



روش های جدید تحلیل پایداری در طراحی سازه های فولادی (مقایسه مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷ با AISC 360-05)

* مجتبی اصغری سرخی^۱، سعید شجاعی باغینی^۲

چکیده

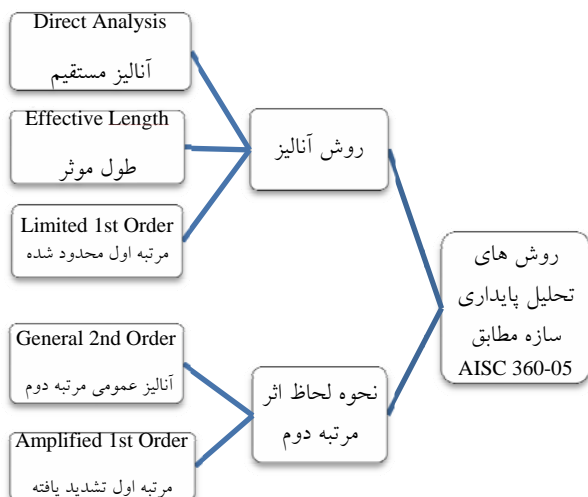
در نسخه های پیشین آیین نامه های بین المللی روش های سنتی لحاظ اثر مرتبه دوم تنها شامل روش طول موثر و روش مرتبه اول محدود شده تعریف شده تا اینکه در آخرین نسخه از آیین نامه AISC (نسخه 2005) روش آنالیز مستقیم به عنوان روش جدید لحاظ آثار مرتبه دوم در پیوست ۷ این آیین نامه در کنار روش های پیشین معرفی شده است. این روش با لحاظ اثرات کاهش سختی محوری و خمشی ناشی از تنش های پسماند به صورت آنالیز مستقیم میباشد که در دو حالت سختی متغیر و سختی کاهش یافته اعضا قابل تعریف است. در نسخه پیشنهادی آیین نامه AISC 2010 روش طول موثر و مرتبه اول محدود شده جای خود را به روش آنالیز مستقیم داده اند و این روش به عنوان روش اصلی و پیشفرض آیین نامه AISC معرفی شده است. بنابراین لزوم شناخت این روش طراحی و پارامتر های آن برای مهندسين ضروری میباشد. در این پژوهش سعی شده توضیحات مندرج در آیین نامه AISC 360-05 و تفاوت های آن با ضوابط همین قسمت از مبحث دهم در حالت حدی مطرح شود و به بررسی مزایا و برتری روش آنالیز مستقیم نسبت به سایر روش های سنتی تحلیل مرتبه دوم اشاره شود.

کلمات کلیدی

تحلیل پایداری، آثار مرتبه دوم، پی دلتا $P-\Delta$ و $P-\delta$ ، طول موثر، آنالیز مستقیم

*^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه شهید باهنر کرمان - m.asghari@graduated.uk.ac.ir، شماره تماس: ۰۹۱۱۳۵۴۶۶۴۲

^۲ عضو هیئت علمی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان - Saeed.Shojaee@mail.uk.ac.ir



شکل ۱- انواع روش های تحلیل پایداری طبق AISC 360-05

در مبحث دهم از بین روش های اشاره شده در شکل ۱ تنها به روش آنالیز مستقیم اشاره نشده است و البته در سایر روش ها نیز تغییراتی مشاهده می شود که در ادامه این مقاله به این تغییرات اشاره می شود.

یکی از نکات بارز تفاوت لحاظ آثار مرتبه دوم در آیین نامه AISC 360-05 نسبت به سایر نسخه های پیشین این آیین نامه، لزوم تعریف بار مجازی در ترکیبات بار طراحی می باشد که این مورد در فصل ۱۰-۲ مبحث دهم نیز آورده شده است.

۳-۱- بار های مجازی جانبی^۲

بارهای مجازی جانبی به منظور لحاظ آثار خطاهای اجرایی، نواقص هندسی و خاصیت غیرالاستیک اعضای سازه بکار می روند که با عدم توجه به خروج از محوریت و کاهش سختی عضو ناشی از تنش های پس ماند در تحلیل رخ می دهد. بارهای فرضی در راستایی بکار می روند که نامناسب ترین اثر در ترکیب بارگذاری مشخص شده را داشته باشند. این بار شامل بارهای ثقلی معادل 0.002 بار ثقلی ضریب دار طبقه و در دو امتداد اصلی سازه به طور مجزا اعمال می شود. ضریب بار فرضی بر اساس نسبت خروج از مرکزیت اولیه طبقه برابر 1/500 است.

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۸۷، فصل ۱۰-۱ (طراحی به روش تنش مجاز براساس AISC-ASD89) شامل روش های سنتی آیین نامه میباشد که پیش از این در آنالیز مرتبه دوم سازه های فلزی استفاده میشد اما در فصل ۱۰-۲ (طراحی به روش حالت حدی بر اساس AISC 360-05) از میان سه روش معرفی شده در آیین نامه AISC 360-05 تنها به روش طول موثر و روش مرتبه اول محدود شده اشاره شده است.

گرچه روش حالت حدی مبحث دهم برگرفته شده از AISC 360-05 میباشد با این حال در فصل مربوط به طراحی حالت حدی مبحث دهم (فصل ۱۰-۲) تغییرات نسبتاً زیادی در نحوه تحلیل با لحاظ آثار مرتبه دوم نسبت به آیین نامه AISC 360-05 ایجاد شده که از آنجا که روش طراحی حدی سازه های فلزی در کشور بر مبنای مبحث دهم است درحالی که نرم افزارهای طراحی سازه مانند ETABS با کمک آیین نامه AISC 360-05 این طراحی را انجام می دهند، بنابراین نیاز است تا علاوه بر شرح روابط مربوطه از مبحث دهم، روابط مندرج در آیین نامه AISC 360-05 نیز آورده شود تا کاربر با مطالعه دو روش، با موارد تغییرات مورد نیاز در ETABS آشنا شود.

۲-۱- انواع روش های تحلیل پایداری سازه

انواع روش های تحلیل پایداری سازه مطابق AISC 360-05 در شکل ۱ نشان داده شده است (محدودیت های مندرج در بندهای C-2-1، C-2-2 و پیوست ۷ آیین نامه AISC 360-05)

^۲ - Notional Loads

۲-۱-۱- آنالیز مستقیم^۵

روش آنالیز مستقیم روش جدید آیین نامه AISC جهت لحاظ اثر مرتبه دوم با لحاظ اثرات کاهش سختی محوری و خمشی ناشی از تنش های پسماند به صورت مستقیم میباشد که در دو حالت سختی متغیر و سختی کاهش یافته قابل تعریف است. نکات لحاظ روش آنالیز مستقیم در آیین نامه AISC 360-05 به شرح زیر است:

- ضرایب B_1 و B_2 بر اساس سختی های کاهش یافته تعریف می شوند.

- اگر $B_2 > 1.5$ باشد، ترکیب بارهای فرضی با تمام ترکیب بارها قابل جمع است اما اگر $B_2 \leq 1.5$ باشد استفاده از بار فرضی جانبی تنها در ترکیبات بار ثقلی مجاز است هر چند در همه حالت ها استفاده از خروج از مرکزیت هندسی فرضی به جای استفاده از بار فرضی و یا حداقل بار جانبی تعریف شده در تحلیل سازه مجاز تعریف شده است.

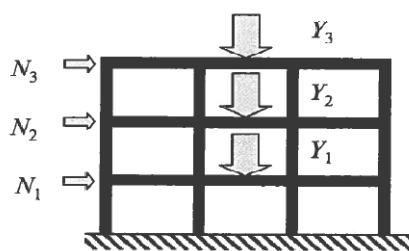
- در همه اعضایی که سختی خمشی آنها در پایداری جانبی سازه مشارکت دارند، سختی کاهش یافته $EI = 0.8\tau_b EI$ بکار گرفته می شود که τ_b عبارت

است از:

$$\tau_b = \begin{cases} 1.0 & \alpha P_r / P_y \leq 0.5 \\ 4 \left(\alpha P_r / P_y \right) \left(1 - \alpha P_r / P_y \right) & \alpha P_r / P_y > 0.5 \end{cases}$$

در همه حالات در جهت اطمینان می توان τ_b را برابر ۱ در نظر گرفت به شرط آنکه بار جانبی مجازی را ۰.۵۰٪ بیش از حالت معمول یعنی به مقدار ۰.۰۰۳ برابر بار ثقلی موجود اعمال کرد.

مطابق AISC 360-05 برای لحاظ اثر مرتبه دوم در روش تنش مجاز ضریب α برابر ۱.۶ تعریف می شود که البته این موضوع در لحاظ آثار مرتبه دوم در همه حالات



$$N_i = 0.002Y_i$$

شکل ۲- بارگذاری مجازی جانبی

این بار با لحاظ جهات مثبت و منفی و در دو راستا به ترکیب بارهای سابق افزوده می شود.

۲- روش های طراحی با لحاظ آثار مرتبه دوم^۶:

مطابق AISC 360-05 انتخاب روش لحاظ آثار مرتبه دوم وابسته به یکی از شرایط $B_2 > 1.5$ یا $B_2 \leq 1.5$ (نسبت جابجایی نسبی مرتبه دوم به جابجایی نسبی مرتبه اول)، یکی از سه روش آنالیز مستقیم، روش طول موثر و مرتبه اول محدود شده میباشد. در حالیکه مبحث دهم ویرایش ۸۷ بدون توجه به شروط $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ استفاده از روش های لحاظ آثار مرتبه دوم را تنها از یکی از دو روش طول موثر و روش مرتبه اول محدود شده مجاز می داند.

$$B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} > 1.5 \quad -1-2$$

مطابق AISC 360-05، مقاومت های مورد نیاز اعضا میبایست به طور کلی با استفاده از تحلیل مرتبه دومی که در ادامه شرح داده خواهد شد مشخص شود مگر حالتی که $B_2 \leq 1.5$ باشد. مقدار B_2 را می توان با مقایسه نتایج جابجایی نسبی طبق در یک تحلیل مرتبه دوم با نتایج یک تحلیل مرتبه اول محاسبه کرد. مطابق AISC 360-05 در حالت $B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} > 1.5$ از میان سه روش لحاظ اثر مرتبه دوم تنها روش آنالیز مستقیم قابل استفاده است.

^۵ - Direct Analysis Method (DAM)

^۶ - Design Analysis Method

بود. یعنی چنانچه در جهت اطمینان مقدار ضریب کاهش سختی τ_b برابر ۱ فرض شود میبایست سازه را به میزان 50% برای بار مجازی جانبی بیشتری تحلیل کرد.

$$B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} \leq 1.5 \quad 2-2-2$$

در مواردی که نسبت جابجایی نسبی مرتبه دوم به جابجایی نسبی مرتبه اول معادل ۱.۵ یا کوچکتر از آن باشد، مقاومت‌های مورد نیاز اعضا باید از یکی روش‌های مشخص شده زیر تعیین شود:

2-2-2-1- روش طول موثر^۶

این روش همان روش قدیمی آیین‌نامه AISC می‌باشد و در آن از ضریب طول موثر K بزرگتر از ۱ استفاده می‌شود. مطابق آیین‌نامه AISC360-05 تنها در صورت برقراری شرط $B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} \leq 1.5$ (نسبت جابجایی ثانویه به جابجایی اولیه) مجاز به استفاده از روش طول موثر خواهیم بود.

2-2-2-2- طراحی با استفاده از تحلیل مرتبه اول^۷

شرط این روش در هر دو آیین‌نامه مبحث دهم (بند ۱۰-۲-۷-۱-۶) و AISC 360-05 یکسان است و باید جهت استفاده از این نوع آنالیز تمام این شروط همزمان برقرار باشد. مهمترین تفاوت استفاده از آنالیز مرتبه اول در روش حالت حدی مبحث دهم و روش حالت حدی AISC 360-05 در اینست که علاوه بر شروط بند ۱۰-۲-۷-۱-۶، در AISC 360-05 برای استفاده از روش تحلیل مرتبه اول میبایست لزوماً شرط $B_2 \leq 1.5$ نیز برقرار باشد.

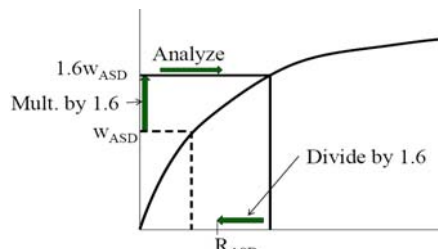
2-2-2-3- روش آنالیز مستقیم

این روش مطابق توضیحات قسمت ۳-۱ و برای همه حالات قابل استفاده است. مزایای روش آنالیز مستقیم عبارتند از:

موجود در این آیین‌نامه برای روش تنش مجاز صدق می‌کند:

$$\alpha = 1(LRFD), \quad \alpha = 1.6(ASD)$$

به عبارت دیگر در طراحی به روش تنش مجاز مطابق AISC 360-05 بارها در هنگام آنالیز ۱.۶ افزایش و سپس نتایج بر ۱.۶ تقسیم می‌شود که این موضوع در شکل ۳ توضیح داده شده است:



شکل ۳- الزام AISC 360-05 در لحاظ اثر مرتبه دوم در روش تنش مجاز

گرچه به دلیل عدم انطباق روش طراحی تنش مجاز آیین‌نامه AISC 360-05 با مبحث دهم (فصل ۱۰-۱) نیاز به لحاظ این تنظیمات نیست اما به طور کلی نرم افزار ETABS با انتخاب تنظیمات مربوط به انجام آنالیز مستقیم در آیین‌نامه AISC 360-05 قادر به لحاظ خودکار عملیات فوق برای هر کدام از روش‌های طراحی تنش مجاز و حالت حدی می‌باشد.

- برای اعضای که سختی محوری آنها در پایداری جانبی سازه مشارکت دارند، سختی محوری کاهش یافته $EA^* = 0.8EA$ بکار می‌رود.

در روش تحلیل مستقیم باید یکی از روش‌های کاهش سختی خمشی را به صورت ثابت یا متغیر انتخاب کرد. در حالت متغیر ضریب τ_b تابعی از نیروی محوری ستون‌ها خواهد بود در حالیکه در حالت سختی ثابت ضریب τ_b برابر ۱ بوده و نتیجتاً ضریب کاهش سختی خمشی برابر ۰.۸ خواهد بود.

در حالت ضریب کاهش سختی متغیر، ضریب بار مجازی برابر ۰.۰۰۲ می‌باشد اما در حالت انتخاب ضریب کاهش سختی ثابت این ضریب مقدار ۰.۰۰۳ خواهد

^۶ - Effective Length Method (ELM)

^۷ - Limited 1st Order

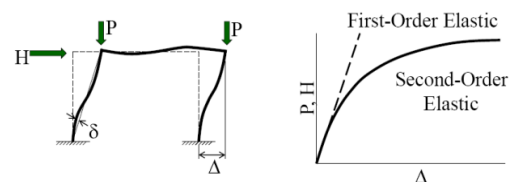
- مطابق آیین‌نامه AISC روش آنالیز مستقیم در هر دو صورت برقراری شرط $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ (نسبت جابجایی ثانویه به جابجایی اولیه)، قابل استفاده است بنابراین به عنوان روش جامع برای لحاظ اثر مرتبه دوم شناخته می‌شود.
- در صورت انجام تحلیل آنالیز مستقیم، نیازی به کنترل طبقه مهار شده و نشده برای سازه‌ها نیست. در این روش ضریب K برای همه ستون‌ها برابر ۱ انتخاب می‌شود و آنالیز سریع‌تر انجام می‌شود.
- انجام آنالیز مستقیم توسط کاربر ساده‌تر از روش ضریب طول موثر است و منجر به نتایج واقعی‌تر از سازه می‌شود.

۳- روش‌های لحاظ اثرات ثانویه^۸:

روش عمومی تحلیل مرتبه دوم (تحلیل غیرخطی هندسی پی دلتا) و روش مرتبه اول تشدید شده به عنوان دو روش لحاظ اثر ثانویه شناخته می‌شوند که در آیین‌نامه‌های پیشین و فعلی AISC و مبحث دهم معرفی شده است.

۳-۱- تحلیل الاستیک عمومی مرتبه دوم^۹

تحلیل الاستیک عمومی عبارت است از هریک از روش‌های الاستیک مرتبه دوم که در آنها تاثیرهای پی دلتا بزرگ و کوچک به طور همزمان مورد توجه قرار گرفته باشد. (می‌توان از نرم افزار ETABS جهت آنالیز جانبی $P-\Delta$ و ثقلی $P-\delta$ تحت بار جانبی کمک گرفت)



شکل ۳- بررسی اثر پی دلتا بزرگ و کوچک

۳-۲- تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید شده^{۱۰}

در این حالت لنگر و نیروی محوری بر حسب لنگر و نیروی محوری با فرض عدم انتقال جانبی قاب P_m و M_m و لنگر و نیروی محوری با فرض انتقال جانبی قاب P_m و M_m مطابق روابط C2-1a,b از AISC360-05 (بند ۱۰-۲-۷-۱-۴ مبحث دهم) محاسبه می‌شوند.

$$M_r = B_1 M_m + B_2 M_{lt} \quad P_r = P_m + B_2 P_{lt}$$

بزرگترین مشکل کنونی نرم افزار طراحی سازه ETABS در استفاده از روش طول موثر در تحلیل پایداری، عدم امکان تعیین ضریب B_2 توسط این نرم افزار می‌باشد که باعث می‌شود این ضریب همواره مقدار پیش فرض ۱ منظور شود که برای استفاده از این روش و پوشش ضعف موجود مجبور به استفاده از فرضیاتی در روند تحلیل هستیم.

مطابق آیین‌نامه AISC360-05 هر دو روش لحاظ اثرات ثانویه در هر دو صورت برقراری شرط $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ قابل استفاده است. با این تفاوت که در حالت $B_2 \leq 1.5$ باید بار حداقل جانبی معادل 0.002 بار ثقلی طراحی وارد بر هر طبقه، در ترکیبات بارگذاری صرفاً ثقلی منظور شود درحالی‌که اگر $B_2 > 1.5$ میبایست بار فرضی را در تمام ترکیبات بار جمع کرد. به غیر از مورد ذکر شده تفاوت دیگری میان روابط مبحث دهم (در فصل حالت حدی) و آیین‌نامه AISC360-05 در لحاظ اثر مرتبه دوم وجود ندارد.

۴- لحاظ اثر مرتبه دوم در ETABS

در نرم افزار ETABS (نسخه‌های ۹.۵ به بعد) انواع روش‌های تحلیل پایداری موجود در AISC 360-05 در تنظیمات آیین‌نامه طراحی سازه قابل استفاده و تغییر می‌باشد.

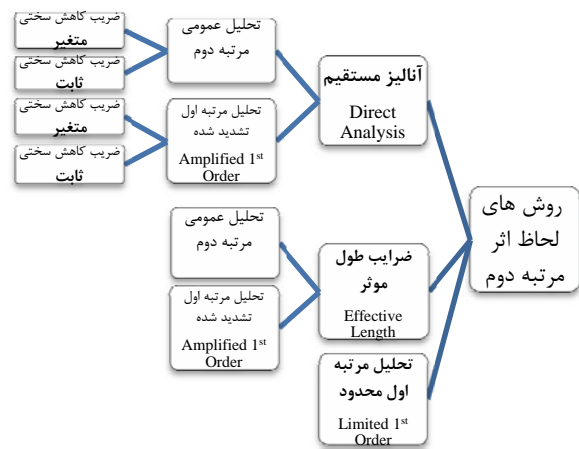
^۸ - Second Order Method

^۹ - General 2nd Order

^{۱۰} - Amplified 1st Order

۴-۱- انواع روش های لحاظ اثر مرتبه دوم طبق AISC 360-05 در ETABS

با توجه به اینکه از میان روش های آنالیز مرتبه دوم تنها در آنالیز مستقیم امکان انجام تحلیل با دونوع سختی ثابت و سختی کاهش یافته اعضا امکان پذیر است، بنابراین به طور کلی ۷ روش لحاظ آثار مرتبه دوم طبق AISC 360-05 در ETABS خواهیم داشت. روابط و حالات مندرج در جدول ۲-۱ از راهنمای آیین نامه AISC360-05 موجود در ETABS به طور خلاصه در شکل ۴ نشان داده شده است.

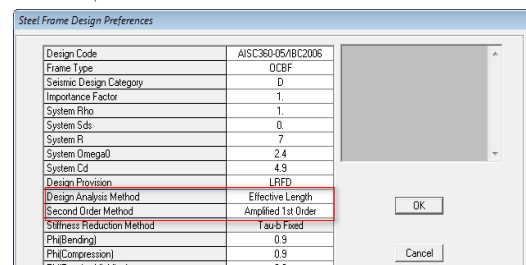


شکل ۴- انواع روش های لحاظ اثر مرتبه دوم طبق

ETABS در AISC360-05

۴-۲- نحوه تنظیمات اثر مرتبه دوم مطابق مبحث دهم در ETABS :

مطابق شکل ۵ در تنظیمات آیین نامه AISC360-05 در ETABS ، گزینه Design Analysis Method مربوط به انتخاب نوع آنالیز و گزینه Second Order Method مربوط به انتخاب نحوه لحاظ اثر مرتبه دوم می باشد.



شکل ۵- تنظیمات تحلیل پایداری سازه طبق AISC360-

ETABS در 05

بند ۱۰-۲-۷-۱-۵ مبحث دهم مربوط به طراحی اعضا با لحاظ آثار مرتبه دوم است. مطابق این بند به طور کلی جهت لحاظ اثر مرتبه دوم میبایست از دو روش عمومی تحلیل غیرخطی هندسی و ضرایب تشدید لنگر (بندهای ۱۰-۲-۷-۳ و ۱۰-۲-۷-۴) یک روش انتخاب و اعمال شود. تنظیمات هر کدام از دو روش فوق در ETABS در ادامه توضیح داده می شود. لذا حالات موجود در تحلیل پایداری سازه در ETABS عبارتند از :

۱. مرتبه اول محدود

Design Analysis Method	Limited 1st Order
------------------------	-------------------

۲. طول موثر با روش عمومی تحلیل مرتبه دوم

Design Analysis Method	Effective Length
Second Order Method	General 2nd Order

۳. طول موثر با روش تشدید لنگر های خمشی

Design Analysis Method	Effective Length
Second Order Method	Amplified 1st Order

۴. آنالیز مستقیم با روش عمومی تحلیل مرتبه دوم

Design Analysis Method	Direct Analysis
Second Order Method	General 2nd Order
Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed

۵. آنالیز مستقیم با روش تشدید لنگر های خمشی

Design Analysis Method	Direct Analysis
Second Order Method	Amplified 1st Order
Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed

چنانچه آنالیز مستقیم با لحاظ ضریب کاهش سختی متغیر مدنظر باشد از جعبه Stiffness Reduction Method عبارت Tau-b Variable و برای آنکه ضریب کاهش سختی ثابت در نظر گرفته شود گزینه Tau-b Fixed انتخاب می شود (با شرط اعمال بار های مجازی جانبی به مقدار ۰.۰۰۳ برابر بارهای ثقلی موجود)

۵- نتیجه گیری:

به طور کلی طبق ضوابط AISC 360-05 به طور پیش فرض در تمام حالات می توان سازه را با روش آنالیز مستقیم با حساب محدودیت های سختی محوری

شدن طرح بخصوص برای قاب‌های مهار شده میبایست پذیرفت. در حال حاضر این می تواند بهترین توجیه در برتری استفاده از روش تحلیل عمومی پی دلتا در نرم افزار نسبت به مرتبه اول تشدید شده جهت آنالیز مرتبه دوم باشد.

در نسخه پیش نویس AISC 2010 [مرجع ۴] روش آنالیز مستقیم که هم اینک به عنوان پیوست ۷ از آیین نامه AISC 360-05 در دسترس است جای روش های سنتی تحلیل پایداری سازه را خواهد گرفت و به عنوان روش پیش فرض و اصلی آیین نامه جهت لحاظ اثر مرتبه دوم سازه های فولادی تبدیل خواهد شد. گرچه این روش در آخرین ویرایش از مبحث دهم (ویرایش ۱۳۸۷) گنجانده نشده است اما مزایای این روش به ویژه در طراحی با نرم افزار باعث شده تا در انتظار درج تنظیمات این روش در ویرایش های بعدی مبحث دهم در کنار روش های سنتی تحلیل باشیم ضمن اینکه به جهت سهولت طراحی و مزایای آنالیز مستقیم در نرم افزار ETABS آشنایی مهندسين با این روش خود می تواند مهم و ضروری باشد.

جدول ۱- تغییرات کلی پیش رو در AISC 2010

فصول مربوطه از آیین نامه های		عنوان بند
AISC 2010	AISC 2005	
C3	C1.2	پایداری اعضا
C1.51	پیوست ۷	روش آنالیز مستقیم
پیوست ۷ (۷.۲)	C2.2a	روش طول موثر
پیوست ۷ (۷.۳)	C2.2b	روش مرتبه اول محدود شده
پیوست ۸	C2.1b	اثرات ثانویه (B_1, B_2)

و خمشی اعضا تحلیل کرد مگر آنکه بعد از انجام تحلیل اولیه مشخص شود که $B_2 \leq 1.5$ است که در این صورت می توان از یکی از سه روش آنالیز مستقیم، مرتبه اول تشدید یافته یا مرتبه اول محدود شده تحلیل را مجدداً انجام داد.

روش آنالیز مستقیم که روش جدید آیین نامه AISC برای در نظر گرفتن اثر مرتبه دوم است کامل ترین و دقیق ترین روش می باشد که در آن اثرات کاهش سختی محوری و خمشی ناشی از تنش های پسماند به صورت مستقیم اعمال می شود به علاوه از آنجا که برای هر دو حالت $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ قابل استفاده است نیاز به تحلیل مجدد را از بین می برد بنابراین منجر به تحلیل سریعتر و منطبق تر با واقعیت سازه می شود.

از آنجا که فعلاً این روش در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان درج نشده است لذا با توجه به توضیحات این مقاله، در حال حاضر استفاده از یکی از دو روش سنتی آنالیز طول موثر و یا مرتبه اول محدود شده با انتخاب نوع روش لحاظ اثر ثانویه به یکی از دو گزینه آنالیز مرتبه اول تشدید یافته یا آنالیز عمومی تحلیل مرتبه دوم لحاظ اثرات پی دلتا امکان پذیر است.

با تغییراتی که در شیوه منظور کردن اثر مرتبه دوم در آیین نامه AISC 360-05 و مبحث دهم (فصل ۱۰-۲) مشاهده می شود، و نیز عدم امکان تعیین مقدار B_2 توسط نرم افزار، برای مطابقت سازی روابط این دو آیین نامه و نهایتاً اطمینان استفاده از روابط آیین نامه ای در ETABS، تقریب‌ها و فرضیاتی را جهت دست بالا

۶- مراجع:

۱. مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۸۷
۲. مجتبی اصغری سرخی، احمدرضا جعفری مولفان کتاب "راهنمای طراحی سازه های فولادی به روش حال حدی و تنش مجاز" چاپ اول، انتشارات علم عمران، پاییز ۱۳۸۹
3. AISC (2005), Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL, March 9, 2005.
4. AISC 2010-Public Review Draft dated April 17, 2009
5. ETABS v.9.6 AISC360-05/IBC2006 Manual
6. AISC "Design Steel your way II, Efficient Analysis for Steel", 2010 Seminar

7. Jason R Ericksen, CSC (2010) ,“How To Guide for the Direct Analysis Method”.Webinar_Slides
8. Christopher m. Hewitt (2008)”Stability Analysis It’s not as Hard as You Think”
9. Justin Prajzner (2006),“Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures”
10. Donald W. White¹, Andrea E. Surovek, Bulent N. Alemdar, Ching-Jen Chang (2006), ”Stability Analysis and Design of Steel Building Frames Using the 2005 AISC Specification”
11. Suroveck,S.E. and Zienmian, R.D. (2005), “The Direct Analysis Method: Bridging the Gap from Linear Elastic Analysis to Advanced Analysis in Steel Frame Design”, Structures Congress, New York, April 2005.
12. Ken Hwa (2003)“Toward Advanced Analysis In Steel Frame Design”