

طراحی آنالیز کمانشی برای قاب های فولادی :



The University of Sydney

**School of Civil Engineering
Sydney NSW 2006
AUSTRALIA**

<http://www.civil.usyd.edu.au/>

Centre for Advanced Structural Engineering

Buckling Analysis Design of Steel Frames

Research Report No R891

N S Trahair BSc BE MEngSc PhD DEng

June 2008

ISSN 1833-2781

چکیده:

آئین نامه های طراحی ، معمولاً اطلاعات کافی برای سازه های فولادی خارج از شکست صفحه ای را ندارند و آن چه که طراحی می شود معمولاً بیشتر از طراحی مورد نیاز می باشد . روش های طراحی با استفاده از آنالیز کمانش الاستیک برای تیرها در آئین نامه ها آورده شده است و توسعه این روش، برای طراحی ستون ها نیز پیشنهاد شده است . با توجه به این مهم که آئین نامه ای جهت طراحی تیر و ستون در دسترس نمی باشد . در آئین نامه ها تنها طراحی تیر ، با استفاده از کدهای طراحی آورده شده است که منجر به برآورد میزان مقاومت اسمی ، میزان گنجایش لنگر و میزان ماکزیمم لنگر در ناحیه الاستیک می باشد . با استفاده از برنامه های کامپیوتری صحت روش های طراحی سنجیده شده است. با استفاده از روش های مذکور میزان لنگر اسمی مقطع محاسبه خواهد شد و جهت طراحی در حالت الاستیک ، بار وارد بر مقطع در حالت الاستیک محاسبه خواهد شد .

در آئین نامه های طراحی فرمولی جهت طراحی تیر ستون پیشنهاد نشده است. ولی جهت طراحی تیر و ستون آئین نامه های متعددی صحبت کرده اند و در ضمن وسعت روش برای طراحی قاب در آئین نامه های طراحی ، ممکن نبوده است. در نهایت این تحقیق که شامل بحث و بررسی روش مذکور در تیر - ستون¹ می باشد با دو مثال

¹Beam -column

جهت طراحی قاب ، به تشریح روش گفته شده ، جهت طراحی اقتصادی و سودمند پرداخته است .

مقدمه :

طراحی تیر در حالت خارج از صفحه ای^۲، شکست خمشی - پیچشی^۳ ، با استفاده از آنالیز کمانشی^۴ بازه بزرگتری را نسبت به روش های تقریبی کمانشی طراحی شده در آئین نامه های طراحی (AS14100) دارد . این روش طراحی در EC3 به کار گرفته شده است (برای تیر وستون) اما هیچ آئین نامه طراحی به طراحی تیر_ستون اشاره نکرده است.

در طراحی تیر بر اساس روش آنالیز کمانشی از فرمول های موجود در آئین نامه های طراحی، برای محاسبه ی مقاومت اسمی (M_{bX}) ، روابط ظرفیت مقطع (M_{SX}) و لنگر الاستیک (M_{OO}) که در جهت حمایت از خمش مقطع می باشد، استفاده می شود. طراحی ستون ها نیز همچون تیرها در آئین نامه های طراحی آورده شده است. جهت طراحی از فرمول های موجود در آئین نامه های طراحی برای محاسبه مقاومت اسمی مقطع N_{cy} روابط موجود برای ظرفیت مقطع N_s و بار کمانشی ستون N_{oc} استفاده می شود .

²Flexural- torsional

³Out -of- plane

⁴bukling

به عبارت دیگر ، قضیه اساسی ، در آنالیز الاستیک کمانش خارج از صفحه ای، برآورد بار مورد نیاز می باشد، که باید اندازه گرفته شود.

آنالیز کمانش الاستیک خارج از صفحه ای تیر و ستون به موارد زیر وابسته می باشد ::

a= سطح مقطع ، طول ، مدول الاستیسیته مقطع

b= میزان توزیع لنگر ، بار فشاری وارده ، ارتفاع بار

C= مهارها

d= یکنواختی سطح مقطع

e= اثر متقابل آنها

تاثیر مدول الاستیک ، خصوصیات سطح مقطع ، میزان طول برای حالت اساسی و همچنین فرمول بندی آن در رفرنس [۱و۲و۶]، آورده شده است ولی در رفرنس [۳] از آن صحبت نشده است . تاثیر توزیع لنگر تقریباً در تمامی رفرنس ها [۱و۲و۳و۶] آورده شده است . همچنین تاثیر ارتفاع بار در کدهای طراحی [۱-۲] آورده شده است.

همچنین گیرداری می تواند گسترده یا متمرکز باشد می تواند صلب باشد و یا انعطاف پذیر باشد طول گیرداری ممکن است انتقال پیدا کند چرخش پیدا کند ، پیچش پیدا کند و یا پیچانده شود تاثیر انتقال و یا چرخش مهار گیرداری وابسته به ارتفاع می باشد . هیچ آئین نامه ای به طور کامل بر روی تاثیر گیرداری بحث نکرده

است . مرجع [۲۰۱] به صورت جزئی در مورد پیش‌انتهایی صحبت کرده است . و کدها [۶۰۲] در مورد چرخش الاستیک در انتها و همچنین جلوگیری چرخش در مرکز جسم صحبت کرده است.

برخی از آئین‌نامه‌های طراحی [۶۰۲] ، محدوده‌ی تقریبی تاثیر غیر یکنواختی سطح را آورده است.

آئین‌نامه‌های طراحی با فرض این مهم که این تاثیرات وابسته نمی باشد، بنابراین می توان به صورت جداگانه رفتار شود (به جز رفرنس ۷) ، بنابر این نقص این روش جهت استفاده از آنالیز کمانش الاستیک اندازه گیری بار و لنگر می باشد.

به هر حال جهت طراحی ، می توان از بعضی از رفرنس های موجود [۸-۹] جهت استفاده از روش مذکور با برنامه های کامپیوتری استفاده کرد ، همچنین در رفرنس [۹] به برنامه آباکوس و تونایی برنامه اشاره شده است . جهت استفاده از این برنامه ها باید روش صحیح و موثر طراحی را بشناسیم .

به هر حال ، طراحی تیر_ستون با استفاده از روش آورده شده در آئین‌نامه ها ، به این طریق (روش آئین‌نامه ای) قابل انجام نمی باشد . حتی اگر برآورد بار الاستیک مورد نیاز مقطع به درستی انجام گیرد جهت طراحی تیر_ستون آئین‌نامه روشی را برای طراحی الاستیک بار کمانشی مطرح نکرده است . و تنها ، آئین‌نامه به صورت جداگانه

به طراحی تیر و ستون در معادله ی اثر متقابل اشاره کرده است . همچنین طراحی قاب ها در آئین نامه آورده نشده است.

هدف اصلی این تحقیق نمایش استفاده از فرمول های تیر و ستون جهت طراحی تیر _ستون می باشد

طراحی آنالیز کمانشی : آیین نامه های طراحی ، میزان لنگر مقاوم مقطع برای اثر مضاعف متقارن تیر در خمش یکنواخت برای دستیابی به لنگر، که بر اثر کمانش موجی -پیچش به وجود آمده است، را به صورت زیر محاسبه می کند :

$$M_{\infty} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_y}{L^2} \left(GJ + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2} \right)}$$

در فرمول بالا E مدول یانگ و G مدول برشی می باشد L_y, L_w لنگر دوم سطح ومدول سطح می باشند و همچنین L طول می باشد

اکثر آئین نامه های طراحی به صورت تقریبی اثر خمش غیر یکنواخت حمایت کننده ی تیر بار گزاری شده را با استفاده از فرمول زیر محاسبه می کنند :

$$M_u = \alpha_u M_w \quad (2)$$

که در فرمول بالا میزان α_m با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود [۱].

$$\alpha_m = \frac{1.7M_m}{\sqrt{(M_2^2 + M_3^2 + M_4^2)}} \leq 2.5$$

در فرمول بالا M_m میزان لنگر ماکزیمم و M_1, M_2, M_3 لنگر وارد شده در نقطه اول دوم و سوم تیر می باشد. تاثیر حداکثر ارتفاع و طول مهار گیری در بعضی کدها آورده شده است که جهت محاسبه آن از طول موثر در فرمول آورده شده استفاده می شود [۱-۲].

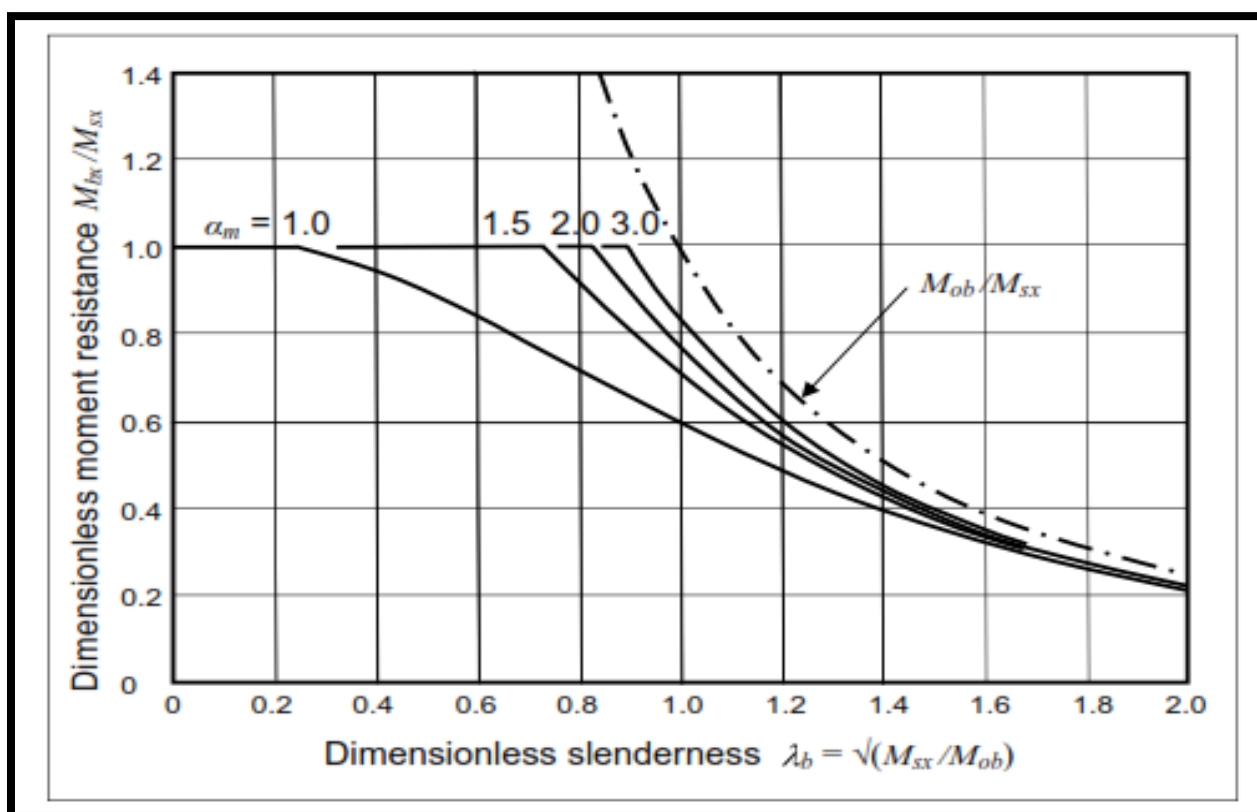
روش طراحی آنالیز کمانشی در کدهای آئین نامه استرالیا استفاده از آنالیز کمانش الاستیک می باشد. همچنین از فرمول زیر جهت به دست آوردن لنگر ماکزیمم استفاده می کنیم:

$$\frac{M_{bx}}{M_{sx}} = 0.6\alpha_m \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{\alpha_m M_{sx}}{M_{ob}} \right)^2 + 3 \right]} - \left(\frac{\alpha_m M_{sx}}{M_{ob}} \right) \right\} \leq 1$$

می توان اط فرمول بالا ، جهت اندازه گیری میزان لنگر اسمی M_{bx} و همچنین میزان ظرفیت ماکزیمم لنگر M_{sn} که موجب کاهش لنگر کلی پلاستیک M_{px} برای کمانش کلی خواهد شد (استفاده کرد

میزان نسبت لنگر $\frac{M_{bx}}{M_{sn}}$ به همراه لاغری و α_m در ادامه آورده شده است .

زمانی که مقدار α_m افزایش یابد میزان لنگر M_{bx} به حد الاستیک M_{bx} نزدیک خواهد شد.



شکل (۱)، کمانش جانبی لنگر مقاوم تیر در آئین نامه ی AS41100

طراحی ستون : روش طراحی اساسی برای ستون ها با در نظر گیری فشار در آئین نامه های طراحی ، استفاده از آنالیز کمانشی پیچشی الاستیک می باشد. که جهت دستیابی به لنگر ماکزیمم از فرمول زیر استفاده می شود

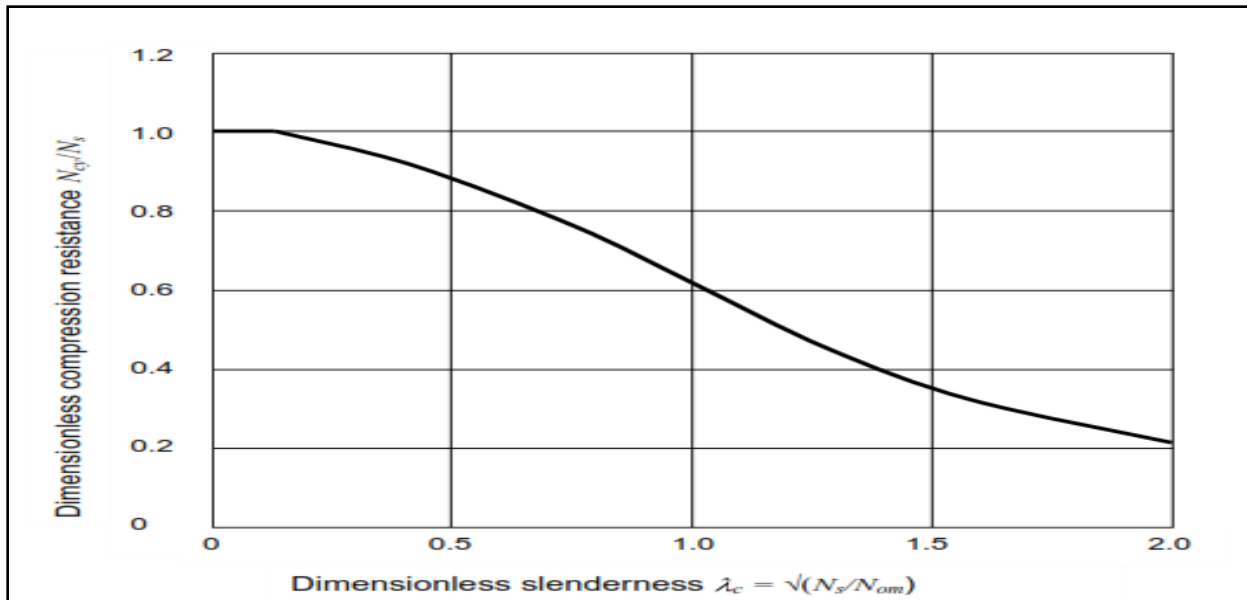
$$N_{oc} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2}$$

بسیاری از آئین نامه های طراحی ، روش هایی را جهت تخمین شکست و محاسبه ی طول مهار و جایگزین کردن طول با طول موثر می دانند . روش های طراحی توسط آنالیز کمانشی بر اساس آئین نامه ی استرالیا برای محاسبه ی میزان مقاومت اسمی مقطع ، به شکل زیر نوشته می شود

$$N_{cy} / N_s = 1.003 + 0.095\lambda_c - 0.832\lambda_c^2 + 0.409\lambda_c^3 - 0.058\lambda_c^4 \leq 1$$

در معادله ی بالا، N_s ، ظرفیت اسمی مقطع (بر اثر بار الاستیک برای تاثیر کمانش کلی به کار گرفته خواهد شد) ، λ_c لاغری ستون ، N_{om} میزان بار کمانش الاستیک می باشد که جهت طراحی از کدهای موجود در آئین نامه استفاده شده است.

میزان عدد محاسبه شده در فرمول بالا در مقابل لاغری در ادامه آورده شده است:



شکل (۲)، کماتش جانبی بار فشاری ستون در آئین نامه ی AS41100

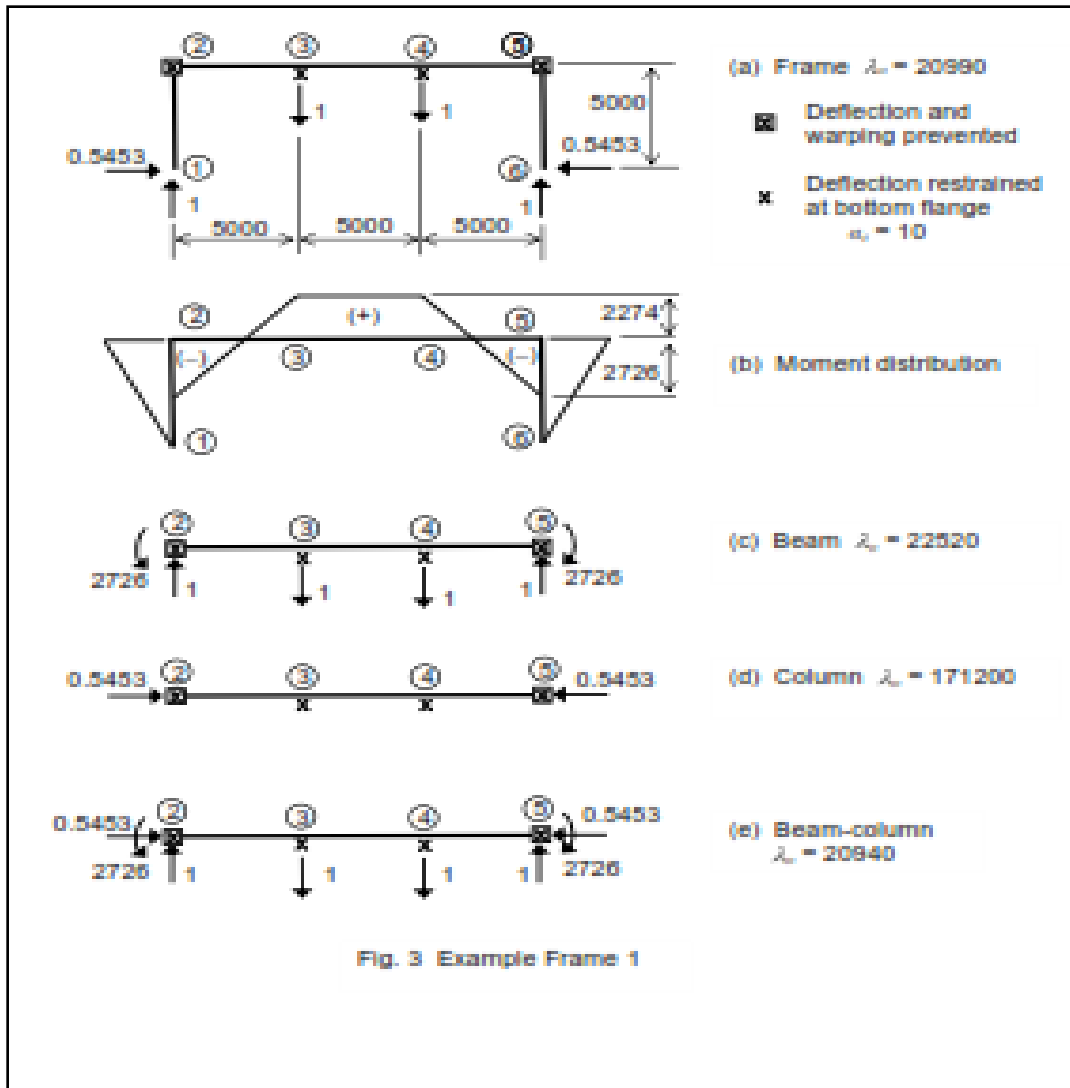
طراحی تیر ستون و قاب : آئین نامه های طراحی اجازه استفاده از فرمول های خارج از صفحه ای را برای قاب ها و تیر ستون ها نخواهد داد، به همین دلیل عضوهای تیر ستون موجود در قاب به صورت جداگانه با استفاده از فرمول اثر همزمان خارج از صفحه ای طراحی خواهند شد .

$$\frac{N_{max}}{N_{cy}} + \frac{M_{max}}{M_{br}} = 1$$

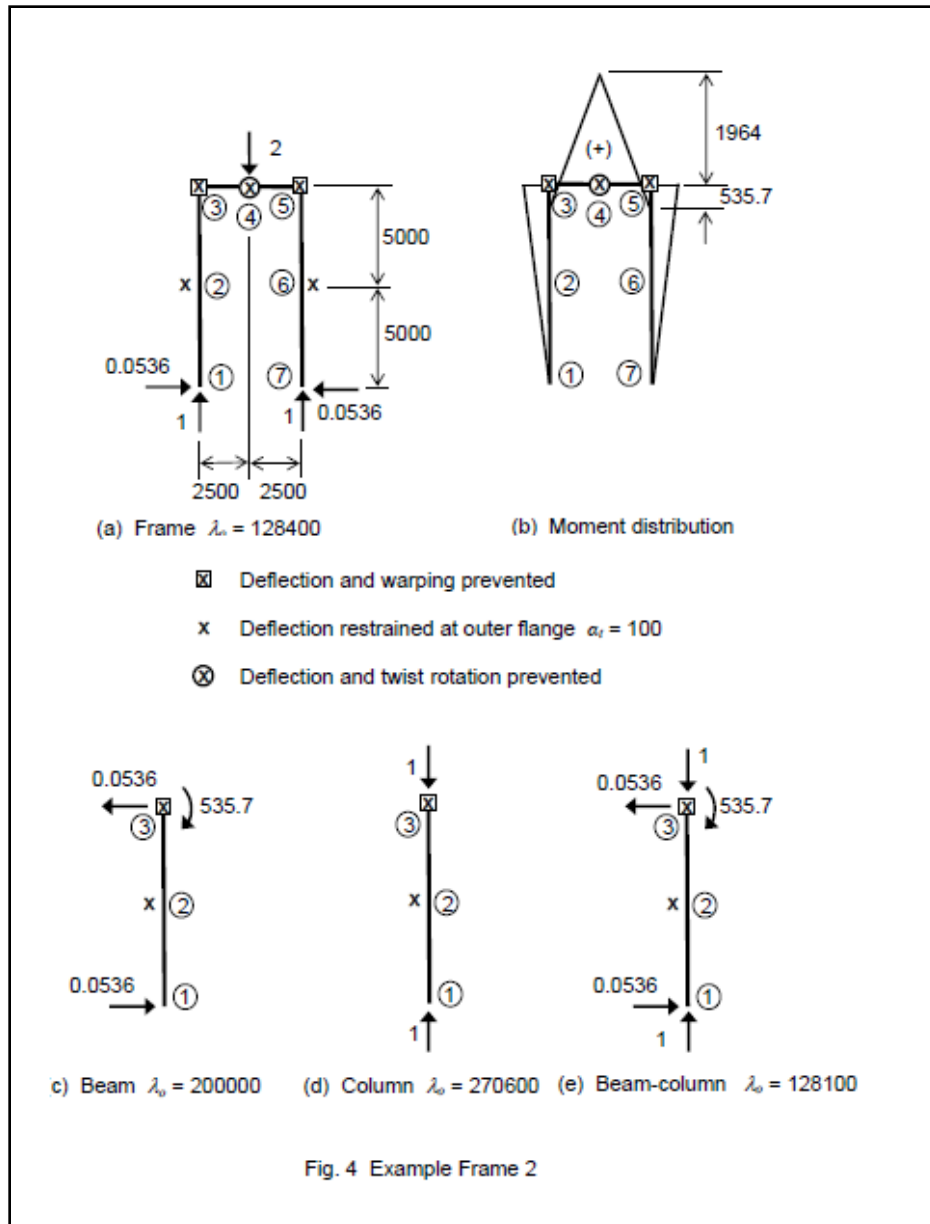
در این طراحی N_{max} و M_{max} مقادیر ماکزیمم اسمی طراحی می باشد (این مقادیر بر اثر استفاده از فاکتورهای مقاومتی کاهش می یابد.) بنابراین تیر_ستون ها باید ابتدا

جهت طراحی به عنوان تیر فرض شود و در نهایت به صورت ستون فرض شود و در انتها با استفاه از فرمول آورده شده به طراحی پرداخت.

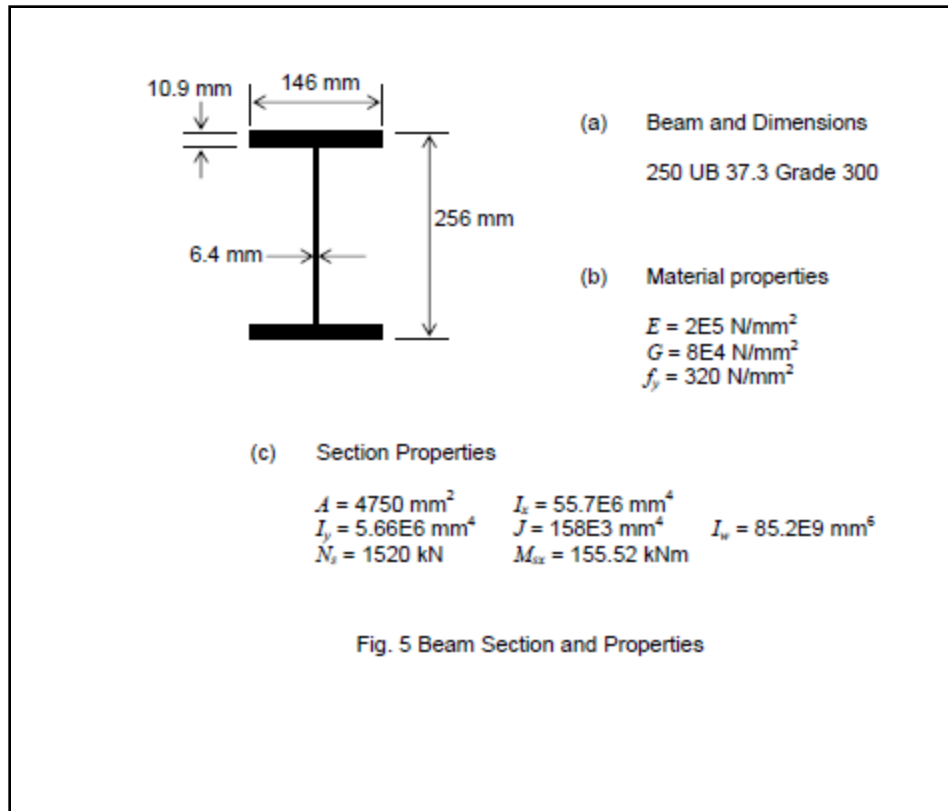
می توان از فرمول بالا برای طراحی قاب ها و تیر ستون ها استفاده کرد زمانی که هدف آنالیز های کمانشی ، اندازه گیری M_{max} ، N_{max} می باشد. جهت طراحی از دو قاب آورده شده در شکل ۳ و ۴ استفاده شده است. در نهایت خروجی های طراحی با روش های آئین نامه ای مقایسه شده است . در ادامه ابتدا شکل هایی که جهت طراحی قاب ها از آن استفاده شده است آورده می شود و در نهایت فرضیات مثال به همراه جداول استفاده شده شرح داده خواهد شد :



شکل (۳)، قاب در نظر گرفته شده برای مثال ۱



شکل (۴)، قاب در نظر گرفته شده برای مثال ۲



شکل (۵)، خصوصیات در نظر گرفته شده و برای مقاطع طراحی

مثال های طراحی شده:

عضو طراحی شده برای قاب پرتال در شکل ۳ نشان داده شده است، که در شکل ۵ خصوصیات مقطع آن آورده شده است. مقدار ضریب آلفا ۱۰ در نظر گرفته خواهد شد همچنین میزان توزیع لنگر و عکس العمل آن در شکل آورده شده است. جهت طراحی ابتدا اعضای تیری آن طراحی خواهد شد و سپس به سراغ ستون ها خواهیم رفت و در نهایت از فرمول آخر برای برقراری ارتباط استفاده می شود. خصوصیات طراحی آئین نامه استرالیا در جداول صفحات آتی آورده شده است:

اعضای قاب در شکل صفحه ی بعد آورده شده است . که خصوصیات آن به عنوان خصوصیات مقطع در شکل ۵ آورده شده است . اعضای افقی دارای بار مرکزی می باشند. (بر اساس معادله ی ۲) که این بار محوری در مرکز ثقل به کار گرفته خواهد شد در این مثال آلفا ۱۰ فرض خواهد شد، در مسائل درون صفحه ای میزان واکنش وارد بر مقطع و همچنین لنگر وارده آورده شده است در شکل ۴ آورده شده، طراحی ها با استفاده از اعضای عمودی انجام خواهد شد. روش NODBA در آئین نامه های استرالیایی در جدول ۱ خلاصه شده است . AS4100 (آئین نامه استرالیایی) هیچ گونه روشی را برای تارهای انتهایی پیشنهاد نمی کند. با استفاده از آئین نامه موجود می توان با استفاده از روش های کمانشی میزان لنگر در تیر و ستون را محاسبه کرد. که در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده آورده شده است.

جدول ۱ خلاصه استفاده از روش DBA را آورده است، با استفاده از روش الاستیک بار کمانشی M_{ob} ، M_{os} ، M_{oo} با استفاده از برنامه ی PRFLEB به دست آمده است. که در جهت انحراف و مهار گیری باقی مانده بار ایجاد شده در لبه طراحی شده است . که همانطور که دیده می شود مقدار N_{max} ، M_{max} بیشتر از حالت اندازه گیری شده در حالت بار کمانشی الاستیک می باشد.

Table 1 Elastic Buckling and Design

Quantity	Units	Frame 1		Frame 2	
		DBA	No DBA	DBA	No DBA
M_{ob}	kNm	61.38	–	107.12	–
M_{os}	kNm	45.79	–	72.12	–
M_{oo}	kNm	25.78	25.78	40.00	40.00
α_m	–	1.776	1.719	1.803	1.817
M_{ob}/α_m	kNm	34.56	25.78	59.42	40.00
M_{sx}	kNm	155.52	155.52	155.52	155.52
α_s	–	0.1931	0.1463	0.3127	0.2210
M_{bx}	kNm	53.34	39.10	87.68	62.45
N/M	–	0.2000	0.2000	1.867	1.867
N_s	kN	1520	1520	1520	1520
N_{om}	kN	93.32	49.66	270.63	111.72
N_{cy}	kN	89.03	48.34	243.59	105.82
M_{max}	kNm	42.87	30.29	47.20	26.74
N_{max}	kN	8.57	6.06	88.11	49.92

جدول (۱) آنالیز کمانشی الاستیک و طراحی

برنامه ی PRFELB قادر به محاسبه ی میزان فاکتور بار الاستیک λ_0 می باشد که در طراحی تیر-ستون ها و قاب ها از آن استفاده خواهد شد. که مقدار آن برای ۲ قاب محاسبه و آورده شده است. مقدار $\lambda_0 = 20940$ برای آنالیز کمانش الاستیک حساب شده است، که برای تیر ستون آنالیز آن در شکل ۳ آورده شده است و مقدار محاسبه شده با قاب کمی متفاوت می باشد و دلیل آن این می باشد که تیر-ستون در برابر پیچش محکم می باشد اما نسبت به چرخش عمودی آن در دو انتها آزاد می باشد

Table 2 Buckling Load Factors λ_0

	Frame 1	Frame 2
Beam	22520	20000
Column	171200	270600
Beam-Column	20940	128100
Frame	20990	128400

مثال دوم قاب طراحی شده : اعضای قاب در شکل ۴ نمایش داده شده اند . که خصوصیات در شکل 5a آورده شده است . اعضای افقی قاب دارای بار مرکزی نوین می باشد (بر اساس معادله ی ۲) که این بار در مرکز ثقل به کار می رود تمامی اعضای عمودی دارای مهارارتباطی در ناحیه الاستیک می باشند در این مقاله مقدار آلفا ۱۰ فرض خواهد شد در مسائل درون صفحه ای میزان واکنش و لنگر آورده شده است. روش NODBA در آئین نامه های استرالیایی در جدول ۱ خلاصه شده است . AS4100 (آئین نامه استرالیایی) هیچ گونه روشی را در زمانی که لبه بیرونی تارها لبه بیرونی الاستیک حساب شده باشد برای تارهای انتهایی پیشنهاد نمی کند. بنابراین ، از روش های معتبر، می توان برای اندازه گیری مقادیراسمی ماکزیمم N_{max} ، M_{max} استفاده کرد که مقادیر برای این دو عدد از روش به دست آمده از آنالیز کمانشی بالاتر می باشد، مقدار $12840 = \lambda_0$ برای قاب می باشد.

نتیجه گیری :

بر اساس آئین نامه های طراحی ، نتایج و روابط ، نشان دهنده اطلاعات کافی جهت طراحی تیر و ستون در آئین نامه های طراحی می باشد. روش طراحی آورده شده در مثال، استفاده از آئین نامه های استرالیا می باشد روش های طراحی ، برای تیر_ستون توسعه پیدا کرده است . جهت طراحی تیرها، با استفاده از آنالیز کمانشی از روش

های آورده شده در آئین نامه استفاده شده است و در نهایت میزان لنگر ماکزیمم و میزان ظرفیت حداکثر الاستیک و میزان لنگر اسمی در آنالیز کمانش الاستیک به دست آمده است . جهت طراحی ستون ها از میزان لنگر اسمی ، میزان لنگر ظرفیت مقطع حساب خواهد شد که جهت طراحی از روابط آئین نامه ای استفاده خواهد شد . با استفاده از برنامه های کامپیوتری این ۲ لنگر محاسبه خواهد شد، به هر حال آئین نامه های طراحی روش های طراحی تیر _ستون و قاب را نخواهد داشت .

این تحقیق شامل طراحی تیر _ستون ها و قاب ها با استفاده از برنامه های کامپیوتری خواهد بود .

با استفاده از آئین نامه موجود می توان با استفاده از روش های کمانشی میزان لنگر در تیر و ستون را محاسبه کرد. که در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده آورده شده است.

APPENDIX 2 NOTATION

A	area of cross-section
E	Young's modulus of elasticity
f_y	yield stress
G	shear modulus of elasticity
I_x, I_y	second moments of area about the x, y principal axes
I_w	warping section constant
J	torsion section constant
L	length
L_e	effective length
M	bending moment
M_{lx}	beam moment capacity
M_m	maximum moment in member
M_{max}	maximum nominal design moment
M_{ob}	maximum moment at elastic buckling
M_{ob0}	M_{ob} for a simply supported beam in uniform bending
M_{ob1}	M_{ob} for a simply supported beam with shear centre loading
M_{pxm}	fully plastic moment about the x axis
M_{sx}	section moment capacity
M_2, M_3, M_4	moments at quarter-, mid-, and three quarter-points
N	axial compression
N_{cy}	column compression capacity
N_{max}	maximum nominal design compression
N_{om}	N at elastic buckling
N_{op}	N_{om} for a simply supported column
x, y	principal axes
α_m	moment modification factor
α_s	slenderness reduction factor
α_r	stiffness of translational restraint
λ_b	modified beam slenderness
λ_c	modified column slenderness
λ_o	buckling load factor

APPENDIX 1 REFERENCES

- [1] SA. AS 4100-1998 *Steel structures*. Sydney: Standards Australia; 1998.
- [2] BSI. BS5950 *Structural Use of Steelwork in Building. Part 1:2000. Code of practice for design in simple and continuous construction: Hot rolled sections*. London: British Standards Institution; 2000.
- [3] BSI. Eurocode 3: *Design of steel structures: Part 1.1 General rules and rules for buildings, BS EN 1993-1-1*. London: British Standards Institution; 2005.
- [4] SA. AS 4100-1998 *Steel structures – Commentary*. Sydney: Standards Australia; 1998.
- [5] Trahair, NS, Bradford, MA, Nethercot, DA, and Gardner, L. *The behaviour and design of steel structures to EC3*, 4th edition. London: Taylor and Francis; 2008.
- [6] AISC. *Specification for structural steel buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction; 2005.
- [7] Trahair, NS. *Flexural-torsional buckling of structures*. London: E & FN Spon; 1993.
- [8] Papangelis, JP, Trahair, NS, and Hancock, GJ. *PRFELB – Finite element flexural-torsional buckling analysis of plane frames*, Sydney: Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney; 1997.
- [9] Papangelis, JP, Trahair, NS, and Hancock, GJ. Elastic flexural-torsional buckling of structures by computer. *Computers and Structures*, 1998; 68: 125 - 37.
- [10] HKS. *Abaqus user manual*. Pawtucket, RI, USA: Hibbitt, Karlsson and Sorensen; 2005
- [11] Trahair, NS and Chan, S-L. Out-of-plane advanced analysis of steel structures. *Engineering Structures*, 2003; 25: 1627-37.
- [12] Nethercot, DA and Trahair, NS. Inelastic lateral buckling of determinate beams. *Journal of the Structural Division, ASCE*, 1976; 102 (ST4): 701-17.
- [13] Trahair, NS and Rasmussen, KJR. Flexural-torsional buckling of columns with oblique eccentric restraints. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 2005; 131 (11): 1731-7.
- [14] Vacharajittiphan P and Trahair NS. Warping and distortion at I-section joints. *Journal of the Structural Division, ASCE*, 1974; 100 (ST3): 547-64.
- [15] Pi, Y-L and Trahair, NS. Distortion and warping at beam supports. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 2000; 126 (11): 1279-87.