

## بررسی آسیب پذیری قابهای خمشی بتنی با استفاده از شاخص تجمعی کرزینگ با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه

رضا وهدانی

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

reza.vahdani2001@gmail.com

مجید بیطرفان

دانشجو کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

Majidb68@yahoo.com

کلید واژه‌ها: اندرکنش و خاک سازه، تحلیل دینامیکی غیرخطی، شاخص خرابی، *OpenSees*، شکل پذیری

### چکیده

امروزه در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران، ویران کننده ترین تهدید طبیعی برای سازه ها، ارتعاشاتی است که در اثر تحریکات زلزله بر سازه وارد می‌گردد. به همین دلیل یکی از وظایف اصلی مهندسی، ساخت سازه هایی می باشد که در اثر زلزله بتوانند عملکرد مناسبی داشته باشند. به منظور رسیدن به این هدف، بایستی پاسخ سازه را تحت اثر تحریکات زلزله به درستی تخمین زده و سازه را برای آن نیازها طراحی کرد. با توجه به این موضوع که در تحلیل خسارت وارد بر یک سازه پس از رخداد یک زلزله ی مخرب، برآورد میزان دقیق خسارت وارد بر هر نقطه از سازه غیر ممکن به نظر می رسد، لذا معرفی شاخص خرابی برای ارزیابی میزان خسارت وارد بر المان های سازه ضروری می باشد. در این مقاله از شاخص خسارت تجمعی کرزینگ که بر مبنای انرژی مستهلک شده در اعضا می باشد، به منظور ارزیابی خسارت وارد بر تیرهای قاب های خمشی بتنی مورد نظر استفاده شده است. سازه های مورد استفاده در این پژوهش، قابهای خمشی بتنی دوبعدی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه می باشد که در شکل پذیری هدف ۴ با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه با استفاده از نرم افزار *Oopensees* مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته اند. در این پژوهش از ۷ شتاب استفاده شده است. زلزله ها به گونه ای مقیاس شده اند که تمامی قابهای مورد نظر به شکل پذیری هدف برسند. نتایج نشان می دهد که در قابهای مورد مطالعه، در سازه های کوتاه مرتبه اندر کنش خاک و سازه باعث کاهش شاخص خرابی میگردد ولی با افزایش تعداد طبقات، در طبقات بالا اندرکنش خاک و سازه باعث افزایش شاخص های خرابی می گردد و هرچه ارتفاع طبقات افزایش یابد، اثر اندرکنش خاک و سازه نیز افزایش خواهد یافت.

### مقدمه

عملکرد لرزه ای یک ساختمان در طول زلزله بستگی به پارامترهای متعددی مانند پیکربندی سازه، مصالح و سیستم سازه ای و غیره دارد. بنابراین پیش بینی عملکرد لرزه ای برای ساختمان یا طراحی و ارزیابی تمام این پارامترها را در بر گیرد (Seung-Yul Yun et al., 2002). اگرچه در زلزله های اخیر، سازه های طراحی شده بر اساس ضوابط لرزه ای موجود در حفظ ایمنی افراد عملکرد مناسبی داشته اند، اما دامنه ی خرابی های ایجاد شده در سازه ها و خسارت اقتصادی وارده، بسیار گسترده و خارج از انتظار بوده است. از این رو طراحی بر اساس عملکرد، به عنوان روشی که مبتنی بر پذیرش تغییر مکان و شکل پذیری مورد انتظار باشد، مورد توجه قرار گرفت. از مهمترین مسائل در طراحی عملکردی، داشتن تصویری روشن از مقدار خسارت وارد بر سازه ی طراحی شده در سطوح مختلف خطر می باشد. (ایزدپناه و همکاران و ۱۳۸۹) به منظور تعیین آسیب پذیری اعضای سازه ای، از سالیان گذشته محققین زیادی درصدد تعیین توابع عددی جهت بیان میزان آسیب پذیری اعضا و کل سازه بوده اند. بررسی آسیب پذیری سازه ها به دو صورت کیفی و کمی انجام می شود. در روش کیفی که یک روش تقریبی است با توجه به شرایط لرزه خیزی منطقه و تجربه زلزله های گذشته و قضاوت مهندسی، اقدام به تهیه ی فرم های ویژه ای می گردد که با بررسی ساختمان ها، اطلاعات مورد نیاز آنها جمع آوری می شود و با تجزیه و تحلیل آنها یک برآورد تقریبی از میزان آسیب پذیری ساختمان ها استخراج می گردد و در نهایت یک یا چند مدل خرابی ارائه می گردد. در مدل های خرابی کمی، با ارائه ی یک مدل ریاضی و تعیین مقدار عددی به عنوان شاخص خرابی، آسیب وارد بر سازه به صورت تابعی از مقاومت و شکل پذیری سازه و یا شدت زلزله بیان می شود (همتی و گرامی، ۱۳۹۱). به منظور بیان عددی خسارت جهت



انجام مقاوم‌سازی می‌توان از شاخص‌های خرابی کمک گرفت. در این تحقیق، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری تیرهای قاب خمشی بتنی، از شاخص کرزینگ که یک شاخص تجمعی بر مبنای انرژی است، استفاده شده است.

### شاخص خرابی کرزینگ

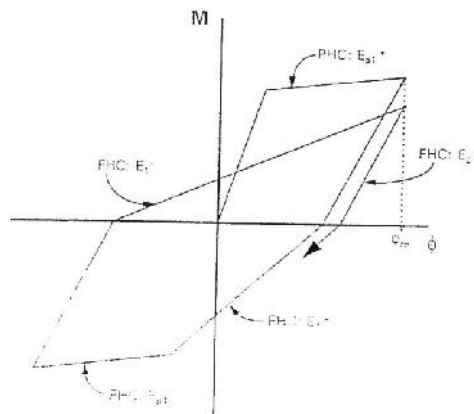
انرژی مستهلک شده در عضو معمولاً ناشی از جاری شدن مصالح و میرایی در عضو است. این شاخص از مجموع این انرژی‌ها به عنوان پارامتر نشانگر خرابی استفاده می‌کند. محاسبه این شاخص از طریق روابط ۱ تا ۳ امکان پذیر می‌باشد (Kratzig et al.).

$$D_{Kratzig} = D^+ + D^- - D^+ \times D^- \quad (1)$$

$$D^+ = \frac{\sum E_{p,i}^+ + \sum E_i^+}{E_f^+ + \sum E_i^+} \quad (2)$$

$$D^- = \frac{\sum E_{p,i}^- + \sum E_i^-}{E_f^- + \sum E_i^-} \quad (3)$$

همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود چرخه هیسترتیک عضو به چهار بخش تقسیم شده است. عبارت PHC نشان دهنده قسمتی از چرخه هیسترتیک است که در آن ممان و چرخش هم علامت هستند و عبارت FHC نشان دهنده یک چهارم چرخه بعد از PHC است تا حدی که در آن قدر مطلق ممان حداکثر عضو از PHC قبلی بیشتر نشود. عبارت مثبت و یا منفی نیز به علامت حداکثر ممان در PHC قبلی بستگی دارد.



شکل ۱. پارامترهای شاخص خرابی کرزینگ (Kratzig et al.)

### معرفی مدل‌ها

به منظور محاسبه شاخص خرابی، از مدل‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه با ارتفاع طبقات ۳.۲ متر و تعداد ۵ دهانه به طول ۵ متر استفاده شده است. قاب‌های مورد نظر قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط می‌باشند. به منظور طراحی سازه‌ها از آیین‌نامه AISC-ASD 89 و آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ و ۱۳۸۴) استفاده شده است و فرضیات طراحی شامل خاک نوع III و منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد می‌باشد.

به منظور انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی از نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است. در جدول ۱ مقاطع مورد استفاده برای سازه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱- معرفی مقاطع مورد استفاده در قاب ها

شماره	Beam		Column	
	آرمتور (mm)	ابعاد (cm)	آرمتور (mm)	ابعاد (cm)
۱	12 $\varnothing$ 20	70 x 60	28 $\varnothing$ 22	60 x 60
۲	8 $\varnothing$ 20	70 x 60	24 $\varnothing$ 22	60 x 60
۳	12 $\varnothing$ 20	60 x 50	20 $\varnothing$ 22	60 x 60
۴	8 $\varnothing$ 20	60 x 50	24 $\varnothing$ 22	55 x 55
۵	6 $\varnothing$ 20	60 x 50	20 $\varnothing$ 22	55 x 55
۶	10 $\varnothing$ 20	55 x 45	16 $\varnothing$ 20	55 x 55
۷	8 $\varnothing$ 20	55 x 45	24 $\varnothing$ 22	50 x 50
۸	6 $\varnothing$ 20	55 x 45	20 $\varnothing$ 20	50 x 50
۹	14 $\varnothing$ 20	50 x 40	16 $\varnothing$ 20	50 x 50
۱۰	12 $\varnothing$ 20	50 x 40	20 $\varnothing$ 20	45 x 45
۱۱	10 $\varnothing$ 20	50 x 40	16 $\varnothing$ 20	45 x 45
۱۲	8 $\varnothing$ 20	45 x 40	12 $\varnothing$ 20	45 x 45
۱۳	8 $\varnothing$ 20	40 x 40	16 $\varnothing$ 16	45 x 45
۱۴	6 $\varnothing$ 20	40 x 40	12 $\varnothing$ 16	40 x 40

## معرفی شتاب نگاشت‌ها

به منظور انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از ۷ شتابنگاشت دور از گسل مطابق جدول ۲، استفاده شده است. تمامی نگاشت‌های مورد استفاده که از سایت [۴] Peer دریافت شده است، دارای مشخصات مربوط به خاک نوع III بر اساس آیین نامه طراحی لرزه ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) و یا خاک کلاس D بر اساس طبقه بندی دستورالعمل FEMA 356 می باشد. برای ترسیم طیف پاسخ ارتجاعی مختلف از نرم افزار [۵] SeismoSignal استفاده شده است و کلیه شتابنگاشت‌ها قبل از مقیاس سازی، به مقدار حداکثر شتاب (PGA) خود همپایه شده اند.

جدول ۲- مشخصات شتابنگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه

Number	Earthquake name	Date (yy-mm-dd)	Station	R (Km)	PGA (g)	PGV/PGA (s)	CAV (m/s)	Tp (s)	Tm (s)
1	Chi-Chi,Taiwan,	99-09-20	CHY065	83.43	0.1	0.14	9.88	0.56	0.79
2	Chi-Chi,Taiwan,	99-09-20	TAP095	109.01	0.15	0.18	56.56	0.98	0.84
3	LomaPrieta,	89-10-18	CDMG58224	72.2	0.24	0.15	27.69	0.32	0.86
4	LomaPrieta,	89-10-18	CDMG58472	74.26	0.26	0.16	28.35	0.64	0.85
5	Kobe,Japan,	95-01-16	HIK	95.72	0.14	0.11	45.02	0.6	0.76
۶	Manjil,Iran,	90-06-20	Qazvin	49.97	0.13	0.09	59.48	0.16	0.46
۷	Kocaeli,Turkey,	99-08-17	Bursa Tofas	60.43	0.1	0.21	100.9	0.68	0.93

B14	B14	B14	B14	B14	
C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14
C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14 B14	C14
C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13
C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13 B14	C13
C13	C13	C13	C13	C13	C13

D9	D9	D9	D9	D9	
C11 R9	C11 R9	C11 R9	C11 R9	C11 R9	C11
C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11
C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11 B9	C11
C9 U6	C9 U6	C9 U6	C9 U6	C9 U6	C9
C9 R6	C9 R6	C9 R6	C9 R6	C9 R6	C9
C9 B6	C9 B6	C9 B6	C9 B4	C9 B5	C9
C9 D6	C9 D6	C9 D6	C9 D6	C9 D5	C9
C9 B6	C9 B6	C9 B6	C9 B6	C9 B5	C9
C6 B6	C6 B6	C6 B6	C6 B6	C6 B5	C6
C6	C6	C6	C6	C6	C6

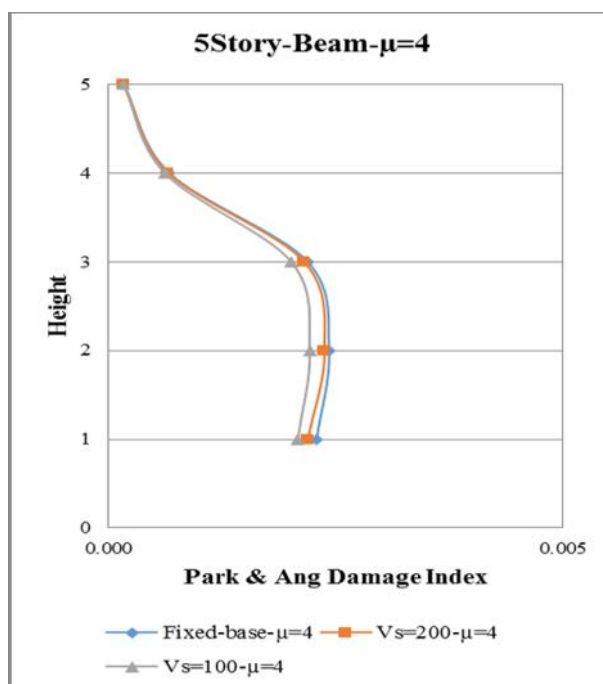
B11	B11	B11	B11	B11	
C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10
C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10 B11	C10
C8 B11	C8 B11	C8 B11	C8 B11	C8 B11	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8 B7	C8
C5 B7	C5 B7	C5 B7	C5 B7	C5 B7	C5
C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5
C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5
C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5 B4	C5
C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4
C4	C4	C4	C4	C4	C4

B6	B6	B6	B6	B6	
C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8
C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8 B6	C8
C8 D6	C8 D6	C8 D6	C8 D6	C8 D6	C8
C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7
C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7 B6	C7
C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7
C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7
C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7
C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7
C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7 B4	C7
C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4 B4	C4
C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4
C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4
C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4
C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4 B3	C4
C4 D3	C4 D3	C4 D3	C4 D3	C4 D3	C4
C2 R3	C2 R3	C2 R3	C2 R3	C2 R3	C2
C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2
C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2
C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2
C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2 B1	C2
C1 D1	C1 D1	C1 D1	C1 D1	C1 D1	C1
C1	C1	C1	C1	C1	C1

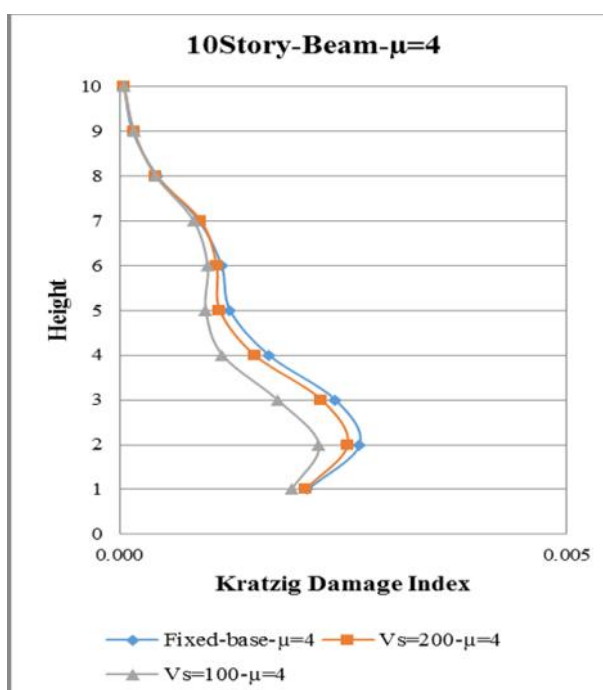
شکل ۲. معرفی سازه های مورد ارزیابی

## مطالعه عددی

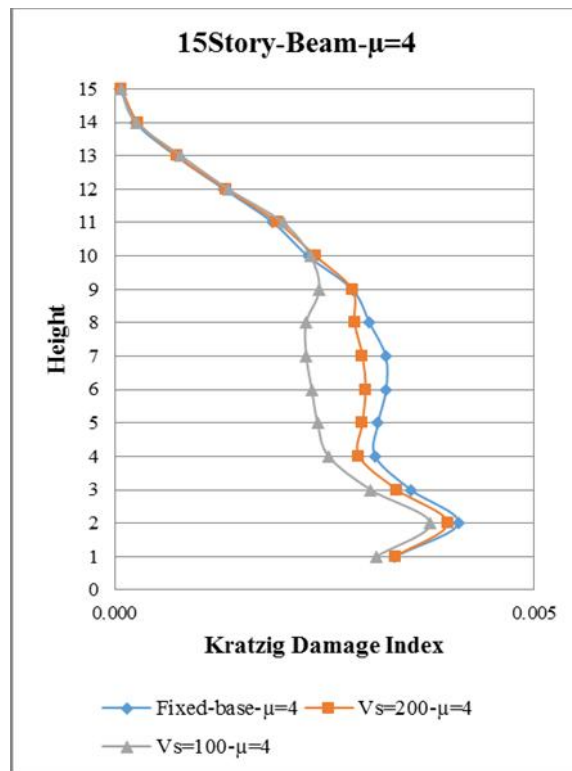
در این بخش به بررسی عملکرد شاخص خرابی کرزینگ در تعیین آسیب پذیری قابهای مورد نظر پرداخته می شود. بدین منظور، تحلیل آسیب پذیری قابهای خمشی بتنی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ طبقه با استفاده از شاخص خرابی کرزینگ با نرم افزار Opensees، ۲۰۰۸ انجام شده است. مقادیر شاخص توسط میانگین گیری از نتایج بدست آمده از ۷ شتاب نگاشت بدست آمده است. در هر قاب مورد مطالعه، مقادیر بدست آمده از شاخص، برای دو نوع خاک با سرعت موج برشی ۱۰۰ و ۲۰۰ نسبت به حالت صلب آورده شده است. در اشکال ۳ تا ۶، مقدار شاخص خرابی کرزینگ در المان های تیر ۵ متری در شکل پذیری هدف ۴ نمایش داده شده است که در هر شکل، اثر اندرکنش خاک سازه مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.



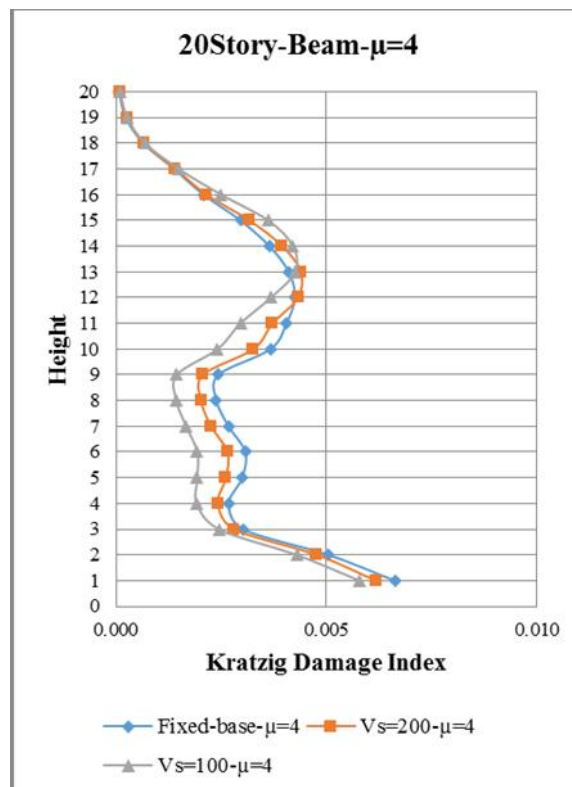
شکل ۳. مقایسه آسیب پذیری قاب ۵ طبقه بتنی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در شکل پذیری هدف ۴



شکل ۴. مقایسه آسیب پذیری قاب ۱۰ طبقه بتنی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در شکل پذیری هدف ۴



شکل ۵. مقایسه آسیب پذیری قاب ۱۵ طبقه بتنی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در شکل پذیری هدف ۴



شکل ۶. مقایسه آسیب پذیری قاب ۲۰ طبقه بتنی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در شکل پذیری هدف ۴

## نتیجه گیری

- در این پژوهش، به بررسی شاخص خسارت کرزینگ که یک شاخص تجمعی بر پایه ی انرژی می باشد، با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه پرداخته شد. با استفاده از این شاخص، قاپهای مورد نظر تحت ۷ شتاب نگاشت مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته و نتایج زیر بدست آمد:
- اثر اندرکنش خاک و سازه با افزایش تعداد طبقات افزایش می یابد. به طوری که در سازه ۵ طبقه اثر اندرکنش خاک و سازه در حدود ۳ درصد میباشد ولی این اثر در سازه ۲۰ طبقه به ۱۰ درصد هم می رسد.
  - در سازه های کوتاه مرتبه اندر کنش خاک و سازه باعث کاهش شاخص خرابی میگردد ولی با افزایش تعداد طبقات، در طبقات بالا اندرکنش خاک و سازه باعث افزایش شاخص های خرابی می گردد. برای مثال در سازه ۵ طبقه اندرکنش خاک و سازه فقط باعث شاخص خرابی می گردد، در صورتی که در سازه ی ۲۰، از طبقه ی ۱۳ با افزایش این شاخص مواجه خواهیم بود.
  - با افزایش تعداد طبقات، شاخص خرابی افزایش می یابد.

## مراجع

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش سوم، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۴.

سهیل همتی، محسن گرامی (۱۳۹۱) بررسی عملکرد شاخص های خرابی تجمعی موضعی در تحلیل لرزه ای قاب خمشی فولادی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه سمنان

مهدی ایزدپناه، علیرضا حبیبی، آزاد یزدانی (۱۳۸۹) ارزیابی خسارت وارد بر قاب های خمشی بتن مسلح با استفاده از تحلیل بارافزون، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

<http://seismosoft.com/en/Download.aspx>

Kratzig WB, Meyer JF, Meskouri K, Damage Evolution in Reinforced Concrete Members under Cyclic Loading; 5 th International Conference on Structural Safety and Reliability . San Francisco CA

Opensees Development Team (Open source project). Opensees: open system for earthquake engineering simulation. Berkeley (CA): Pacific earthquake engineering research center, University of California, 2008

Seung-Yul Yun, M.ASCE; Ronald O. Hamburger, M.ASCE; C.Allin Cornell, M.ASCE and Douglas A.Foutch (2002), M.ASCE, Seismic Performance Evaluation for Steel Moment Frames, Journal of Structural Engineering, pp.534-545

[www.peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database](http://www.peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database)