشتاوری	۷/۲
شیب گسل	۷۵ درجه
امتداد گسل	۸۳ درجه

تئوری مدلسازی حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل

در این بخش بر تئوری شبیه سازی جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک برای گسل شمال تهران مروری خواهیم داشت. با استفاده از تئوری

می دهند. با جایگزین نمودن رابطه (۳-۶) در روابط قبل، می توان جابجائی ناشی از جنبش نیرومند زمین را به فرم زیر نیز نوشت:

$$u(x, t) = \frac{M_0}{4\pi\sigma} \left[ R_{\theta\varphi}^N \frac{1}{r^4} \int_{r/\alpha}^{r/\beta} \tau f^s(t - \tau) d\tau + \frac{1}{V_p^2} R_{\theta\varphi}^{IP} \frac{1}{r^2} f^s \left( t - \frac{r}{V_p} \right) + \frac{1}{V_s^2} R_{\theta\varphi}^{IS} \frac{1}{r^2} f^s \left( t - \frac{r}{V_s} \right) + \frac{1}{V_p^2} R_{\theta\varphi}^{FP} \frac{1}{r} f^s \left( t - \frac{r}{V_p} \right) + \frac{1}{V_s^2} R_{\theta\varphi}^{FS} \right] \quad (7-3)$$

که در آن ممان لرزه‌ای و برابر بوده، و تابع زمان جابجائی و تابع زمان سرعت جابجائی چشمه بوده و ضرایب الگوی انتشار می باشند که عبارتند از:

$$R_{\theta\varphi}^N = 9 \sin \theta \quad (8-3)$$

$$R_{\theta\varphi}^{IP} = 4 \sin \theta (2 \cos 2\theta \cos \varphi \theta - \cos \theta) \quad (9-3)$$

$$R_{\theta\varphi}^{IS} = -3 \sin 2\theta (3 \cos 2\theta \cos \varphi \theta - \cos \theta \sin \varphi \theta) \quad (10-3)$$

$$R_{\theta\varphi}^{FP} = \dots \quad (11-3)$$

$$R_{\theta\varphi}^{FS} = \cos 2\theta \cos \varphi \theta - \cos \theta \quad (12-3)$$

$F$  و  $I, N$  به ترتیب بر حوزه نزدیک، حوزه متوسط و حوزه دور دلالت کرده و  $S$  و  $P$  نیز نوع موج را در جهت امتداد و شیب گسل ( $\theta$  و  $\Phi$ ) نشان می دهند. به این ترتیب با توجه به رابطه (۳-۷) می توان مشاهده نمود که پالس ناشی از جنبش نیرومند زمین از پنج جمله تشکیل شده است: جمله اول مربوط به حوزه نزدیک، جمله دوم و سوم

که در آن  $t_{ij}$  زمانی است که صرف انتشار گسیختگی از کانون تا المان  $i$  و  $j$  ام گسل می شود. به این ترتیب می توان رابطه قبل را به فرم ساده زیر تبدیل نمود و از طریق آن جنبش زمین رادر نقطه  $P$  بدست آورد:

$$u^P(t) = \dots \quad (4-3)$$

$$\ddot{u}_k^P(t) = \delta \left( t - \frac{r}{V_p} \right) * f^s(t) \quad (5-3)$$

که در آن  $N$  بر تعداد المانهای گسل دلالت کرده، تابع گرین و لغزش و جابه جائی المان می باشد. فاصله مابین نقطه شروع گسیختگی و مرکز المان بوده و سرعت گسیختگی می باشد. علامت \* انتگرال کانولوشن، معرف تابع دلتای دیراک، تابع زمان چشمه و تابع پاسخ ضربه برای جابه جائی المان  $k$  ام می باشد. تابع زمانی جابجائی چشمه بصورت تابع شیبدار و تابع سرعت جابجائی بصورت پله ای فرض می شود. در یک محیط همگن، همسان و نامحدود تابع پاسخ ضربه به صورت زیر توسط آکی و ریچاردز (۱۹۸۰) ارائه گردیده است (Aki and Richards, 1980):

$$f_k^P(\vec{r}, t) = 1/4\pi\rho (v_k v_p - \dots) \quad (6-3)$$

$$\int_{r/\alpha}^{r/\beta} t \delta(t - \tau - \theta) dt + 1/4\pi\rho V_p^2 v_k v_p r^{-1} \delta(t - \tau - r/\alpha) + 1/4\pi\rho V_s^2 (v_k v_p - \delta_{kp}) r^{-1} \delta(t - \tau - r/\beta)$$

که در آن  $r$  فاصله تا کانون، سرعت موج  $P$ ، سرعت موج  $S$ ، چگالی،  $\tau$  زمان فرآیش، و بردارهای هادی جهت ساختگاه تا گسل را نشان

از آنجائیکه توزیع خرابی در زلزله‌های حوزه نزدیک را می‌توان غالباً به تأثیر پارامترهای گسلش در سطح گسل نسبت داد، خصوصاً پراکندگی و میزان جابجائی در حین گسلش در سطح گسل و ابعاد اسپریتی‌ها و همچنین وجود دو پدیده جهت‌پذیری گسیختگی و تغییر مکان ماندگار اهمیت بسیاری در تعیین مشخصات حرکت توانمند زمین در حوزه‌های نزدیک گسل دارند (خلیلی، ۱۳۸۵). در این گسلش سرعت امواج  $P$  و  $S$  در محیط به ترتیب ۵/۵ و ۳ کیلومتر بر ثانیه فرض شده است (آژانس بین‌المللی جایکا، ۲۰۰۰). بدین منظور، بر اساس روابط فوق و با داشتن پارامترهای گسلش شمال تهران که در بالا ذکر شد و با استفاده از توابع تئوری گرین مشخصات پالس حوزه نزدیک گسل (دامنه و پیرو غالب) مدلسازی شده‌اند.

شبکه بندی گستره شهر تهران برای شبیه‌سازی حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک به منظور شبیه‌سازی حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل برای گسل شمال تهران، گستره شهر را با شبکه‌های ۱ کیلومتر مربع تقسیم بندی کرده و ساختگاههایی را در رئوس این شبکه‌ها در نظر گرفته و پالسهای حوزه نزدیک گسل در این نقاط شبیه‌سازی شده‌اند. شکل (۳) شبکه بندی سطح شهر تهران را نشان می‌دهد. به این ترتیب تأثیر هر یک از پارامترهای گسلش را بر روی حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک مشاهده کرده که در زیر به نمونه‌هایی از آنها اشاره شده است:

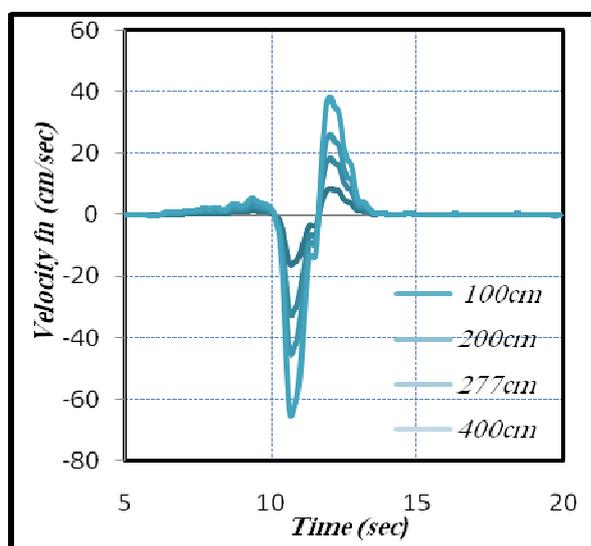
مربوط به حوزه متوسط و جمله چهارم و پنجم بیانگر حوزه دور می‌باشد. بنابراین پالسهای ناشی از جنبش‌های نیرومند زمین از ترکیب سه عبارت بیان شده تشکیل شده‌اند و هر یک از این عبارات بسته به موقعیت و شرایط موجود نقش بیشتری را در ایجاد این پالس خواهند داشت. همچنین هر یک از عبارات مربوط به حوزه متوسط و حوزه دور خود از دو بخش تشکیل شده است: یکی مربوط به موج‌های  $P$  و دیگری مربوط به موج‌های  $S$  می‌باشد.

بنابراین می‌توان پالس ناشی از جنبش نیرومند زمین را از ترکیب پنج عبارت حوزه نزدیک، موج  $P$  حوزه متوسط، موج  $S$  حوزه متوسط، موج  $P$  حوزه دور و موج  $S$  حوزه دور بدست آورد. با توجه به رابطه (۷-۳) مشاهده می‌شود که هر یک از عبارات حوزه نزدیک، حوزه متوسط و حوزه دور به ترتیب با ، و متناسب می‌باشند، این بدان معنا است که با افزایش فاصله از گسل عبارت حوزه نزدیک به مراتب بیشتر از حوزه دور و حوزه متوسط کاهش پیدا خواهد کرد و یا به عبارت دیگر اثر عبارت حوزه نزدیک در فواصل نزدیک به گسل و اثر عبارت حوزه دور در فواصل زیاد از گسل، شاخص خواهد بود (قائم‌میان و خلیلی، ۱۳۸۷).

**شبیه‌سازی در حوزه نزدیک گسل برای گسل شمال تهران**

$$\log_{10}(MD) = -5.46 + \quad (1-4)$$

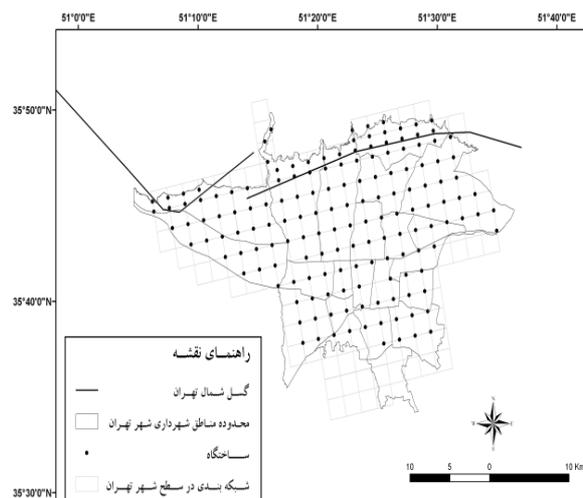
به این ترتیب با این رابطه می توان میزان لغزش اسپریتی را برای مدل گسل شمال تهران با داشتن بزرگای ۷/۲ را محاسبه کرد و با تقریب لغزش اسپریتی را ۲۷۷ سانتی متر بدست آورد. با توجه به شکل (۴) با افزایش میزان لغزش اسپریتی، دامنه پالس حوزه نزدیک افزایش یافته و هیچ گونه تغییری در پریود پالس مورد نظر ایجاد نمی کند.



شکل ۴- پالس های شبیه سازی شده در حوزه نزدیک گسل شمال تهران برای لغزش های متفاوت اسپریتی.

### تأثیر زمان فرآیش

جهت بررسی اثر زمان فرآیش بر پالس حوزه نزدیک برای گسل شمال تهران زمانهای ۱، ۲ و ۳ ثانیه را در نظر گرفته و پالسهای شبیه سازی شده آنها در شکل (۵) رسم شده است. با توجه به شکل مورد نظر با افزایش زمان فرآیش دامنه پالس کاهش و پریود آن افزایش می یابد.



شکل ۳- شبکه بندی سطح شهر تهران و ساختگاههای مورد نظر برای مدلسازی در حوزه نزدیک گسل

### تأثیر میزان لغزش اسپریتی در مدل گسل شمال تهران

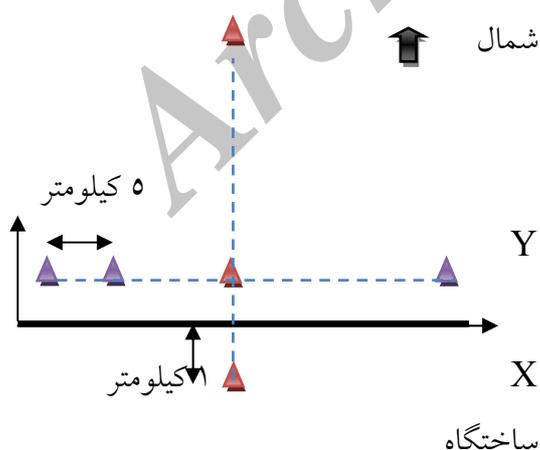
اسپریتی به مناطقی بر روی سطح گسل اطلاق می شود که جابجائی بیشتری نسبت به جابجائی میانگین بر روی سطح گسل دارد. Somerville اسپریتی را به عنوان مناطقی بر روی سطح گسل که جابجائی آنها از دو برابر جابجائی میانگین در روی سطح گسل بیشتر می باشد معرفی نمود (Somerville et al., 1999). از عواملی که در جنبش زمین در حوزه نزدیک برای گسل شمال تهران مؤثر است، میزان لغزش در اسپریتی نسبت به میانگین لغزش بر روی صفحه گسل است. در مورد گسل شمال تهران به ترتیب لغزش های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ سانتی متری و در حالت واقعی برای گسل شمال تهران لغزش ۲۷۷ سانتی متری را برای اسپریتی منظور شده است. ولز و کپراسمیت (۱۹۹۴) به رابطه ای در زیر برای تعیین بیشترین تغییر مکان زمین (MD) بر حسب بزرگی زلزله (m) دست یافتند (خلیلی ۱۳۸۵):

## تأثیر موقعیت مکانی ساختگاه

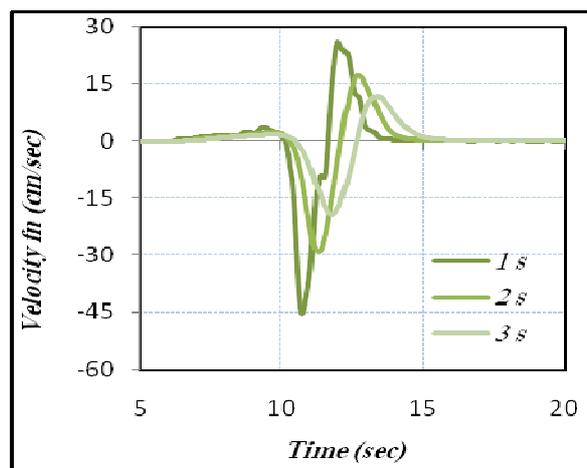
عامل دیگر در تعیین پالس حوزه نزدیک موقعیت ساختگاه دوری و یا نزدیکی آن نسبت به گسل است. به این منظور ساختگاههای مختلف را در فواصل ۱ کیلومتری از یکدیگر در حالت عمود بر امتداد گسل و نیز در فواصل ۵ کیلومتری از یکدیگر در حالت موازی با گسل در نظر گرفته تا پالس حوزه نزدیک را برای گسل شمال تهران شبیه سازی کنند.

## در حالت عمود بر امتداد گسل

مطابق شکل (۷) تا فاصله ۱۰ کیلومتری در دو جهت شیب و خلاف شیب گسل عمود بر امتداد گسل و در بازه‌های ۱ کیلومتری پالس حوزه نزدیک برای گسل شمال تهران محاسبه شده است. شکل‌های (۸) و (۹) پالس‌های شبیه سازی شده را در این موقعیت‌های مختلف ساختگاه نشان می‌دهد. همانطوریکه شکل نشان می‌دهد با افزایش فاصله از گسل، دامنه پالس کاهش می‌یابد.



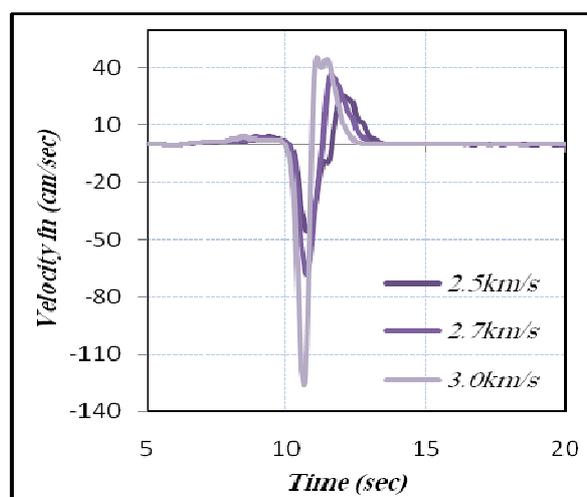
شکل ۷- موقعیت ساختگاهها در دو حالت عمود و موازی با امتداد گسل از نمای بالا.



شکل ۵- پالس‌های شبیه سازی شده در حوزه نزدیک گسل شمال تهران برای زمان فرآینش‌های متفاوت

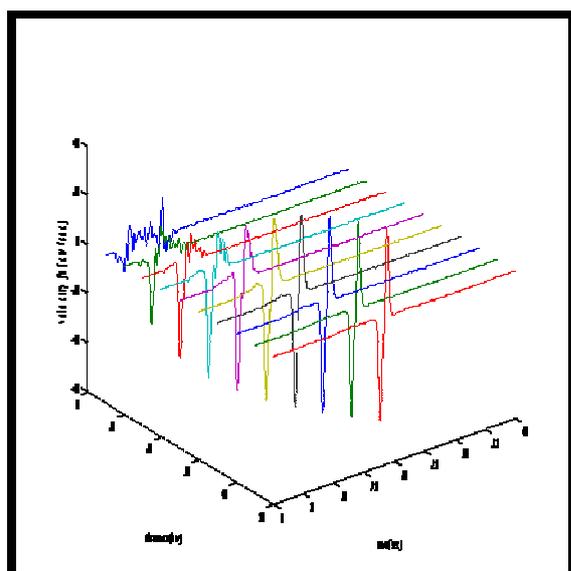
## تأثیر سرعت گسیختگی

از عواملی دیگری که در تعیین جنبش توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل تأثیر می‌گذارد، سرعت گسیختگی در طول گسل می‌باشد. بنابراین، برای در نظر گرفتن اثر تغییرات آن بر پالس ایجاد شده، سرعت‌های ۲/۵، ۲/۷، ۳ و ۳ کیلومتر بر ثانیه فرض شده و پالس‌های شبیه سازی شده آنها در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت گسیختگی دامنه پالس افزایش و پریود آن کاهش می‌یابد.



شکل ۶- پالس‌های شبیه سازی شده در حوزه نزدیک گسل شمال تهران برای سرعت‌های گسیختگی متفاوت.

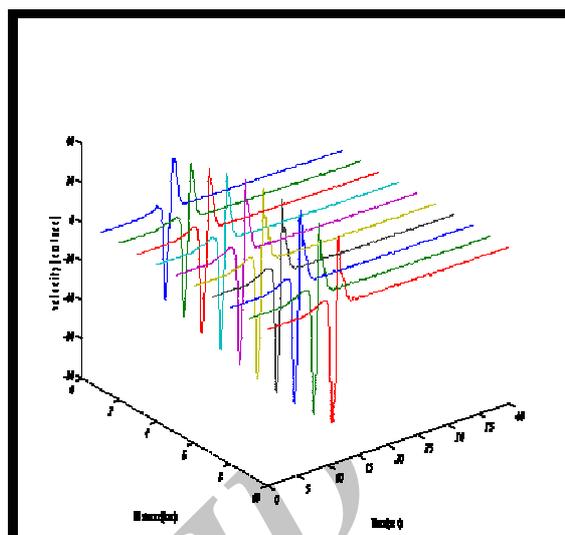
سازی شده را در این موقعیت‌ها نشان می‌دهد. همان طور که نشان داده شده است دامنه پالس با افزایش فاصله از رومرکز زلزله تا میانه گسل ابتدا افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد.



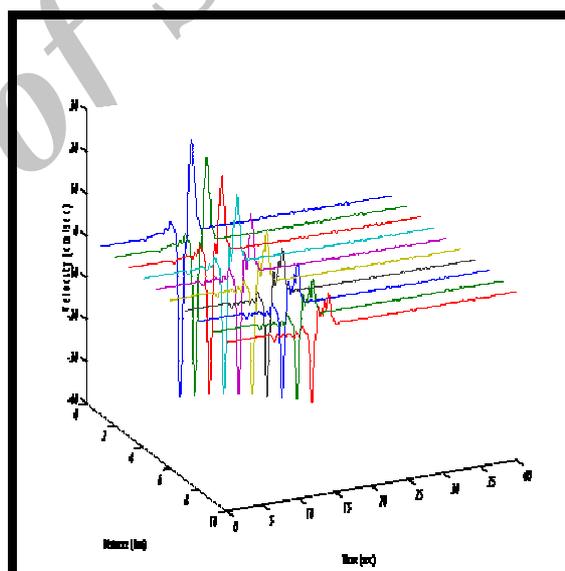
شکل ۱۰- پالس‌های شبیه سازی شده در موقعیت‌های مختلف ساختمانی در جهت موازی با امتداد گسل شمال تهران.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله، حرکت توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل با استفاده از مدل چشمه گسل شمال تهران و توابع تئوری گرین برای محیط نامحدود شبیه سازی شده است و به دنبال آن نحوه تأثیر هر یک از پارامترهای چشمه و همچنین اثر موقعیت مکانی ساختمانی نسبت به گسل مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در ادامه با داشتن پارامترهای مدل گسل شمال تهران به بررسی تأثیر هر یک از این پارامترها بر پالس حوزه نزدیک گسل در ساختمانی‌های مورد نظر پرداخته شده است. با بررسی نگاشته‌های شبیه سازی شده و با توجه به اهمیت دو کمیت دامنه و پیروید در طراحی سازه‌ها مشخصات پالس حوزه



شکل ۸- پالس‌های شبیه سازی شده برای موقعیت‌های مختلف ساختمانی در جهت عمود بر گسل و در راستای شیب گسل شمال تهران.



شکل ۹- پالس‌های شبیه سازی شده برای موقعیت‌های مختلف ساختمانی در جهت عمود بر گسل و در خلاف راستای شیب گسل شمال تهران.

### در حالت موازی با امتداد گسل

مطابق شکل (۷) به فاصله ۱ کیلومتری از امتداد گسل و به موازات گسل در موقعیت‌های مختلف ساختمانی به فاصله ۵ کیلومتری از یکدیگر در نظر گرفته شده است. شکل (۱۰) پالس‌های شبیه

گسل، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۴،  
مرداد ماه ۱۳۸۷، از صفحه ۴۸۷ تا ۴۹۶.

#### References:

- Aki, K. and Richards, P. G., (1980), "Quantitative Seismology Theory and Methods", W. H. Freeman and Co. New York.
- Ghayamghamian, M. R., (2005), "The Effects of Variability in Near-Fault Ground Motion Prediction." 73th Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran.
- Guoxin Wang Hongnan Li, Dongsheng Wang and W.K. Chow, (2006), "Estimation of near-fault strong ground motion for key engineering structures", ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 471, Vol. 43, No. 3, pp. 65-74.
- Nazari, H., Analyse de la tectonique récente et active dans l'Alborz Central et la région de Téhéran: Approche morphotectonique et paléoseismologique, unpublished PHD thesis, University of Montpellier II, pp. 247, 2006.
- Nazari, H., Ritz, J-F., Salamati, R., Habibi, H., Ghorashi, M., Talebian, M and Bolourchi, M., (2008) submitted to Terra Nova, Deciphering between fault scarps and terrace risers: the question of the nature of the Rey and Kahrizak features in Tehran region, Iran.
- Nazari, H., Ritz, J-F., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M. and Saidi, A., (2008), "Paleoseismological analysis along the North Tehran Fault (Central Alborz, Iran)".
- Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Smith, N. and Kowada, A., (1999), "Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion." Seismological Research Letters, Vol. 70, No. 1, PP. 59-79.

نزدیک گسل را در نقاط مختلف از گسل شمال تهران با توجه به فاصله و موقعیت مکانی ساختگاههای مفروض در تهران با تغییرات عوامل گسلش بر تاریخچه زمانی سرعت مورد بحث و بررسی قرار داده که نتایج زیر بدست آمد:

افزایش میزان لغزش در روی اسپریتی باعث افزایش دامنه پالس داشته و تغییری در پریود ایجاد نکرده است. در حالیکه افزایش زمان فرآیند باعث کاهش دامنه و افزایش پریود و افزایش سرعت گسیختگی باعث افزایش دامنه و کاهش پریود پالس حاصله می‌گردد. همچنین با بررسی اثر موقعیت مکانی و فاصله ساختگاه تا گسل مشخص شده که با افزایش فاصله در جهت عمود بر امتداد گسل در جهت شیب گسل دامنه پالس حوزه نزدیک افزایش ولی در جهت خلاف شیب گسل دامنه پالس کاهش و پریود افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله از رومرکز و به موازات گسل، دامنه پالس حوزه نزدیک گسل روند افزایشی - کاهشی را دنبال می‌کند.

#### منابع فارسی

- آژانس همکاریهای بین‌المللی ژاپن جایکا، (۱۳۸۰)، پروژه ریزپهنه بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ.
- خلیلی، ب.، ۱۳۸۵، بررسی پارامترهای چشمه لرزه‌ای در حوزه نزدیک و تعیین پارامتر غالب بر مشخصات پالس حوزه نزدیک [پایان نامه].
- قائم‌مقامیان، م. ر.، خلیلی، ب.، ۱۳۸۷، بررسی اثر پارامترهای خاص گسلش و موقعیت مکانی ساختگاه بر مشخصات پالس حوزه نزدیک