



بررسی اثر گسترش جانبی ناشی از روانگرایی بر شریان های حیاتی

علی جوهری^۱، ناصر اشرف^۲، سیدمهدی دهقان^۳

۱- استادیار دانشگاه صنعتی شیراز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی شیراز

۳- استادیار دانشگاه صنعتی شیراز

johari@sut.ac.ir

خلاصه

دسته ای از سازه ها که روز مره مایحتاج زندگی شهری در آن ها جریان دارد شریان های حیاتی نامیده می شوند. این مجموعه شامل شبکه های آب، برق، مخابرات، گاز و فاضلاب می باشد. ویژگی این سازه ها شبکه ای بودن آنها و نیاز به وجود آنها در مناطق مختلف شهری و بین شهری است. از طرفی با توجه به قرارگیری ایران بر روی کمربند زلزله "آلپاید_ هیمالیا" شبکه های مذکور می تواند تحت تاثیر این رخداد طبیعی و پیامدهای ناشی از آن قرار گیرند. گسترش و نیاز روز افزون شریان های حیاتی شهری و بین شهری نیاز به عبور این شریان ها را از زمین های مسئله دار همچون زمین های مستعد روان گرایی را اجتناب ناپذیر نموده است. در این مقاله تلاش شده است عوامل تاثیر گذار بر شریان های حیاتی در زمین های مستعد روان گرایی مورد بررسی قرار گیرند. برای این منظور بانجام مطالعات ژئوتکنیک در یک منطقه، پارامترهای خاک مذکور تعیین گردیده است سپس با استفاده از آیین نامه های معمول در طراحی این سازه ها، میزان جابجایی افقی ناشی از گسترش جانبی در این شریان ها محاسبه گردیده است.

کلمات کلیدی: شریان های حیاتی، روان گرایی، گسترش جانبی، مطالعات ژئوتکنیک

۱. مقدمه

سیستم های خدماتی در جامعه شهری و غیر شهری که کارکرد آنها بر روی یکدیگر اثر متقابل دارد و زندگی شهری به آنها وابسته است را می توان شریانهای حیاتی آن جامعه نامید در طی وقوع زلزله پدیده هایی همچون انتشار امواج زلزله و حرکات بزرگ زمین، زمینه آسیب رسانی به لوله ها را فراهم می کند که در این میان حرکات بزرگ زمین همچون حرکات گسل، زمین لغزش و روان گرایی خاک از مهمترین عوامل به شمار می آید. کشور ایران بعلت قرارگیری بر روی کمربند زلزله در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر می باشد. با توجه به ساخت و گسترش شریان های حیاتی، و عبور این شریان ها از محل های پر خطر لرزه ای از خطرناکترین محل ها می باشند که برای کاهش بروز خطر باید تمهیدات ویژه ای در این سازه ها در نظر گرفته شود. بدین ترتیب ریسک بروز آسیب در شبکه ها و تأسیسات شریان های حیاتی رو به افزایش بوده و لازم است که هرچه سریعتر و صحیح تر به چاره اندیشی در این رابطه پرداخته و نسبت به تهیه طرح ها و برنامه های جامع مدیریت بحران زلزله اقدام نمود. فلات ایران به طور متوسط هر دقیقه زمین لرزه ای را تجربه کرده که از این بین تنها تعدادی از آنها توأم با خسارت مالی و جانی بوده اند [1]. شواهد باقیمانده نمایانگر این واقعیت است که موقعیت زمین شناسی برخی از شهرها و روستاهای ایران نامناسب و غالباً در حریم و یا بر روی پهنه های گسله بنا شده اند.

از جمله نمونه رخداد هایی که زمین لرزه موجب آسیب رسانی به شریان های حیاتی شده است می توان به زلزله شمال بجنورد (گرمخان) با بزرگی ۶/۹ ریشتر که باعث تخریب ۱۷۳ روستا شد که علاوه بر خطرات ناشی از ویرانی ساختمان، خطر قطع برق باعث هجوم حیوانات وحشی شد قطع گاز سبب عدم استفاده از غذای مناسب و استفاده از کنسرو شد در نمونه ای دیگر می توان به زلزله ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ که با قدرت ۷/۱ ریشتر در منطقه

^۱ استادیار دانشگاه صنعتی شیراز

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شیراز

^۳ استادیار دانشگاه صنعتی شیراز



قائن - اردکول به وقوع پیوست اشاره کرد که عدم تمایل روستاییان به غذاهای کنسرو سبب شد تا دست اندرکاران یک هفته پس از وقوع زلزله اقدام به ایجاد ایستگاه های طبخ غذای گرم نمایند [2].

در مورد آسیب به شریان های حیاتی لوله های گاز می توان به زلزله کانتو ژاپن اشاره کرد، که از ۱۵۰ هزار نفر کشته، ۱۴۰ هزار نفر آن در اثر آتش سوزی ناشی از انفجار لوله های گاز بوده است. آسیب پذیری شریان های حیاتی در مقابل صدمات زلزله در زمین لرزه های گوناگون نشان داده شده است که اگر شریان های حیاتی آسیب ببینند علاوه بر اتلاف خدمات و محصولات، خطر صدمه به عموم مردم و محیط زیست نیز وجود دارد. مطالعه تاریخچه خسارت ناشی از زلزله های مخرب دنیا نشان می دهد که سهم خرابی شریان های حیاتی در کل ضرر و زیان بسیار قابل توجه است. به عنوان مثال می توان در زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا آمریکا ۹۰٪، در زلزله ۱۹۹۴ نورت ریچ شریان های آمریکا بیش از ۸۰٪، در زلزله ۱۹۹۵ کوهپه ژاپن ۷۵٪ و در زلزله ۱۹۹۹ از میت ترکیه بیش از ۸۵٪ خسارات مربوط به اثرات مستقیم و غیر مستقیم خرابی شریان های حیاتی بود [3].

رخداد های عنوان شده باعث گردید تا در کنار دو رشته مهندسی زلزله ساختمان و مهندسی زلزله ژئوتکنیک مهندسی زلزله شریان های حیاتی به عنوان یک شاخه تخصصی مطرح گردد [3]. در زلزله ۱۸ آوریل ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو با بزرگی ۸/۲۵ خود زلزله کمتر از ۱۵۰ ثانیه طول کشید ولی آتش سوزی ناشی از انفجار لوله های گاز تا چهار روز بعد از آن به طول انجامید. پارامتر های موثر زلزله در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شامل: ۱- بزرگی زلزله، ۲- مدت زمان زلزله، ۳- فاصله منطقه مورد نظر تا مرکز زلزله و ۴- مشخصات خاک می باشد. دو عامل اول رابطه مستقیم با شدت خرابی دارند؛ به این نحو که هر چه بزرگی زلزله و مدت آن بیشتر گردد در این مدت خرابی بیشتری قابل انتظار است اما در مورد عامل سوم با توجه به تحقیقات جدید انجام شده، فاصله بیشتر تا مرکز لوله باعث کاهش بزرگنمایی شتاب در زمان های تناوب پایین و افزایش آن در تناوب های بالا می باشد. در مورد عامل چهارم عبور امواج زلزله از لایه های مختلف خاک، محتوای فرکانسی آن در فرکانس هایی که نزدیک به فرکانس لایه های خاک است تقویت می شود، بنابراین در خاک های نرم بزرگ نمایی در فرکانس های پایین ترین نسبت به خاک های سخت اتفاق می افتد.

از مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که در بررسی آسیب پذیری، تنها نوع شریان مهم نیست بلکه پارامتر های بالا از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

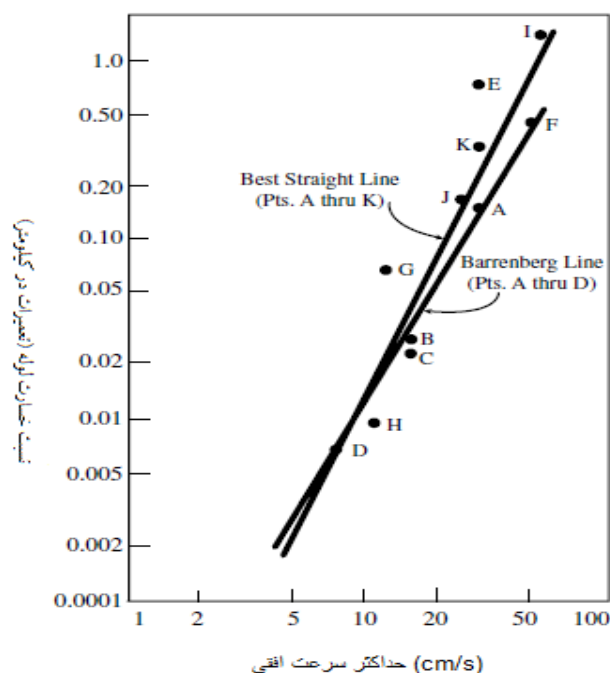
بررسی های انجام شده نشان می دهد بر خلاف سازه های روزمینی، بارهای حاصل از ارتعاشات لرزه ای علت اصلی انهدام لوله های مدفون نمی باشد بلکه حرکات بزرگ زمین عامل عمده خرابی هاست. حرکت گذرای زمین سبب انتشار امواج نشات گرفته از منبع آزاد سازی انرژی و تشدید آن در اثر توپوگرافی زمین میشود. تحقیقات بعد از زلزله نشان می دهد بیشترین خرابی لوله های مدفون پیوسته انتقال در اثر تغییر مکان های ماندگار می باشد؛ تغییر مکان های ماندگار زمین بیانگر شکست و گسیختگی در زمین در اثر پدیدهایی مانند زمین لغزش است.

آسیب های ناشی از Peak Ground Displacement (PGD) در مناطق کوچکتری رخ می دهد ولی با نرخ های آسیب بالا؛ این در حالی است که آسیب های ناشی از انتشار امواج در مناطق بسیار بزرگتر رخ میدهد اما با نرخ آسیب پذیری پایین تر [4]. پیش بینی میزان جابجایی زمین در اثر روانگرایی خاک بسیار مشکل است؛ با این وجود تعدادی تعدادی مطالعه در این مورد صورت گرفته است. یکی از این مطالعات که توسط هامادا صورت گرفته است با استفاده از هندسه لایه روان شده میزان کرنش از فرمول زیر تخمین زده می شود.

$$\delta = 0.75 \sqrt{h} \sqrt[3]{\theta_g} \quad (1)$$

که در رابطه بالا δ میزان جابجایی بر حسب متر و θ_g زاویه لایه روانگرا شده در پای شیب یا سطح زمین هر کدام که بزرگتر باشد بر حسب درصد می باشد [5].

اخیرا محققان مختلف روابطی تجربی را برای خطر ارتعاش امواج در لوله های مختلف [6] و یا برای قطر های مختلف ترویج داده اند [7]. O'Rourke and Jeon رابطه ای را برای آسیب لوله ها با توجه به داده های زلزله ۱۹۹۴ نورت ریچ پیشنهاد داده اند؛ که باعث انتشار امواج در مقابل حداکثر سرعت زمین نشان داده شده است (شکل ۱) در شکل ملاحظه می شود که میزان خسارت در لوله های مستقیم کمتر می باشد. لازم به ذکر است که میزان خسارت بر آورد شده با استفاده از روش O'Rourke and Jeon بیشتر می باشد و دلیل این است که اثر جنس لوله در رابطه در نظر گرفته شده است [8].



شکل ۱- آسیب انتشار امواج به سیستم لوله های آب در برابر نسبت حداکثر سرعت افقی [7]

در این مقاله سعی شده است تاثیرات روان گرایی بر روی شریان های حیاتی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور در یک زمین مستعد روانگرایی آزمایشاتی صورت گرفته است و پارامترهای مربوطه را برداشت کرده ایم و سپس مقدار کرنش در زمین را محاسبه کرده ایم.

۲. روانگرایی و اثرات آن بر روی شریان های حیاتی

روانگرایی به عنوان تغییر در خاک های غیر چسپنده اشباع شده از حالت جامد به مایع که در اثر افزایش فشار آب حفره ای و کاهش مقاومت برشی خاک است تعریف شده است. روانگرایی که به طور کلی در خاک های اشباع شده با دانه های ریز و غیر چسپنده مانند شن و ماسه رخ میدهد نتایج مخربی بر روی شریان های حیاتی میگذارد از جمله: ایجاد فشار بالا آمدگی و شناور، کاهش ظرفیت باربری خاک، ایجاد جابجایی افقی (گسترش جانبی). گسترش جانبی ناشی از روانگرایی بیشترین تاثیر را در خرابی شریان های حیاتی دارد و زمانی توسعه پیدا میکند که ماسه سست اشباع تحت یک لرزه روان شود. هم چنین گسترش جانبی می تواند بر تجهیزات طویل مدفون در خاک (خطوط جریان حیاتی) تاثیر فاجعه آمیزی داشته باشد این اعتقاد وجود دارد که در طی زلزله بزرگ ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو هر گونه شکستی در شبکه آبرسانی بر اثر گسترش جانبی ایجاد شده است. اگرچه گسترش جانبی در درجه اول افقی می باشد اما مشاهده شده است که حرکت عمودی خاک اغلب همراه با روانگرایی ناشی از گسترش جانبی می باشد؛ با این حال مولفه عمودی کوچک است و از آن صرف نظر می شود [9]. مناطق واقع در فاصله ی ۱۰۰ متری از دیواره ساحلی با ارتفاع ۵ متر و بیش تر باید برای اثرات گسترش جانبی بررسی شوند، هم چنین منطقه ای که شیب آن مساوی یا بیش از ۱٪ باشد باید برای اثرات گسترش جانبی ناشی از روانگرایی بررسی شود [10].

کاهش ظرفیت باربری معمولاً با تغییر شکل های بزرگ خاک همراه است. ممکن است سازه هایی که بر روی این خاکها قرار دارند نشست کنند کج شوند و یا حتی وازگون شوند. حتی سازه های مدفون در خاک (شریان های حیاتی) ممکن است به بیرون از زمین پرتاب شوند. تشخیص ناحیه ای که در آن امکان وقوع روان گرایی در زمان زلزله وجود دارد باید با استفاده از جمع آوری اطلاعات زمین شناسی و زمین ریخت شناسی موجود و بررسی امکان روان گرایی لایه ی سطحی خاک از نقطه نظر میکرو - توپوگرافی با استناد به استاندارد امکان وقوع روان گرایی انجام شود [7].



۳. روابط کنترل شریان های حیاتی در روان گرایی

جهت کنترل شریان های حیاتی در مقابل رخداد روانگرایی، باید ابتدا لایه خاکی که به ارزیابی روان گرایی نیاز دارد پارامتر مقاومت روانگرایی (F_L) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود. زمانی که نتیجه کمتر از یک به دست آمد لایه خاک به عنوان خاک مستعد روان گرایی در نظر گرفته می شود. سپس با استفاده از رابطه شماره (۸) میزان جابجایی افقی (δh) در خاک محاسبه می شود و با توجه به میزان جابجایی افقی به تعیین طول مهاری در شریان های حیاتی اقدام می شود.

$$F_L = R_r / L \quad (۲)$$

F_L پارامتر مقاومت روانگرایی

R_r نسبت مقاومت برشی دینامیکی L

L نسبت تنش برشی لرزه ای

$$R_r = C_w \cdot R_L \quad (۳)$$

C_w پارامتر تعدیل زمین در حرکت زلزله

R_L نسبت تنش تناوبی (سه محوری)

$$C_w = \begin{cases} 1 \rightarrow R_L < 0.1 \\ 3.3R_L + 0.67 \rightarrow 0.1 < R_L < 0.4 \\ 2 \rightarrow 0.4 < R_L \end{cases} \quad (۴)$$

$$L = r_d \cdot K_h \cdot \sigma_v' / \sigma_v' \quad (۵)$$

K_h شدت لرزه افقی سطح زمین

σ_v' تنش کل ناشی از سربار (2 KN/m)

r_d پارامتر کاهش نسبت تنش برشی بر حسب عمق

$$r_d = 1 - 0.015Z \quad (۶)$$

Z عمق محل مورد نظر از سطح زمین

$$\sigma_v' = \gamma_{t1} \cdot h_w + \gamma_{t2} \cdot (z - h_w) \quad (۷)$$

γ_{t1} وزن مخصوص خاک

γ_{t2} وزن مخصوص خاک اشباع

h_w فاصله سطح آب زیر زمینی از سطح زمین

$$F_C \leq 35\% \quad (۸)$$

$$P_L = \int_0^{20} F_L \cdot W_{(z)} \cdot dz$$

F_C درصد ریز دانه

$$\delta h = 36.c \left\{ \sum_{i=1}^n (0.5 \cdot \gamma_i \cdot H_i^2 + \sigma_{vi} \cdot H_i) / (0.5 \cdot \gamma_i \cdot H_i^2 \cdot \sigma_{vi})^{3/2} \cdot N_{bi} \right\} \mathcal{G}_g \quad (۹)$$

H_i عمق لایه روان شده i ام

N_{bi} مقدار N اصلاح شده با در نظر گرفتن اندازه دانه در لایه روان شده i ام



N_1 مقدار اصلاحی N با احتساب اثر اندازه دانه ها در لایه روان شده \dot{I} ام

ρ_g شیب شیروانی (سطح شیب دار) نسبت به افق

$$N_{bi} = N_{li} + \Delta N_{li} \quad (10)$$

ΔN_{li} مقدار اصلاحی N با احتساب اثر اندازه دانه ها در لایه روان شده \dot{I} ام با توجه به درصد ریز دانه ها

N_{li} مقدار N معادل با فشار موثر سربار ۹۸ کیلو پاسگال در لایه روان شده \dot{I} ام

$$\sigma_v = \gamma \cdot h \quad (11)$$

۴. حل یک مسئله نمونه

بر اساس روابط ارائه شده در بند قبل در این تحقیق نسبت به حل یک مثال نمونه اقدام گردیده است. برای این منظور نسبت به انجام یک مطالعه ژئوتکنیک اقدام گردیده است. مطالعات بر مبنای یک گمانه ۲۵ متری ارائه گردیده است. منطقه مورد مطالعه جنوب کشور در جزیره قشم بوده است. اطلاعات به دست آمده در جدول (شماره ۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱- پارامتر های به دست آمده از آزمایش ژئوتکنیک

عمق (m)	طبقه بندی	حد روانی LL	شاخص خمیری PI	وزن مخصوص (g/cm ³)	رطوبت (%)	چسبندگی (Kg/cm ²)	زاویه اصطکاک داخلی (Deg)	درصد ریزدانه (%)	عدد SPT
0-2	SM	N.LL	N.PI	1.73	16.82	0.05	24	56.56	9,11,17
2-4	SM	N.LL	N.PI	1.80	11.11	0.05	24	28.72	8,16,14
4-6	ML	N.LL	N.PI	1.75	12.70	0.05	24	91.72	24,50/12
6-8	ML	20.8	3.05	1.75	19.24	0.05	24	73.50	27,50/11
8-10	ML	N.LL	N.PI	1.76	19.14	0.15	24	91.72	29,50/9
10-12	ML	N.LL	N.PI	1.76	13.02	0.15	24	73.50	28,50/12
12-14	ML	N.LL	N.PI	1.77	9.89	0.15	24	71.95	23,45,50/9
14-16	ML	22.6	2.56	1.77	19.71	0.15	24	61.95	22,46,50/8
16-18	ML	28.6	6.25	1.78	14.33	0.15	24	71.15	29,50/11
18-20	CL-ML	N.LL	N.PI	1.78	16.01	0.15	24	75.08	32,50/8
20-22	ML	29.7	6.95	1.79	16.28	0.15	23	81.44	34,50/8
22-24	CL-ML	27.7	5.20	1.79	15.56	0.15	23	73.84	34,50/8
24-25	CL-ML	27.7	5.20	1.79	15.56	0.15	23	73.84	38,50/4

همان طور که در این جدول ملاحظه می گردد جنس خاک تا عمق ۴ متری ماسه لای دار، از عمق ۴ تا ۱۸ لای با خاصیت خمیری کم و در لایه ۱۸ تا ۲۵ رس و لای با خاصیت خمیری کم می باشد. زاویه اصطکاک داخلی ۲۳ تا ۲۴ درجه، چسبندگی تا ۱۵/ کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد. هم چنین کم ترین عدد SPT ۸ و بیشترین مقدار ۵۰ می باشد. لازم به ذکر است که تا عمق ۴ متری خاک ماسه لای دار و زیر سطح آب زیر زمینی می باشد، هم چنین مقدار عدد SPT بین ۸ تا ۱۴ می باشد که نشان دهنده مقاومت پایین در برابر روان گرای خواهد بود.

۵. روند انجام محاسبات با استفاده از داده های به دست آمده از مطالعات ژئوتکنیک سایت مورد بررسی

در این بند با استفاده از داده های بدست آمده از مطالعات ژئوتکنیک نسبت به ارزیابی سایت از حیث روانگرایی (تا عمق ۴ متر) و جابجایی افقی ساختگاه اقدام می گردد. برای این منظور گام به گام و بر اساس روابط ارائه شده در بند ۳ اقدام گردیده است.

$$F_L = 0.266 / 0.4 = 0.665 \leq 1$$



$$R_r = 1.33 \times 0.2 = 0.266$$

$$R_L = 0.2$$

$$C_w = 1.33$$

$$P_L = \int_0^{20} 0.5 \times 8 \times dz$$

$$W_{(z)} = 10 - (0.5 \times 4) = 8$$

$$N_{ii} = 2.17 + 10 = 12.17$$

$$\Delta N_{ii} \rightarrow F_C = 56.56 \geq 20\% \rightarrow \Delta N_{ii} = 10$$

$$N_{ii} = 1.7(28 / (2160 / 98 + 0.7)) = 2.17$$

$$\sigma_v = 1730 \times 2 = 3460 \text{ (KN / m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_v = (1730 \times 2) - (1000 \times 1.3) = 2160 \text{ (KN / m}^2\text{)}$$

$$\theta_g = 10^\circ$$

$$\delta_h = 5.33 \text{ (cm)}$$

همان گونه که ملاحظه می شود میزان جابجایی افقی در ساختگاه برابر با ۵/۳۳ سانتی متر می باشد. حال با استفاده از این مقدار جابجایی باید اقدام به تعیین طول گیرداری شریان حیاتی گردد.

۶. نتیجه گیری

در بررسی آسیب پذیری شریان های حیاتی، نه تنها نوع شریان مهم است بلکه پارامتر های دیگری همچون بزرگی زلزله، مدت زمان زلزله، فاصله منطقه مورد نظر تا مرکز زلزله و مشخصات خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در طی وقوع زلزله پدیده هایی همچون انتشار امواج زلزله و حرکات بزرگ زمین، زمینه آسیب رسانی به لوله ها را فراهم می کند که در این میان حرکات بزرگ زمین همچون حرکات گسل، زمین لغزش و روان گرایی خاک از مهمترین عوامل به شمار می آید. بررسی های انجام شده نشان می دهد بر خلاف سازه های روزمینی، بارهای حاصل از ارتعاشات لرزه ای علت اصلی انهدام لوله های مدفون نمی باشد بلکه حرکات بزرگ زمین عامل عمده خرابی هاست.

۷. مراجع

- ۱- عکاشه ۱۳۷۸، مبانی ژئوفیزیک، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
- ۲- سهیلا بودری "لزوم استفاده از انرژی خورشیدی در کاهش بحران های ناشی از زمین لرزه "سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۸۷
- ۳- عباس عباس زاده شهری و همکاران- " اثر زلزله بر شریان های حیاتی استان همدان با نگاه ویژه به خطوط انتقال گاز "همایش ملی مقاوم سازی ایران- سال ۸۷

- 4-Earth Quake Engineering hand book edited chapter 23, By Wai-Fahchen Charls scaawthorn (New direction in civil Engineering), Includes bibliographical reference and index.
- 5- Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R., and Emoto, K. (1986). Study on Liquefaction Induced Permanent Ground Displacements, Association for the Development of Earthquake Prediction, Japan.
- 6-Eidinger, J.M., Maison, B., Lee, D., and Lau, B. (1995). "East Bay Municipal Utility District Water Distribution Damage in 1989 Loma Prieta Earthquake," in Proceedings of the Fourth U.S. Conference On Lifeline Earthquake Engineering, American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 6, August, pp. 240-247.



- 7- Honegger, D.G. (1995). "An Approach to Extend Seismic Vulnerability Relationships for Large Diameter Pipelines," in Proceedings of the Fourth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 6, American Society of Civil Engineers, New York, 320–327.
- 8-O'Rourke, T. and Jeon, S. (1991). "Factors Affecting the Earthquake Damage of Water Distribution Systems," in Proceedings of the Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, August 1988, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph No. 6, American Society of Civil Engineers, New York, pp. 379–388.
- 9-Towhata, I., Tokida, K., Tamari, Y., Matsumoto, H., and Yamada, K. (1991). "Prediction of Permanent Lateral Displacement of Liquefied Ground by Means of Variational Principle," in Proceedings of the Third Japan–U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Technical Report NCEER-91-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, pp. 237–252.

۱۰- راهنمای بار گذاری و تحلیل لرزه ای شریان های حیاتی، نشریه شماره ۶۰۰ ایران، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور