

بررسی تأثیر نوع خاک بر ضریب افزایش تغییر مکان خطی به غیر خطی در سازه‌های مرتفع فولادی مجهز به سیستم کمر بند خرابایی

سهراب فلاحي

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، مهندسین مشاور امداد صنعت ساختمان، تهران- ایران
fallahi@essce.ir

آرمن آساتوریانس

مشاور تحقیقاتی مهندسی زلزله، مؤسسه Yerevan Project Co.، ایروان- ارمنستان
ar_ast@hotmail.com

کلید واژه‌ها: شتابنگاشت، تحلیل غیرخطی، ضریب مقاومت افزون، ضریب افزایش تغییر مکان، کمر بند خرابایی

چکیده

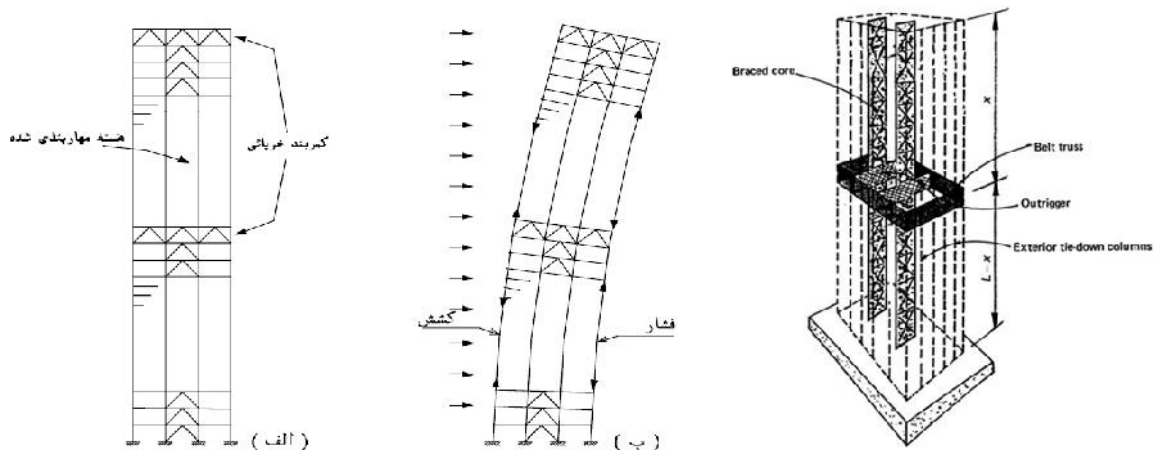
مطالعه حاضر بر روی نوع خاصی از سازه‌های بلندمرتبه که شامل اسکلت فولادی با اتصالات جوشی و مجهز به کمر بند خرابایی در طبقه آخر و همچنین در طبقات میانی می‌باشد، انجام گرفته است. سازه‌های مجهز به سیستم کمر بند خرابایی (Outrigger Braced Frames)، با درگیر کردن کل سازه پیرامون، یک روش اساسی در حل مسئله واژگونی محسوب شده و در محدوده ۳۰ الی ۶۰ طبقه، دارای بازدهی بیشتری نسبت به سازه قاب مهاربندی شده مشابه می‌باشند. در این تحقیق، ابتدا ضریب افزایش تغییر مکان خطی به غیر خطی و عوامل مؤثر بر آن‌ها مورد بررسی اجمالی قرار گرفته است. سپس تعداد ۸ مدل دوبعدی (شامل ۲۰ الی ۶۰ طبقه) مجهز به کمر بند خرابایی در تراز سقف و طبقات میانی، مدل‌سازی شده و بتفکیک نوع زمین و شتاب منبای طرح، مدل‌های مزبور بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ تحلیل و طراحی شده‌اند. در مرحله بعد، با استفاده از شتابنگاشت‌های ثبت شده بر روی زمین سنگی، خاک سخت و خاک نرم و پس از نرمال‌سازی آن‌ها به مقدار $S_a=0.25g$ و $S_a=0.35g$ ، مجموعاً تعداد ۹۶۰ تحلیل تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی برای سه نوع زمین و شتاب‌های لرزه‌ای فوق بر روی مدل‌های مزبور انجام گرفته است. سپس با انجام تحلیل رانشی مودی (Modal Push – over Analysis) و بررسی منحنی‌های بدست آمده برای مدل‌های مورد مطالعه، مقادیر ضرایب شکل‌پذیری و مقاومت افزون برای هر حالت محاسبه شده و در نهایت مقادیر ضریب افزایش تغییر مکان خطی به غیرخطی C_h برای سه نوع زمین مورد نظر بتفکیک تعیین شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مقدمه

تجربه تأثیر زلزله‌های گذشته بر سازه‌ها نشان می‌دهد که سازه‌ها در هنگام زلزله رفتار غیر خطی از خود نشان می‌دهند. بدین دلیل مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی زلزله، بصورت انرژی میرایی و پسماند تلف می‌شود. تحلیل رفتار و طراحی دقیق سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید تنها با استفاده از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی میسر می‌باشد. این نوع تحلیل نیز با توجه به وقت‌گیر بودن محاسبات و نیاز به نرم‌افزارهای پیشرفته و دانش تحلیل قوی، پرهزینه بوده و استفاده از آن برای سازه‌های معمولی در دفاتر مهندسی عملاً غیر اقتصادی خواهد بود. بنابراین سازه‌ها را معمولاً براساس ضوابط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، برای نیروهای بسیار کمتر از نیروهای نیاز (Demand) در حالت رفتار الاستیک، طراحی می‌کنند. نیروی زلزله برای طراحی خطی سازه‌ها از یک طیف خطی زلزله بدست می‌آید و بمنظور اعمال کاهش نیروی اعمالی، بدلیل عواملی مانند شکل‌پذیری، مقاومت افزون، میرایی و غیره، توسط ضریبی بنام ضریب کاهش مقاومت یا ضریب رفتار، کاهش پیدا می‌کند. در پی اعمال ضریب رفتار، تغییر مکان بدست آمده از تحلیل خطی سازه را می‌بایستی بمنظور تعیین تغییر مکان واقعی در هنگام وقوع زمین‌لرزه افزایش داد. مطالعه حاضر بمنظور تعیین ضریب افزایش تغییر مکان خطی به غیرخطی سازه‌های مرتفع اسکلت فولادی (۲۰ الی ۶۰ طبقه)، مجهز به کمر بند خرابایی (Outrigger Braced Structures) انجام گرفته است. این نوع سازه‌ها شامل یک هسته مرکزی متشکل از قاب‌های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی می‌باشند. هسته مرکزی توسط خرپاهای بازمانند به ستون‌های خارجی متصل می‌شوند (شکل ۱- الف). هنگامی که سازه تحت بار جانبی قرار می‌گیرد، چرخش‌های صفحه‌ای قائم هسته بوسیله بازوها، از طریق کشش در ستون‌های رو به بارگذاری و فشار در ستون‌های پشت به جهت بار



مهاری می‌شود. (شکل ۱-ب). بدلیل عمق مؤثر سازه‌ای کمربندهای خرپائی، سختی جانبی افزایش یافته و تغییرمکان جانبی کل سازه بمقدار زیادی کاهش می‌یابد.



شکل ۱: سازه مرتفع مجهز به سیستم کمر بند خرپائی

بهین دلیل، روش استفاده از سیستم کمر بند خرپایی را می‌توان یک راه حل اساسی در حل مسئله واژگونی ساختمان‌های مرتفع، توسط درگیر کردن کل سازه پیرامون برای تحمل نیروهای جانبی دانست. برای سازه‌هایی در محدوده ۴۰ الی ۶۰ طبقه، این روش حل، یک روش مناسب برای ساخت ساختمان بدون پرداخت هزینه بالایی بلحاظ ارتفاع می‌باشد. این سیستم روشی پربازده و قابل مقایسه با سیستم لوله در نظر گرفته می‌شود. ساختمان‌های مرتفع اغلب دارای یک، دو و در بعضی موارد نادر، سه خرپای کمر بندی می‌باشند. در اکثر موارد، این خرپاها در طبقات تأسیسات قرار می‌گیرند تا به لحاظ معماری مشکلی پیش نیاید. این سیستم قادر است حدود ۲۵ الی ۳۰ درصد از تغییرمکان جانبی سازه بکاهد.

مبانی تئوری ضریب افزایش تغییر مکان خطی به غیر خطی C_d

تخریب‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای مشاهده شده در هنگام زمین‌لرزه‌های مختلف، اکثراً بدلیل تغییرمکان‌های جانبی سازه‌ها به‌وقوع می‌پیوندد. لذا تخمین مقدار نیاز (Demand) تغییرمکان جانبی در روش طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به استفاده از مفهوم ضریب رفتار (توضیح داده شده در بخش قبل)، برای محاسبه نیروهای زمین‌لرزه طراحی، تغییرمکان‌های جانبی محاسبه شده توسط یک تحلیل خطی می‌بایستی به‌منظور تعیین تغییرمکان‌های واقعی سازه در هنگام یک زلزله مخرب، افزایش داده شوند (Mahmoudi & Zaree, 2013). آیین‌نامه‌های لرزه‌ای کشورهای مختلف بدین منظور ضرایب افزایش تغییرمکان (C_d) را پیشنهاد می‌کنند. این ضریب افزایش بشرح رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$\max = w \cdot C_d \quad (1)$$

در رابطه فوق، \max عبارتست از حداکثر تغییرمکان غیرالاستیک، w حداکثر تغییرمکان محاسبه شده از تحلیل الاستیک و ضریب C_d ضریب افزایش تغییرمکان خطی به غیر خطی می‌باشد. در شکل ۲ رفتار واقعی غیرخطی سازه با یک مدل دوخطی الاستوپلاستیک معادل جایگزین شده است. ضریب C_d بر اساس تحقیقات (Uang & Maarouf (1994) بشرح رابطه (۲) می‌باشد:

$$C_d = \mu \cdot R_s \quad (2)$$

μ ضریب شکل‌پذیری بصورت رابطه (۳) خواهد بود:

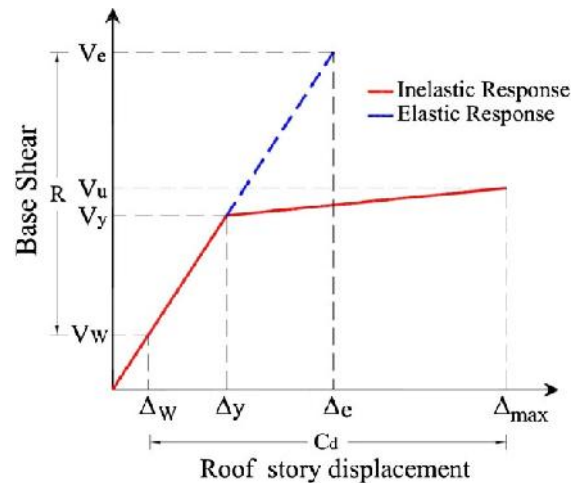
$$\mu = \max / y \quad (3)$$

R_s ضریب مقاومت افزون بوده و به شرح رابطه ۴ خواهد بود:

$$R_s = V_y / V_w \quad (4)$$

ضریب مقاومت افزون بکار رفته در رابطه ۲ اصلاح شده بوده و عدد حاصل از رابطه ۴ می‌بایستی در ضریب اصلاحی 1.155 ضرب شود.

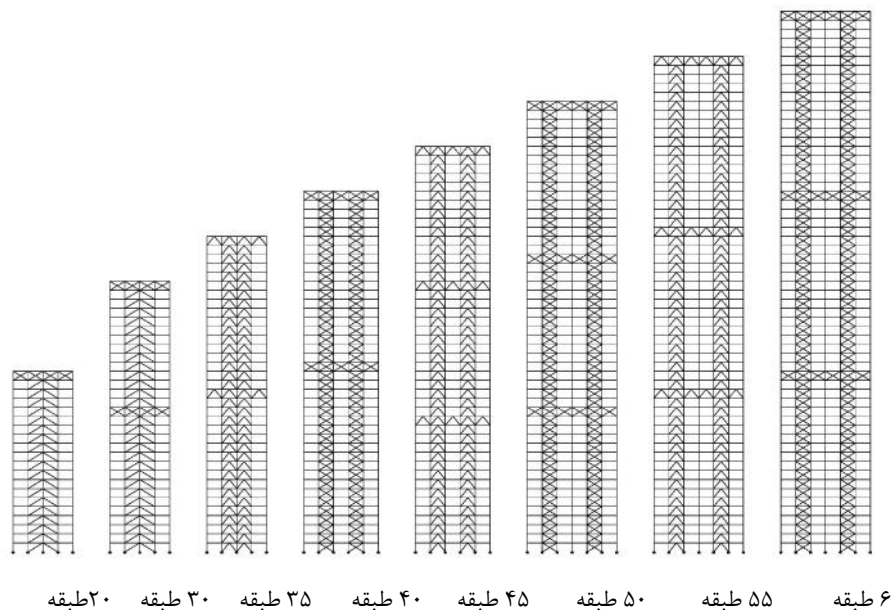




شکل ۲: پاسخ عمومی لرزه ای سازه ها

معرفی مدل های سازه ای مورد بررسی

با توجه به مطالب گفته شده در قسمت های قبل، تعداد ۸ عدد قاب با تعداد طبقات ۲۰، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ طبقه مطابق با شکل ۳، که با توجه به تعداد طبقات آن ها بترتیب توسط ۱، ۲، ۲، ۳، ۳، ۳ و ۳ کمر بند خرابایی مجهز شده اند، انتخاب می شوند. کلیه سازه های در نظر گرفته شده دارای دهانه های ۵ متر و ارتفاع طبقات برابر با ۳ متر می باشند. کلیه مدل ها طوری انتخاب شده اند که نسبت ارتفاع به عرض آن ها ۳ الی ۶ بوده و شرایط ساختمان های مرتفع را برآورده سازند.



شکل ۳: مدل اجزاء محدود سازه های مجهز به سیستم کمر بند خرابایی

سطح بارگیر قاب های میانی ۵ متر فرض شده اند، ولی با توجه به مفهوم کمر بند خرابایی و محل قرارگیری آن در قاب های کناری ساختمان، سطح بارگیر کلیه مدل های شکل ۳، ۲/۵ متر در نظر گرفته شده اند. اتصالات تیر به ستون و همچنین پای کلیه ستون ها گیردار فرض شده اند. فولاد مصرفی در سازه از نوع St-37 با رفتار الاستوپلاستیک کامل بوده و کلیه اتصالات المان های سازه ای از نوع جوشی در نظر گرفته شده است. به منظور طراحی لرزه ای، سیستم مقاوم جانبی از نوع قاب خمشی ویژه + بادبندی هم محور فرض شده است. سقف های ساختمان از نوع مرکب بتنی- فولادی و بار زنده آن ها ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. همچنین ضوابط مربوط به تغییر مکان نسبی مجاز (بند ۲-۵ آیین نامه ۲۸۰۰) در طراحی لحاظ شده است. مقاطع ستون ها از نوع Box بوده و برای مقاطع تیرها و بادبندها از پروفیل IPB استفاده شده است. در مرحله بعد کلیه قاب ها (مجموعاً تعداد ۴۸ قاب) با در نظر گرفتن دو تراز شتاب طیفی $S_a=0.25g$ و $S_a=0.35g$ و برای زمین های نوع سنگی، خاک سخت و خاک نرم آیین نامه ۲۸۰۰، با استفاده از نرم افزار Sap2000 ver 17.1.1 و با احتساب اثر P-، مورد تحلیل دینامیکی طیفی قرار

گرفتند. سپس مقاطع نهایی کلیه قاب‌ها با استناد به ضوابط آیین‌نامه AISC ASD 89، با لحاظ شرایط قاب خمشی ویژه (SMRF) بدست آمد. پس از نهایی شدن مقاطع، برای کلیه قاب‌ها تحلیل بار رانشی مدی (Modal Push-over Analysis) انجام شد. مقدار برش پایه لازم برای تشکیل اولین مفصل پلاستیک در مدل‌ها، مطابق جدول ۱ تعیین شد:

جدول ۱: مقادیر نیروی برشی پایه برای تشکیل اولین مفصل پلاستیک (Ton)

شتاب طیفی و نوع خاک	۲۰ طبقه	۳۰ طبقه	۳۵ طبقه	۴۰ طبقه	۴۵ طبقه	۵۰ طبقه	۵۵ طبقه	۶۰ طبقه	
زمین سنگی	0.25g	71.8	53.6	48.9	83.1	113.6	97.0	128.1	157.0
	0.35g	72.5	69.6	52.6	76.8	124.3	141.4	176.0	158.6
خاک سخت	0.25g	71.2	53.9	48.8	71.0	114.7	107.4	128.1	156.9
	0.35g	78.1	86.5	60.7	111.2	138.0	139.0	176.1	158.4
خاک نرم	0.25g	78.0	71.9	58.1	111.0	136.6	141.8	176.2	158.8
	0.35g	82.1	121.1	92.3	165.0	173.9	174.6	188.4	250.5

مقدار برش پایه لازم برای تسلیم شدن سیستم سازه‌ای، مطابق جدول ۲ خواهد بود:

جدول ۲: مقادیر نیروی برشی پایه برای تسلیم شدن سیستم سازه‌ای (Ton)

شتاب طیفی و نوع خاک	۲۰ طبقه	۳۰ طبقه	۳۵ طبقه	۴۰ طبقه	۴۵ طبقه	۵۰ طبقه	۵۵ طبقه	۶۰ طبقه	
زمین سنگی	0.25g	77.3	58.1	64.6	88.1	116.6	101.4	131.5	164.2
	0.35g	78.6	75.4	62.6	80.4	127.5	149.8	180.7	168.2
خاک سخت	0.25g	77.2	58.5	65.0	74.2	117.7	113.8	131.5	164.2
	0.35g	84.3	90.4	88.2	117.6	173.0	147.3	180.7	167.9
خاک نرم	0.25g	84.3	78.0	85.9	117.5	173.4	150.3	180.9	168.3
	0.35g	89.0	134.3	95.6	172.6	178.4	190.3	193.3	259.5

مقدار تغییر مکان حداکثر بام هنگام تسلیم شدن سیستم سازه‌ای، مطابق جدول ۳ خواهد بود:

جدول ۳: مقادیر تغییر مکان حداکثر بام هنگام تسلیم شدن سیستم سازه‌ای (cm)

شتاب طیفی و نوع خاک	۲۰ طبقه	۳۰ طبقه	۳۵ طبقه	۴۰ طبقه	۴۵ طبقه	۵۰ طبقه	۵۵ طبقه	۶۰ طبقه	
زمین سنگی	0.25g	15.6	19.1	27.2	36.9	56.8	44.4	74.9	94.3
	0.35g	15.1	23.7	24.6	31.0	55.8	59.3	89.1	85.2
خاک سخت	0.25g	15.4	19.0	26.9	30.0	55.0	49.5	74.9	94.3
	0.35g	15.8	27.5	34.3	42.9	73.8	57.0	89.1	85.1
خاک نرم	0.25g	15.8	23.9	33.5	42.9	74.5	58.6	89.0	85.2
	0.35g	15.5	38.0	33.4	56.4	67.7	62.9	73.7	95.6

تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی و غیر خطی

بمنظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی، برای هر یک از زمینها (زمین سنگی، خاک سخت و خاک نرم)، تعداد ۱۰ عدد رکورد اصلاح شده از زلزله‌های مختلف، ثبت شده بر روی خاک‌هایی با سرعت موج برشی مطابق با زمین‌های مورد نظرات انتخاب شد. سپس رکوردهای انتخابی، بتفکیک برای هر نوع خاک، بر اساس طیف زمین مورد نظر در آیین‌نامه ۲۸۰۰، برای دو سطح شتاب طیفی $S_a=0.25g$ و $S_a=0.35g$ مقیاس شدند. رکوردهای مورد نظر مربوط به زمین‌لرزه‌های مندرج در جدول ۴ می‌باشند:

جدول ۴: نام و مشخصات زمین‌لرزه‌های مورد نظر در استخراج رکوردها

Event	Year	Mag.	Mechanism
Ducze-Turkey	1999	7.14	Strike-Slip
Chi-Chi-Taiwan	1999	7.62	Reverse-Oblique
Irpinia-Italy	1980	6.9	Normal
Tabas-Iran	1978	7.35	Reverse
Denali-Alaska	2002	7.9	Strike-Slip
Loma Prieta	1989	6.93	Reverse-Oblique
Kocaeli-Turkey	1999	7.51	Strike-Slip
Northridge	1994	6.69	Reverse
San Fernando	1971	6.61	Reverse
Landers	1992	7.28	Strike-Slip
Hector Mine	1999	7.13	Strike-Slip
Cape Mendocino	1992	7.01	Reverse



سپس رکوردها بر روی مدل‌های سازه‌ای طراحی شده بتفکیک نوع زمین و شتاب طیفی تأثیر داده شد. برای تحلیل تاریخچه زمانی خطی از روش بسط مُدال نیروهای موثر زمین‌لرزه استفاده شد. تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی مدل‌ها با استفاده از روش شتاب متوسط انجام شده است و برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی و غیر خطی از نرم‌افزار تحلیل غیر خطی Perform-3D ver. 5.0.0 استفاده شده است. لازم به توضیح است با توجه به این‌که مدل‌ها از نوع سازه‌های فولادی با اتصالات جوشی در نظر گرفته شده است، درصد میرایی برای تحلیل‌های خطی برای کلیه اشکال مُدی 0.02 و برای تحلیل‌های غیرخطی میرایی ریلی برای دو مُد اول برابر با 0.05 در نظر گرفته شده است. جدول ۵، مقادیر R_s مربوط به هر قاب را که حاصل تقسیم مقادیر نظیر به نظیر جدول ۲ بر جدول ۱ بوده و در مقدار 1.155 ضرب شده است را نشان می‌دهد:

جدول ۵: مقادیر محاسبه شده مقاومت افزون $R_s = V_y / V_s \cdot F_1 \cdot F_2$

شتاب طیفی و نوع خاک		۲۰ طبقه	۳۰ طبقه	۳۵ طبقه	۴۰ طبقه	۴۵ طبقه	۵۰ طبقه	۵۵ طبقه	۶۰ طبقه
زمین سنگی	0.25g	1.243	1.252	1.526	1.224	1.185	1.207	1.185	1.208
	0.35g	1.252	1.251	1.374	1.209	1.184	1.224	1.186	1.225
خاک سخت	0.25g	1.252	1.254	1.538	1.207	1.185	1.224	1.185	1.209
	0.35g	1.247	1.207	1.678	1.221	1.447	1.224	1.185	1.224
خاک نرم	0.25g	1.248	1.253	1.708	1.223	1.466	1.224	1.186	1.225
	0.35g	1.252	1.281	1.196	1.208	1.185	1.453	1.185	1.196

نحوه تعیین مقادیر μ و C_d مشابه جدول نمونه ۶ می‌باشد. کلیه مقادیر C_d برای سطوح شتاب طیفی تعیین شده بتفکیک مربوط به ۳ نوع زمین برای مدل‌های سازه‌ای بشرح مندرج در جداول ۷، ۸، و ۹ خواهد بود:

جدول ۶: تعیین مقادیر μ و C_d برای مدل ۴۰ طبقه برای خاک نرم و $S_a=0.35g$

	max	y	μ	R_s	C_d
1	159.4	56.4	2.82	1.208	3.42
2	203.6	56.4	3.61	1.208	4.36
3	125.6	56.4	2.22	1.208	2.69
4	134.9	56.4	2.39	1.208	2.89
5	160.0	56.4	2.83	1.208	3.43
6	209.1	56.4	3.70	1.208	4.48
7	204.4	56.4	3.62	1.208	4.37
8	183.9	56.4	3.26	1.208	3.94
9	124.6	56.4	2.20	1.208	2.67
10	95.8	56.4	1.70	1.208	2.05

جدول ۷: مقادیر محاسبه شده $C_d = \mu \cdot R_s$ برای زمین سنگی

		۲۰ طبقه		۳۰ طبقه		۳۵ طبقه		۴۰ طبقه	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
		زمین سنگی	1	1.85	2.64	2.20	2.63	1.88	2.87
2	2.54		3.37	2.59	3.45	3.65	4.38	3.90	5.74
3	3.93		4.92	3.73	4.05	4.26	5.26	3.38	5.40
4	1.79		2.64	2.39	2.33	4.30	5.67	2.32	4.09
5	1.64		2.45	3.42	3.80	2.00	3.06	1.61	2.37
6	2.62		3.77	2.18	2.29	-----	1.99	-----	1.51
7	3.22		4.88	2.38	2.68	3.68	4.82	2.19	3.80
8	4.11		5.88	5.24	5.80	4.33	6.10	3.98	5.83
9	2.42		3.83	3.38	3.84	6.33	7.49	4.12	7.34
10	3.28		4.60	2.57	2.31	2.44	3.45	1.41	2.35

		۴۵ طبقه		۵۰ طبقه		۵۵ طبقه		۶۰ طبقه	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
		زمین سنگی	1	-----	1.27	1.53	1.40	-----	-----
2	3.29		4.20	4.55	4.85	2.65	3.24	2.09	3.43
3	2.49		3.00	3.50	3.78	1.58	2.07	1.22	2.02
4	1.40		2.08	1.93	1.90	1.61	1.62	1.27	2.06
5	1.30		1.72	2.14	1.88	1.79	1.92	1.52	2.29
6	-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7	-----		1.72	1.56	1.71	-----	-----	-----	-----
8	3.25		4.25	3.90	4.31	1.56	1.89	1.37	2.08
9	3.03		3.78	5.15	4.82	4.76	4.57	4.67	5.88
10	1.50		1.80	1.94	2.03	1.65	1.59	1.51	1.96



جدول ۸: مقادیر محاسبه شده $C_d = \mu \cdot R_s$ برای خاک سخت

		طبقه ۲۰		طبقه ۳۰		طبقه ۳۵		طبقه ۴۰	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
خاک سخت	1	2.47	3.18	4.34	4.12	4.32	5.07	3.62	3.82
	2	2.65	3.44	3.48	3.16	5.35	5.84	3.97	3.64
	3	3.14	4.41	5.32	4.62	6.44	7.35	6.96	6.80
	4	2.40	3.69	4.17	3.57	4.09	4.88	3.20	3.17
	5	3.43	4.31	6.56	6.13	7.20	7.99	6.58	5.96
	6	2.34	3.67	3.54	3.34	5.94	6.70	4.50	4.19
	7	2.83	4.23	3.71	3.41	6.75	6.81	5.74	6.03
	8	1.40	1.83	5.52	4.50	4.66	5.72	1.93	2.34
	9	2.38	2.61	3.36	2.68	4.68	5.34	3.42	3.44
	10	3.67	5.04	3.59	3.31	5.64	6.36	4.20	4.08

		طبقه ۴۵		طبقه ۵۰		طبقه ۵۵		طبقه ۶۰	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
خاک سخت	1	1.66	2.14	3.54	3.10	4.21	4.27	3.52	5.43
	2	3.93	4.31	4.44	5.96	4.37	3.26	4.73	5.29
	3	4.62	5.61	5.57	7.12	2.25	3.67	1.89	3.06
	4	1.77	2.20	2.20	2.52	2.09	1.97	1.92	2.60
	5	4.23	5.15	5.70	6.60	4.27	4.89	3.80	5.54
	6	2.88	3.47	4.01	4.46	3.25	3.64	2.73	4.19
	7	3.28	3.72	5.13	5.37	5.27	5.04	5.17	6.52
	8	1.33	1.53	1.87	2.10	2.06	2.04	1.95	2.59
	9	1.84	2.39	1.82	2.40	-----	1.36	-----	1.63
	10	2.76	3.41	3.00	3.48	4.38	3.92	4.40	5.58

جدول ۹: مقادیر محاسبه شده $C_d = \mu \cdot R_s$ برای خاک نرم

		طبقه ۲۰		طبقه ۳۰		طبقه ۳۵		طبقه ۴۰	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
خاک نرم	1	2.90	4.11	3.17	2.95	5.12	4.00	3.04	3.42
	2	2.63	3.40	5.46	4.66	7.19	6.46	4.07	4.36
	3	2.83	3.76	4.37	3.84	4.46	4.23	2.53	2.69
	4	3.70	5.27	5.48	4.66	5.89	5.15	2.16	2.89
	5	2.93	3.40	5.54	4.43	6.63	6.00	3.24	3.43
	6	3.05	4.58	4.19	3.45	6.61	5.75	3.89	4.48
	7	4.07	5.80	5.12	4.41	7.96	7.29	4.05	4.37
	8	4.28	5.71	4.00	3.34	7.70	6.72	3.82	3.94
	9	2.30	2.92	4.29	3.33	5.89	5.06	2.86	2.67
	10	3.68	4.57	2.93	2.48	2.94	3.46	2.32	2.05

		طبقه ۴۵		طبقه ۵۰		طبقه ۵۵		طبقه ۶۰	
		25g	35g	25g	35g	25g	35g	25g	35g
خاک نرم	1	3.63	3.33	4.85	6.47	3.17	4.67	4.41	3.37
	2	3.11	3.71	3.51	5.33	2.21	3.78	2.54	2.94
	3	1.68	2.17	1.91	2.95	1.27	2.16	1.36	1.70
	4	-----	1.52	1.22	2.11	-----	1.54	1.29	1.22
	5	2.13	2.83	2.02	3.46	-----	2.29	-----	1.49
	6	2.53	2.81	3.68	4.58	2.94	3.92	3.33	3.65
	7	2.70	3.45	2.73	4.52	1.30	2.61	1.37	1.90
	8	3.83	4.51	5.53	7.08	5.41	7.62	5.16	7.31
	9	1.59	2.38	2.09	2.79	2.98	2.74	3.58	2.32
	10	2.24	2.65	3.78	4.04	2.50	4.37	2.74	3.74

با متوسط‌گیری از نتایج جداول فوق، عدد ضریب افزایش تعبیر مکان برای ۳ نوع خاک، به تفکیک بشرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_d = 3.083$$

(۵) زمین سنگی

$$C_d = 3.997$$

(۶) خاک سخت

$$C_d = 3.712$$

(۷) خاک نرم



نتیجه گیری

استفاده از سیستم کمربند خرپایی در سازه‌های فولادی مرتفع، تغییرمکان‌های نسبی طبقات را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و بطور همزمان باعث کاهش مصرف فولاد سازه‌ای خواهد شد. استفاده از این سیستم باعث ازدیاد ضرایب شکل پذیری و مقاومت افزون سازه نسبت به سازه قاب خمشی بادبندی شده مشابه با همان مشخصات و تعداد طبقات خواهد بود. با مشاهده نتایج بدست آمده، در مورد زمین سخت مقدار 29.6% و در مورد زمین نرم 20.4% افزایش در ضریب تغییرمکان نسبت به زمین سنگی ملاحظه می‌شود. دلیل این امر را می‌توان در افزایش مقدار پرید غالب خاک در زمین‌های سخت و نرم نسبت به زمین سنگی و نزدیک شدن پرید ارتعاش سازه‌های مرتفع به پرید ارتعاش خاک دانست. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که ضریب افزایش تغییرمکان در مورد خاک نرم نسبت به خاک سخت، عدد بزرگتری را به خود اختصاص دهد که در اینجا بر عکس این مورد مشاهده می‌شود. در این مورد لازم به توضیح است که در مورد خاک نرم، در هنگام طراحی، به منظور محدود ساختن تغییر مکان‌های میان طبقه‌ای، ناگزیر از استفاده از پروفیل‌های سنگین‌تر خواهیم بود که آن نیز به نوبه خود باعث کاهش پرید ارتعاشی سیستم سازه‌ای و دور شدن آن از پرید غالب خاک می‌شود. استفاده از پروفیل‌های سنگین‌تر همچنین باعث افزایش مقاومت تسلیم سازه و کاهش شکل پذیری آن خواهد شد (جدول ۲). بر این اساس مقدار افزایش 9.5% در ضریب افزایش تغییرمکان خاک سخت نسبت به خاک نرم قابل تفسیر خواهد بود. نتیجه بررسی سازه‌های مرتفع مجهز به سیستم کمربند خرپایی نشان می‌دهد که بطور کلی افزایش درجه نامعینی سازه‌ها (که می‌تواند حاصل از افزایش تعداد دهانه‌ها، یا کاربرد کمربند خرپایی باشد)، باعث افزایش ضریب شکل پذیری و ضریب مقاومت افزون سازه خواهند شد.

فهرست مراجع

- Bungale S. Taranath, (2005), "Wind and Earthquake Resistant Buildings", John A. Martin & Associates, Inc. Los Angeles, California
- Jinkoo Kim, Hyunhoon Choi "Response modification factors of chevron-braced frames" Journal of Constructional Steel Research, 7 December 2002
- Mahmoudi, Mussa and Zaree, Mahdi "Evaluating the displacement amplification factors of concentrically braced steel frames", International Journal of Advanced Structural Engineering 2013, 5:13 doi:10.1186/2008-6695-5-13
- Nassar, A.A., and Krawinkler. H., (1991), "Seismic Demands for SDOF & MDOF Systems", John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 95. Department of Civil Engineering, Stanford University, September 1991
- Uang C.M., "Establishing R Factor for Building Seismic Provisions", J. of STR. Dir January 1989
- Uang CM, Maarouf A. "Deflection amplification factor for seismic design provisions", J Struct Eng 1994, 120(8):2423-2436.