



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



### نگرشی فلسفی به طراحی سازه‌های فولادی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) و مقایسه آن با روش تنش مجاز (ASD)

\* اباذر اصغری<sup>۱</sup>، شاهرخ شعبی<sup>۲</sup>، علیرضا صادقی<sup>۳</sup>

#### چکیده

روش تنش مجاز (ASD) سنتی‌ترین روش طراحی سازه‌های فولادی بشمار می‌رود. در این روش طراحی، اثرات کاهش احتمالی مقاومت اعضا و نیز افزایش احتمالی بارها تنها به کمک یک ضریب (بنام ضریب اطمینان) و فقط در یک مرحله منظور می‌شود. روش دیگری که در دو دهه اخیر در اکثر کشورها رواج پیدا کرده است، روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) است. در این روش طراحی، ایمنی در دو مرحله، افزایش بار به کمک ضرایب بار و تقلیل مقاومت به کمک ضرایب کاهش مقاومت در نظر گرفته می‌شود. از منظر ضوابط طراحی و نوع تحلیل سازه هر دو روش از سادگی یا پیچیدگی یکسانی برخوردار هستند. در این مقاله سعی شده است، ضمن پرداختن به فلسفه طراحی روش‌های مذکور، نتایج طراحی بر اساس روش‌های مذکور به طور کمی مورد مقایسه قرار گیرد.

در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی اعضا باشند، هم در آئین‌نامه AISC و هم در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۱۰ تا ۱۵ درصد سبک‌تر محاسبه می‌شود. ولی اگر ترکیبات بارگذاری زلزله حاکم بر طراحی اعضا باشند و سهم نیروی زلزله در آن ترکیبات بارگذاری بسیار چشمگیر باشد (مثلاً  $E/D > 10$ )، در آئین‌نامه AISC برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۲۰ درصد سنگین‌تر و در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۵ درصد سنگین‌تر محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج طراحی بر اساس AISC و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نشان می‌دهد که ترکیبات بارگذاری مندرج در مبحث دهم تفاوت‌های آشکاری با ترکیبات بارگذاری مورد نظر آئین‌نامه AISC دارد و لازم است این موضوع در ویرایش‌های آتی مباحث ۶ و ۱۰ مقررات ملی ساختمان مورد بازبینی دقیق قرار گیرد.

#### کلمات کلیدی

روش تنش مجاز (ASD)، روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، آئین‌نامه AISC

\*۱. عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی ارومیه و عضو کمیته تخصصی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ، [abcd1386@gmail.com](mailto:abcd1386@gmail.com)

۲. کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، [shsh70@yahoo.com](mailto:shsh70@yahoo.com)

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی ارومیه ، [Alireza.sadeghi@civil.uut.ac.ir](mailto:Alireza.sadeghi@civil.uut.ac.ir)

## ۱- مقدمه

هدف از طراحی یک سازه دستیابی و ارائه راه‌حل بهینه‌ای است که سازه مورد نظر برای منظور خاصی بنا می‌شود. یک طرح بهینه بایستی در برگیرنده حداقل قیمت، حداقل وزن، حداقل مدت زمان ساخت، حداقل نیروی انسانی مورد نیاز و کمترین محدودیت معماری همراه با حداکثر بهره‌دهی باشد. برای حصول به طرحی قابل قبول و دارای ایمنی مطلوب و نیز یکنواخت کردن روش طرحی و هماهنگی در محاسبه و ساخت ابنیه‌های فنی، در کشورهای مختلف آئین‌نامه‌هایی برای استفاده مهندسان و طراحان تدوین شده است که حداقل بارهای وارد بر سازه و نیز ضوابط و الزامات طراحی بر اساس معیارهای مختلف طراحی را ارائه می‌دهد. آئین‌نامه‌ها و مقررات‌های طراحی حاصل تحقیقات نظری و تجربی پژوهشگران صاحب نظر در زمینه‌های مختلف مربوط به هر آئین‌نامه‌اند. اغلب ضوابطی که در آئین‌نامه‌ها به صورت فرمول‌های ریاضی یا دستورالعمل ارائه شده است، حاصل تلاش‌های پژوهشگران و مهندسانی است که نهایتاً با قضاوت صحیح مهندسی خود و بدون عدول از ضوابط آئین‌نامه‌ای به آن ضوابط دست یافته‌اند.

در کشورهای پیشرفته برای دستیابی به ضوابط و دستورالعمل مناسب، سرمایه‌گذاری عظیمی برای انجام پژوهش‌های نظری و آزمایشگاهی صورت می‌گیرد. در واقع، غنای هر آئین‌نامه به طور مشخص بستگی به میزان تحقیقات و صرف سرمایه‌ای دارد که در جهت آن مصروف می‌شود.

اصلی‌ترین و مهم‌ترین آئین‌نامه‌ای که حاوی ضوابط طراحی سازه‌های فولادی در کشور ایالات متحده آمریکا است، آئین‌نامه "American Institute of Steel Construction" AISC است. در حال حاضر در بخش طراحی این آئین‌نامه در سه مجموعه جداگانه AISC-360، AISC-341 و AISC-358 ارائه می‌شود. در کشور ایران مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تنها مجموعه‌ای است که به عنوان آئین‌نامه سازه‌های فولادی مورد استفاده مهندسان قرار می‌گیرد. در ویرایش اخیر مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تلاش شده است که سه مجموعه AISC-360، AISC-341 و AISC-358 در یک قالب واحدی ارائه شود. علیرغم انتقاداتی که به مبحث دهم وارد است، الزامات و ضوابط این مبحث تاکنون توانسته است پاسخگوی نیازهای طراحان سازه‌های فولادی باشد [۱، ۳، ۴، ۵].

## ۲- روش‌های طراحی

همانطوریکه در بخش قبلی عنوان شد، هدف هر طرحی ساخت یک سازه ایمن و اقتصادی است. اگر مقاومت سازه را با  $R$  و بارهای وارد بر آن را با  $Q$  نمایش دهیم، شرط ایمنی و اقتصادی این است که:

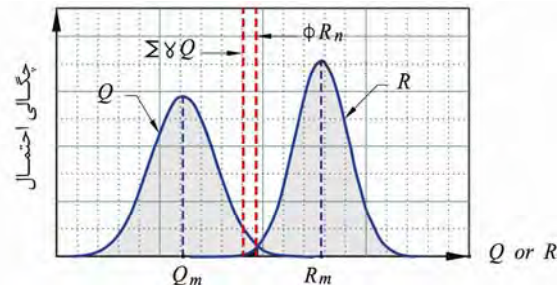
$$Q = R \quad (1)$$



با توجه به اینکه مقاومت اعضای سازه و بارهای وارد بر آن طبیعت آماری داشته و به یقین نمی‌توان گفت که مقاومت مصالحی که از کارخانه بیرون می‌آید، چه مقداری است و یا بارهای وارد بر یک سازه دقیقاً چقدر است. از طرف دیگر، روش‌هایی که برای تحلیل سازه به کار می‌رود فرضیاتی وجود دارد که این فرضیات، در عمل و اجرا دقیقاً قابل تأمین نمی‌باشند. لذا لازم است در طراحی، ضریب اطمینانی به کار گرفته شود. در نتیجه رابطه (۱) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\sum \gamma_i Q_i = \phi R_n \quad (2)$$

که در آن،  $\gamma_i$  ضریب افزایش بار،  $Q_i$  بار وارد بر سازه،  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت و  $R_n$  مقاومت اسمی عضو است. تحلیل اعتماد پذیری یکی از معتبرترین روش برای تعیین ضرایب  $\gamma_i$  و  $\phi$  بر مبنای یک شاخص اعتماد پذیری معقول می‌باشد. متاسفانه متغیرهای دخیل در تعیین  $\gamma_i$  و  $\phi$  بسیار زیاد هستند. تغییرات بار وارد بر سازه، تغییرات در تنش تسلیم و مشخصات مصالح، تغییرات در هندسه و ابعاد مقاطع مورد استفاده، عدم دقت در پیش‌بینی مقاومت اعضا در تحلیل و طراحی، فرهنگ رایج در ساخت و ساز، چگونگی بهره‌برداری از ساختمان و نگهداری از آن از جمله این متغیرها هستند. در تحلیل اعتماد پذیری، مدل‌های احتمالاتی مناسبی به هر یک از متغیرهای موجود در مسئله داده می‌شود و هدف از آن کمیت‌گذاری ایمنی سازه است. مطابق شکل (۱)، در اینگونه تحلیل‌ها تابع حالت حدی معمولاً به صورت  $g(R, Q) = R - Q$  تعریف می‌شود و براساس میزان ریسک قابل پذیرش و مطالعات آماری ضرایب  $\gamma_i$  و  $\phi$  تعیین می‌شوند.



شکل (۱): منحنی چگالی احتمال بر حسب مقاومت (R) و بار (Q)

میزان ضرایب  $\gamma_i$  و  $\phi$  و نیز چگونگی در نظر گرفتن آنها در ضوابط طراحی، فلسفه روش‌های مختلف طراحی را تشکیل می‌دهد و ذیلاً به دو روشی که امروزه توسط آئین‌نامه AISC و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان به رسمیت شناخته شده است، پرداخته می‌شود.

#### الف) روش تنش مجاز (ASD)

روش تنش مجاز یکی از سنتی‌ترین روش طراحی برای سازه‌های فولادی است. بطوریکه تا سال ۱۹۸۶ تنها روش طراحی بود که توسط آئین‌نامه AISC به رسمیت شناخته شده بود. در این روش، ضوابط طراحی به گونه‌ای تدوین شده‌اند که برای تحلیل سازه بتوان از روش تحلیل خطی (الاستیک) بهره برد. علاوه بر این، در این روش ایمنی به کمک یک ضریب (بنام ضریب اطمینان) و فقط در یک مرحله منظور می‌شود. بنابراین در این روش رابطه (۲) به رابطه زیر تبدیل می‌گردد.

$$\sum Q_i \leq \left(\frac{\phi}{\gamma}\right) R_n = \frac{R_n}{\Omega} \quad (۳)$$

ضریب اطمینان در آئین‌نامه AISC و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان به شرح زیر است.

$$\Rightarrow \Omega = 1.67 \quad \text{اعضای کششی (تسلیم کششی)، اعضای فشاری و اعضای خمشی}$$

$$\Rightarrow \Omega = 2 \quad \text{اعضای کششی (گسیختگی کششی)}$$

$$\Rightarrow \Omega = 1.5 \text{ یا } 1.67 \quad \text{اعضای برشی}$$

#### ب) روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

اگر چه در این روش بهتر بود تحلیل سازه براساس تحلیل‌های غیرخطی باشد، لیکن متاسفانه در شرایط فعلی انجام تحلیل‌های غیر خطی بسیار پیچیده، زمان‌گیر و مستلزم صرف هزینه‌های بسیار زیاد بوده و تفسیر و بکارگیری نتایج بدست آمده از این-گونه تحلیل‌ها مستلزم داشتن دانش بالائی می‌باشد و از این‌روی انجام آن برای تمامی سازه‌ها مقدور نیست. به همین دلیل ضوابط طراحی این روش نیز به گونه‌ای تنظیم شده است که بتوان برای تحلیل از روش تحلیل خطی (الاستیک) بهره برد.

همان‌طوریکه در حالت (الف) عنوان شد، در روش تنش مجاز، ایمنی تنها به کمک یک ضریب (بنام ضریب اطمینان) و در یک مرحله منظور می‌شود. از آنجائیکه عواملی که لزوم تامین یک حاشیه ایمنی مناسب را ایجاد می‌کنند، داری ریشه‌ها و شدت‌های متفاوتی و عموماً مبتنی بر اصول آمار و احتمالات هستند، لذا در نظر گرفتن تمامی آنها تنها به کمک یک ضریب و فقط در یک مرحله امری غیر منطقی بنظر می‌رسد. یکی از روش‌هایی که در دو دهه اخیر در بسیاری از کشورها رواج پیدا کرده است، روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) است. در این روش ایمنی در دو مرحله تامین می‌شود.

(۱) افزایش بار به کمک ضرایب بار برای منظور کردن عوامل احتمالی که سبب ازدیاد بار می‌شوند.  
 (۲) تقلیل مقاومت به کمک ضرایب کاهش مقاومت برای در نظر گرفتن اثر عواملی که احتمالاً سبب کاهش مقاومت می‌گردند.  
 بنابراین با توجه به اینکه ایمنی لحاظ شده در طراحی به روش LRFD در دو مرحله صورت می‌گیرد، لذا می‌توان گفت که طراحی به روش LRFD معقول‌تر و منطقی‌تر از طراحی به روش ASD می‌باشد.

در سال ۱۹۸۶ برای اولین بار روش LRFD بعنوان یک روش جایگزین برای ASD توسط آئین‌نامه AISC بصورت دستورالعمل ارائه گردید. از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۰۵ آئین‌نامه AISC فقط طراحی به روش LRFD را مورد بازبینی قرار داده است و برای روش ASD از ویرایش ۱۹۸۹ استفاده می‌شد. تا اینکه در ویرایش پنجم طراحی به روش LRFD ابتکار جالبی توسط کمیته‌های تخصصی بکار گرفته شد. بدین ترتیب که آئین‌نامه AISC از سال ۲۰۰۵ به بعد، نگرش متحدی را برای هر دو روش LRFD و ASD ارائه نمود. در این نگرش در هر دو روش ASD و LRFD مقاومت اسمی اعضا ( $R_n$ ) از یک ضابطه طراحی محاسبه می‌شود. با این تفاوت که در روش ASD مقاومت اسمی اعضا به ضریب اطمینان ( $\Omega$ ) تقسیم و در روش LRFD به  $\phi$  ضرب می‌شود. ارائه این ابتکار در آئین‌نامه AISC اولاً موجب شده است که هر دو روش ASD و LRFD در یک قالب نسبتاً یکسان ارائه شود، ثانیاً موجب ترغیب مهندسان قدیمی در استفاده از روش LRFD گردیده است. بر اساس نتایج تحلیل اعتماد پذیری، در آئین‌نامه AISC و مشابه آن در مبحث دهم، ضرایب کاهش مقاومت به شرح زیر است.

$$\Rightarrow \phi = 0.9 \quad \text{اعضای کششی (تسلیم کششی)، اعضای فشاری، خمشی، برشی و پیچشی}$$

$$\Rightarrow \phi = 0.75 \quad \text{اعضای کششی (گسیختگی کششی)}$$

آئین‌نامه بارگذاری ایالات متحده آمریکا (ASCE 7) در آخرین ویرایش خود بر اساس یک شاخص اعتماد پذیری معقول و براساس نتایج مطالعات آماری و احتمالاتی ضرایب بار ترکیبات مختلف بارگذاری را برای روش‌های ASD و LRFD به شرح زیر ارائه نموده است [۳، ۶].

AISC - ASD:

- 1) D + L
- 2) D + 0.7L + 0.75(0.7E)

AISC - LRFD:

- 1) 1.4D
- 2) 1.2D + 1.6L
- 3) 1.2D + L + E

در اینجا ذکر این نکته ضروری است که زلزله مورد نظر آئین‌نامه ASCE 7، زلزله نظیر سطح حالت‌های حدی (روش LRFD) بوده و با زلزله نظیر سطح تنش مجاز متفاوت می‌باشد. به بیان ساده‌تر، زلزله نظیر سطح LRFD حدوداً 1.4 برابر زلزله نظیر سطح ASD می‌باشد. به عبارت دیگر، در زلزله نظیر سطح LRFD ضریب رفتار ساختمان حدوداً 1.4 برابر کوچک‌تر از ضریب رفتار در روش ASD است. بنابراین اگر بخواهیم ترکیبات بارگذاری آئین‌نامه ASCE 7 را براساس زلزله مورد نظر ویرایش فعلی استاندارد ۲۸۰۰ ایران تنظیم کنیم، ترکیبات بارگذاری زیر حاصل می‌شود.

AISC - ASD (Adjusted):

- 1) D + L
- 2) D + 0.7L + 0.75E

AISC - LRFD (Adjusted):

- 1) 1.4D
- 2) 1.2D + 1.6L
- 3) 1.2D + L + 1.4E

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ترکیبات بارگذاری نظیر روش‌های ASD و LRFD به شرح زیر است [۱، ۲].

**PART 10 - ASD :**

- 1) D + L
- 2) 0.75D + 0.75L + 0.75E

**PART 10 - LRFD :**

- 1) 1.4D
- 2) 1.25D + 1.5L
- 3) D + 1.2L + 1.2E

**تشابه‌ها و تفاوت‌های روش‌های ASD و LRFD :**

(۱) در هر دو روش، تحلیل سازه عموماً براساس تحلیل خطی (الاستیک) صورت می‌گیرد. لذا از این منظر دو روش مذکور تفاوتی با هم ندارند.

(۲) در هر دو روش مقاومت اسمی اعضا ( $R_n$ ) می‌تواند براساس یک ضابطه طراحی مشترک محاسبه شود. بنابراین از این حیث نیز دو روش مذکور تفاوتی با هم ندارند. ذکر این نکته ضروری است که بر اساس یافته‌های علمی و آزمایشگاهی و نیز بکارگیری الگوریتم‌های ریاضی (نظیر الگوریتم ژنتیک) برای ساده‌سازی روابط، ضوابط طراحی به‌طور مستمر در حال تغییر بوده و این تغییرات باید در هر دو روش طراحی اعمال شود.

(۳) براساس مطالب فوق، طراحی در هر دو روش از سادگی یا پیچیدگی یکسانی برخوردار است. زیرا تحلیل سازه و محاسبه مقاومت اسمی اعضا ( $R_n$ ) در هر دو روش یکسان بوده و اعمال ضرایب اطمینان، ضرایب کاهش مقاومت و ضرایب بار در ترکیبات مختلف بارگذاری عملاً کار ساده‌ای است.

(۴) با توجه به اینکه ایمنی لحاظ شده در طراحی به روش LRFD در دو مرحله صورت می‌گیرد، لذا می‌توان گفت که طراحی به روش LRFD معقول‌تر و منطقی‌تر از طراحی به روش ASD می‌باشد. البته مشروط بر اینکه ضرایب  $\Omega$ ،  $\phi$  و  $\gamma$  براساس مطالعات آماری وسیع و نیز بر پایه یک شاخص اعتماد پذیری قابل قبول تعیین شده باشند.

(۵) ضرایب بار بکار رفته در ترکیبات مختلف بارگذاری مبحث دهم تفاوت‌هایی با ضرایب بار بکار رفته در آئین‌نامه AISC دارد. بارزترین این تفاوت به ضریب زلزله مبحث دهم در روش LRFD نسبت به مشابه آن در AISC مربوط می‌شود که در مبحث دهم حدوداً ۱۶٪ (۱.۲ بجای ۱.۴) کمتر از AISC است. در شرایط فعلی وجود این تفاوت‌ها در ضرایب بار یکی از انتقادهای وارد بر مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بوده و امید است در ویرایش‌های بعدی مباحث ۶ و ۱۰ با دقت مضاعفی مورد بازبینی قرار گیرد.

(۶) در حالت کلی نمی‌توان گفت که طراحی براساس کدامیک از روش‌های ASD و LRFD سنگین‌تر از دیگری است. مهم‌ترین دلیل آن متفاوت بودن ضرایب بار در ترکیبات مختلف بارگذاری می‌باشد. با توجه به اینکه حاصل ضرب  $\Omega\phi$  برای کلیه مقاومت‌های اعضا عموماً ثابت و برابر ۱.۵ است، لذا تاثیر این پارامترها در طراحی به سادگی قابل تشخیص بوده و نمی‌تواند دلیلی بر قابل مقایسه نبودن میزان مصالح مصرفی در دو روش طراحی باشند. متأسفانه گاهی اوقات روش LRFD با روش تحلیل و طراحی پلاستیک به اشتباه یکسان فرض می‌شود، در حالیکه روش LRFD هیچگونه سختی با روش تحلیل و طراحی پلاستیک ندارد. زیرا در روش LRFD نحوه تحلیل سازه و نیز محاسبه مقاومت‌های اسمی اعضا عیناً مشابه روش تنش مجاز بوده و تنها تفاوت روش LRFD با ASD نحوه اعمال ضرایب اطمینان در طراحی می‌باشد. مقایسه این دو روش در بخش بعدی به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**۳- مقایسه کمی طراحی به روش ASD با طراحی به روش LRFD**

در بخش قبلی روش‌های ASD و LRFD به لحاظ محتوی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این بخش تلاش می‌شود روش‌های مذکور به لحاظ کمی مورد مقایسه قرار گیرند. برای این منظور حالت‌های زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

الف) مقایسه کمی دو روش طراحی برای اعضای که در طراحی آنها ترکیبات بارگذاری ثقلی تعیین کننده هستند. در نگاه اول بنظر می‌رسد که مقایسه هر دو روش طراحی باید برای انواع تلاش‌های داخلی عضو صورت گیرد. ولی از آنجائیکه عموماً حاصل ضرب  $\Omega \cdot \phi$  برای کلیه تلاش‌های داخلی عضو تقریباً ثابت و برابر 1.5 است، لذا مقایسه کمی هر دو روش فقط براساس یکی از تلاش‌های داخلی، اهداف این تحقیق را تامین می‌کند. برای این منظور جهت مقایسه کمی دو روش طراحی، مقاومت کششی اعضا را مبنا قرار می‌دهیم.

الف-۱) طراحی بر اساس آئین‌نامه AISC:

AISC – ASD (Adjusted):

$$D + L = R_n / 1.67$$

AISC – LRFD (Adjusted):

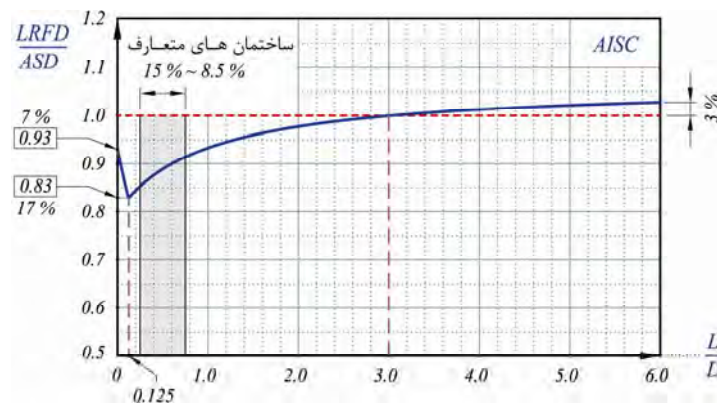
$$1.4D = 0.9R_n$$

$$1.2D + 1.6L = 0.9R_n$$

بر اساس روابط فوق، نسبت مقاومت اسمی مورد نیاز LRFD به ASD را می‌توان به شکل زیر نوشت.

$$\frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} \frac{0.93}{1+(L/D)} & L/D \leq 0.125 \\ \frac{0.8+1.07(L/D)}{1+(L/D)} & L/D > 0.125 \end{cases} \quad (4)$$

منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  نظیر ترکیبات بارگذاری ثقلی مطابق آئین‌نامه AISC در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  نظیر ترکیبات بارگذاری ثقلی مطابق آئین‌نامه AISC

مطابق شکل (۲)، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی باشند، در آئین‌نامه AISC، روش‌های LRFD و ASD دارای ویژگی‌های زیر هستند.

- (۱) روش‌های LRFD و ASD به ازای  $L/D = 3$  دارای مقاومت اسمی مورد نیاز یکسانی هستند.
- (۲) برای  $L/D < 3$ ، مقاومت اسمی مورد نیاز روش LRFD کوچک‌تر از مقاومت اسمی مورد نیاز روش ASD می‌باشد و این بدان معناست که در این محدوده روش LRFD مقرون به صرفه‌تر از روش ASD می‌باشد. حداکثر میزان صرفه‌جویی به ازای  $L/D = 0.125$  رخ می‌دهد و مقدار آن ۱۷ درصد است. در ساختمان‌های متعارف (مسکونی، اداری و تجاری) میزان صرفه‌جویی در طراحی به روش LRFD نسبت به روش ASD، ۸٫۵ تا ۱۵ درصد می‌باشد.
- (۳) برای  $L/D > 3$ ، مقاومت اسمی مورد نیاز روش LRFD بزرگ‌تر از مقاومت اسمی مورد نیاز روش ASD می‌باشد و این بدان معناست که در این محدوده روش ASD مقرون به صرفه‌تر از روش LRFD می‌باشد. لیکن میزان این صرفه‌جویی نسبتاً کم و در  $L/D = 6$  میزان آن حدوداً ۳ درصد است.

الف-۲) طراحی بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان:

PART 10 - ASD :

$$D + L = R_n / 1.67$$

PART 10 - LRFD :

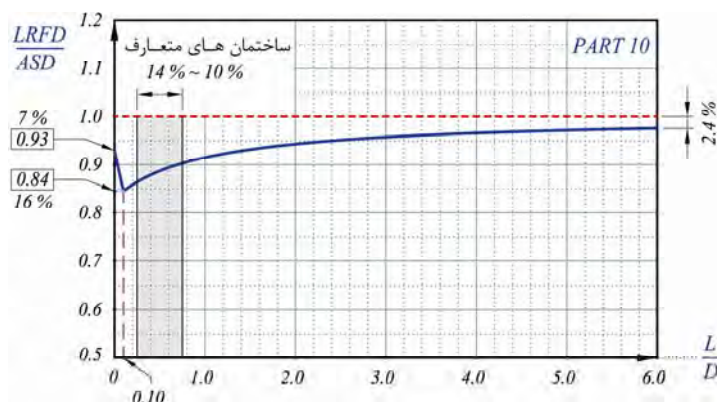
$$1.4D = 0.9R_n$$

$$1.25D + 1.5L = 0.9R_n$$

بر اساس روابط فوق، نسبت مقاومت اسمی مورد نیاز LRFD به ASD را مطابق مبحث دهم می‌توان به شکل زیر نوشت.

$$\frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} \frac{0.93}{1+(L/D)} & L/D \leq 0.1 \\ \frac{0.83+(L/D)}{1+(L/D)} & L/D > 0.1 \end{cases} \quad (5)$$

منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  نظیر ترکیبات بارگذاری ثقلی مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل (۳): منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  نظیر ترکیبات بارگذاری ثقلی مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

مطابق شکل (۳)، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی باشند، در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، روش‌های ASD و LRFD دارای ویژگی‌های زیر هستند.

(۱) به ازای کلیه مقادیر  $L/D$ ، مقاومت اسمی موردنیاز روش LRFD همواره کوچک‌تر از مقاومت اسمی موردنیاز روش ASD می‌باشد. و این بدان معناست که در ترکیبات بارگذاری ثقلی، روش LRFD همواره مقرون به صرفه‌تر از روش ASD می‌باشد.

(۲) حداکثر میزان صرفه‌جویی در روش LRFD نسبت به ASD به ازای  $L/D = 0.1$  رخ می‌دهد و مقدار آن حدوداً ۱۶ درصد است. در ساختمان‌های متعارف (مسکونی، اداری و تجاری) میزان صرفه‌جویی در طراحی به روش LRFD نسبت به روش ASD، ۱۰ تا ۱۴ درصد می‌باشد.

ب) مقایسه کمی روش‌های ASD و LRFD برای کلیه ترکیبات بارگذاری

با توجه به اینکه در این حالت سه پارامتر  $L$ ،  $D$  و  $E$  متغیر هستند، لذا در این حالت مقایسه روش‌های ASD و LRFD اندکی پیچیده‌تر از حالتی است که در آن فقط ترکیبات بارگذاری ثقلی حضور داشتند. برای احتراز از پیچیدگی‌های غیر ضروری، در این تحقیق دامنه مطالعات را به ساختمان‌های متعارف (مسکونی، اداری و تجاری) محدود می‌کنیم. در اینگونه ساختمان‌ها معمولاً نسبت بار زنده به بار مرده (با احتساب وزن کف‌سازی، وزن دال بتنی از نوع مختلط، وزن تیغه‌بندی، وزن دیوارهای پیرامونی، وزن اسکلت و سایر ملحققات) عموماً بین ۰.۲۵ تا ۰.۷۵ متغیر می‌باشد. برای دستیابی به یک معیار سنجش مناسب، مقایسه را برای سه نسبت  $L/D$  برابر ۰.۲۵، ۰.۵۰ و ۰.۷۵ مورد بررسی قرار می‌دهیم.

ب-1) طراحی بر اساس آئین نامه AISC :

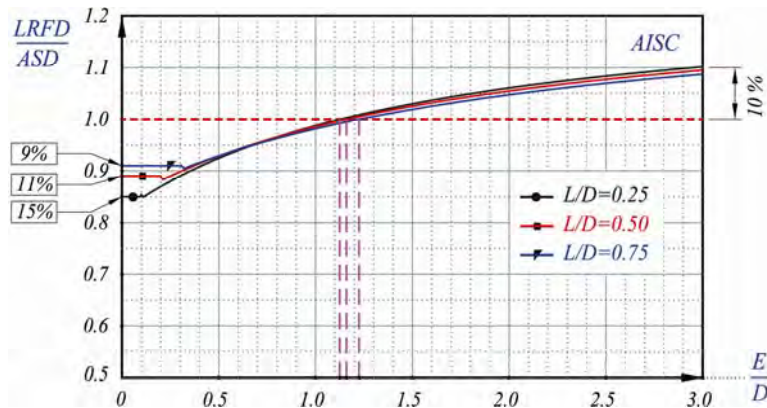
مشابه روندی که در قسمت (الف) طی شد، در این حالت نسبت مقاومت اسمی مورد نیاز LRFD به ASD برای مقادیر مختلف L/D به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{L}{D} = 0.25 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.85 & E/D < 0.1 \\ 1.78 / [1.96 + 1.25(E/D)] & 0.1 \leq E/D \leq 0.107 \\ [1.61 + 1.56(E/D)] / [1.96 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.107 \end{cases} \quad (6)$$

$$\frac{L}{D} = 0.50 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.89 & E/D < 0.2 \\ 2.22 / [2.25 + 1.25(E/D)] & 0.2 \leq E/D \leq 0.214 \\ [1.89 + 1.56(E/D)] / [2.25 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.214 \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{L}{D} = 0.75 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.91 & E/D < 0.3 \\ 2.67 / [2.55 + 1.25(E/D)] & 0.3 \leq E/D \leq 0.32 \\ [2.17 + 1.56(E/D)] / [2.55 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.32 \end{cases} \quad (8)$$

منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  برای کلیه ترکیبات بارگذاری مطابق آئین نامه AISC در شکل (4) نمایش داده شده است.



شکل (4): منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  برای کلیه ترکیبات بارگذاری مطابق آئین نامه AISC

ب-2) طراحی بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان:

در این حالت نسبت مقاومت اسمی مورد نیاز LRFD به ASD را برای مقادیر مختلف L/D می توان به صورت زیر نوشت..

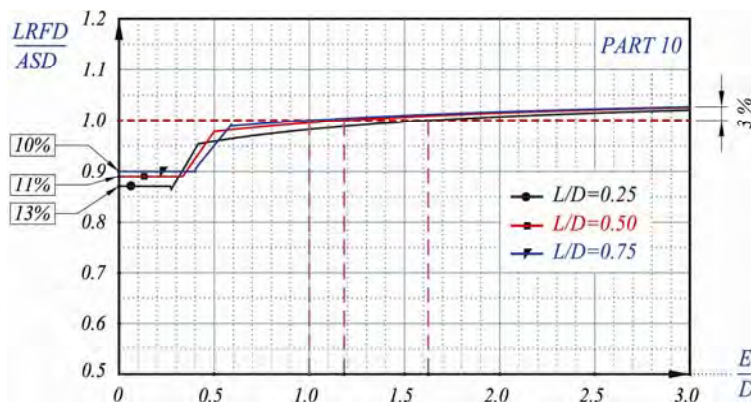
$$\frac{L}{D} = 0.25 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.87 & E/D < 0.27 \\ [1.44 + 1.33(E/D)] / 2.09 & 0.27 \leq E/D \leq 0.41 \\ [1.44 + 1.33(E/D)] / [1.57 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.41 \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{L}{D} = 0.50 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.89 & E/D < 0.33 \\ [1.78 + 1.33(E/D)] / 2.50 & 0.33 \leq E/D \leq 0.50 \\ [1.78 + 1.33(E/D)] / [1.875 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.50 \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{L}{D} = 0.75 \implies \frac{LRFD}{ASD} = \begin{cases} 0.90 & E/D < 0.40 \\ [2.11 + 1.33(E/D)] / 2.92 & 0.40 \leq E/D \leq 0.59 \\ [2.11 + 1.33(E/D)] / [2.19 + 1.25(E/D)] & E/D > 0.59 \end{cases} \quad (11)$$



منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  برای کلیه ترکیبات بارگذاری مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۵): منحنی  $\frac{LRFD}{ASD}$  برای کلیه ترکیبات بارگذاری مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

منحنی‌های نشان داده شده در شکل‌های (۴) و (۵) حاوی نکات زیر هستند.

(۱) مطابق آئین‌نامه AISC، در ساختمان‌های متعارف (مسکونی، اداری و تجاری)، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی باشند، مقاومت اسمی مورد نیاز در روش LRFD حدوداً ۹ تا ۱۵ درصد کمتر از مقاومت اسمی مورد نیاز در روش ASD محاسبه می‌شود و این بدان معناست که در این ترکیبات بارگذاری روش LRFD حدوداً ۹ تا ۱۵ درصد سبک‌تر محاسبه می‌شود.

(۲) مطابق آئین‌نامه AISC، در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری زلزله حاکم بر طراحی باشند، در  $E/D$  برابر حدوداً 1.2 نتایج طراحی روش LRFD تقریباً با نتایج طراحی روش ASD یکسان است.

(۳) مطابق آئین‌نامه AISC، در ساختمان‌های متعارف، چنانچه در ترکیبات مختلف بارگذاری سهم نیروی زلزله از نیروهای کلی در مقایسه با بارهای ثقلی بسیار چشمگیر باشد، مقاومت اسمی مورد نیاز در روش LRFD بیشتر از مقاومت اسمی مورد نیاز در روش ASD است و این بدان معناست که در اینگونه موارد روش LRFD سنگین‌تر از طراحی به روش ASD است بطوریکه در  $E/D = 3$  روش LRFD حدوداً ۱۰ درصد و در  $E/D = 10$  روش LRFD حدوداً ۲۰ درصد سنگین‌تر است.

(۴) مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی باشند، مقاومت اسمی مورد نیاز در روش LRFD حدوداً ۱۰ تا ۱۳ درصد کمتر از مقاومت اسمی مورد نیاز در روش ASD محاسبه می‌شود و این بدان معناست که در این ترکیبات بارگذاری روش LRFD حدوداً ۱۰ تا ۱۳ درصد سبک‌تر محاسبه می‌شود.

(۵) مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری زلزله حاکم بر طراحی باشند، در  $E/D$  بین 1 تا 1.5 نتایج طراحی روش LRFD تقریباً با نتایج طراحی روش ASD یکسان است.

(۶) مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در ساختمان‌های متعارف، چنانچه در ترکیبات مختلف بارگذاری سهم نیروی زلزله از نیروهای کلی در مقایسه با بارهای ثقلی بسیار چشمگیر باشد، مقاومت اسمی مورد نیاز در روش LRFD بیشتر از مقاومت اسمی مورد نیاز در روش ASD است و این بدان معناست که در اینگونه موارد روش LRFD سنگین‌تر از طراحی به روش ASD است. بطوریکه در  $E/D = 3$  روش LRFD حدوداً ۳ درصد و در  $E/D = 10$  روش LRFD حدوداً ۵ درصد سنگین‌تر است.

#### ۴- نتیجه گیری

نحوه اعمال ضریب اطمینان بر ضوابط طراحی، فلسفه روش‌های مختلف طراحی را تشکیل می‌دهد. یکی از روش‌های سنتی برای طراحی سازه‌های فولادی روش تنش مجاز (ASD) است. در این روش اثرات کاهش احتمالی مقاومت اعضا و نیز افزایش احتمالی بارها تنها به کمک یک ضریب (بنام ضریب اطمینان) و فقط در یک مرحله منظور می‌شود. روش دیگری که در دو دهه اخیر بعنوان یک روش جایگزین برای روش تنش مجاز در برخی از کشورها رواج پیدا کرده است، روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) است. در این روش ایمنی در دو مرحله، افزایش بار به کمک ضرایب بار و تقلیل مقاومت به کمک ضرایب کاهش مقاومت، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه ایمنی لحاظ شده در طراحی به روش LRFD در دو مرحله صورت می‌گیرد، لذا می‌توان گفت که طراحی به روش LRFD معقول‌تر و منطقی‌تر از طراحی به روش ASD می‌باشد.

برخی از نتایج طراحی بدست آمده از این تحقیق عبارتند از:

(۱) در هر دو روش ASD و LRFD تحلیل سازه عموماً بر اساس تحلیل خطی (الاستیک) صورت می‌گیرد. لذا از این منظر دو روش مذکور تفاوتی با هم ندارند.

(۲) طراحی بر اساس هر دو روش از سادگی یا پیچیدگی یکسانی برخوردار است. زیرا تحلیل سازه و محاسبه مقاومت اسمی اعضا در هر دو روش یکسان بوده و اعمال ضرایب اطمینان، ضرایب کاهش مقاومت و ضرایب بار در ترکیبات مختلف بارگذاری عملاً کار ساده‌ای است.

(۳) در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری ثقلی حاکم بر طراحی اعضا باشند (نظیر اعضای دو سر مفصل)، در آئین‌نامه AISC برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۹ تا ۱۵ درصد سبک‌تر و در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۱۰ تا ۱۳ درصد سبک‌تر محاسبه می‌شود.

(۴) در ساختمان‌های متعارف، چنانچه ترکیبات بارگذاری زلزله حاکم بر طراحی اعضا بوده و سهم نیروی زلزله در آن ترکیبات بارگذاری بسیار چشمگیر باشد (نظیر اعضای مهاربندی)، در آئین‌نامه AISC برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۲۰ درصد سنگین‌تر و در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای آن اعضا روش LRFD حدوداً ۵ درصد سنگین‌تر محاسبه می‌شود.

(۵) مقایسه نتایج طراحی بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان با آئین‌نامه AISC نشان می‌دهد که ترکیبات بارگذاری مندرج در مبحث دهم تفاوت‌های آشکاری با ترکیبات بارگذاری مورد نظر آئین‌نامه AISC دارد. این امر موجب گردیده است که در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تفاوت‌های مورد نظر دو روش طراحی عملاً مخدوش شود. برای این منظور پیشنهاد می‌شود ضرایب بار مجدداً بر اساس یک شاخص اعتماد پذیری مشخص تدقیق شوند و در نبود نتایج اینگونه مطالعات، حداقل از ضرایب بار مورد نظر آئین‌نامه AISC استفاده شود.

#### مراجع

[۱] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[۲] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[3] American Institute of steel construction (AISC-360), Specification for structural steel buildings.

[4] American Institute of steel construction (AISC-341), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

[5] American Institute of steel construction (AISC-358), Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications.

[6] American Society of Civil Engineers (ASCE 7), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.