

کاربرد مفهوم سرعت در تخمین نیاز تغییر مکانی سازه‌ها

سید بهرام بهشتی اول

دانشیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران
Beheshti@kntu.ac.ir

سید جعفر کمالی فیروزآبادی

کارشناسی ارشد عمران- زلزله، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران
Jkamali270@yahoo.com

کلید واژه‌ها: طیف سرعت رکورد، رکورد نزدیک گسل، آنالیز غیر خطی تاریخچه زمانی، قاب خمشی فولادی، تغییر مکان هدف

چکیده

ضعف روش طراحی لرزه ای آیین نامه‌ها در عدم لحاظ عوامل مهمی همچون پتانسیل آسیب به سازه و مشخصات حرکات قوی لرزه ایمنجر به عملکرد نامناسب سازه‌ها تحت زلزله‌های مخرب گذشته گردیده است. از اینرو دیدگاه طراحی لرزه ای به سمت روش‌های غیر خطی بر پایه مفاهیم عملکردی سوق داده شده است. در سالهای اخیر روشهایی بر پایه دیدگاه جابجایی به منظور بررسی بهتر عملکرد سازه‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش ضرایب بر اساس پیش‌استاندارد FEMA356(2000) و روش طیف ظرفیت مبتنی بر مدرک بررسی لرزه‌ای ساختمانهای بتنی (ATC40(1996)، روش آنالیز استاتیکی غیرخطی مودی (MPA) که توسط چوپرا در سال ۲۰۰۰ ارائه شد، اشاره کرد. دقت این روشها در تخمین تغییر مکان هدف سازه متاثر از نوع تحریک لرزه ای می‌باشد که بیان کننده ضعف آنها می‌باشد. در تمامی روشهای فوق از طیف شتاب رکورد بعنوان نماینده طلب لرزه ای در سیستم ADRS جهت تعیین تغییر مکان هدف سازه استفاده می‌شود. در این تحقیق به منظور در نظر گرفتن اثر نوع تحریک لرزه ای روشی بر مبنای مفهوم سرعت معرفی می‌شود. در این روش از طیف سرعت رکورد زلزله بعنوان نماینده طلب لرزه ای در سیستم VDRS جهت تخمین تغییر مکان نهایی سازه‌ها استفاده می‌شود. از آنالیز تاریخچه زمانی بعنوان معیار سنجش رکورد با خصوصیات نزدیک و دور از گسل جهت بررسی دقت روش معرفی شده استفاده می‌شود. از آنالیز تاریخچه زمانی بعنوان معیار سنجش دقت نتایج استفاده شده است. در نهایت دقت نتایج حاصل از این روش با روشهای بر پایه دیدگاه جابجایی و دیدگاه انرژی مقایسه شده است. بررسی‌ها بیانگر افزایش دقت روش معرفی شده در تعیین تغییر مکان هدف سازه‌ها نسبت به روشهای فعلی می‌باشد.

مقدمه

بر اساس نوع نگرشی که به حرکت لرزه ای زمین می‌توان داشت، روشهای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها متفاوت می‌گردند. در حال حاضر دیدگاه طراحی لرزه ای آیین نامه‌ها بر پایه نگرش نیرو به حرکت لرزه ای زمین می‌باشند ولی ضعف این روش در لحاظ نکردن عوامل مهمی همچون پتانسیل آسیب به سازه، مدت دوام حرکات قوی منجر به عملکرد نامناسب سازه‌ها شده و دیدگاه طراحی لرزه ای را به سمت روش‌های غیرخطی بر پایه مفاهیم عملکردی سوق داده است. بر این اساس در سالهای اخیر روشهایی بر پایه جابجایی به منظور بررسی بهتر عملکرد سازه‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های بر اساس پیش‌استاندارد FEMA356(2000) و مدرک بررسی لرزه‌ای ساختمانهای بتنی- (ATC40(1996)، روش آنالیز استاتیکی غیرخطی مودی (MPA) که توسط چوپرا در سال ۲۰۰۰ ارائه شد، اشاره کرد. ضعف موجود در این روشها منجر به قوت گرفتن دیدگاهها و روشهای دیگری مانند دیدگاه انرژی شده است. اساسی ترین ضعف این روش‌ها وابسته بودن دقت آنها به نوع تحریک لرزه ای می‌باشد به گونه ای که عدم دقت این روشها تحت تحریکات نزدیک گسل مشهود می‌باشد. از مشخصات بارز این نوع تحریکات می‌توان به سرعت بسیار بالای آنها اشاره کرد. نادیده گرفته شدن این مشخصه در روشهای موجود منجر به دقت پایین این روش‌ها شده است. بنظر میرسد با توجه به نقش تاثیر گذار سرعت رکورد در دقت نتایج مربوط به روش‌های عملکردی، بکارگیری مفهوم سرعت رکورد در تخمین عملکرد سازه‌ها منجر به نتایج با دقت مناسب شود. در این مطالعه به بررسی این مشخصه به منظور لحاظ کردن تاثیر آن در تخمین نقطه



عملکرد سازه پرداخته می شود. سپس به ارائه روشی بر پایه مفهوم سرعت به منظور تخمین نقطه عملکردی سازه (تغییر مکان هدف) در دستگاه مختصات طیفی سرعت- تغییر مکان (VDRS) پرداخته می شود.

دستگاه مختصات طیفی سرعت - تغییر مکان (VDRS)

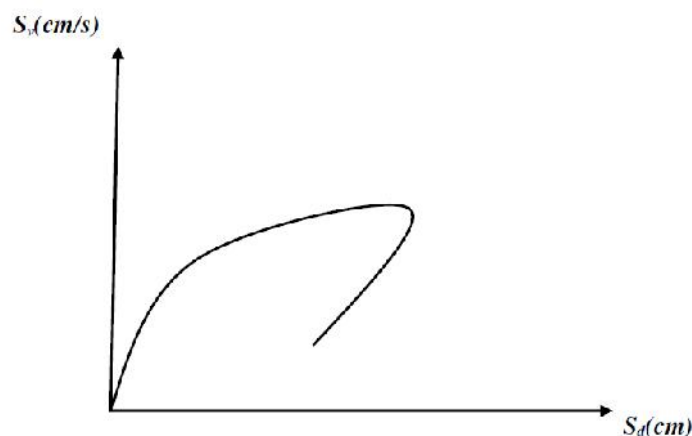
جهت تخمین نقطه نهایی عملکرد سازه که تغییر مکان هدف سازه نامیده میشود، به اطلاعاتی مرتبط به ظرفیت سازه و طلب لرزه ای در دستگاه مختصات مشخص که به دیدگاه لرزه ای بر میگردد، نیاز می باشد. با داشتن تخمین مناسبی از موارد فوق که به خصوصیات لرزه ای رکورد و سازه ای مربوط می باشد و ترسیم منحنی های معرف مشخصات فوق در دستگاه مختصات واحد، می توان به نقطه نهایی سازه رسید. همانطور که اشاره شد دستگاه مختصات مورد بررسی در این تحقیق، دستگاه مختصات طیفی سرعت-تغییر مکان (VDRS) می باشد. این دستگاه براساس نتایج سیستم یکدرجه آزادی معادل سازه اصلی می باشد که در ادامه به نحوه محاسبه و ترسیم منحنی های معرف مشخصات لرزه ای و سازه ای در دستگاه مختصات فوق می پردازیم.

منحنی طلب لرزه ای در دستگاه مختصات سرعت-تغییر مکان (VDRS)

ارتباط میان مقادیر طیف سرعت و جابجایی رکورد مربوط به سیستم یکدرجه آزادی بصورت رابطه (۱) می باشد. در این رابطه S_v مقادیر مربوط به طیف شبه سرعت می باشد و ω فرکانس سازه یکدرجه معادل سازه اصلی می باشد.

$$S_v = \check{S}_n S_d \quad (1)$$

با استفاده از این رابطه می توان منحنی طلب لرزه ای در دستگاه VDRS را رسم نمود. این منحنی بصورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: منحنی طلب لرزه ای در دستگاه VDRS

منحنی ظرفیت سازه در دستگاه مختصات سرعت-تغییر مکان (VDRS)

به منظور دستیابی به منحنی ظرفیت سازه در دستگاه VDRS ابتدا به چگونگی معادل کردن سازه اصلی به سیستم یکدرجه آزادی می پردازیم. معادله حرکت سیستم چند درجه آزادی بصورت رابطه (۲) نوشته می شود:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\{1\}\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

در این معادله u بردار جابجایی طبقات، c ، m و k به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی سازه می باشند. $\{1\}$ بردار واحد و $\ddot{u}_g(t)$ شتاب افقی وارد به سازه می باشد. با فرض Y_i و $u =$ و با توجه به قانون تعامد مد ها معادله فوق به معادله حرکت سیستم یکدرجه آزادی مطابق رابطه (۳) تبدیل می شود. با توجه به معادله جدید و حل آن می توان رابطه میان تغییر مکان سازه یکدرجه آزادی و ماکزیمم تغییر مکان سیستم چند درجه آزادی را بدست آورد:

$$\begin{aligned}
 M_n \ddot{Y}_n + c_n \dot{Y}_n + k Y_n &= -L_n \ddot{u}_g(t) \\
 Y_n &= \frac{L_n}{M_n \check{S}_n} \dot{u}_n(t) \\
 \dot{u}_n(t) &= \int \ddot{u}_g(\ddagger) e^{-\check{c}_n \check{S}_n(t-\ddagger)} \sin \check{S}_n(t-\ddagger) d\ddagger \\
 u_n(t) &= W_n Y_n(t) = W_n \frac{L_n}{M_n \check{S}_n} \dot{u}_n(t) \\
 u_n^{\max} &= W_n \frac{L_n}{M_n \check{S}_n} S_{vn}
 \end{aligned} \tag{۳}$$

در نهایت می توان رابطه میان تغییر مکان پشت بام سازه را با ماکزیمم تغییر مکان سازه یکدرجه معادل بصورت رابطه (۴) بیان نمود.

$$u_{n,roof}^{\max} = W_{n,roof} \frac{\Gamma_n}{\check{S}_n} S_{vn} = W_{n,roof} \Gamma_n S_{dn} \tag{۴}$$

در این رابطه Γ_n ضریب مشارکت مود n ام می باشد. رابطه میان برش پایه سازه اصلی و سیستم یکدرجه آزادی بصورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{aligned}
 q_n &= k_n u_n(t) = k_n W_n Y_n(t) = m \check{S}_n^2 W_n \frac{L_n}{M_n \check{S}_n} \dot{u}_n(t) \\
 q_n &= m W_n \check{S}_n \frac{L_n}{M_n} \dot{u}_n(t) \Rightarrow V_n = \{1\} q_n = \frac{L_n^2}{M_n} \check{S}_n \dot{u}_n(t) \\
 V_n^{\max} &= M_n^* \check{S}_n S_{vn} = M_n^* S_{dn} = M_n^* V_n^* \\
 \frac{V_n^{\max}}{M_n^* \check{S}_n} &= \frac{V_n^*}{\check{S}_n} = S_{vn}
 \end{aligned} \tag{۵}$$

در نهایت برای سیستم یکدرجه آزادی با رفتار الاستیک و جرم واحد رابطه میان تغییر مکان و سرعت معادل سرعت طیفی را می توان بصورت رابطه (۶) نوشت:

$$\begin{aligned}
 V_n^* &= k_n S_{dn} = \check{S}_n^2 S_{dn} \\
 \frac{V_n^*}{\check{S}_n} &= S_{vn} = \check{S}_n S_{dn}
 \end{aligned} \tag{۶}$$

با توجه به رابطه فوق می توان منحنی ظرفیت سازه یکدرجه آزادی معادل با رفتار الاستیک را در دستگاه VDRS بصورت خطی با شیب n رسم کرد.

حال با ترسیم منحنی های معرف طلب لرزه ای و ظرفیت سازه در دستگاه VDRS مطابق شکل ۲، نقطه قطع این دو منحنی بیانگر ماکزیمم تغییر مکان سیستم یکدرجه آزادی معادل با رفتار الاستیک می باشد. شکل ۳ این روند را برای سیستم یکدرجه آزادی معادل قاب سه طبقه تحت رکورد Parkfield نشان می دهد.

جهت محاسبه نقطه نهایی سازه با رفتار الاستو پلاستیک ابتدا منحنی برش - تغییر مکان سازه یکدرجه آزادی را از منحنی برش - تغییر مکان سازه اصلی که از تحلیل استاتیکی غیر خطی بدست می آید را مطابق روابط (۴) و (۵) محاسبه میکنیم. شکل ۴ این منحنی را برای سازه یکدرجه آزادی معادل نشان میدهد. با توجه به رابطه (۶) مقدار برش تسلیم سیستم یکدرجه آزادی را می توان در مختصات دستگاه سرعت طیفی بدست آورد. این رابطه بصورت زیر می باشد:

$$\frac{V_{ny}^*}{\check{S}_n} = \check{S}_n S_{dny} = S_{vny} \tag{۷}$$

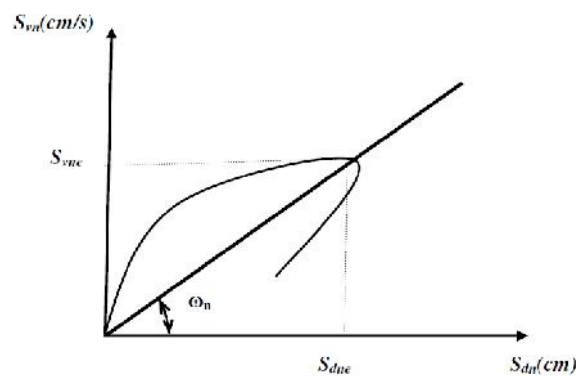


شکل (۵) منحنی سیستم با رفتار الاستو پلاستیک معادل را نشان می دهد. طبق تعریف سطح زیر منحنی این دو سیستم باید با هم برابر باشند و برای این منظور دو پارامتر شکل پذیری μ و ضریب کاهش مقاومت R_y بصورت زیر تعریف می شوند.

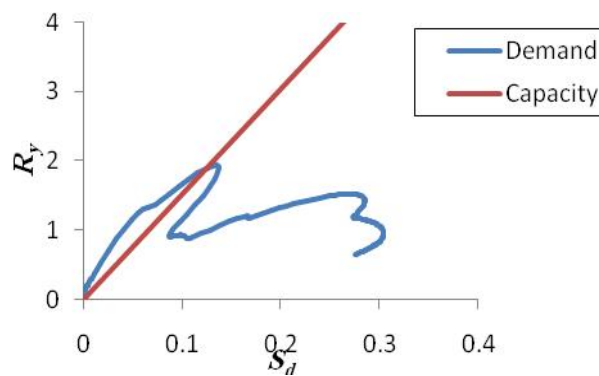
$$\mu = \frac{|S_{dmm}|}{S_{dny}} \quad (8)$$

$$R_y = \frac{V_e^*}{V_y^*} = \frac{S_{yne}}{S_{yny}} \quad (9)$$

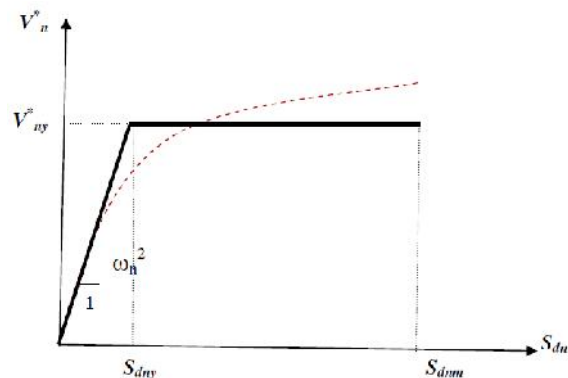
با مشخص بودن رابطه $R_y-\mu-T$ مربوط به اطلاعات سازه و حرکت لرزه‌ای زمین که می‌تواند هم بصورت رابطه دقیق مربوط به رکورد مشخص و هم بصورت روابط تجربی ارائه شده باشد، می‌توان میزان شکل پذیری و در نهایت تغییر مکان نهایی سیستم یکدرجه آزادی معادل با رفتار غیر خطی را محاسبه کرد. در نهایت تغییر مکان هدف سازه اصلی با کمک رابطه (۴) قابل محاسبه می‌باشد. شکل (۶) این روند محاسباتی را نشان می‌دهد.



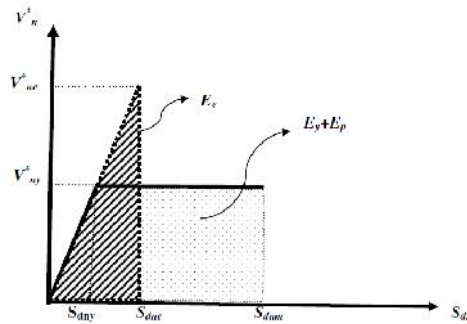
شکل ۲: نحوه تخمین محاسبه ماکزیمم تغییر مکان سازه یکدرجه آزادی معادل با رفتار خطی



شکل ۳: تعیین تغییر مکان نهایی سازه یک درجه آزادی معادل قاب سه طبقه با رفتار الاستیک تحت رکورد Parkfield



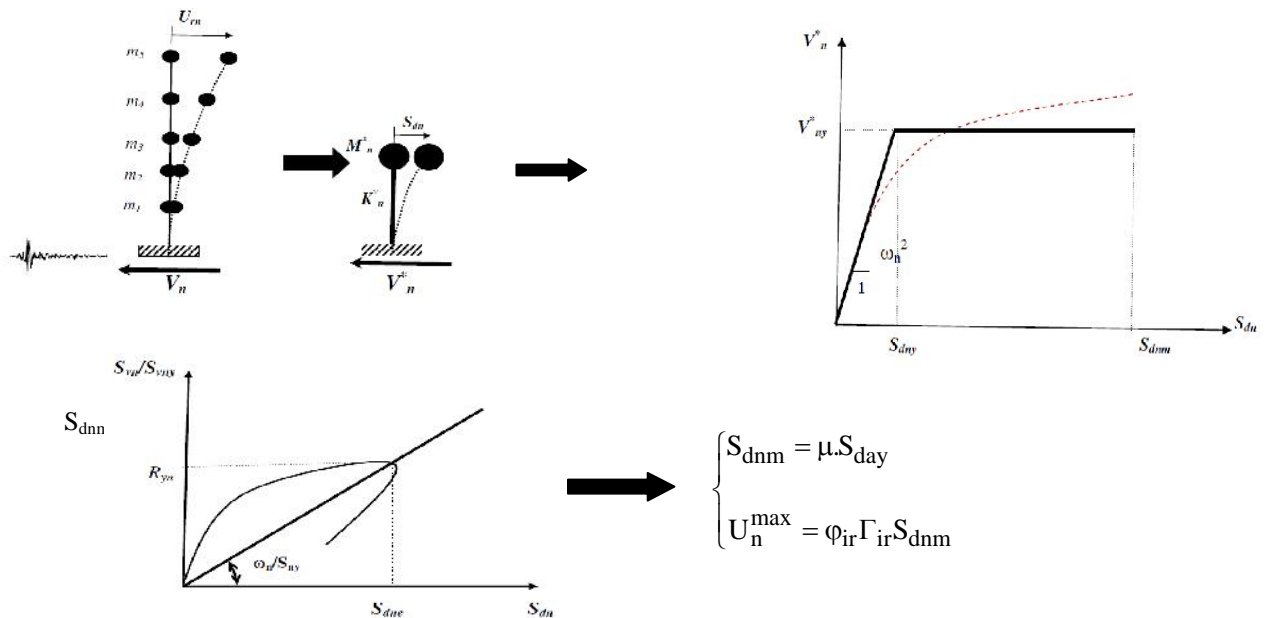
شکل ۴: منحنی رفتار الاستو پلاستیک سازه یکدرجه آزادی معادل با رفتار غیر خطی



شکل ۵: منحنی سیستم یکدرجه آزادی معادل با رفتار الاستیک معادل و رفتار الاستوپلاستیک

در ذیل روند تخمین تغییر مکان هدف سازه به کمک طیف سرعت را بصورت گام به گام آورده شده است:

- ۱- بدست آوردن منحنی برش - تغییر مکان سازه با تحلیل استاتیکی غیر خطی و تبدیل به منحنی دوخطی با شیب پس مقاومت صفر
- ۲- تبدیل منحنی فوق به منحنی برش- تغییر مکان برای سازه یکدرجه آزادی با کمک روابط (۴) و (۵)
- ۳- بدست آوردن منحنی معرف طلب لرزه ای در دستگاه VDRS به کمک رابطه (۱)
- ۴- بدست آوردن منحنی معرف ظرفیت سازه در دستگاه VDRS به کمک رابطه (۷)
- ۵- قطع دو منحنی فوق و تعیین تغییر مکان ماکزیمم سازه یکدرجه آزادی معادل با رفتار الاستیک
- ۶- تعیین ضریب کاهش مقاومت به کمک رابطه (۹) و مشخص کردن شکل پذیری با استفاده از رابطه $R_y - \mu - T$ مربوطه. جهت سهولت در تعیین ضریب کاهش مقاومت R_y با تقسیم اعداد محور عمودی معرف سرعت در دستگاه VDRS به S_{vny} که از رابطه (۷) قابل محاسبه است مستقیماً از قطع دو منحنی در این دستگاه مختصات ضریب کاهش مقاومت R_y بدست می آید.
- ۷- تعیین تغییر مکان نهایی سیستم یکدرجه آزادی معادل با رفتار غیر خطی با رابطه (۸)
- ۸- تعیین تغییر مکان نهایی سازه اصلی با رابطه (۴)



شکل ۶: تخمین تغییر مکان هدف سازه به روش طیف سرعت

بررسی دقت روش معرفی شده

بررسی دقت نسبت به نتایج آنالیز دینامیکی

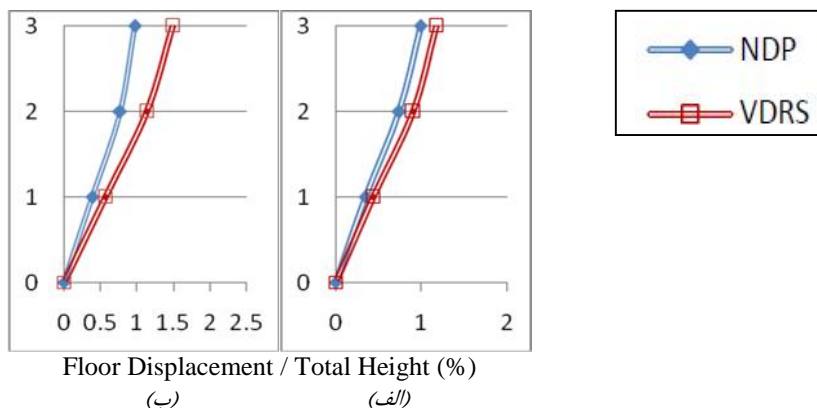
در این مرحله جهت بررسی دقت روش فوق نتایج حاصل از آن مربوط به دو قاب ۳ و ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی فولادی تحت دو رکورد زلزله Parkfield با خصوصیات رکورد نزدیک گسل و رکورد El centro با خصوصیات رکورد دور از گسل با نتایج آنالیز غیر خطی تاریخچه زمانی، به



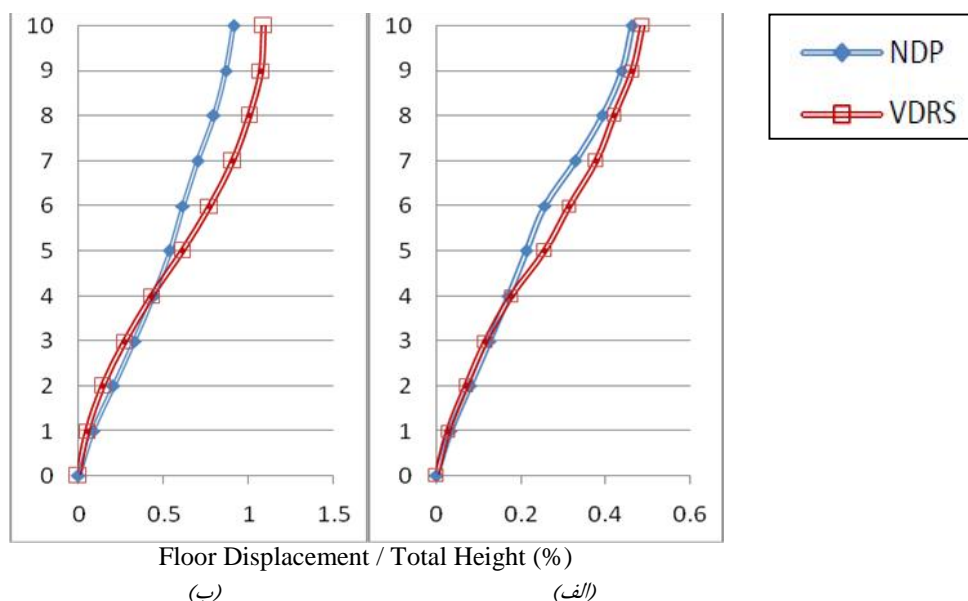
عنوان معیار سنجش دقت نتایج، مقایسه می شود. رکوردهای مذکور به روش شدت طیفی (SI) و به منظور رسیدن به سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) مقیاس شده اند. قابل ذکر است که نتایج حاصل از روش معرفی شده با در نظر گرفتن اثر مود اول سازه بعنوان مود غالب بدست آمده است. نمودارهای مربوط به این مقایسه در اشکال ۷ و ۸ آورده شده است. همچنین جدول (۱) اختلاف این نتایج را با نتایج دینامیکی نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که این روش دقت قابل قبولی در تخمین تغییر مکان نهایی سازه دارد و نتایج حاصل به نتایج روش دینامیکی نزدیک می باشد.

نتیجه گیری

- در این تحقیق با توجه به نقش عمده سرعت رکورد در دقت روش های موجود در زمینه تعیین تغییر مکان هدف سازه ها، روشی بر پایه مفهوم سرعت جهت تخمین نقطه عملکرد سازه ها پیشنهاد شده است. در زیر به بیان خلاصه تحقیق فوق و نتایج حاصل از آن پرداخته می شود:
- از مفهوم سرعت می توان عملکرد لرزه ای سازه های چند درجه آزادی را بررسی کرد. برای این منظور محاسبات را برای سازه یکدرجه آزادی معادل انجام داده و سپس نتایج حاصل به سازه اصلی تعمیم می دهیم.
 - در این مطالعه از مفهوم سرعت برای تعیین تغییر مکان هدف سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه استفاده شده است. برای این منظور منحنی ظرفیت سازه با رفتار غیرخطی و همینطور منحنی طلب لرزه ای در دستگاه مختصات سرعت- تغییر مکان (VDRS) رسم و از قطع این دو منحنی تغییر مکان هدف سازه یکدرجه آزادی معادل و در نهایت تغییر مکان هدف سازه اصلی بدست می آید.
 - به منظور بررسی دقت روش پیشنهادی در این تحقیق، نتایج بدست آمده از این روش و برای قابهای فولادی خمشی سه و ده طبقه را با نتایج حاصل از آنالیز غیر خطی تاریخچه زمانی این قابها مقایسه شده است. بررسی نتایج دقت بسیار خوب این روش را نشان می دهد.



شکل ۷: مقایسه نتایج روش VDRS با نتایج آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی مربوط به قاب سه طبقه تحت رکورد های El centro (الف) Parkfield (ب)



شکل ۸ - مقایسه نتایج روش VDRS با نتایج آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی مربوط به قاب ده طبقه تحت رکورد های El centro (الف) Parkfield (ب)

جدول (1) - بررسی دقت نتایج روش VDRS نسبت به نتایج حاصل از آنالیز غیر خطی تاریخچه زمانی در تخمین تغییر مکان هدف قابها) نسبت تغییر مکان ماکزیمم به ارتفاع سازه)

Earthquake		Parkfield			EL centro	
Structures	NDP (%)	VDRS (%)	Diff. (%)	NDP (%)	VDRS (%)	Diff. (%)
3 St	0.975	1.48	51.8	0.99	1.17	18.2
10 St	0.91	1.09	19.8	0.462	0.488	5.6

مراجع

Bakhshi A. and Tavallali H (2004) Bound of Earthquake Input Energy, *journal of Structural Engineering*, Vol.130 No.9, pp.1289-1297

Beheshti-aval SB, Firouzabadi SJ (2011) Investigating the accuracy of energy-based method to estimate displacement demand of steel moment frames, *6th International Conf. Earthquake Eng.*, Paper # 10677, Tehran, Iran

Housner GW (1956) Limit design of structures to resist earthquakes, *Proc. World Conf. Earthquake Eng. Vol. 5, pp. 5-1 to 5-13, California, USA*

Kotamidis C and Doudoumis IN (2008) Energy-Based Approach of Static Pushover Analysis, *14th World Conf. Earthquake Eng.*, Paper # 05-01-0293

Kotamidis C and Doudoumis IN (2008) Energy-Based Approach of Static Pushover Analysis, *14th World Conf. Earthquake Eng.*, Paper # 05-01-0293

Leelataviwat S, Saewon W and Goel SC (2008) An Energy Based Method for Seismic Evaluation of Structures, *Proc. of the 14th World Conf. Earthquake Eng.*, Paper # 05-01-0037

Leelataviwat S, Goel SC, Saewon W (2009) Application of Energy Balance Concept in seismic Evaluation of Structures, *journal of Structural Engineering*, Vol. 135:2(113)

Leelataviwat, S.; Goel, S.C.; Saewon, W.; Energy-based Seismic Design of Structures using Yield Mechanism and Target Drift, *journal of Structural Engineering*, Vol. 128:8(1046), (2002).

Manfredi G, Evaluation of seismic energy demand, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 2001;30:485-

Nakashima M, Saburi K and Tsuji B (1996) Energy input and dissipation behavior of structure with hysteretic dampers, *Earthquake Eng & Struct. Dyn.*, Vol. 21 No. 1, pp. 87-95, (1996)

Parducci A, Comodini F, Lucarelli M, Mezzi M and Tomasoli M (2006) Energy-Based Nonlinear Static Analysis, on *13th European Conf. Earthquake Eng.*, Paper Number : 1178

Rahnama M and Manuel L (1996) The effect of strong motion duration on seismic demands, *Proc. 11th World Conf. Earthquake Eng.*, Paper # 924

Vamvatsikos D (2002) Seismic Performance, Capacity and Reliability of Structures As seen Through Incremental Dynamic Analysis, A Dissertation Submitted to the Department of Civil and Environment Engineering and the Committee on Graduate Studies of Stanford University

Zahrah TF and Hall WJ (1984) Earthquake energy absorption in SDOF structures, *journal of Structural Engineering*, ASCE, 110(8), pp. 1757-1772

