

روش های لحاظ اثر مرتبه دوم Stability Analysis

(مقایسه مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷ با AISC 360-05)

نویسنده: مجتبی اصغری سرخی

moitaba808@yahoo.com

مؤلف کتاب: راهنمای طراحی سازه‌های فولادی به روش حالت حدی و تنش مجاز،

انتشارات علم عمران-پاییز ۸۹

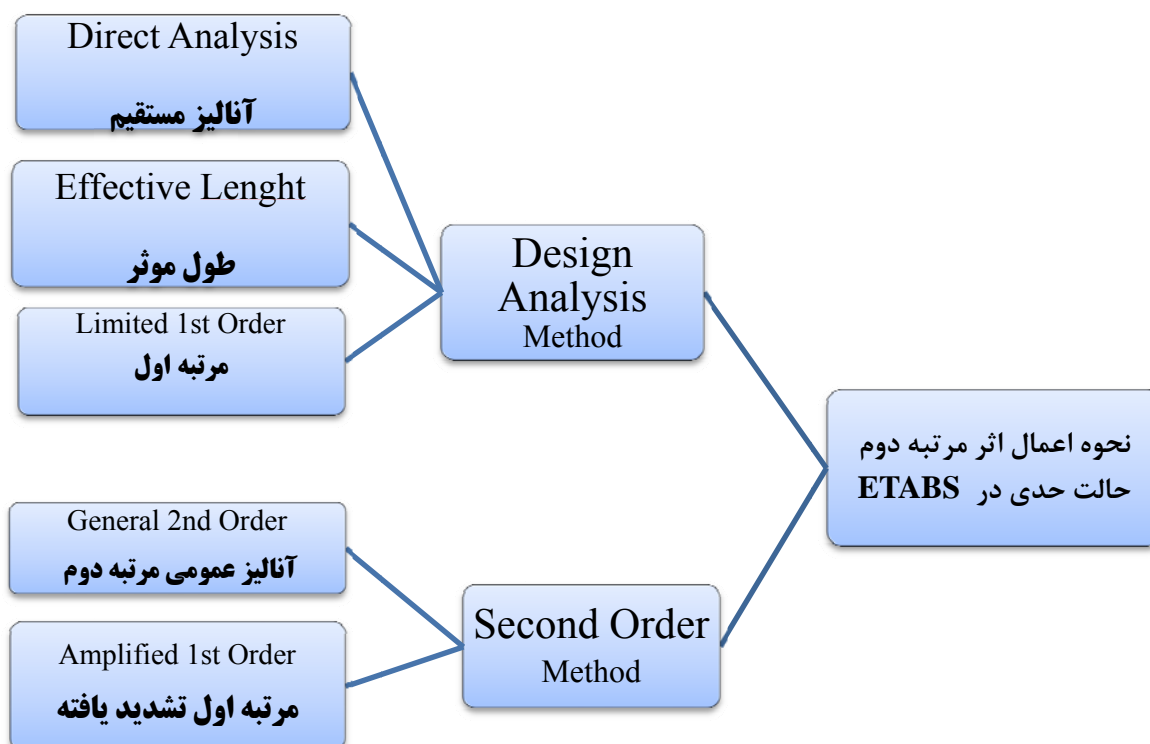
ضوابط تحلیل مرتبه دوم در AISC 360-05

در مبحث دهم ویرایش سال ۱۳۸۷ تغییرات نسبتاً زیادی در ارتباط با تحلیل مرتبه دوم نسبت به آیین‌نامه AISC 360-05 ایجاد شده که از آنجا که روش طراحی سازه‌های فلزی به روش حالت حدی در کشور بر مبنای مبحث دهم است اما نرم‌افزارهای طراحی سازه مانند ETABS با آیین‌نامه AISC 360-05 این طراحی را انجام می‌دهند

بنابراین نیاز است تا علاوه بر شرح روابط مندرج در مبحث دهم، روابط مندرج در آیین‌نامه AISC 360-05 نیز آورده شود تا کاربر با مطالعه دو روش، با موارد تغییرات مورد نیاز در ETABS، آشنا شود. در این پژوهش سعی شده توضیحات مندرج در آیین‌نامه AISC 360-05 و تفاوت‌های آن با ضوابط همین قسمت از مبحث دهم در حالت حدی مطرح شود.

شرح ضوابط لحاظ آثار مرتبه دوم مطابق AISC 360-05

انواع روش های لحاظ آثار مرتبه دوم در شکل زیر نشان داده شده است. (محدودیت‌های مندرج در بندهای C-2-1، C-2-2 و پیوست 7 آیین‌نامه AISC 360-05)



روش های طراحی با لحاظ آثار مرتبه دوم : Design Analysis Method

مطابق AISC 360-05 انتخاب روش لحاظ آثار مرتبه دوم وابسته به یکی از شرایط $B_2 > 1.5$ یا $B_2 \leq 1.5$ ، یکی از سه روش آنالیز مستقیم ، روش طول موثر و مرتبه اول 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 مجاز می داند.

$$\text{الف) } B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} > 1.5$$

مقاومت های مورد نیاز اعضا میبایست به طور کلی با استفاده از تحلیل مرتبه دومی که در زیر می آید مشخص شود مگر حالتی که $B_2 \leq 1.5$ باشد. مقدار این نسبت را می توان با مقایسه نتایج 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 میباشد.

• آنالیز مستقیم Direct Analysis

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 و در دو حالت سختی متغیر و سختی کاهش یافته قابل تعریف می باشد. در مبحث دهم اشاره ای به این روش و روابط وابسته به آن نشده است در زیر نکات لحاظ روش آنالیز مستقیم در آیین نامه AISC 360-05 شرح داده شده است :

- ۱- ضرایب B1 و B2 بر اساس سختی های کاهش یافته تعریف می شوند.
- ۲- اگر $B_2 > 1.5$ 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 $B_2 > 1.5, B_2 \leq 1.5$ استفاده از خروج از مرکزیت هندسی فرضی به جای استفاده از بار فرضی و یا حداقل بار جانبی تعریف شده در تحلیل سازه مجاز است.
- ۳- سختی کاهش یافته باید $EI = 0.8\tau_b EI$ در همه اعضایی که سختی خمشی آنها در پایداری جانبی سازه مشارکت دارند استفاده شود.

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

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

- ۴- سختی محوری کاهش یافته $EA^* = 0.8EA$ باید برای اعضایی که سختی محوری آنها در پایداری جانبی سازه مشارکت دارند بکار رود.
- در روش تحلیل مستقیم باید یکی از روش های کاهش سختی خمشی را به صورت ثابت و متغیر انتخاب کرد. در حالت متغیر ضریب τ_b تابعی از نیروی محوری ستون ها خواهد بود. در حالت سختی ثابت ضریب τ_b برابر 1.0 بوده و کاهش سختی خمشی برابر 0.8 خواهد بود.
- در حالت ضریب کاهش سختی متغیر ضریب بار مجازی برابر 0.002 میباشد اما در حالت انتخاب ضریب کاهش سختی ثابت این ضریب مقدار 0.003 خواهد بود. یعنی چنانچه در جهت اطمینان مقدار ضریب کاهش سختی τ_b برابر 1 فرض شود میبایست سازه را به میزان 50% بار مجازی جانبی بیشتری تحلیل کرد.

روش آنالیز مستقیم برای هر دو حالت $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ قابل استفاده است.

$$B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} \leq 1.5 \text{ (ب)}$$

در مواردی که نسبت جابجایی نسبی مرتبه دوم به جابجایی نسبی مرتبه اول معادل 1.5 یا کوچکتر از آن باشد، $B_2 = \Delta_{2nd} / \Delta_{1st} \leq 1.5$ ، مقاومت‌های مورد نیاز اعضا باید از یکی روش‌های مشخص شده زیر تعیین شوند:

• روش طول موثر **Effective Length**

این روش همان روش قدیمی آیین‌نامه AISC می‌باشد و در آن از ضریب طول موثر K بزرگتر از 1 استفاده می‌شود. در این روش اثرات ثانویه با اعمال تحلیل $P - \Delta$ یا محاسبه ضریب تشدید لنگر در نظر گرفته می‌شوند.

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.

• طراحی با استفاده از تحلیل مرتبه اول **Limited 1st Order**

شروط 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.

• روش تحلیل مستقیم **Direct Analysis** (مطابق حالت الف و برای هر دو حالت $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$)

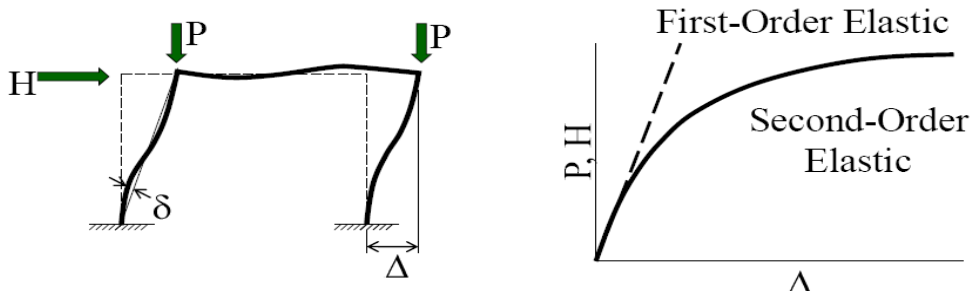
مزایای روش آنالیز مستقیم:

- ✓ مطابق آیین‌نامه AISC روش آنالیز مستقیم در هر دو صورت برقراری شرط $B_2 < 1.5, B_2 \geq 1.5$ (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 1 انتخاب می‌شود.
- ✓ انجام آنالیز مستقیم توسط کاربر ساده‌تر و سریع‌تر از روش ضریب طول موثر **Effective Length** می‌باشد و منجر به نتایج واقعی‌تر از سازه می‌شود.

➤ روش های لحاظ کردن اثرات ثانویه Second Order Method :

• تحلیل الاستیک عمومی مرتبه دوم General 2nd Order

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



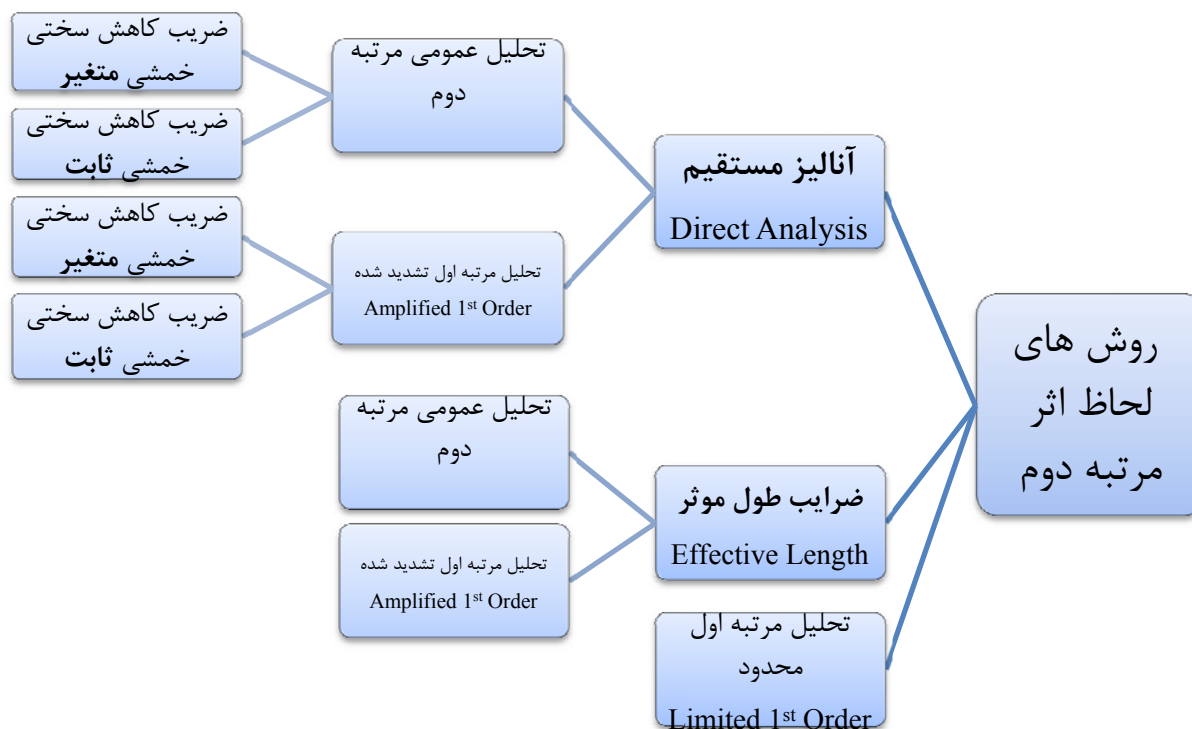
• تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید شده Amplified 1st Order

در این حالت که روش کلی تشدید لنگر محسوب می شود باید 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 مندرج در قسمت ب از بند نظیر در مبحث دهم (۱۰-۲-۷-۱-۴) محاسبه شوند.

مطابق آیین نامه AISC360-05 در هر دو صورت برقراری شرط $B_2 \leq 1.5, B_2 > 1.5$ (نسبت جابجایی ثانویه به جابجایی اولیه) این روش ها قابل استفاده است. با این تفاوت که در حالت $B_2 \leq 1.5$ باید در ترکیبات بارگذاری صرفاً ثقلی، بار حداقل جانبی معادل 0.2 درصد بار ثقلی طراحی وارد بر هر طبقه به صورت مستقل از هم و در دو جهت عمود بر هم، منظور شود. در این مورد به غیر از تفاوت ذکر شده در سایر موارد نسبت به قسمت الف تفاوتی وجود ندارد. در غیر اینصورت یعنی اگر $B_2 > 1.5$ میبایست بار فرضی را در تمام ترکیبات بار جمع کرد.

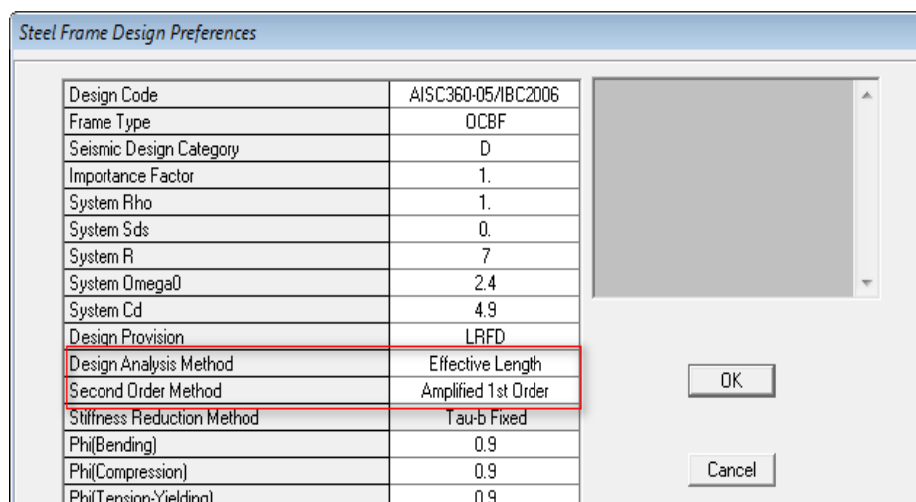
با توجه به آنکه از میان روش های آنالیز مرتبه دوم تنها در تحلیل آنالیز مستقیم امان انجام تحلیل با دینوع سختی ثابت و سختی کاهش یافته اعضا امکان پذیر میباشد، بنابراین به طور کلی ۷ روش لحاظ آثار مرتبه دوم مطابق AISC 360-05 در ETABS خواهیم داشت.

روابط و حالات مندرج در AISC 360-05 مطابق جدول ۲-۱ از راهنمای آیین نامه AISC360-05 موجود در ETABS در نمودار زیر نشان داده شده است.



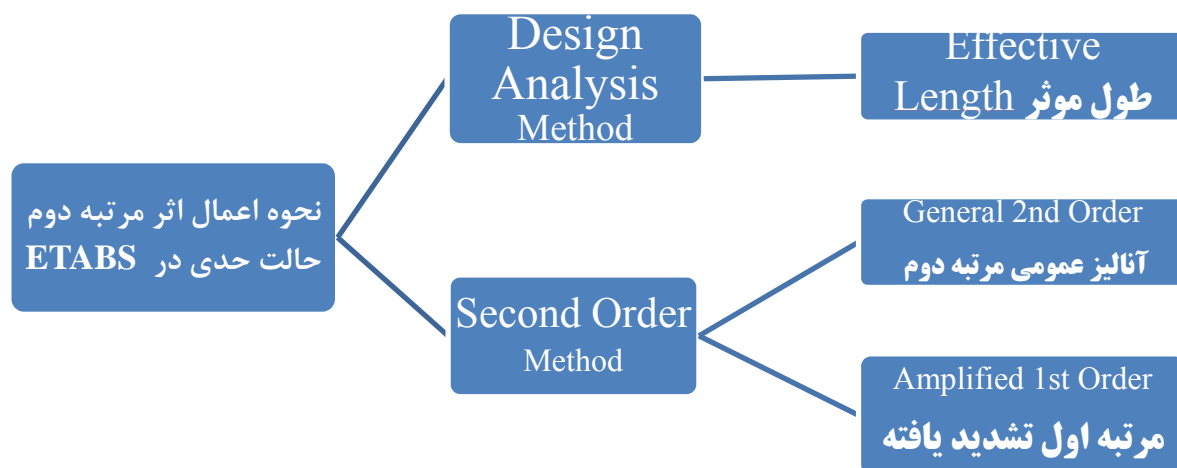
◀ نحوه تنظیمات در نظر گرفتن اثر مرتبه دوم مطابق مبحث دهم در ETABS :

مطابق شکل زیر در تنظیمات آیین نامه AISC360-05 در ETABS ، گزینه های Design Analysis Method و Second Order Method مربوط به لحاظ اثر مرتبه دوم می باشد



در مبحث دهم بند ۱۰-۲-۷-۱-۵ مربوط به طراحی اعضا با لحاظ کردن آثار مرتبه دوم است. در این بند نحوه لحاظ کردن این آثار توضیح داده شده 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 ۱۰-۲-۷-۱-۳ و ۱۰-۲-۷-۱-۴) یک روش انتخاب و اعمال شود. تنظیمات هر کدام از دو روش فوق در ETABS در ادامه توضیح داده می‌شود.

بنابراین مطابق توضیحات بخش چهارم از بین انواع روش‌های لحاظ مرتبه دوم در حالت حدی روش طول موثر یا Effective Length مطابقت بیشتری با مبحث دهم دارد لذا گزینه‌های موجود جهت لحاظ آثار مرتبه دوم در ETABS موارد زیر می‌باشد



روش عمومی تحلیل مرتبه دوم (تحلیل غیرخطی هندسی) در ETABS

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

روش تشدید لنگرهای خمشی (Amplified 1st Order) در ETABS

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

➤ نحوه لحاظ آنالیز مستقیم در نرم افزار های CSI :

Direct Analysis using **ETABS v.9.6** :

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

چنانچه آنالیز مستقیم با لحاظ ضریب کاهش سختی متغیر مدنظر باشد از کشوی 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 (به شرطیکه بار های مجازی جانبی به میزان 0.001 بیشتر منظور شود)

Direct Analysis Method using **SAP2000 v. 11.0.7** :

Steel Frame Design Preferences for AISC360-05/IBC2006

Item	Value
1 Design Code	AISC360-05/IBC2006
2 Time History Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	Tau-b Variable
16 Phi(Compression)	Tau-b Fixed
17 Phi(Tension-Yielding)	No Modification
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No
24 Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes

Item Description

Stiffness Reduction Method: This is either "Tau-b Variable", "Tau-b Fixed", or "No Modification" indicating the stiffness reduction method used to analyze the structure. The design module does not verify the acceptability of the selected method. The user is expected to verify the acceptability of the selected method. The program sets the appropriate stiffness modification factors for the selected analysis method. The user is expected to set the appropriate notional loads for the stiffness reduction method selected.

Explanation of Color Coding for Values

Blue: Default Value

Black: Not a Default Value

Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values: All Items Selected Items

Reset To Previous Values: All Items Selected Items

OK Cancel

به طور خلاصه طبق ضوابط AISC 360-05:

به طور پیش فرض در تمام حالات می توان سازه را با روش آنالیز مستقیم با حساب محدودیت‌های سختی تحلیل کرد مگر آنکه $B_2 \leq 1.5$ باشد که در این صورت می توان از یکی از سه روش آنالیز مستقیم، مرتبه اول تشدید یافته یا مرتبه اول بدون نیاز به تشدید نیرو به کار برده شود.

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.

در کشور هایی که از آیین نامه AISC360-05 جهت طراحی سازه ها در نرم افزار ها استفاده می شود به طور عام از روش آنالیز مستقیم جهت آنالیز مرتبه دوم استفاده می شود. اما از آنجا که فعلا این روش در مبحث دهم درج نگردیده است بنابراین با توجه به توضیحات این فصل استفاده از یکی از دو روش آنالیز Effective Length و یا Limited 1st Order (ترجیحا از این مورد استفاده نشود)، با انتخاب نوع روش آنالیز به یکی از دو گزینه آنالیز مرتبه اول تشدید یافته Amplified 1st Order یا آنالیز عمومی تحلیل مرتبه دوم لحاظ اثرات پی دلتا General 2nd Order توصیه می شود.

با تغییراتی که در شیوه منظور کردن اثر مرتبه دوم در آیین نامه AISC 360-05 و مبحث دهم وجود دارد استفاده از اثر مرتبه دوم را به مهمترین قسمت اضافه شده به مبحث دهم تبدیل ساخته که برای مطابقت سازی روابط این دو آیین نامه باید تقریب‌ها و فرض‌هایی جهت دست بالا شدن طرح بخصوص برای قاب‌های مهار شده پذیرفت که موارد و نکات موجود در زمینه چگونگی مطابقت سازی این دو آیین نامه در این روش در فصل سوم از بخش چهارم به طور کامل مورد بررسی قرار می گیرد. اهمیت این مطابقت سازی در استفاده از آیین نامه‌های طراحی نرم افزارهایی چون ETABS و تسریع در روند طراحی سازه‌ها بروش حالت حدی در نرم افزار است.

در نسخه پیش نویس AISC 2010 که به زودی نسخه نهایی آن نیز منتشر خواهد شد روش آنالیز مستقیم که هم اینک به عنوان پیوست 7 از آیین نامه AISC 360-05 در دسترس میباشد جای روش سنتی ضرایب طول موثر را که در Chapter C هم اینک قابل دسترس است، خواهد گرفت و به عنوان روش پیش فرض و اصلی آیین نامه جهت لحاظ اثر مرتبه دوم سازه های فلزی تبدیل خواهد گشت.

بنابراین گرچه این روش در آخرین ویرایش از مبحث دهم (ویرایش ۱۳۸۷) گنجانده نشده است اما به جهت سهولت طراحی و مزایای آنالیز مستقیم در نرم افزار ETABS آشنایی مهندسی با این روش مهم و ضروری میباشد.

	2005	2010
Member Stability	C1.2	C3
Direct Analysis Method	Appendix 7	1.51
Effective Length Method	C2.2a	Appendix 7 (7.2)
First-Order Analysis Method	C2.2b	Appendix 7 (7.3)
Approximate Second-Order Analysis (B1,B2)	C2.1b	Appendix 8

تغییرات کلی صورت گرفته در AISC 2010 نسبت به AISC 2005

➤ مراجع و منابع :

• مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۸۷

- AISC-360-2005
- AISC 2010-Draft
- ETABS AISC360-05/IBC2006 Manual
- CSI DAM Guide Manual
- AISC “Design Steel your way II, Efficient Analysis for Steel”, 2010 Seminar, www.aisc.org
- Jason R Ericksen, CSC (2010), “How To Guide for the Direct Analysis Method”. Webinar_Slides, www.cscworld.com
- Christopher m. Hewitt (2008) ”Stability Analysis It’s not as Hard as You Think”
- Justin Prajzner (2006), “Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures”
- 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”
- Surovek, 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.
- Ken Hwa (2003) “Toward Advanced Analysis In Steel Frame Design”