

## اثرات نامنظمی سازه در بر آورد منحنی شکنندگی

حمیدرضا وزیری ، کارشناس ارشد مهندسی سازه ، مهندسین مشاور بنیان طرح مازند  
تلفن: ۰۲۱۱۹۹۸ - ۰۱۵۱ - ۳۲۰۰۰۶۶ - ۰۱۵۱ پست الکترونیکی: Hamidvaziri1979@Yahoo.com

### چکیده

در این پژوهش ابتدا با تاریخچه منحنی شکنندگی آشنا شده و مراحل توسعه آن تشریح می شود و در مرحله بعد با مراحل تهیه منحنی شکنندگی با تکنیک استاتیکی غیر خطی آشنا شده و در مدلسازی و تحلیل مدلها از نرم افزار ETABS کمک گرفته می شود . سازه مورد بررسی یک ساختمان بتن آرمه ۷ طبقه در منطقه تهران می باشد و منحنی های شکنندگی برای حالت متقارن و ۱۰٪ ، ۲۰٪ ، ۳۰٪ خروج از مرکزیت تهیه می شود که اثرات نامنظمی در شکل و نحوه تغییرات منحنی شکنندگی مورد تفسیر قرار می گیرد در انتها اشاره می شود که چگونه می توان از این منحنی و اثرات نامنظمی بر روی آن در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای یک سازه استفاده کرد .

**کلیدواژه ها :** نامنظمی سازه ، منحنی شکنندگی ، سازه بتن آرمه ، تحلیل استاتیکی غیر خطی ، روش طیف ظرفیت ، سطوح عملکرد.

### ۱- مقدمه

ساختمانهای نامنظم همواره درصد بیشتری از آمار خسارت وارده بر ساختمانهای ناشی از زلزله را به خود اختصاص میدهند، پس با تحلیل تغییرات پارامترهای متنوع دخیل در طراحی لرزه ای سازه ها ناشی از نامنظمی ریسک خسارت را نسبت به ساختمانهای منظم تشخیص داد .

در این مقاله ابتدا به کمک ادبیات فنی با منحنی شکنندگی که احتمال وقوع خسارت متناظر با یک سطح عملکرد را نشان می دهد آشنا می شویم در گام بعد روال محاسبه منحنی شکنندگی که شامل ایجاد مدل تحلیلی غیر خطی المان محدود ، تحلیل مدل تحت توزیع بارهای مختلف ، تحلیل پوش آور جهت تعیین ظرفیت اعضا ، تعیین شتاب طیفی به کمک روش طیف ظرفیت و سرانجام ترسیم منحنی های شکنندگی

## ۲- ادبیات فنی و تاریخچه تحقیقات

جهت آشنایی با موضوع منحنی شکنندگی و تاریخچه آن که از مباحث مطرح و جدید می باشد از چندین مقاله برگرفته شد. ابتدا از مرجع [۱] برای شناسایی و آشنایی کلی موضوع منحنی شکنندگی استفاده شد در این مقاله ابتدا منحنی شکنندگی تعریف شده و سپس توزیع احتمالاتی تابع بیان شده (نرمال یا لوگ نرمال) این منحنی ها در سازه های متفاوت (چوبی، بتنی، و بنایی) بطور سمبولیک ترسیم شده و حالت های متفاوت جنبش زمین و سطوح خسارت به عنوان محور افقی و احتمال وقوع به عنوان محور قائم در نظر گرفته و فرمول احتمالاتی آن نیز با فرض لوگ نرمال در نظر گرفته شده در عین حال در مورد تبدیل محورها به تغییر مکان نسبی طبقات (Drift) نیز توضیحاتی ارائه شده است [۱]. پس از آن، آنانوس و همکاران در سال ۱۹۹۵ مطالعات بیشتری بر مبنای توزیع بار مندرج در ATC انجام دادند و مدل جدیدی از منحنی شکنندگی را ارائه دادند در این مقاله تمامی محاسبات لرزه ای بر مبنای ATC-13 انجام گردید و این بار محور افقی مقادیری از مرکالی اصلاح شده بود که حالت علمی تر برای آنالیز شکنندگی محسوب می شد و تابع توزیع احتمالاتی بصورت نرمال فرض شده بود و ایده های مناسبی برای پیشنهاد جهت استفاده از رکورد زلزله در این منحنی جهت کارهای آینده ارائه داده شد [۲]. اما از لحاظ دقت، شینوزوکا در سال ۱۹۹۸ [۳] مقاله ای تحقیقی در مورد منحنی شکنندگی ارائه داد که نسبت به کارهای قبلی بسیار دقیق بود، این مقاله طریقه بدست آوردن منحنی شکنندگی در پلها را ارائه می دهد و علت دقت بالای این مطالعه روش آماری قابل توجهی به عنوان ورودی به نرم افزار داده شده بود و از تکنیک دینامیکی غیر خطی بهره برده شد و برای اولین بار نشان داده که ترسیم منحنی شکنندگی در صورتیکه هدف بدست آوردن دقیق آن باشد یک مقوله آماری است و مدل پل استفاده شده در این تحقیق تک دهانه بود، چند سال بعد در سال ۲۰۰۱ شینوزوکا، ساکزیناوفنگک [۴] همین رویه ای را برای پل های چند دهانه بتن مسلح توسعه دادند، در این مقاله از رکورد تاریخچه زمانی جهت تحلیل دینامیکی استفاده شده و منحنی های شکنندگی برای دو حالت تهیه شدند (۱) فرض شده پل متقارن بوده و تمامی پایه ها روی یک تپ خاک باشند (۲) پل متقارن اما خاک زیر پایه ها متفاوت باشد و سپس با تغییرات خاک زیر پایه پل این منحنی ها توسعه داده شدند، از زلزله مونت کارلو به عنوان رکورد استفاده شد برای درجات مختلف شتاب زمین مقیاس شدند و برای اولین بار مراحل انجام منحنی شکنندگی برای پلها

اما در همین سال مصطفی [۵] برای اولین بار منحنی های شکنندگی را برای سیستم های غیرسازه ای بدست آورد در این تحقیق یک منبع آب ۴۰ تنی بر بام یک بیمارستان ۲۰ طبقه که یک مورد مطالعاتی واقعی بود تحت بررسی قرار گرفت در این مقاله بیمارستان تحت تحریکهای متفاوت از لحاظ PGA قرار گرفت و پاسخ لرزه ای بام به عنوان ورودی در تحریک سیستم ثانویه (منبع آب) در نظر گرفته شد و تفاوت منحنی های شکنندگی بدست آمده در این مطالعه با سایر موارد این بود که این بار محور افقی نمودار، تغییر مکان نسبی طبقات (Drift) بود.

### ۳- روال محاسبه منحنی شکنندگی

در این مقاله ۴ منحنی شکنندگی برای چهار حالت خروج از مرکزیت در یک سازه بتنی ۷ طبقه ایجاد می شود و از تکنیک استاتیکی غیر خطی جهت رسم منحنی ها بهره برده می شود البته شایان ذکر است که انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی بارکوردهای زیاد به نتایج دقیقتری منتهی می شود اما چون در این پژوهش هدف مطالعه اثرات نامنظمی بود نه خود منحنی، با قبول خطا از تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده شد در عین حال اشاره می شود که از توزیع احتمالاتی نرمال برای داده ها استفاده شد و توزیع بار یکنواخت، مثالی و موداول برای تحلیل پوش آور بر سازه اعمال گشت.

مراحل انجام کار با جزئیات کامل به شرح زیر است:

۳-۱- مدلسازی سازه در نرم افزار ETABS

۳-۲- تعریف مفاصل پلاستیک (برای ستونها مفصل PMM و برای تیرها مفصل  $M_3$ ).

۳-۳- معرفی تغییر مکان هدف و پارامترهای تحلیل Pushover و توزیع بارمود اول ارتعاش بر سازه

۳-۴- تحلیل خطی و غیر خطی و طراحی سازه

۳-۶- رجوع به منحنی ظرفیت و یافتن گامی که در آن اولین مفصل LS تشکیل شد

۳-۷- بهره گیری از روش طیف ظرفیت و قرائت  $S_a$  در گامی که در بند ۳-۶ بدان اشاره شد

۳-۸- یادداشت مقدار  $S_a$  و انجام مجدد مراحل ۳-۳ الی ۳-۸ برای توزیع بارهای یکنواخت و مثالی

۳-۱۰- توزیع احتمالاتی نرمال مقادیر مختلف  $S_a$  و تشکیل منحنی شکنندگی برای سطح عملکرد LS

۳-۱۱- انجام مجدد تمامی مراحل بالا برای همین سازه با خروج از مرکزتهای ۱۰٪ و ۲۰٪ و ۳۰٪

### 4- سازه مورد بررسی

یک ساختمان ۷ طبقه در تهران جهت مطالعه انتخاب شد این سازه دارای سه دهانه در جهات X و Y می باشد خاک زیرپای تپ II است.

#### ۴-۱- فرضیات تحلیل خطی استاتیکی

شکل پذیری: معمولی - درجه اهمیت ساختمان (I): ۱ - مقاطع: ترک خورده - دیافراگم: صلب  
درجه خطر نسبی: خیلی زیاد - ضریب رفتار: ۵ - طراحی: آیین نامه ACI

#### ۴-۲- فرضیات تحلیل غیر خطی استاتیکی

- \* مقادیر غیر خطی M و  $\theta$  مطابق مقادیر مندرج در FEMA-356 انتخاب شده است.
- \* معیارهای پذیرش مطابق دستورالعمل ATC [۶]:  
IO: 2 , LS : 4 , CP : 6
- \* مراحل اعمال بار پوش آور با کنترل تغییر مکان انجام شده است.

#### ۵- مراحل تحقیق و نتایج

پس از مدلسازی و تعیین ضریب زلزله، مفاصل پلاستیک تعریف شده و به تیر و ستون اختصاص داده می شود، سپس پارامترهای تحلیل Pushover شامل تغییر مکان هدف، کنترل تغییر مکان، اثر  $p-\Delta$ ، تلورانس گامهای خطی و نوع توزیع بار تنظیم شده و سرانجام مدل سازه ای تحلیل غیر خطی می شود در جدول ۱ مقادیر شتاب طیفی به کمک روش طیف ظرفیت نشان داده شده است و شینوزکا، ساکزینا و فنگ [4]، توزیع احتمالاتی زیر را برای ترسیم منحنی شکنندگی زیر پیشنهاد دادند:

$$P[s_{ai}] = I \left[ -\frac{s_{ai} - \bar{s}_a}{\beta} \right] \quad (1)$$

$s_{ai}$ : شتاب طیفی بدست آمده متناظر با توزیع بار مربوطه و شتاب طیفی بیشینه و کمینه  
 $\bar{s}_a$ : میانگین شتابهای طیفی  
 $\beta$ : انحراف معیار

مقدار نامنظمی	توزیع Pushover	تغییر مکان در اولین مفصل LS (m)	مقدار متناظر شتاب طیفی در آن گام	مقدار بیشینه و کمینه و شتاب طیفی
۰٪ (مقارن)	مود اول	0.0873	0.093 g	$S_{a_{max}}=0.13$
	مثلی	0.0829	0.091 g	
	یکنواخت	0.1245	0.0116 g	$S_{a_{min}}=0.02$
۱۰٪ خروج از مرکزیت	مود اول	0.1005	0.089	$S_{a_{max}}=0.126$
	مثلی	0.0973	0.08	
	یکنواخت	0.1356	0.113	$S_{a_{min}}=0.016$
۲۰٪ خروج از مرکزیت	مود اول	0.1203	0.081	$S_{a_{max}}=0.124$
	مثلی	0.1192	0.072	
	یکنواخت	0.1488	0.0101	$S_{a_{min}}=0.01$
۳۰٪ خروج از مرکزیت	مود اول	0.1424	0.0605	$S_{a_{max}}=0.125$
	مثلی	0.1378	0.0723	
	یکنواخت	0.1624	0.095	$S_{a_{min}}=0.01$

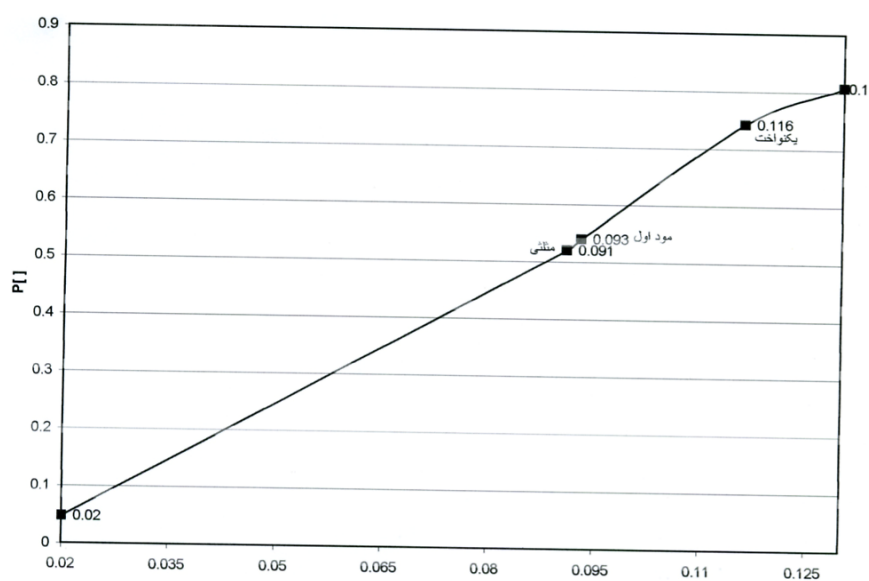
جدول ۱: مقادیر شتاب طیفی به ازای نامنظمی و توزیع بارهای مختلف

در جدول ۱ مقادیر شتاب طیفی و در جدول ۲ مقادیر احتمال وقوع جهت تهیه منحنی شکنندگی است.

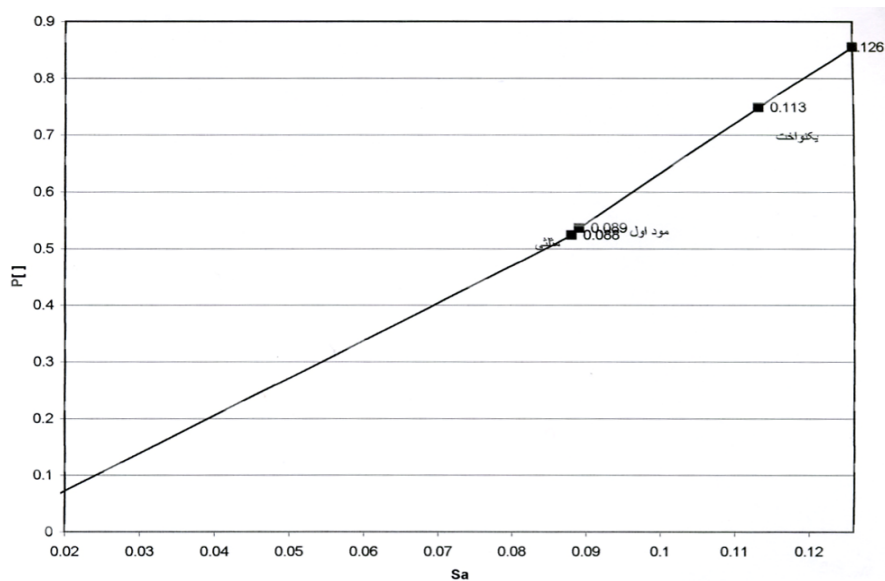
مقدار نامنظمی	مقادیر شتاب طیفی	انحراف معیار میانگین	احتمال وقوع
۰٪ (مقارن)	$S_{a1}=0.02$	$\bar{s}_a = 0.072$ $\beta = 0.04$	$P_1=4.75\%$
	$S_{a2}=0.091$		$P_2=5.2\%$
	$S_{a3}=0.093$		$P_3=54\%$
	$S_{a4}=0.116$		$P_4=74\%$
	$S_{a5}=0.13$		$P_5=80.8\%$
۱۰٪	$S_{a1}=0.016$	$\bar{s}_a = 0.01415$ $\beta = 0.09667$	$P_1=4.65\%$
	$S_{a2}=0.088$		$P_2=52.4\%$
	$S_{a3}=0.019$		$P_3=53.6\%$
	$S_{a4}=0.113$		$P_4=74.9\%$
	$S_{a5}=0.126$		$P_5=85.5\%$
۲۰٪	$S_{a1}=0.01$	$\bar{s}_a = 0.04276$ $\beta = 0.0776$	$P_1=10.3\%$
	$S_{a2}=0.072$		$P_2=45.5\%$
	$S_{a3}=0.081$		$P_3=51.8\%$
	$S_{a4}=0.101$		$P_4=77.6\%$
	$S_{a5}=0.124$		$P_5=90.1\%$
۳۰٪	$S_{a1}=0.008$	$\bar{s}_a = 0.04386$ $\beta = 0.07196$	$P_1=10.1\%$
	$S_{a2}=0.061$		$P_2=44.6\%$
	$S_{a3}=0.072$		$P_3=56\%$
	$S_{a4}=0.095$		$P_4=79.5\%$
	$S_{a5}=0.125$		$P_5=91.1\%$

**جدول ۲- مقادیر احتمال وقوع و شتاب طیفی جهت تهیه منحنی شکنندگی طراحی بر مبنای آیین نامه ATC می باشد**

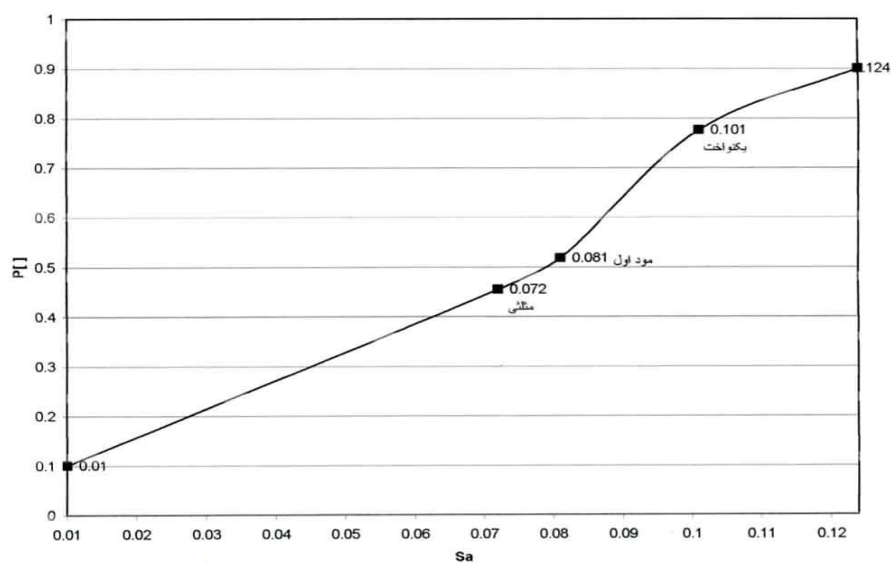
هم اکنون به کمک مقادیر جدول ۲ منحنی های شکنندگی در شکل های شماره ۱ الی ۴ رسم شده و در این منحنی ها محور افقی  $S_a$  (شتاب طیفی) در نظر گرفته شده و کلیه مقادیر بر مبنای  $g$  می باشد، محور قائم احتمال وقوع عملکرد  $LS$  به ازای هر شتاب می باشد. در نهایت در شکل ۵ تمامی منحنی های چهار حالت قبلی روی هم مونتاز شده و قضاوت بهتری از تاثیر نامنظمی در منحنی شکنندگی ارائه می شود.



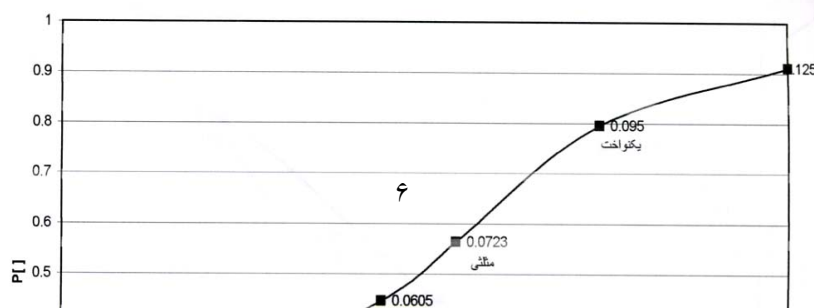
**شکل ۱: منحنی شکنندگی مدل مقارن**



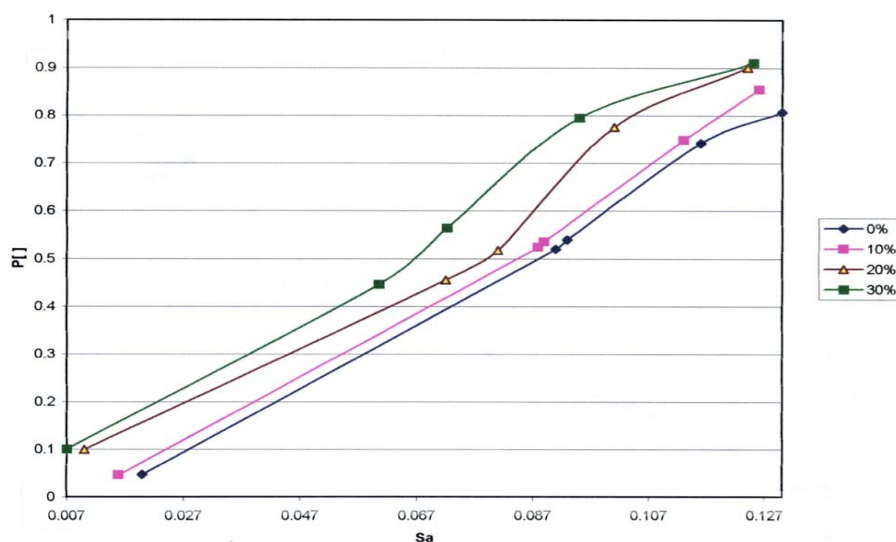
شکل ۲- منحنی شکنندگی با ۱۰٪ خروج از مرکزیت



شکل ۳- منحنی شکنندگی با ۲۰٪ خروج از مرکزیت



شکل ۴- منحنی شکنندگی با ۳۰٪ خروج از مرکزیت



شکل ۵- منحنی های شکنندگی به ازای خروج از مرکزیت های متفاوت

## نتیجه گیری

با مشاهده شکل ۵ این نتایج گرفته شد:

۱- با افزایش درصدی خروج از مرکزیت منحنی ها به سمت بالا و چپ شیفیت پیدا می کنند که این نظریه در احتمال بالا 60% درست همانطور که مشاهده می شود در احتمال زیر 60% منحنی ها تنها به سمت چپ حرکت می کنند.

۲- علت نتیجه ۱ را می توان به کاهش شتاب طیفی در اثر افزایش نامنتظمی نسبت داد.

۳- در قسمت نوک منحنی ها هر چه نامنتظمی بیشتر می شود منحنی ها با سرعت کمتری تغییر مکان می دهند که این موضوع در قسمت های میانی و پایینی منحنی صدق نمی کند.

۴- هر چه شتاب طیفی کمتر می شود منحنی ها به صورت افقی جابه جا می شوند.

۵- بیشترین اختلاف احتمال وقوع در  $Sa=0.09$  می باشد که احتمال وقوع عملکرد LS در مدل با ۳۰٪ نامنظمی حدود ۱/۵ برابر احتمال وقوع در مدل متقارن می باشد.  $P[0.09]=51\%$  ,  $P[0.09]=76.5\%$

۶- همواره مقادیر شتاب طیفی  $Sa_4, Sa_3, Sa_2$  که تغییرات توزیع بار افزایشی بدست آمده اند بخش نسبتاً کمی از منحنی را به خود اختصاص می دهند و این نشان دهنده آن است که احتمال وقوع شتاب طیفی خارج از این پوش از قابلیت اعتماد کمتری برخوردار است.

۷- در تمامی مدل ها تحت توزیع بار افزایشی یکنواخت احتمال وقوع عملکرد LS در سازه ها بین ۷۵٪ برای سازه متقارن تا ۸۰٪ برای سازه با ۳۰٪ نامنظمی است که در یک جمع بندی کلی این نتیجه بدست می آید که کلیه مدلها علیرغم اینکه با آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم طراحی شده اند اما احتمال تجاوز آنها از سطح ایمنی جانی زیاد و قابل توجه است و نیاز به بازنگری دارد.

## مراجع

- 1- kircher C.A , Nassar A.A , Kustu and Holmes W.T. "Development of Building Damage function for Earthquake Loss Estimation" Earthquake Spectra , V. 13 ,No 1, 1997, pp. 663-682
- 2- Anagnos T., Rojahn C. and Kiremidjian A. "ATC joint study on Fragility of Building", NCEER-95-0003, Applied Technology Council, CA. 1995.
- 3- Shinozuka, M. "Statistical Analysis of Bridge Fragility Curve", proceeding of the Workshop on effective Systems for Bridge, New York, NY. 1998.
- 4- Shinozuka M. , Saxena V. , Deodatis G. and Feng "Development of Fragility Curve for Multi – Span Reinforced Concrete Bridge" Dept. of civil and environmental engineering , Princeton university, 2001.
- 5- Mostafa E. "Pushover Analysis of water structure in fragility behavior", Earthquake Engineering. And structure Dynamic, V. 26, 2001, PP. 233-249.
- ۶- ATC 40. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building ", Applied Technology Council, Sacramento, CA, USA, 1996.
- ۷- FEMA – 356. Federal Emergency Management Agency, NEHRP guideline for the seismic Rehabilitation of Building, 2000.
- ۸- Kircher C.A. " Capacity Spectrum Pushover Method: Seeing is believing ", Proceeding 65<sup>th</sup> Annual Conferencing, Sacramento, CA, USA, 1996.

۹- " دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود "، تهران – پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، (۱۳۸۴).

۱۰- " آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) " ویرایش سوم (۱۳۸۴).

۱۱- وزیری، حمیدرضا، " اثرات نامنظمی سازه در ارزیابی خسارت ساختمان بر مبنای منحنی شکنندگی و منحنی ظرفیت سازه "، پایان نامه کارشناسی ارشد، راهنما: دکتر سروقد مقدم، دانشگاه علوم و فنون مازندران (۱۳۸۵).