ارزيابي تأثير اضافه مقاومت در رفتار لرزه‌اي قابهاي خمشي فولادي

احمد نيكنام[i] ، راضيه هاشمي[ii]

چكيده

آئين‌نامه‌هاي معتبر جهان نظير IBC۲۰۰۰ و يا NEHRP۲۰۰۰ در چند سال اخير توجه خاصي به ضريب اضافه مقاومت (Overstrength Factor) در سازه‌ها نموده‌اند. تأثير اين پارامتر در حفظ ايمني سازه‌ها در برابر زلزله به وضوح آشكار است. اين پارامتر به همراه ضريب قابليت اعتماد/ درجه نامعيني كه كنترل كنندة تأمين اضافه مقاومت مورد نياز سازه مي‌باشد، از سال ۱۹۹۷ در آئين‌نامه‌هاي ياد شده مطرح گرديد. تشريح پارامتر اضافه مقاومت و عوامل مؤثر بر آن، نقش آن در رفتار لرزه‌اي سازه‌ها، بيان كمّي آن در قابهاي خمشي فولادي از طريق انجام تحليل‌هاي غيرخطي تحت بارگذاري جانبي استاتيكي افزاينده (Push Over) و همچنين تعيين مقدار اين ضريب در نقطة عملكرد سازه (Performance Point) بخشهايي از اين مقاله را تشكيل مي‌دهند. همچنين اين مطلب كه " آيا مقدار اضافه مقاومت نامشخصي كه طي طراحي در سازه‌ها ايجاد مي‌شود، براي آنها كافي است و يا اينكه بايد مقدار مشخصي اضافه مقاومت در سازه‌ها ايجاد شود تا سازه‌ها عملكرد مناسبي در رفتار غيرخطي داشته باشند" مورد بررسي قرار مي‌گيرد. در اين مقاله هشت قاب خمشي با تعداد طبقات و دهانه‌هاي مختلف در دو سيستم قاب خمشي فولادي معمولي و ويژه مورد ارزيابي قرار گرفته‌اند. اين قابها بر اساس دو آئين نامة استاندارد ۲۸۰۰ ايران (ويرايش دوم) و IBC2000 آمريكا طراحي و ميزان تأمين اضافه مقاومت مورد نياز سازه ها تعيين و بر اساس ضوابط هر دو آئين نامه مقايسه شده‌اند.

كلمات كليدي

اضافه مقاومت، ضريب قابليت اعتماد/ درجه نامعيني، قاب خمشي فولادي، بارگذاري جانبي افزاينده

Evaluation and Assessment the Effect of Overstrength Factor in Seismic Behavior of Steel Moment Resisting Frames

A.Nicknam, R.Hashemi

ABSTRACT

In recent years, the world - wide standard codes such as IBC2000 and NEHRP2000 have paid special attention to the coefficient over-strength factor. The effect of this parameter on saving the safety of structures from earthquake is quite postulated. This parameter associated with the Redundancy/ Reliability factor by which the structural safety is controlled is added into the above mentioned Codes from 1997. Describing the over-strength parameter, the role of effective factors on it, it's role on the seismic behavior of structure, quantitative description of the problem in terms of performing linear and non-linear analyzing of selected structures under incremental push-over analysis and determining this factor in performance pint of the structures constitute some sections of this article. Moreover, an important issue concerning the following question is investigated. That is, "Dose the unknown over-strength factor value incorporated in the structure through the design procedure suffices the structures for being safe or it should be sufficiently induced in structures for responding an appropriate non-linear performance".

---

[i] عضو هيات علمي گروه سازه، دانشكده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ايران a_nicknam@iust.ac.ir

[ii] كارشناس ارشد مهندسي زلزله دانشگاه علم و صنعت ايران rhashemee@ghods-niroo.com

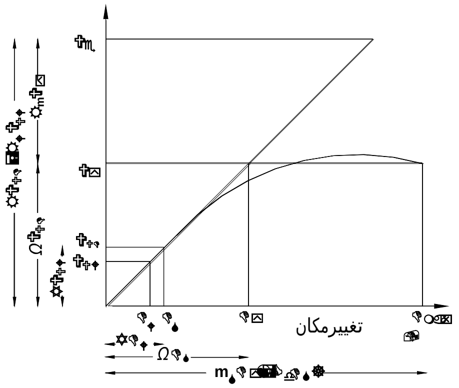
In this article eight Moment Resisting Frames (MRF) with different number of stories and bays in two different systems, ordinary and special are studied and the results are assessed. These structures have been designed according to The Iranian standard 2800 and American IBC2000 Standard and the required over-strength values produced by the design procedure are determined and the results obtained from both Codes are compared and evaluated.

KEYWORDS

Over-strength factor, Redundancy/ Reliability factor, Steel Moment Resisting Frame, Push-over loading,

۱- مقدمه

آئين‌نامه‌هاي معتبر جهان نظير IBC۲۰۰۰ طراحي سازه‌ها را بر اساس تحليل طيف پاسخ الاستيك سازه انجام مي‌دهند، از طرفی نيروهاي حاصل از اين تحليل بسيار كمتر از نيروهاي مورد انتظار در اثر زلزله‌ي طرح هستند. شكل ۱ رفتار كلي غيرخطي يك سازة معمولي در برابر زلزله را نشان مي‌دهد. به دليل نياز به لحاظ كردن تمامي پارامترهاي مصالح - سازه در روشهاي تحليل غيرخطي و پيچيدگي‌هاي ناشي از آن، آئين‌نامه‌ها براي تسهيل طراحي از ضريب رفتار سازه (R) بهره گرفته و طراحي را در حد الاستيك انجام مي‌دهند. اين ضريب به دو عامل وابسته است، بر اساس رابطه (۱)، ضريب كاهش ناشي از شكل‌پذيري (R_μ) كه از تقسيم مقاومت نهايي سازه در رفتار الاستيك(V_e) به مقاومت نهايي سازه(V_y) بدست مي‌آيد، و بر اساس رابطه(۲) ضريب اضافه مقاومت (Ω_{0U}) كه از تقسيم مقاومت نهايي سازه(V_y) به مقاومت سازه در سطح طراحي به روش حد نهايي(V_{UD}) حاصل مي‌گردد. در صورتيكه طبق شكل ۱ طراحي با روش تنش مجاز انجام شود رابطه (۲) به شكل رابطه(۳) اصلاح مي‌شود [۱].



شكل ۱ : پاسخ يك سازة معمولي در برابر نيروي جانبي

$$R\mu = \frac{Ve}{Vy} \qquad (۱)$$

$$\Omega_{0U} = \frac{V_y}{V_{UD}} \qquad (۲)$$

$$\Omega_{0W} = \frac{V_y}{V_{UW}} \qquad (۳)$$

$$\Omega = (\Omega_{0U}\,\mathrm{OR}\,\Omega_{0W})F_1F_2F_3\ldots F_n \qquad (۴)$$

$$R = R_\mu \Omega \qquad (۵)$$

$$R_W = R_\mu \Omega Y \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، Y ضريبي بين ۱/۵-۱/۴ و رابط بين طراحي بر اساس حد نهايي و حد مجاز است. ضريب اضافه مقاومت(Ω) كه موضوع اصلي اين مقاله است در نتيجة تشكيل تدريجي و غيرهمزمان مفصلهاي پلاستيک در اعضاء سازه‌هاي نامعين و افزايش مقاومت سازه در رفتار غيرخطي تا حد مقاومت نهايي بوجود مي‌آيد و لازمة افزايش مناسب مقاومت طي اين روند، وجود درجة نامعيني كافي در سازه است. بر اساس رابطه(۴) يادآوري مي‌شود كه ضريب اضافه مقاومت به پارامترهاي ديگري مانند اثر ناسازه‌ها(F1)، اثر سرعت بارگذاري(F2)، نسبت تنش حد تسليم واقعي به اسمي، اثر تغييرات در توزيع نيروي جانبي زلزله بين طبقات، و غيره بستگي دارد [۱۳]. در اين كار تحقيقاتي مقادير اين ضرايب معادل واحد در نظر گرفته شده است.

بر خلاف رعايت تمامي ضوابط آئين‌نامه‌ها ديده مي‌شود كه در برخي سازه‌ها ضريب رفتار به ميزاني كه در طراحي لحاظ شده، تأمين نمي‌شود كه يكي از دلايل آن كمبود اضافه مقاومت در سازه هاست. رعايت مقررات آئين‌نامه‌اي بدون توجه به ميزان اضافه مقاومت مورد نياز سازه‌ها، تضمين كننده تأمين ضريب رفتار سازه‌ها نيست و مي‌تواند رفتار لرزه‌اي سازه‌ها را مختل نمايد.

يكي از نكات بسيار مهم در رفتار غيرخطي سازه‌ها، بروز پديدة P-Δ است. با توجه به طراحي سازه‌ها در حد الاستيك، اثر دقيق تغييرمكانهاي بزرگ غيرخطي در طراحي لحاظ نمي‌شود، بنابراين مي‌توان براي ايمن‌سازي سازه در مقابل اين ضعف، از ايجاد اضافه مقاومت كافي در سازه‌ها كمک گرفت.

پيرامون نقش اضافه مقاومت در سازه‌هاي مختلف تحقيقات فراواني انجام شده است كه مي‌توان بعنوان نمونه به كارهاي پژوهشي آقايان برترو[۱] (۱۹۸٦) و رجان[۲] (۱۹۸۸) اشاره كرد. آقاي ويتاكر[۳] و همكارانش (۱۹۸۹) طي بررسي يک ساختمان

فلزي ٦ طبقه بادبندي شده، ضريب اضافه مقاومت را معادل ۲/٤-۲/۸ ارزيابي نمودند[۲]. آقاي آسف[٤] (۱۹۸۹) نيز از طريق تحليلهاي غيرخطي استاتيكي ضريب اضافه مقاومت را در يک قاب داخلي از يک ساختمان اداري در ناحيه با خطرپذيري بالا بررسي کرد[۳] و مقدار آن را در قابهاي خمشي ويژه برابر۲ پيش‌بيني نمود. آقاي کالدروني[٥] (۱۹۹٦) طي يك تحقيق آماري تأثير اضافه مقاومت سازه را بر ضريب رفتار آن بررسي کرده است، در اين تحقيق اثر اضافه مقاومت ناشي از تيرها و ستونهاي قابهاي مقاوم خمشي فولادي به صورت جداگانه مورد ارزيابي قرار گرفته است[٤]. بر اساس مطالعات مختلف چنين نتيجه‌گيري مي‌شود که مقدار اين ضريب در سازه‌هاي زير ٤ طبقه بيشتر است زيرا بيشتر بارهاي مرده و زنده درطراحي حاکم هستند[۱]. براي سازه‌هاي بلندتر از۱۲ طبقه نيز اين ضريب افزايش مي‌يابد زيرا طراحي بيشتر بر اساس تأمين سختي و کنترل تغيير مکان جانبي صورت مي‌گيرد. همچنين نتايج حاصل از اين کارهاي تحقيقاتي نشان مي‌دهد که پارامترهاي زيادي از مشخصات مصالح- سازه نظير اضافه مقاومت مصالح، سخت شدگي کرنشي، ضرايب جزئي کاهش مقاومت، ضرايب جزئي افزايش بار، درجة نامعيني سازه، ارتفاع سازه، نحوة توزيع نيروي جانبي زلزله در ارتفاع سازه، دست بالا بودن مقاطع سازه پس از طراحي، نحوة تيپ بندي اعضاء سازه و سهم اعضاي غير سازه‌اي در مقابله با نيروي جانبي در ضريب اضافه مقاومت موثر است.

۲- ارزيابي عوامل مؤثر بر ضريب اضافه مقاومت

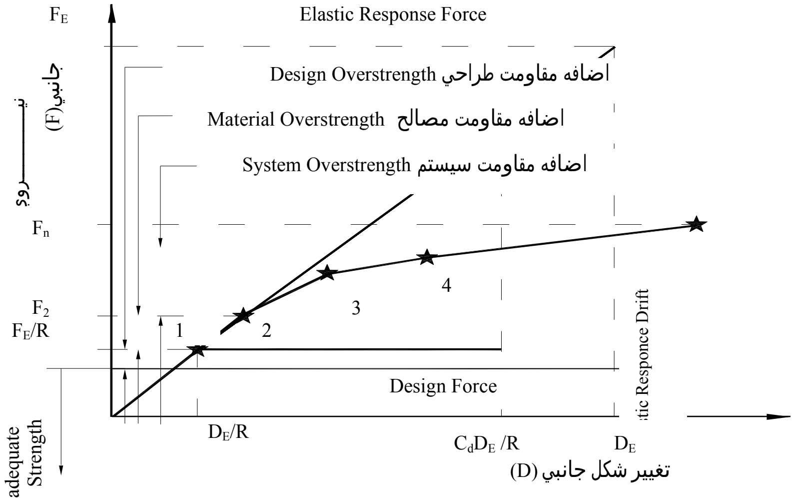
در تفسير آئين‌نامة NEHRP۲۰۰۰ اضافه مقاومت سازه به سه جزء تقسيم مي‌شود، اضافه مقاومت طراحي (Ω_D)، اضافه مقاومت مصالح (Ω_M) و اضافه مقاومت سيستم(Ω_S)، (شکل ۲) [۷].

نسبت نيروي برش پاية طراحي به مقدار F_E/R که پس از طراحي در سازه بوجود مي‌آيد(نقطة ۱)، مقدار *اضافه مقاومت طراحي* (Ω_D) را در سازه بيان مي‌کند که مقدار آن به سيستم سازه‌اي بستگي دارد. در سيستم‌هاي با سختي زياد که مقاومت اعضاي سازه در طراحي کنترل‌کننده است، مثل سيستم‌هاي مهاربندي ضربدري و يا ديوار برشي، مقدار اضافه مقاومت طراحي مقادير کمتري در مقايسه با ديگر سازه‌ها دارد. در سيستم‌هاي سازه‌اي نرم که رعايت محدوديت تغييرمکان جانبي (DRIFT) کنترل کننده است، نظير قابهاي خمشي ويژه، مقاطع المانها افزون بر نياز طراحي گرديده و منجر به افزايش اضافه مقاومت طراحي مي‌شود. مقاومت کل سازه با انتخاب مقاطع بزرگتر در سازه هاي فلزي (بدليل استاندارد بودن پروفيل‌ها) و يا آرايش آرماتور بيشتر در سازه‌هاي بتني (بدليل ايجاد نظم در آرايش آرماتورها يا رعايت ميزان کمينه آرماتور) افزايش مي‌يابد.

در شکل۲ *اضافه مقاومت مصالح* (Ω_M)، با نسبت F_2/F_1 نمايش داده شده است (F_2 محل تشکيل اولين مفصل پلاستيك است). مقاومت انواع مصالح که در طراحي بکار مي‌رود به طور محافظه کارانه اي کمتر از مقاومت واقعي آنها است. مقاومت مشخصه مصالح بر اساس مقادير ميانگين ثبت شده از نمونه هاي استاندارد آنها مشخص مي‌شود و با اعمال ضريب کاهش مقاومت مصالح(Ø)، مقاومت مشخصه نهايي آنها تعيين مي‌شود. در آئين‌نامه‌ها براي سازه‌هاي بتني، فولادي و بتني پيش‌ساخته از ضريب ۱/۲۵ براي لحاظ کردن نسبت مقاومت ميانگين به مقاومت مشخصه مصالح و همچنين سخت شدگي کرنشي آنها استفاده مي‌کنند. يادآوري مي‌شود که ضريب Ø معادل ۰/۹، مي‌تواند سبب افزيش اضافه مقاومت مصالح به ميزان۱/٤=۱/۲۵/۰/۹ گردد.

اضافه مقاومت سيستم(Ω_S)، از تقسيم حداکثر نيروي جانبي که سازه مي‌تواند در برابر آن پايداري کند (F_n) به نيرويي که در آن جاري شدن نخستين عضو رخ مي‌دهد (F_2) حاصل مي‌گردد. اين مقدار به درجة نامعيني سازه وابسته است و درجة نامعيني بر حسب تعداد و نحوة چيدمان المانهاي مقاوم جانبي مقادير متفاوتي بدست مي‌دهد که ناشي از داوری نمودن و سليقة مهندسي است.

در سازه هايي که اعضاي مقاوم آنها در مقابل نيروي جانبي، افزون بر تعداد مورد نياز طبق ملاحظات طراحي است، اضافه مقاومت سيستم به دليل افزايش درجه نامعيني افزايش مي‌يابد. جدول ۱ دامنه هر يك از اين ضرايب را براي برخي سازه ها بيان مي‌کند[۷] .



شكل ۲ : پارامترهاي مؤثر در اضافه مقاومت سازه

جدول ۱ : دامنة تغييرات ضرايب اضافه مقاومت طراحي، مصالح و سيستم[تفسير آئين‌نامة **NEHRP2000**]

سيستم سازه	Ω_D	Ω_M	Ω	Ω_S
قاب خمشي بتني و فولادي ويژه	۱/۵-۲/۵	۱/۲-۱/۶	۲-۳/۵	۱/۰-۱/۵
قاب خمشي بتني و فولادي متوسط	۱/۰-۲/۰	۱/۲-۱/۶	۲-۳/۵	۱/۰-۲/۰
قاب مهاربندي شده	۱/۵-۲/۰	۱/۲-۱/۶	۱/۵-۲	۱/۰-۱/۵

يادآوری مي شود پارامترهای اين جدول در بند ۲ آمده است.

۳- درجه نامعيني

کمبود درجة نامعيني در سازه ها سبب بسياري از شکستگي‌هاي ترد در اتصالات و رفتار ضعيف سازه ها در برابر زلزله مي‌شود. آئين نامه هاي ATC 19 وATC 34، ضريب کاهش پاسخ سازه را به سه جزء شامل ضريب کاهش ناشي از شکل پذيري، ضريب اضافه مقاومت و ضريب درجه نامعيني سازه تقسيم نموده‌اند:[۹]

$$R= R_\mu . R_S . R_R \tag{۷}$$

برترو و همکارانش (۱۹۹۹) نشان دادند که پارامتر درجه نامعيني (R_R)، مستقل از شکل پذيري و اضافه مقاومت سازه نيست و نمي توان جداگانه آنرا ارزيابي نمود و مقدار کمّي آن را تخمين زد و اين سه پارامتر ارتباط تنگاتنگي باهم دارند[۱۱].

درجه نامعيني لرزه‌اي سازه برابر با تعداد مفصلهاي پلاستيکي است که تحت نيروهاي جانبي، منجر به ناپايداری سازه مي‌شود. با توجه به اينکه در يک سازه ممکن است به چند شکل مکانيزم رخ دهد، درجه نامعيني لرزه اي براي هر سازه بطور يقين عدد منحصر به فردي نخواهد بود.

آئين نامه هاي جديد مانند IBC ۲۰۰۰ و يا NEHRP ۲۰۰۰، وجود اضافه مقاومت کافي در سازه را با درجه نامعيني آن مرتبط مي‌نمايند. رابطة آقاي بنوويتز[۶] يکي از روشهايي است که برحسب درجة نامعيني، ميزان پارامتر اضافه مقاومت را در سازه‌ها کنترل مي‌کند[۱۰]:

$$\rho=۲-۶/۱/(r_{max}\sqrt{A_B}) \qquad ۱\geq\rho\geq۱/۵ \tag{۸}$$

$$E=\rho Eh+Ev \tag{۹}$$

مطابق رابطة ۸ ضريب درجه نامعيني/ قابليت اعتماد "ρ" بر اساس سطح باربر طبقه A_B و پارامتر "r_{max}" تعيين مي‌شود، پارامتر r_i نسبت ميزان باربري يک عضو مقاوم جانبي در طبقة iام به بار جانبي کل همان طبقه و r_{max} بزرگترين r_i در طبقات ساختمان مي‌باشد. مقدار اين ضريب بين ۱/۰ تا ۱/۵ متغير است. اگر ضريب ρ بزرگتر از يك باشد بدان معني است که درجة نامعيني سازه کافي نبوده و در نتيجه اضافه مقاومت سازه به طور مناسب تأمين نخواهد شد اما از طريق افزايش نيروي جانبي زلزله و طراحي سازه در برابر نيروي جانبي بزرگتر، کمبود اضافه مقاومت در سازه جبران مي‌گردد. افزايش درجة نامعيني سازه در سازه هاي قاب مقاوم خمشي، با افزايش تعداد تيرها و ستونها (اعضاي باربر جانبي سازه) و ايجاد تغيير در چيدمان المانهاي سازه مقدور مي‌باشد. در رابطه ۹، بار زلزله در ترکيبات اصلي بارگذاري(E) شامل مؤلفة افقي افزايش يافته زلزله (ρE_h) و نيز مؤلفة قائم زلزله (E_v) است.

۴- بررسي و ارزيابي ضريب اضافه مقاومت در قابهاي مقاوم خمشي فولادي

در اين مقاله پارامتر اضافه مقاومت در قابهاي مقاوم خمشي فولادي معمولي و ويژه كه بر اساس دو آئين نامه استاندارد ۲۸۰۰ ايران (ويرايش دوم) وIBC۲۰۰۰ آمريكا طراحي شده اند، مورد بررسي و ارزيابي قرار مي‌گيرند و با انجام تحليل غيرخطي استاتيكي و دستيابي به منحني ظرفيت سازه‌ها، ضريب اضافه مقاومت سازه ها تعيين مي‌گردد. يكي از نكات قابل توجه در طراحي قابهاي خمشي رعايت محدوديت تغيير مكان جانبي (خطي يا غيرخطي) است. در آئين‌نامة ۲۸۰۰ حد مجاز تغييرمكان الاستيك سازه به $\frac{0/03}{R}$ محدود مي‌شود و با توجه به ضريب بزرگنمايي جابجايي (C_d) كه برابر ۰/۴R است، ميزان تغييرمكان غيرخطي مجاز سازه‌ها به مقدار $\frac{۰/۰۳}{R} \times ۰/۴R$ معادل ۱/۲ درصد ارتفاع سازه محدود مي‌شود[۱۴]. در آئين‌نامةIBC۲۰۰۰ آمريكا نيز مقادير مختلف تغيير مكان جانبي غيرخطي مجاز در هر طبقه، بر حسب درجة اهميت سازه و ارتفاع آن بيان مي‌شود.

با تبديل منحني ظرفيت سازه به طيف ظرفيت و تلاقي آن با طيف نياز، نقطة عملكرد سازه در برابر زلزلة طرح بدست مي‌آيد. در اين مقاله علاوه بر مطالعه مقدار اضافه مقاومت در محل تغييرمكان مجاز غيرخطي، ضريب اضافه مقاومت در نقطة عملكرد نيز محاسبه و مورد ارزيابي قرار مي‌گيرد (Ω_P). آئين‌نامة IBC۲۰۰۰ طي جدولي مقدار اضافه مقاومت مورد نياز سازه‌ها را بر حسب نوع سازه ارائه مي‌كند كه اين مقدار براي قابهاي خمشي فولادي معمولي و ويژه برابر ۳ مي‌باشد.

۵- سازه‌هاي مورد مطالعه

در اين بخش هشت قاب خمشي فولادي با تعداد طبقات و دهانه هاي مختلف در دو سيستم قاب خمشي فولادي معمولي و ويژه مورد بررسي قرار مي‌گيرند، در مدلسازي و طراحي قابهاي خمشي ويژه علاوه بر اعمال ضريب رفتار قاب خمشي فولادي ويژه، ضوابط بند ۷-۳ نسبت عرض به ضخامت بال و بند ۷-۵ نسبت مقاومت از پيوست شماره ۲ استاندارد ۲۸۰۰ نيز رعايت شده است. در طراحي بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ فرض بر آن است كه سازه ها داراي اهميت متوسط هستند و در ناحيه با خطر لرزه خيزي خيلي زياد(شتاب مبناي ۰/۳۵g) و در زمين نوع II واقعند. در طراحي بر اساس آئين نامة IBC۲۰۰۰ آمريكا، سازه ها با اهميت نوع I هستند و در ناحيه‌اي قرار دارند كه حداكثر شتاب زمين در زلزلة با زمان تناوب كوتاه (كمتر از ۰/۲ ثانيه) برابر ۰/۵g و در زلزلة با زمان تناوب ۱ ثانيه برابر ۰/۲g است و زمين ساختگاه از نوع C مي‌باشد (مشابه خاك نوع II در استاندارد۲۸۰۰ ايران). ارتفاع طبقات ۳متر، طول دهانه ها ۵متر و بارگذاري تيرها شامل ton/m ۲/۵ بار مرده وton/m ۱/۰ بار زنده است. ابتدا كليه سازه ها طراحي و سپس تغيير مكان جانبي طبقات طبق ضوابط آئين‌نامه ها كنترل مي‌گردد، همچنين درصورت نياز تركيبات بارگذاري ويژه در طراحي ستونها لحاظ مي‌شود. پس از طراحي تمامي سازه ها توسط نرم افزار ETABS۲۰۰۰، تحليل غيرخطي استاتيكي (Pushover) نيز با همين نرم‌افزار صورت مي‌گيرد. نحوه‌ي نامگذاري سازه‌هاي مورد بررسي به شرح ذيل است:

حرف اول : I : آئين نامه ۲۸۰۰ و A : آئين‌نامه IBC ۲۰۰۰
حرف دوم : S : قاب خمشي ويژه و O : قاب خمشي معمولي
اعداد سوم و چهارم : تعداد طبقات (۰۲، ۰۴، ۰۶ و ۱۰)
عدد پنجم : تعداد دهانه ها (۳ و۵)

براي مثال، قاب خمشي فولادي معمولي ۶ طبقه و ۳ دهانه : (A&I)O۰۶۳ و قاب خمشي فولادي ويژه ۱۰طبقه و ۵ دهانه: (A&I) S ۱۰۵

با توجه به رابطة ضريب درجه نامعيني/ قابليت اعتماد (ρ) كه براي قابهاي خمشي در آئين‌نامة IBC ۲۰۰۰ ارائه شده است، در قابهاي مورد مطالعه ضريب ρ كوچكتر از يك بدست آمد، بنابراين نيروي برش پايه افزايش نمي‌يابد.

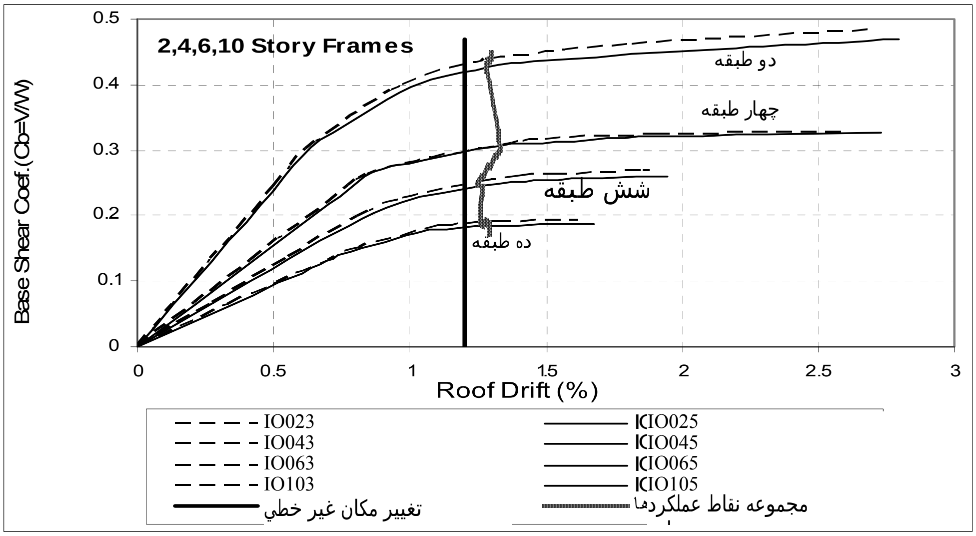
۶- نتايج تحليل سازه‌ها

بر اساس نتايج حاصل از تحليلهاي غيرخطي برش پايه در چهار سطح تعيين مي‌شود ۱) برش پايه طراحي در حد تنش مجاز، ۲) برش نظير تشكيل اولين مفصل پلاستيك، ۳) برش نظير تغييرمكان آئين‌نامه‌اي و ۴) برش نظير در نقطه عملكرد كه اين نقطه بر اساس محل برخورد طيف زلزله طرح (طيف تقليل يافته) با منحني ظرفيت سازه بدست مي‌آيد. از تقسيم اين چهار برش پايه بر جرم مؤثر سازه به ترتيب پارامترهاي C_W، C_S، C_Yو C_P تعيين مي‌شوند. با استفاده از اين پارامترها و مطابق جدول ۲ ضريب اضافه مقاومت در نقطه تغيير مكان ضريب اضافه مقاومت در نقطة تغيير مكان مجاز غيرخطي سازه (Ω_Y) و ضريب اضافه مقاومت در نقطة عملكرد سازه (Ω_p) تعيين مي‌گردد. در اين كار تحقيقي، ضريب اضافه مقاومت به دو جزء تقسيم شده است. جزء اول $\frac{C_S}{C_W}$ مربوط به اضافه مقاومت سازه

در ناحيه الاستيك است(قبل از تشكيل اولين مفصل پلاستيك)، اين جزء در اثر اضافه مقاومت مصالح، تيپ‌بندي اعضاء در مرحلة طراحي و دست‌بالا بودن مقاطع بوجود مي‌آيد. جزء دوم $\frac{C_Y}{C_S}$ يا $\frac{C_P}{C_S}$ است كه به ترتيب مربوط به اضافه مقاومت سازه در مرحلة الاستو- پلاستيك تا حد تغيير مكان مجاز غيرخطي و تا نقطة عملكرد سازه مي‌باشند و در اثر درجه نامعيني سازه بوجود مي‌آيند. با ضرب اين دوجزء در يكديگر ($\Omega_Y= \frac{C_Y}{C_S} \times \frac{C_S}{C_W}$ و $\Omega_P= \frac{C_P}{C_S} \times \frac{C_S}{C_W}$) ضريب اضافه مقاومت سازه در هر سطح حاصل مي‌گردد.

در بخشهاي ۶-۱ تا ۶-۴ براي چهار گروه سازه‌هاي مورد بررسي، نمودارها و جداولي از نتايج ارائه گرديده است. شكلهاي ۳ تا ۶ نمودارهاي منحني ظرفيت سازه‌ها به همراه محدوديت تغيير مكان غيرخطي مجاز آئين‌نامه‌اي و مجموعة نقاط عملكرد سازه‌ها در برابر زلزلة طرح را نمايش مي‌دهند.

۶-۱- ارزيابي ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي معمولي، بر اساس آئين نامه ۲۸۰۰



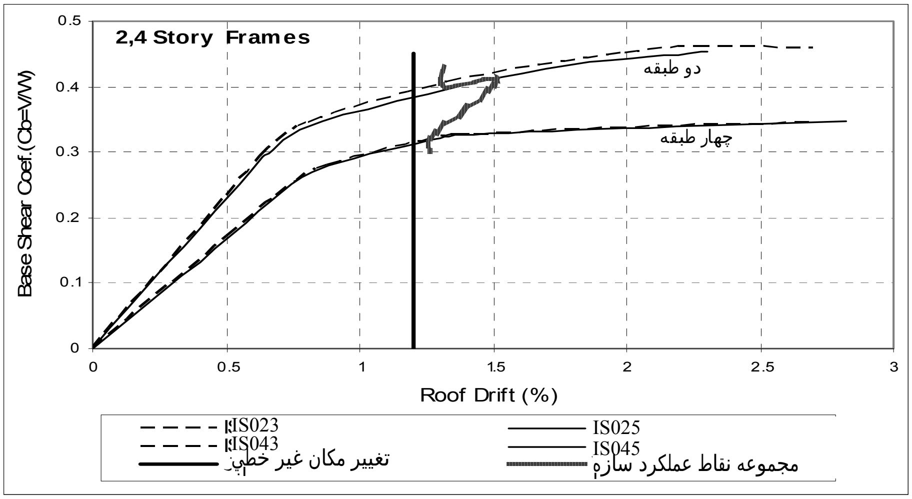
شكل ۳ : منحني هاي ظرفيت سازه ها تحت بارگذاري جانبي افزاينده

جدول ۲ : ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي معمولي كه بر اساس آئين‌نامه ۲۸۰۰ طراحي شده‌اند.

تعداد طبقات	تعداد دهانه ها	نسبت برش پايه به وزن مؤثر: C=V/W				$\frac{C_S}{C_W}$	$\frac{C_Y}{C_S}$	$\frac{C_P}{C_S}$	Ω_Y	Ω_P
		(C_W)	(C_S)	(C_Y)	(C_P)					
(۲)	۳	۰/۱۴۶	۰/۳۰۳	۰/۴۲۶	۰/۴۳۹	۲/۰۸	۱/۴۱	۱/۴۵	۲/۹۲	۳/۰۱
	۵	۰/۱۴۶	۰/۳۰۳	۰/۴۲۰	۰/۴۰۵	۲/۰۸	۱/۳۹	۱/۳۴	۲/۸۸	۲/۷۷
(۴)	۳	۰/۱۲۳	۰/۲۴۶	۰/۲۹۵	۰/۳۲۳	۲/۰۰	۱/۲۰	۱/۳۱	۲/۴۰	۲/۶۳
	۵	۰/۱۲۳	۰/۲۴۱	۰/۲۹۵	۰/۲۹۸	۱/۹۶	۱/۲۲	۱/۲۴	۲/۴۰	۲/۴۲
(۶)	۳	۰/۱۱۷	۰/۱۹۸	۰/۲۴۸	۰/۲۶۱	۱/۶۹	۱/۲۵	۱/۳۲	۲/۱۲	۲/۲۳
	۵	۰/۱۱۷	۰/۱۸۵	۰/۲۴۱	۰/۲۴۶	۱/۵۸	۱/۳۰	۱/۳۳	۲/۰۶	۲/۱۰
(۱۰)	۳	۰/۰۹۰	۰/۱۴۹	۰/۱۸۶	۰/۱۸۸	۱/۶۵	۱/۲۵	۱/۲۶	۲/۰۷	۲/۰۷
	۵	۰/۰۹۰	۰/۱۴۲	۰/۱۸۲	۰/۱۸۴	۱/۵۸	۱/۲۸	۱/۳۰	۲/۰۲	۲/۰۵

يادآوری مي شود پارامترهای اين جدول در بند ٦ آمده است.

۶-۲- ارزيابي ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي ويژه بر اساس آئين نامه ۲۸۰۰



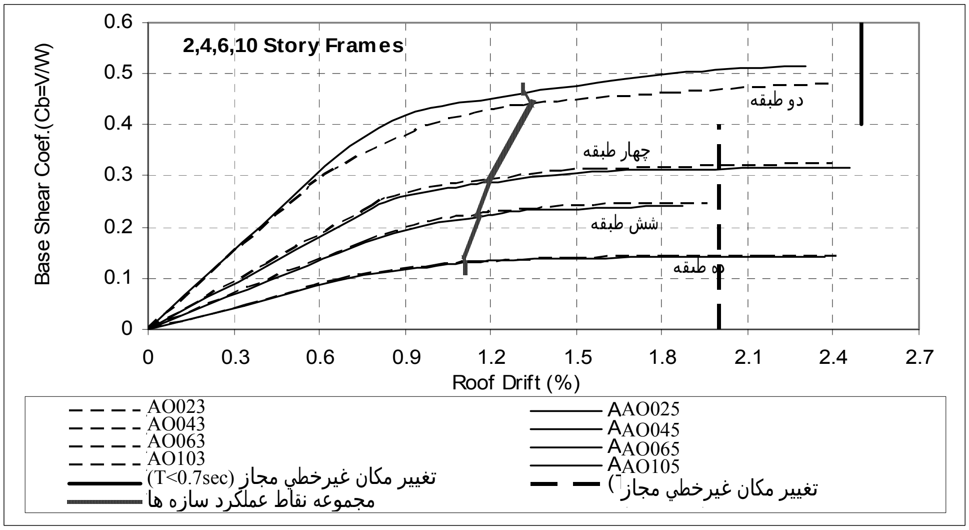
شكل ۴ : منحني هاي ظرفيت سازه ها تحت بارگذاري جانبي افزاينده

جدول۳: ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي ويژه كه بر اساس آئين‌نامه ۲۸۰۰ طراحي شده‌اند.

تعداد طبقات	تعداد دهانه ها	نسبت برش پایه به وزن مؤثر: $C=V/W$				$\frac{C_S}{C_W}$	$\frac{C_Y}{C_S}$	$\frac{C_P}{C_S}$	Ω_Y	Ω_P
		(C_W)	(C_S)	(C_Y)	(C_P)					
(۲)	۳	۰/۰۸۷۵	۰/۲۹	۰/۳۹۵	۰/۴۰۳	۳/۳۱	۱/۳۶	۱/۳۸۸	۴/۵۱	۴/۶۰
	۵	۰/۰۸۷۵	۰/۲۹	۰/۳۸۳	۰/۴۱۳	۳/۳۱	۱/۳۲	۱/۴۲۴	۴/۳۸	۴/۷۲
(۴)	۳	۰/۰۷۳۹	۰/۲۳	۰/۳۱۳	۰/۳۱۸	۳/۱۱	۱/۳۶	۱/۳۸۱	۴/۲۴	۴/۳۰
	۵	۰/۰۷۳۹	۰/۲۴	۰/۳۱۳	۰/۳۱۴	۳/۲۵	۱/۳۰	۱/۳۰۷	۴/۲۴	۴/۲۴

يادآوری مي‌شود پارامترهای اين جدول در بند ٦ آمده است.

۶-۳- ارزيابي ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي معمولي، بر اساس آئين‌نامه IBC2000



شكل ۵ : منحني هاي ظرفيت سازه‌ها تحت بارگذاري جانبي افزاينده

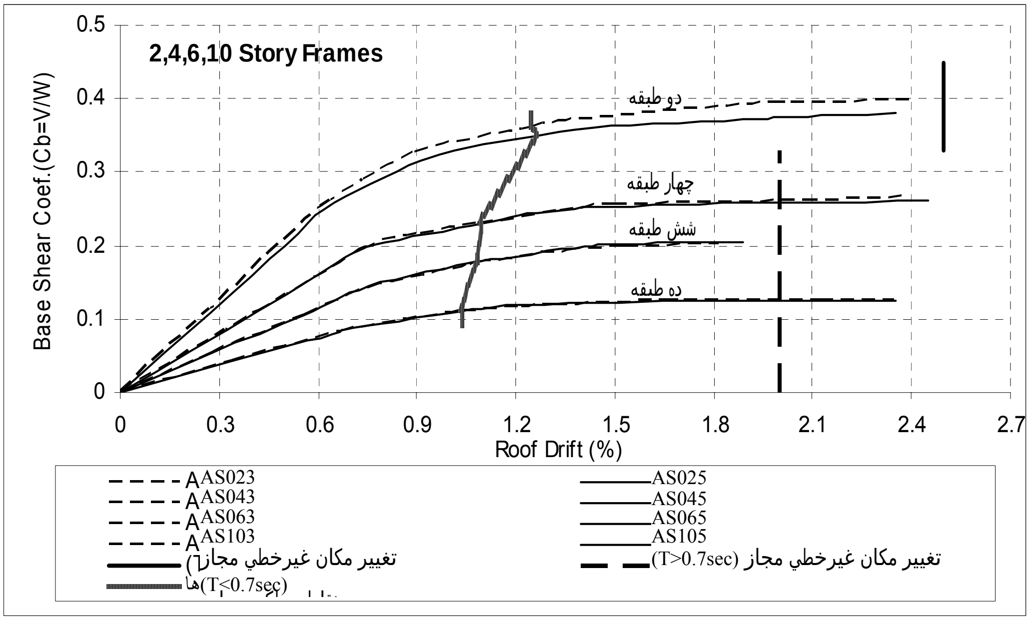
جدول ۴ : ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي معمولي كه بر اساس آئين‌نامه **IBC2000** طراحي شده‌اند.

تعداد طبقات	تعداد دهانه ها	نسبت برش پايه به وزن مؤثر: C=V/W				$\frac{C_S}{C_W}$	$\frac{C_Y}{C_S}$	$\frac{C_P}{C_S}$	Ω_Y	Ω_P
		(C_W)	(C_S)	(C_Y)	(C_P)					
(۲)	۳	۰/۱۸۳	۰/۳۰۳	۰/۴۸۰	۰/۴۴۱	۱/۶۵۶	۱/۵۸۴	۱/۴۵۵	۲/۶۲۳	۲/۴۱۰
	۵	۰/۱۸۳	/۳۶۰	۰/۵۲۰	۰/۴۶۰	۱/۹۶۷	۱/۴۴۴	۱/۲۷۸	۲/۸۴۲	۲/۵۱۴
(۴)	۳	۰/۱۳۰	۰/۲۴۳	۰/۳۱۹	۰/۲۹۰	۱/۸۶۹	۱/۳۱۳	۱/۱۹۳	۲/۴۵۴	۲/۲۳۱
	۵	۰/۱۳۰	۰/۲۳۹	۰/۳۱۴	۰/۲۸۷	۱/۸۳۸	۱/۳۱۴	۱/۲۰۱	۲/۴۱۵	۲/۲۰۸
(۶)	۳	۰/۰۹۶	۰/۱۷۲	۰/۲۴۷	۰/۲۲۳	۱/۷۹۲	۱/۴۳۶	۱/۲۹۷	۲/۵۷۳	۲/۳۲۳
	۵	۰/۰۹۶	۰/۱۷۱	۰/۲۴۳	۰/۲۲۰	۱/۷۸۱	۱/۴۲۱	۱/۲۸۷	۲/۵۳۱	۲/۲۹۲
(۱۰)	۳	۰/۰۶۵	۰/۱۰۰	۰/۱۵۲	۰/۱۳۹	۱/۵۳۸	۱/۵۲۰	۱/۳۹۰	۲/۳۳۸	۲/۱۳۸
	۵	۰/۰۶۵	۰/۱۳۹	۰/۱۵۱	۰/۱۳۹	۲/۱۳۸	۱/۰۸۶	۱/۰۰۰	۲/۳۲۳	۲/۱۳۸

٦-٤- ارزيابي ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي ويژه، بر اساس آئين‌نامه IBC2000

جدول ۵ : ضرايب اضافه مقاومت قابهاي خمشي فولادي ويژه كه بر اساس آئين‌نامه **IBC2000** طراحي شده‌اند.

تعداد طبقات	تعداد دهانه ها	نسبت برش پايه به وزن مؤثر: C=V/W				$\frac{C_S}{C_W}$	$\frac{C_Y}{C_S}$	$\frac{C_P}{C_S}$	Ω_Y	Ω_P
		(C_W)	(C_S)	(C_Y)	(C_P)					
(۲)	۳	۰/۰۹۷	۰/۲۵۲	۰/۴۰۲	۰/۳۶۱	۲/۵۹۸	۱/۵۹۵	۱/۴۳۳	۴/۱۴۴	۳/۷۲۲
	۵	۰/۰۹۷	۰/۲۴۹	۰/۳۸۵	۰/۳۴۸	۲/۵۶۷	۱/۵۴۶	۱/۳۹۸	۳/۹۶۹	۳/۵۸۸
(۴)	۳	۰/۰۶۹	۰/۱۹۳	۰/۲۶۱	۰/۲۳۰	۲/۷۹۷	۱/۳۵۲	۱/۱۹۲	۳/۷۹۳	۳/۳۳۳
	۵	۰/۰۶۹	۰/۱۹۱	۰/۲۵۸	۰/۲۳۱	۲/۷۶۸	۱/۳۵۱	۱/۲۰۹	۳/۷۳۹	۳/۳۴۸
(۶)	۳	۰/۰۵۱	۰/۱۴۲	۰/۲۰۲	۰/۱۷۵	۲/۸۰۱	۱/۴۲۳	۱/۲۳۲	۳/۹۸۴	۳/۴۵۲
	۵	۰/۰۵۱	۰/۱۴۴	۰/۲۰۶	۰/۱۷۸	۲/۸۴۰	۱/۴۳۱	۱/۲۳۶	۴/۰۶۳	۳/۵۱۱
(۱۰)	۳	۰/۰۳۶	۰/۰۸۴	۰/۱۲۵	۰/۱۰۹	۲/۳۱۴	۱/۴۸۸	۱/۲۹۸	۳/۴۴۴	۳/۰۰۳
	۵	۰/۰۳۶	۰/۰۸۴	۰/۱۲۵	۰/۱۰۹	۲/۳۱۴	۱/۴۸۸	۱/۳۱۰	۳/۴۴۴	۳/۰۰۳



شكل ۶ : منحني هاي ظرفيت سازه‌ها تحت بارگذاري جانبي افزاينده

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به تعداد محدود سازه‌هاي تحليل شده، نتايج مشروح ذيل قابل مطرح كردن است :

۱. در سازه‌هاي طراحي شده مطابق آئين‌نامه ۲۸۰۰ ايران، نقطة عملكرد سازه‌ها همواره بعد از حد تغيير مكان مجاز غيرخطي آئين‌نامه (۱/۲ درصد ارتفاع طبقه) رخ مي‌دهد در حاليكه در سازه‌هاي طراحي شده مطابق آئين‌نامه IBC۲۰۰۰ نقاط عملكرد همواره قبل از حد مجاز ياد شده مي‌باشند. سازه‌هاي گروه اول در عمل داراي نقطة عملكردي مناسب و با حاشيه ايمني تا آستانه فروريزش سازه مي‌باشند ليكن به دليل كم بودن حد مجاز تغيير مكان غيرخطي سازه‌ها، با نقطة عملكردي فراتر از اين ميزان روبرو هستند، در نتيجه سازه‌ها با وجود داشتن ظرفيت كافي، از نظر آئين‌نامه ۲۸۰۰ مردود شناخته مي‌شوند.

۲. در سازه‌هاي مورد مطالعه، وابستگي مقدار ضريب اضافه مقاومت به ارتفاع سازه‌ها مشهود است، به گونه اى كه با افزايش ارتفاع، اين پارامتر كاهش مي‌يابد.

۳. در آئين‌نامه IBC۲۰۰۰ ضريب اضافه مقاومت، در تركيبات بارگذاري ويژه ستونها بكار رفته است و در آئين‌نامة ۲۸۰۰ ايران نيز از ضريب ۰/۴R به اين منظور استفاده شده است. بدليل اين شباهت، مي‌توان ضريب ۰/۴R را به عنوان معيار ضريب اضافه مقاومت سازه‌هاي طراحي شده بر اساس آئين‌نامة ۲۸۰۰ ايران، بكار برد. به اين ترتيب در قابهاي خمشي معمولي عدد ۲/۴ و در قابهاي خمشي ويژه عدد ۴/۰، معيار كنترل اضافه مقاومت تأمين شده در سازه‌ها مي‌باشند. قابهاي خمشي معمولي مورد مطالعه كه بر اساس آئين‌نامة ۲۸۰۰ طراحي شده‌اند، تا سازه‌هاي دو طبقه، ضريب اضافه مقاومت معادل ۲/۴ را به خوبي تأمين مي‌كنند ولي سازه‌هاي بلندتر در تأمين اين ضريب حدود ۲۵درصد ضعف دارند و قابهاي خمشي ويژه به خوبي مقدار عدد ۴/۰ را برآورده مي‌كنند. در سازه‌هاي بلندتر از چهار طبقه به دليل رعايت محدوديت تغيير مكان جانبي، مقاطع آن به حدي افزايش مي‌يابد كه منجر به افزايش ۴۰درصدي وزن سازه مي‌گردد، و بنظر مي‌رسد مقولة غيراقتصادي بودن آن مطرح مي‌گردد.

۴. ضريب اضافه مقاومت در قابهاي خمشي معمولي كه بر اساس IBC۲۰۰۰ طراحي شده‌اند مقاديري مشابه آئين‌نامه ايران نتيجه مي‌دهد و در تأمين ضريب اضافه مقاومتي معادل ۳ (مطابق آئين‌نامة فوق) حدود ۲۵درصد ضعف دارد. قابهاي خمشي ويژه داراي مقاومت الاستيك بسيار بالاتري نسبت به ميزان عدد ۳ هستند. با توجه به محدوديت تعداد سازه‌هاي بررسي شده چنين به نظر مي‌رسد كه اين مقدار اضافه مقاومت براي قابهاي خمشي فولادي ويژه، مقدار كمي است و اين سازه‌ها نياز به ضريب اضافه مقاومت بيشتري دارند تا بتوانند عملكرد مناسبي در برابر زلزلة طرح از خود نشان دهند.

۸- مراجع

[۱] Uang, C.M., “Establishing R (or R_w) and C_d Factors for building Seismic provisions.” J. strct. Engrg., Vol. 117 , No. 1, PP. 19-28, ASCE, 1991b

[۲] Whittaker, A. S., Uang, C.-M., and Bertero, V. V. (1989). “Experimental behavior of a dual steel system.” J. Struct. Engrg., ASCE, 115(1), 183-200

[۳] Assaf, A. F. (1989), “Evaluation of structural overstrength in steel building systems.” Thesis presented to Northeastern University , at Boston, Mass.

[۴] Calderoni, B. and Ghersi, A. and Rinaldi, Z. (1996) “Statistical Analysis of Seismic Behaviour of Steel Frames: Influence of Overstrength” J. Construct. Steel Res. Vol. 39, No. 2, pp. 137-16101.

[۵] Whittaker, A., Hart, G. and Rojahn, C.(1999) “Seismic Response Modification Factor”J. Struct. Engrg. Vol. 125, No.4, PP.438-443

[۶] Uang, C.M., 1993 “Evaluation of two – level seismic design procedure” Earthquake Spectra, 9. 121-135

[۷] FEMA. “NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings” (1997 edition): part 1_provisions; part 2_commantry. Washington DC: BSSC, 1997.

[۸] Song, S.H., and Wen Y.K. (2000). “Redundancy of Dual Systems Under Earthquake Loads.” 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability. PMC2000-145.

[۹] Applied Technology Council (ATC) (1994), “A critical review of current approached to earthquake – resistant design.” Final Draft, ATC-34, Redwood city, Calif

[۱۰] International Code Council, INC., Southern Building Code Congress International, INC., International Conference of Building Officials. & Building Officials and Administrators International, INC. “International Building Code”

[۱۱] Bertero, R. D. and Bertero, V. V. (1999), “Redundancy in Earthquake – Resistant Design” ASCE, J. Struct. Engrg. Vol. 125(1), PP. 81-88

[۱۲] Miranda, E., and Bertero, V. V. (1994). “Evaluation of strength reduction factors for earthquake – resistant design.” Earthquake Spectra, 10(2), 357-379

[۱۳] Uang, C.M. “Seismic force reduction and displacement amplification factors” 10th world conference of earthquake engineering. Madrid, Spain, 1992, PP. 5875-5880

[۱۴] مركز تحقيقات ساختمان و مسكن؛ "آئين‌نامه طراحي ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ايران)" ويرايش ۲؛ نشريه شماره ۲۵۳؛ چ۵؛ تهران: مركز تحقيقات ساختمان و مسكن؛۱۳۷۹.

[۱۵] مقررات ملي ساختمان؛"مبحث ششم: بارهاي وارد بر ساختمان "دفتر تدوين و ترويج مقررات ملي ساختمان؛ چ۱

[۱۶] مقررات ملي ساختماني ايران؛ "مبحث۱۰: طرح و اجراي ساختمانهاي فولادي "دفتر تدوين و ترويج مقررات ملي ساختمان؛

۹- زیرنویسها

1. V. V. Bertero
2. C. Rojahn
3. A. S. Whittaker
4. A. F. Assef
5. B. Calderoni
6. D. Bonowitz