

مقارنة الاختلافات حول طرق تصميم الأعمدة المركبة المغلقة بالبيتون وفق الكودات التصميمية المختلفة

الباحثة: م. وعد يازجي

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

ملخص

يقارن هذا البحث بشكل مبسط فلسفة التصميم الخاصة بالأعمدة المركبة المغلقة بالبيتون وذلك بناء على الاشتراطات الموجودة في كودات التصميم الحالية التي اهتمت بالإنشاء المختلط وهي AISC LRFD الأمريكي و EC4 Part 1.1 الأوروبي و BS 5400 البريطاني.

تضمنت الدراسة عوامل التصميم المستخدمة ومقارنة بين المقاومة الاسمية المحسوبة من خلال الكودات الثلاثة ، ثم مقارنة ما بين هذه المقاومات والنتائج المخبرية المتوفرة. اختلفت النتائج نسبياً ما بين الكودات الثلاثة في بعض الحالات، ويعود هذا الأمر إلى الاعتبارات التصميمية المختلفة المعتمدة في هذه الكودات.

بشكل عام تعتبر الطرق التصميمية المتبعة في الكودات الثلاثة طرقاً محافظة غالباً مقارنة مع نتائج الاختبار، مع التنويه إلى عدة نقاط سجلت لصالح الكود الأوروبي من حيث شموليته ومجال تطبيقه الواسع الانتشار. وأخيراً تم الوصول لعدة نتائج وإرشادات حول تصميم هذه الأعمدة، وأعطيت بعض الأفكار حول الأبحاث المستقبلية المطلوبة.

Differences about composite encased columns design methods in the designing codes

ABSTRACT

This paper presents comparison between the design assessments of concrete encased I-sections columns based on the approaches given in AISC LRFD, Eurocode 4: Part 1.1, BS 5400: Part 5.

This study includes the design parameters, comparison of the nominal Strength predicted by the three codes and comparison of the predicted strengths with the available test results.

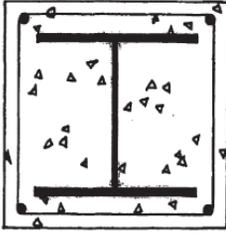
In some cases, results obtained from the above three codes may vary considerably. This is because of the different design considerations adopted in these codes. However, the design methods are found to be mostly conservative when compared with the test results. With a notice that Eurocode 4: Part 1.1 has major factors in its favour in terms of its comprehensiveness and wide scope of application.

Finally, some results and recommendations were achieved about designing composite columns.

Keywords : Composite columns; Encased section; Steel-concrete ; composite

1- مقدمة

يجمع نظام الإنشاء المركب من البيتون والفولاذ ما بين صلابة وقابلية تشغيل البيتون المسلح مع المقاومة العالية للفولاذ الإنشائي وذلك بهدف الوصول لمنشأ اقتصادي.



ونجد خاصية إضافية تميز الأعمدة المركبة المغلفة بشكل خاص، وهي أن البيتون المستخدم لتغطية الفولاذ لا يرفع من صلابته فقط بل أيضاً يخفف من التحنيب الموضعي

للعمود ويحميه من مخاطر الحريق لما هو معروف **الشكل (1) الأعمدة المغلفة**

عن البيتون كمادة عازلة جيدة ضد الحريق.

كما وجدت الأعمدة المركبة استحساناً في الأبنية العالية المتعددة الطوابق كبديل للأعمدة البيتونية في العقود الماضية حيث كانت أهم ميزات استخدامها هي الحصول على مقطع عرضي أصغر وقدرة مقاومة أكبر من العنصر البيتوني، وتوفير في زمن الإنشاء، ولدونة (مطاوعة) وصلابة أكبر تفيد في حالة الحمولات المتكررة والمنعكسة تستخدم في الأنظمة المقاومة للحمولات الجانبية، وميزة مقاومة الحريق مقارنة مع العمود الفولاذي، وسعة تحمل أكبر تبعاً للعمل المشترك بين الفولاذ والبيتون.

تستخدم حالياً طرق شائعة لتصميم الأعمدة المركبة والتي هي :

- الكود الأوروبي الرابع الجزء (1-1) والذي يشار إليه EC4 [6] وقد أسست الطريقة من قبل الباحث Roik عام 1989 [10].
- الكود البريطاني الجزء الخامس والذي يشار إليه ب BS 5400 [4] وقد تم وضع المواصفات من قبل Basu عام 1969 [2] ، وقد تم تعديلها من قبل Viridi عام 1973 [13].
- الكود الأمريكي والذي يشار إليه AISC LRFD [9] والذي طبق مفهوم هذه الطريقة هو Furlong عام 1976 [8]. كما نجد اشتراطات تصميمية للأعمدة المركبة في الكود الأمريكي ACI_318 [1].

هدف البحث :

هدف هذا البحث هو حساب وتقدير الحمولة العظمى للأعمدة المركبة المغلفة بالبيتون وفقاً للطرق الموجودة في الكودات العالمية ومقارنة الاختلافات، وإلقاء الضوء على أوجه التشابه بين طرق حساب المقاومة الاسمية الموجودة في هذه الكودات. وأيضاً مقارنة هذه الطرق مع نتائج اختبار أعمدة مركبة مغلفة بالبيتون منجزة من قبل باحثين آخرين.

تبين الفقرة التالية رموز الاختصارات ودلالاتها:

A_g مساحة المقطع العرضي للمقطع الفولاذي

AC	مساحة البيتون	A_r	مساحة فولاذ حديد التسليح وفق AISC
AS	مساحة فولاذ التسليح وفق EC4 أو مساحة المقطع الفولاذي BS 5400		
C_r	سماكة التغطية البيتونية		
C_1, C_2, C_3	معاملات عديدة		
E_a	معامل مرونة المقطع الفولاذي	E_c	معامل مرونة البيتون الطويل الأمد
E_{cm}	معامل البيتون اللحظي	E_r	معامل مرونة حديد التسليح AISC
E_s	معامل مرونة حديد التسليح EC4 أو معامل مرونة المقطع الفولاذي BS 5400		
F_y	المقاومة المميزة للمقطع الفولاذي	F_{yr}	المقاومة المميزة لفولاذ التسليح
f_{cc}	المقاومة المميزة للبيتون مع تأثير التطويق		
f_{ck}	المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون		
f_{cu}	المقاومة المميزة المكعبية للبيتون		
f_{ry}	اجهاد خضوع حديد التسليح	f_y	المقاومة المميزة للمقطع الفولاذي
h	الارتفاع الكلي للعمود المركب	b	عرض العمود المركب
L_e	الطول الفعال للعمود	w	كثافة البيتون
I_a	عزم عطالة المقطع الفولاذي AISC	I_c	عزم عطالة البيتون
I_s	عزم عطالة التسليح EC4 أو عزم عطالة المقطع الفولاذي BS 5400		
M	السعة العزمية للعمود	M_u	العزم الأقصى للعمود
N	الحمولة المحورية للعمود	N_u	حمولة انهيار العمود
r_y	نصف قطر العطالة حول المحور الثانوي		
S	معامل المقطع اللدن	α_c	عامل المقاومة للبيتون
λ	نسبة النحافة للعمود	μ	نسبة العزوم المقاومة

γ_a عامل أمان جزئي للمقطع الفولاذي

γ_c عامل أمان جزئي للبيتون γ_s عامل أمان جزئي للتسليح

2- المقارنة بين الطرق الثلاثة:

يبين الجدول التالي (1) بعض العبارات والمواصفات المستخدمة في الكودات الثلاثة

كما وردت فيها والتي تمت مقارنتها في البحث وهي: درجة البيتون ودرجة الفولاذ، نسبة مساهمة الفولاذ، النخافة الحديدية، نسبة التسليح، التحنيب الموضعي، معامل مرونة البيتون، عوامل الأمان الجزئية للمواد وللحمولة بحالة الحدود القصوى.

العبرة	الكود التصميمي	المواصفات
Items	Code	Specifications
Steel	EC4	Fe 360 (235 N/mm ²), Fe 430 (275 N/mm ²) and Fe 510 (355 N/mm ²) when thickness, $t \leq 40$ mm [3.2.2]
	BS 5400	Grade 43 (275 N/mm ²) or 50 (355 N/mm ²), $t \leq 16$ mm [11.1.2.1]
	LRFD	A36 (248 N/mm ²), A50 (345 N/mm ²), A55(379 N/mm ²) [12.1(d)]
Concrete	EC4	$f_{ck} \leq 50$ N/mm ² where f_{ck} is the concrete cylinder strength [3.1.2.2]
	BS 5400	$f_{cu} \geq 20$ N/mm ² for concrete filled tubes $f_{cu} \geq 25$ N/mm ² for concrete encased sections ^a where f_{cu} =concrete cubic strength [11.1.2.2]
	LRFD	$20.7 \text{ N/mm}^2 \leq f'_c \leq 55.1 \text{ N/mm}^2$ for normal weight concrete $f'_c \geq 27.6 \text{ N/mm}^2$ for lightweight concrete where f'_c =concrete cylinder strength [12.1(c)]
Steel contribution ratio	EC4	$0.2 \leq \delta \leq 0.9$, where δ is the ratio of the contribution of the steel section to total axial capacity. [4.8.3.1.(3)]
	BS 5400	Encased steel sections: $0.15 \leq \alpha_c \leq 0.8$ Hollow steel sections: $0.1 \leq \alpha_c \leq 0.8$ where α_c is the ratio of the concrete contribution to total axial capacity [11.4.1]
	LRFD	Cross-sectional area of steel section $\geq 4\%$ of total cross-sectional area [12.1(b)]
Limiting slenderness	EC4	$\lambda \leq 2.0$ about any axis of bending [4.8.3.1.(3)]
	BS 5400	Ratio of effective length to least lateral dimension of composite column should not exceed 30 for concrete encased sections

	LRFD	$KL/r \leq 200$, where KL is the effective length and r is the radius of gyration of the section.
Steel reinforcement	EC4	$0.3\% \leq A_s/A_c \leq 4\%$ for concrete encased columns In concrete filled hollow sections normally no reinforcement is required except for fire resistance [4.8.3.1.(3)]
	BS 5400	For concrete encased columns: stirrups to be placed throughout length of column, spacing not to exceed 200 mm. At least 4 longitudinal bars to be provided [11.3.9]
	LRFD	Not less than 0.007 in^2 (0.178 mm^2) of reinforcement per inch (25.4 mm) of bar spacing. [I2.1b]
Modulus of elasticity of concrete	EC4	From EC2, $E_{cm} = 9.5(f_{ck} + 8)^{0.33}$, where E_{cm} is in kN/mm^2 and f_{ck} is the 28 day concrete cylinder strength in N/mm^2 [3.1.4.1]
	BS 5400	450 times f_{cu} [11.3.1]
Partial safety factor for material at ULS	EC4	Steel section: 1.1 Concrete: 1.5 Steel reinforcement: 1.15 Shear connector: 1.25 [2.3.3.2]
	BS 5400	Steel section: 1.1 Concrete: 1.5 Steel reinforcement: 1.15 Shear connector: 1.10 [4.2.1]
	LRFD	Compression: $1/0.85 = 1.18$ Flexure: $1/0.9 = 1.11$
Partial safety factor for load at ULS	EC4	1.35 Dead Load + 1.5 Imposed Load [2.3.3.1]
	BS 5400	(1.05~1.20) Dead Load + (1.3~1.5) Imposed Load, Johnson [12]
	LRFD	1.20 Dead Load + 1.6 Imposed Load [4.4.1]

^a f_{cu} of 20 and 25 N/mm^2 will be equivalent to 16 and 20 N/mm^2 cylinder strength, respectively, assuming that concrete cylinder strength is 0.8 f_{cu} .

(1) الجدول

العبارات المستخدمة في الكودات الثلاثة كما وردت حول تصميم الأعمدة المركبة

تبين الفقرات التالية أهم الاختلافات بين الكودات المدروسة :

1-2معامل مرونة البيتون :

هو الميزة الأساسية للمادة والتي تم تعريفها بشكل مختلف من قبل الكودات الثلاثة عند حساب نسبة نحافة العمود، وذلك بسبب أن علاقة E_c لا تمتلك قيمة ثابتة، وهو ينقص عندما يزداد الإجهاد.

يبين الجدول التالي القيم المفضلة لمعامل مرونة البيتون والتي ينصح باستخدامها في الكودات الثلاثة:

الكود	معامل مرونة البيتون	القيم بدون عوامل
Codes	Modulus of Concrete, E_c	Unfactored Value ^c
EC4	$0.8 E_{cm}/1.35^a$	$0.8 E_{cm}/1.35$
BS 5400	$450 f_{cu}$	$670 f_{cu}$
LRFD	$w^{1.5} \sqrt{f'_c}$ ^b	$w^{1.5} \sqrt{f'_c}$

^a E_c should be modified accordingly if conditions of long term effect are satisfied.

^b w is the unit weight of concrete in lb/ft^3 , f'_c is the concrete cylinder strength in ksi and E_c gives result in ksi.

^c This value is used to evaluate the test results with no factor of safety.

(2) الجدول

القيم المفضلة والتي ينصح باستخدامها لمعامل مرونة البيتون

أما الجدول التالي (3) يعطي أمثلة عن قيم معامل مرونة البيتون المحسوبة وفقاً للجدول (2) من أجل درجات مختلفة من البيتون.

تم استخدام البيتون العادي بكثافة 2400 kg/m^3 وأعطيت درجة البيتون إما اسطوانية أو مكعبية مثلاً C25/30 أي الاسطوانية 25 N/mm^2 والمكعبية 30 N/mm^2

Codes	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
EC4	17.2	18.1	19.0	19.9	20.7	21.3	21.9
BS 5400	11.3	13.5	16.7	20.3	22.5	24.8	27.0
LRFD	21.5	24.1	26.4	28.5	30.5	32.3	34.0
$670 f_{cu}$	16.8	20.1	24.8	30.2	33.5	36.9	40.2

تنويه: في السطر الرابع حسب القيم وفق BS5400 بدون عوامل أمان

الجدول (3)

معامل مرونة البيتون محسوباً باستخدام الكودات الثلاثة

إن الاختلاف السابق في حساب معامل مرونة البيتون يمكن أن يعزى إلى تضمين عامل الزحف في الحساب، واستخدام أو عدم استخدام المقطع المتشقق. نلاحظ من الجدول (3) أنه ليس بالإمكان أن نستنتج أي من الكودات يعطي التوقع الأكثر محافظة، وهذا لأن نتائج المقارنة يجب أن تعتمد على تحديد المنحني الذي تم استخدامه وعلى تفاصيل أخرى في التصميم، أي يجب إجراء تقييم كامل لعدد كبير من الحالات قبل الوصول لأي استنتاجات.

➤ يلاحظ أن القيم المحسوبة باستخدام الكود EC4 في الجدول (3) هي أعلى

قليلاً وذلك لأن تأثير الزحف قد تم اعتباره بشكل منفصل.

➤ أما قيم E_C المحسوبة وفق الكود BS 5400 فهي أقل نسبياً وذلك من أجل درجات أقل للبيتون، وذلك بسبب أخذ تأثير الزحف بعين الاعتبار وأيضاً بسبب اعتبار أن المقطع البيتوني غير متشقق. أما عند درجات أعلى للبيتون تكون قيم E_C المستنتجة من BS 5400 أكبر من قيم EC4.

➤ فيما أعطت مواصفات LRFD القيم الأعلى بشكل واضح حيث تم استخدام المقطع المتشقق في التحليل.

➤ في الكود EC4 تم استخدام قيمة EC لحساب الصلابة الانعطافية المرنة الفعالة للمقطع العرضي، وقيمة E_{cm} لمعامل مرونة البيتون تحت تأثير تحميل قصير الأمد.

2-2 نسبة النحافة:

يبين الجدول التالي (4) علاقات نسبة النحافة وفق الكودات الثلاثة.

مع ملاحظة أن قيم E_C المستخدمة في حساب نسبة نحافة الأعمدة في الكودين EC4 ، LRFD لا تتضمن عوامل أمان، أما في الكود BS 5400 فقد تضمن حساب نسبة النحافة عامل أمان جزئي γ_r γ_s γ_c .

إذا تم استخدام قيمة E_C المضروبة بعامل، فإن هذا سيؤدي إلى تخفيض في نسبة نحافة العمود، وبالتالي سيقود إلى زيادة في قدرة تحمل العمود.

Codes	Non-dimensional slenderness, λ Concrete encased sections
EC4	$\frac{l_e}{\pi} \left(\frac{A_s f_y + 0.85 A_c f_{ck} + A_s f_{sk}}{E_a I_a + 0.8 E_{cm} I_c / 1.35 + E_s I_s} \right)^{1/2}$
BS 5400	$\frac{l_e}{\pi} \left(\frac{A_s f_y / \gamma_s + A_c f_{cu} / \gamma_c + A_s f_{ry} / \gamma_r}{E_s I_s + E_c I_c + E_r I_r} \right)^{1/2}$
LRFD	$\frac{l_e}{r_m \pi} \left(\frac{F_y + 0.7 F_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + 0.6 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right)}{E + 0.2 E_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right)} \right)^{1/2}$

(4) الجدول

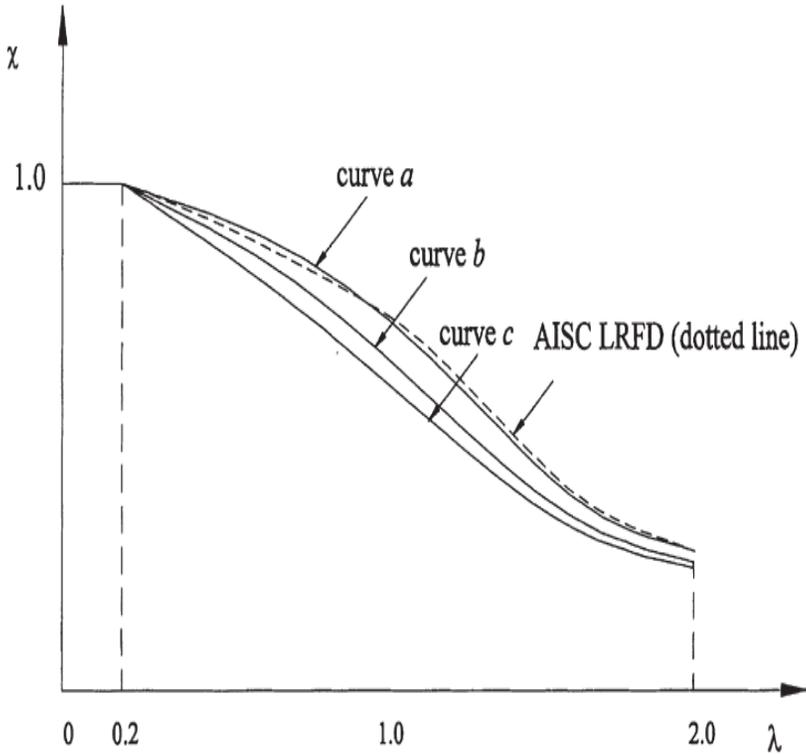
نسبة النخافة المعطاة في الكودات الثلاثة

❖ بالنسبة لمواصفات **LRFD** نجد في علاقة نسبة النخافة تعبير نصف قطر العطالة المعدل r_m . والذي يعرف بأنه (من أجل مقطع مغلف) الأكبر ما بين نصف قطر عطالة المقطع الفولاذي أو 30% من سماكة المقطع المركب الكلي.

حيث يساهم المقطع الفولاذي والبيتوني كلاهما في الصلابة الانعطافية، فإذا كان الفولاذ مسيطراً فيجب استخدام نصف قطر عطالة المقطع الفولاذي في حساب r_m ، أما إذا كان البيتون مسيطراً على الصلابة الانعطافية فيجب استخدام نصف قطر عطالة المقطع

البيتوني في حساب معامل النحافة. وينصح كود LRFD بأن يتم استخدام القيمة الأكبر ما بين قيم أنصاف أقطار عتالة الفولاذ أو البيتون في حساب مؤشر النحافة L/r_m .

- ❖ بالنسبة للمعايير البريطانية نجد مخططات تحنيب العمود التي تبرز تأثير شكل المقطع الفولاذي وطريقة تصنيفه على سعة المقاومة القصوى، حيث تم تعريف المنحنيات بالرموز a,b,c كما هو مبين في الشكل (2)، وقد وجد أنها قابلة للتطبيق بشكل جيد على الأعمدة المركبة. [7] ECCS، [3] Beer
- ❖ أما مواصفات LRFD فقد استخدمت منحنى واحد فقط، وقد لوحظ أن موقع هذا المنحنى هو أقرب ما يكون للمنحنى (a) مع قيم أصغر قليلاً لمعامل النحافة λ الأقل من 1، وقيم أكبر قليلاً من أجل λ أكبر من 1 كما في الشكل (2)



سعة
المقاومة

نسبة
النحافة

الشكل (2)

منحنيات تحنيب العمود المركب وفق الكودات

2-3 تأثير التحميل الطويل الأمد

تحت تأثير حمولة مستمرة، يسبب زحف البيتون زيادة في الانحراف (السهم) الجانبي للعمود المركب وتخفيض في قيمة المقاومة والصلابة.

➤ **الكود EC4** هو الكود الوحيد الذي يتعامل مع تأثير التحميل الطويل الأمد بشكل منفصل، حيث يؤخذ تأثير الزحف بعين الاعتبار إذا كانت قيمة لامركزية التحميل أقل من ضعف بعد المقطع العرضي الموافق لها، وإذا كانت نسبة النخافة أكثر من القيم الحديدية الموجودة في الجدول (6-4) في الكود EC4

ويعطي هذا الكود أهمية أكثر لمعامل مرونة البيتون الفعال تحت تأثير التحميل الطويل الأمد E_c ، وذلك من خلال اعتبار نسبة من الحمولة التصميمية التي تكون حمولة دائمة، فمثلاً إذا كانت نصف الحمولة التصميمية دائمة فهذا سوف ينقص معامل المرونة الفعال للبيتون حتى 75% من قيمة المعامل القصير الأمد E_{cm} .

➤ **في الكود BS 5400** نحصل على المقامات التصميمية عبر تقسيم المقامات المميزة (الاسمية) على عامل γ_c .

في حالة الحد الأقصى يكون $\gamma_c = 1.5$ للبيتون، وهذا يعطي مقاومة تصميمية على الضغط المركزي حوالي $0.55 f_{cu}$ وعلى الانعطاف $0.45 f_{cu}$ ، وتخفيض هذه القيم

لاحقاً إلى $0.45 f_{cu}$ و $0.4 f_{cu}$ من أجل إدخال تأثير الزحف. وليس هناك أي تخفيض آخر بالنسبة للزحف في الأعمدة.

➤ **في اشتراطات LRFD** يؤخذ تأثير الزحف من خلال عبارات الصلابة الفعالة E_m عندما يتعرض العمود إلى حمولات دائمة ضاغطة .

حيث تم اعتبار تأثير الزحف وتأثير تشقق البيتون عبر استخدام 40% من الصلابة الابتدائية الاسمية للبيتون المحصور (المطوق) داخل الأنابيب الفولاذية، و 20% فقط من تلك الصلابة للبيتون غير المطوق.

عادة ما يكون تأثير الزحف قليلاً إذا استخدمت مساحة كبيرة من الفولاذ.

وبالتالي يشترط على كل عمود مركب مصمم وفقاً لاشتراطات LRFD أن يمتلك مساحة فولاذ إنشائي لا تقل عن 4% من مساحة المقطع العرضي الإجمالية للعمود.

3- المقارنة بين مقاومات الأعمدة في الكودات الثلاثة:

تمت مقارنة المقاومات الاسمية للأعمدة المحسوبة وفقاً لطرق الكودات الثلاثة فيما بينها، حيث جعلت كل عوامل الأمان الجزئية مساوية للواحد وذلك في الكودات EC4، BS 5400 وكذلك عامل المقاومة المستخدم في الكود LRFD قد جعل مساوياً للواحد، وهذا سيعطي مقارنة عادلة للمقاومات المحسوبة من الطرق الثلاثة حيث أن كل طريقة لها عوامل مقاومة خاصة بها تستخدم مع عوامل حمولة موافقة لها.

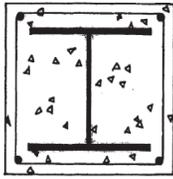
فيما يلي وصف مبسط للأعمدة المدروسة في هذه الدراسة :

- العمود متمفصل من الطرفين.
- العمود محمل مركزياً أي قمة العمود وقاعدته تتعرضان لنفس القوة المحورية.
- العمود معرض لعزم انعطاف يسبب منحنى انعطاف وحيد المحور.
- تم حساب معامل مرونة البيتون تبعاً لكل كود كما في الجدول (2)، أما من أجل حساب معامل مرونة البيتون الطويل الأمد في EC4 فقد تم افتراض أن 75% من الحمل التصميمي المؤثر على العمود هو حمل دائم.
- المقاومات المميزة للمواد المستخدمة في الدراسة هي كالتالي:

Concrete: $f_c=C25/30$, $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$ البيتون:

Steel: $f_y=355 \text{ N/mm}^2$, $E=210 \text{ N/mm}^2$ الفولاذ:

Reinforcement: $f_{ry}=460 \text{ N/mm}^2$, $E=210 \text{ N/mm}^2$ حديد التسليح:



أبعاد المقطع المركب المستخدم هي :

- المقطع المغلف بالكامل بالبيتون $400 \times 400 \text{ mm}$
- المقطع الفولاذي UC (254 × 254 × 107)
- حديد التسليح $4 \text{ T}12 \text{ mm}$ عند زوايا العمود ويبعد 150 mm عن محور التناظر

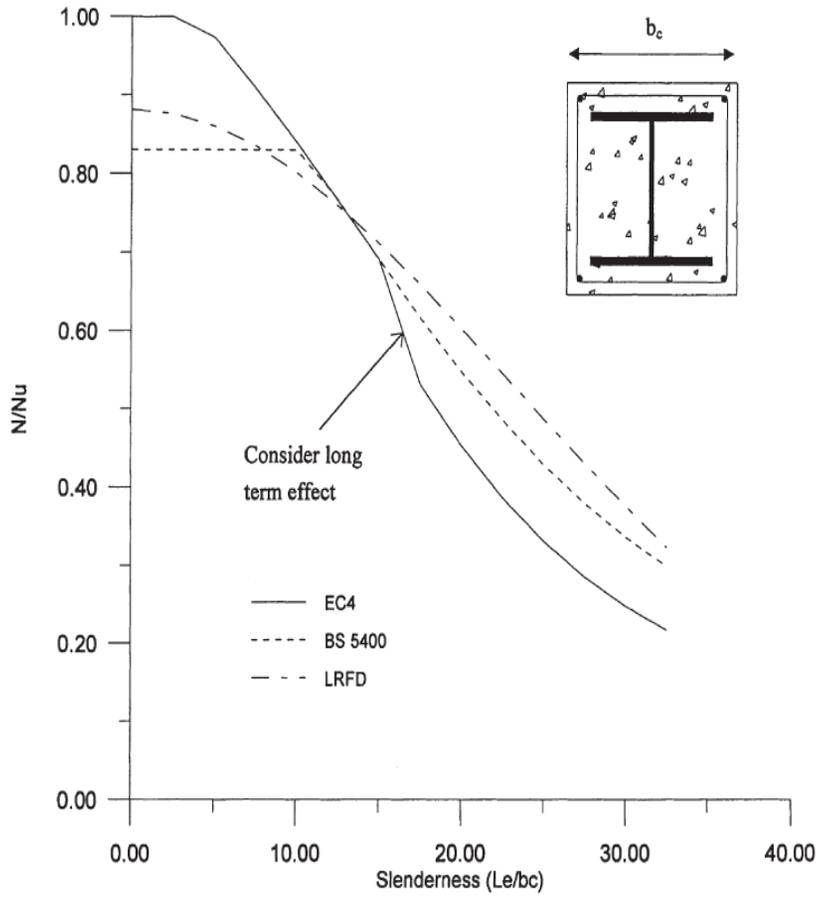
تم حساب مقاومة العمود المحورية و رسم مخطط منحنى الترابط ما بين السعة المحورية الاسمية وعزم الانعطاف بناء على الطرق الثلاثة.

مع ملاحظة أن مخطط EC4 قد تم تعديله بحيث طرح منه الجزء الإضافي من منحنى الترابط الخارجي ، كما ضرب العامل μ بالقيمة 0.9 .

3-1 السعة المحورية للأعمدة المغلفة:

تم حساب قيم N_u المقاومة القصوى للعمود، و λ نسبة نحافة العمود المغلف بالبيتون المستخدم للتطبيق في هذا البحث، وذلك وفق الكودات الثلاثة.

يقارن المنحنى المرسوم في الشكل (3) ما بين المقاومات المحورية الاسمية للأعمدة المركبة والمحسوبة باستخدام هذه الكودات، وذلك بتغيير نسبة الطول الفعال إلى عرض المقطع.



الشكل (3)

السعة المحورية للأعمدة المركبة المغلفة

تظهر في الشكل اختلافات واضحة في قيم السعة المحورية المحسوبة للأعمدة المغلفة وفق الكودات الثلاثة. وقد لوحظ أنه عند نسب نحافة منخفضة يعطي EC4 القيمة الأعلى ، بعده يأتي LRFD ومن ثم BS 5400 على التوالي.

❖ يعزى وجود الجزء المستوي من المخطط التابع للكود BS 5400 إلى استخدام عامل التخفيض 0.85 الذي يفرضه هذا الكود للأعمدة المحملة مركزياً، أي أن

$$\text{النسبة } l_{ex}/h \text{ and } l_{ey}/b \leq 12$$

أما من أجل الأعمدة النحيفة، (l_{ex}/h or $l_{ey}/b > 12$) فإن الكود BS 5400 يتطلب أن تطبق الحمولة المحورية مع لامركزية قدرها $0.03b$ حيث b عرض المقطع.

❖ كما يلاحظ أنه عند نسبة نحافة مساوية 15 يصبح تأثير التحميل الطويل الأمد هاماً في طريقة EC4 وبالتالي تنقص سعة العمود المحورية.

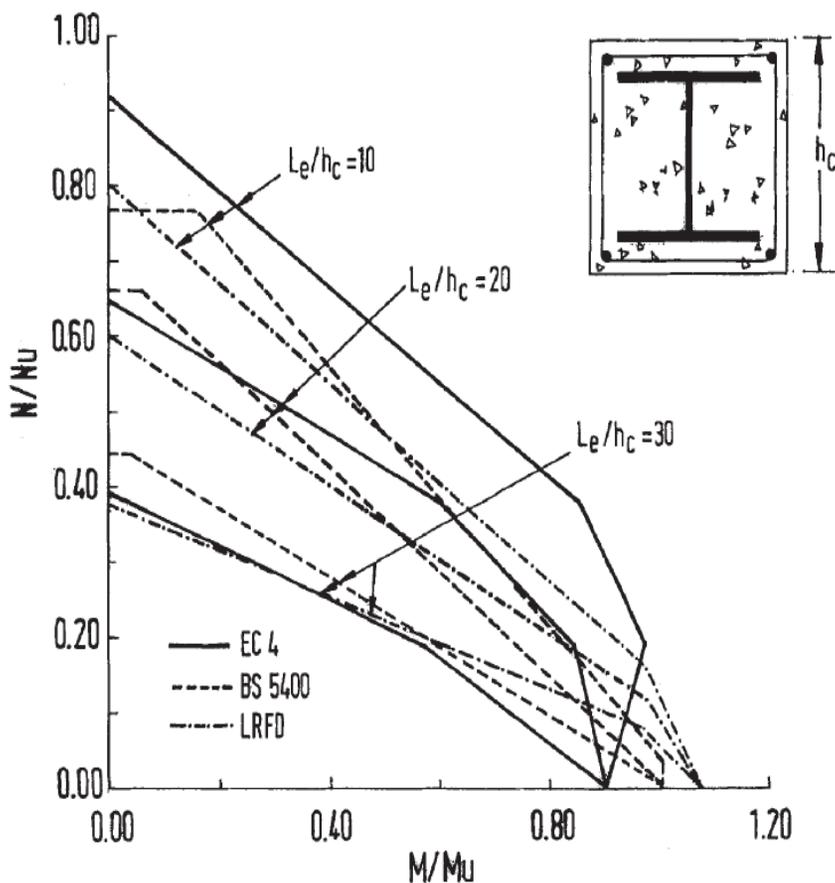
❖ يبين الشكل أن السعة المحورية وفق الكود LFRD تصبح أكبر من الكودين EC4 و BS 5400 كلما ارتفعت نسبة النحافة وهذا قد يكون ناتجاً عن طبيعة ونوع المنحنيات (strut) المستخدمة ، وأيضاً نتيجة للاختلافات في المعادلة المستخدمة في حساب النحافة وفق طريقة LFRD.

2-3 منحنيات الترابط: (M-N)

تظهر تناقضات معتبرة بين الطرق الثلاثة في المقاطع المغلفة للأعمدة المركبة ويكون هذا التناقض أكثر تميزاً من أجل انعطاف محور ثانوي. يبين الشكل (4) منحنيات الترابط ما بين الحمولة المحورية والعزم في الأعمدة المغلفة المعرضة لانعطاف حول محور رئيسي.

• يلاحظ أنه عند نسب نحافة منخفضة يعطي الكود EC4 السعة الأعظمية، وكلما ارتفعت نسبة النحافة تتخفف السعة وذلك تبعاً لتأثير التحميل الطويل الأمد.

- كما يلاحظ أنه عندما ترتفع نسبة النحافة فإن السعة وفق الكود LRFD تتخفض ولكن بشكل أقل أهمية بالمقارنة مع الكودين EC4 و BS 5400.

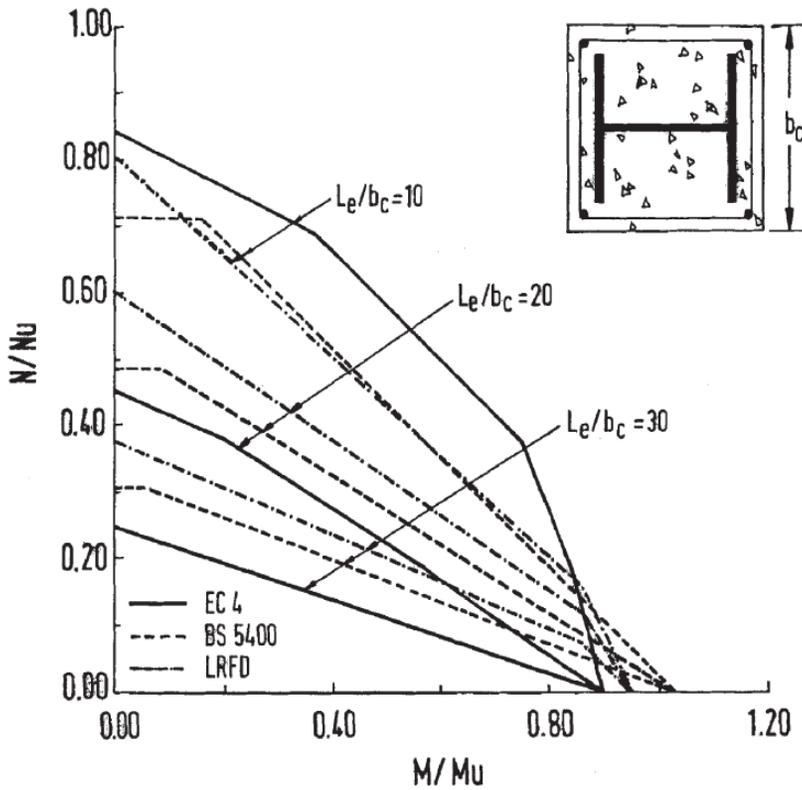


الشكل (4)

منحنيات الترابط للأعمدة المركبة المغلفة المعرضة لانعطاف محور رئيسي

وفي الشكل (5) تظهر منحنيات التفاعل لأعمدة مغلفة معرضة لانعطاف حول محور ثانوي. ويبين هذا الشكل بوضوح أنه من أجل انعطاف المحور الثانوي تكون السعة وفق

الكود LRFD أكبر منها وفق الكودين EC4 و BS 540 ، والشرح الوحيد الممكن لهذه الحالة هو بسبب استخدام منحنيات (strut) مختلفة، حيث أن كلا الكودين EC4 و BS 5400 يستخدمان المنحني b للانعطاف حول المحور الرئيسي، والمنحني c من أجل الانعطاف حول المحور الثانوي، أما مواصفات LRFD تستخدم منحني واحد فقط وهذا المنحني يقع فوق المنحنيات b, c المبينة في الشكل (2) والمستخدم في الكودات الأخرى.



الشكل (5)

منحنيات الترابط للأعمدة المركبة المغلفة المعرضة لانعطاف محور ثانوي

4- المقارنة مع نتائج الاختبارات:

تمت مقارنة نتائج اختبارات فعلية أجريت من قبل الباحثين [12] ssrc و [11] shakir

مع المقاومات المحسوبة تبعاً للكودات الثلاثة، وتبين الجداول المرفقة هذه النتائج.

في هذه المقارنة درست الأعمدة المغلفة المحملة مركزياً و لامركزياً. مع مراعاة ما يلي:

➤ بهدف الحصول على مقارنة جيدة وعادلة، تم أخذ عوامل الأمان الجزئية للمواد (الفولاذ والبيتون) مساوية للواحد.

➤ في طريقة BS 5400 تؤخذ المقاومة الضاغطة الأعظمية للبيتون مساوية $0.67 f_{cu}$ بدلاً من $0.45 f_{cu}$ في حساب حمولة الانهيار ، كما تؤخذ $0.6 f_{cu}$ بدلاً من $0.4 f_{cu}$ في حساب العزم الأقصى .

➤ تعطى علاقة معامل مرونة البيتون المستخدمة في حساب النتائج المخبرية في العمود الأخير من الجدول (2) مع عامل أمان جزئي للبيتون مساوٍ للواحد.

➤ تم استخدام معامل مرونة الفولاذ في الحسابات مساوٍ 200 KN/mm^2 بحسب الاختبارات المنجزة من قبل [12] ssrc، ومساوٍ 205 KN/mm^2 بحسب الاختبارات المنجزة من قبل [11] shakir .

➤ لم يتم أخذ تسليح البيتون في الحساب حيث أنه لم يذكر في المرجعين السابقين.

➤ يقدر العامل المضخم للعزم ب $1/(1-P/P_e)$ حيث p هي الحمولة المطبقة

أما p_e هي حمولة أولر للعمود، [5] Chen ، حيث يستخدم هذا العامل

المضخم من أجل تحليل عزم من الدرجة الثانية في BS 5400 للأعمدة

المحملة لامركزياً باعتبار أنه لا يوجد في هذا الكود أي توجيه لحساب عزم من

الدرجة الثانية.

➤ أما في الكودين LRFD ، EC4 فقد استخدمت الطرق المعطاة من أجل تحليل عزم من الدرجة الثانية.

1-4 الأعمدة المحملة مركزياً

يظهر الجدول (5) المقارنة ما بين السعات المحورية المقاسة مخبرياً المغلفة للأعمدة المركبة المغلفة والمحسوبة نظرياً وفق الكودات الثلاثة. مع ملاحظة مايلي:

من أجل الأعمدة المحملة مركزياً:

➤ عندما تكون نسبة النحافة $(lex/h \text{ and } ley/b)$ أقل من 12 يفرض الكود BS 5400 تطبيق معامل تخفيض 0.85 إلى الحمولة القصوى تبعاً للفقرة (11.3.2.1) من الكود BS 5400 .

➤ في الكود EC4 يؤخذ تأثير التحميل الطويل الأمد (الزحف - النقل) بعين الاعتبار. لهذا فإنه عند نسبة نحافة عالية تصبح نسبة المقاومة (المختبرة / المحسوبة) أكبر بشكل واضح .

➤ ومن ناحية أخرى لا يؤخذ هذا التأثير الطويل الأمد بعين الاعتبار في طرق الكودين BS 5400 و LRFD.

تظهر المقارنة في الجدول (5) أن النتائج المحسوبة هي أخفض عموماً من نتائج الاختبار.

❖ حيث تبين أن مواصفات LRFD تعطي التوقع الأقرب وسطياً 27% أقل من نتائج الاختبار .

❖ أما BS 5400 يعطي القيمة الأكثر محافظةً أي وسطياً 50% أقل من نتائج الاختبار.

Section (mm×mm)	h_c (mm)	b_c (mm)	f_y (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	L_e (m)	Test (kN)	EC4 (kN)	BS 5400 (kN)	LRFD (kN)
127×114UB 29.76	177.8	165.1	248	C18/22.5	0.229	1566	1332(1.18)	1127*(1.39)	1215(1.29)
	-	-	-	-	1.168	1370	1228(1.12)	1038*(1.32)	1182(1.16)
	-	-	-	-	2.083	1366	1023(1.34)	1013(1.35)	1111(1.23)
	-	-	-	-	2.997	1281	697(1.84)	779(1.64)	1008(1.27)
203×152 UB 52.09	-	-	-	-	3.886	1027	500(2.05)	593(1.73)	886(1.16)
	254.0	203.2	248	C18/22.5	2.134	2544	1964(1.30)	1657*(1.54)	2054(1.24)
	304.8	254.0	-	-	-	3229	2453(1.32)	2077*(1.55)	2331(1.39)
	355.6	304.8	-	-	-	3807	3010(1.26)	2545*(1.50)	2674(1.42)
					Average	3807	3010(1.26)	2545*(1.50)	2674(1.42)
							(1.43)	(1.50)	(1.27)

^a * Denotes values multiplied by 0.85 according to BS 5400, Clause 11.3.2.1. Figures in brackets represent test/predicted load ratio.

الجدول (5)

المقارنة ما بين السعات المحورية المقاسة مخبرياً للأعمدة المركبة المغلفة والمحسوبة نظرياً وفق الكودات الثلاثة

2-4 الأعمدة المحملة بشكل لامركزي:

يظهر الجدول (6) المقارنة ما بين المقاومات المقاسة مخبرياً لأعمدة مركبة مغلفة بالبيتون محملة لامحورياً، مع قيم المقاومات المحسوبة نظرياً وفق الكودات الثلاثة، مع ملاحظة أنه في هذه الدراسات تم استخدام تحليل الدرجة الثانية لحساب العزم الأعظمي في حساب مقاومة الأعمدة المحملة لامركزياً.

يبين الجدول (6) أن:

❖ طريقة الكود LRFD للمقاطع المغلفة تعطي التوقع الأقرب وبشكل وسطي أقل

بحوالي 23% من نتائج الاختبار.

❖ تأتي بعدها طريقة الكود EC4 بمعدل 28% أقل من نتائج الاختبار.

❖ ثم طريقة الكود BS 5400 بمعدل 34% أقل من نتائج الاختبار.

إجمالاً تظهر القيم الوسطية (المختبرة/ المحسوبة) في الجداول السابقة أن

المقاومات المحسوبة للأعمدة باستخدام الطرق الثلاثة هي في الجانب المحافظ وهي

متوافقة بشكل مقبول مع نتائج الاختبار.

Section (mm×mm)	h_c (mm)	b_c (mm)	f_y (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	L_e (m)	ϵ_s (cm)	Test (kN)	EC4 (kN)	BS 5400 (kN)	LRFD (kN)
127×114UB 29.76	177.8	165.1	232	C19.3/24.1	2.083	1.91	716	585(1.22)	525(1.36)	595(1.20)
					0.726	2.03	747	566(1.32)	511(1.46)	580(1.29)
						1.91	898	876(1.03)	801(1.12)	660(1.36)
						2.03	1014	856(1.18)	779(1.30)	642(1.58)
						2.54	738	740(1.00)	698(1.06)	578(1.28)
					1.156	1.27	996	932(1.07)	863(1.15)	753(1.32)
							729	701(1.04)	647(1.13)	566(1.29)
					2.083	2.54	627	504(1.24)	458(1.37)	524(1.20)
					2.997	1.27	716	479(1.49)	464(1.54)	612(1.17)
						2.54	529	367(1.44)	364(1.45)	469(1.13)
					3.886	2.54	440	285(1.54)	285(1.54)	408(1.08)
						3.81	347	236(1.47)	244(1.42)	340(1.02)
						5.08	329	205(1.60)	215(1.53)	293(1.12)
							Average	(1.28)	(1.34)	(1.23)

^a Figures in brackets represent test/predicted load ratio.

الجدول (6)

المقارنة ما بين السعات اللامركزية المقاسة مخبرياً المنجزة من قبل ssrc [13]،
للأعمدة المركبة المغلفة والمحسوبة نظرياً وفق الكودات الثلاثة

5- النتائج

بمقارنة طرق التصميم في الكودات المدروسة LRFD و EC4 و BS 5400 نجد
مايلي:

1- تظهر اختلافات واضحة في قيم السعة المحورية المحسوبة للأعمدة المغلفة
وفق الكودات الثلاثة.

2- عند نسب نحافة منخفضة تعطي طريقة الكود EC4 القيمة الأعلى بين قيم
السعة المحورية، بعدها تأتي طريقة LRFD ومن ثم طريقة BS5400 على
التوالي.

3- السعة المحورية المحسوبة وفق طريقة LRFD تصبح أكبر من المحسوبة وفق
الكودين EC4 و BS 5400 كلما ارتفعت نسبة النحافة.

4- تظهر تناقضات معتبرة بين الطرق الثلاثة بما يخص منحنيات الترابط للمقاطع
المغلفة ويبدو التناقض أكثر تميزاً من أجل انعطاف محور ثانوي.

5- عند نسب نحافة منخفضة يعطي EC4 السعة الأعظمية. وكلما ارتفعت نسبة
النحافة تتخفف السعة تبعاً لتأثير التحميل الطويل الأمد .

6- عندما ترتفع نسبة النحافة فإن السعة وفق طريقة LRFD تنخفض ولكن بشكل أقل أهمية بالمقارنة مع طريقتي EC4 و BS 5400 .

7- من أجل انعطاف المحور الثانوي تكون السعة وفق LRFD أكبر من السعة وفق EC4 و BS 5400.

وبمقارنة الحسابات في الكودات المدروسة السابقة مع نتائج الاختبارات المتوفرة نجد مايلي:

8- مقاومات العمود المحسوبة باستخدام الطرق الثلاثة هي في الجانب الآمن وهي في توافق منطقي مع نتائج الاختبار المتوفرة.

9- من أجل الأعمدة المركبة المغلفة بالبيتون المحملة مركزياً وعند مقارنة السعات المحورية المقاسة مخبرياً مع المحسوبة من الكودات للمقاطع المغلفة تبين أن مواصفات LRFD تعطي التوقع الأقرب وبشكل وسطي أقل بحوالي 27% أقل من نتائج الاختبار، أما الكود EC4 يعطي توقع بمعدل 43% أقل من نتائج الاختبار، والكود BS 5400 يعطي القيمة الأكثر محافظةً أي (بمعدل) وسطياً 50% أقل من نتائج الاختبار.

10- من أجل أعمدة مركبة مغلفة بالبيتون محملة لامحورياً، وعند المقارنة بين المقاومات المحسوبة والمختبرة، تظهر النتائج أن طريقة LRFD للمقاطع المغلفة تعطي التوقع الأقرب وبشكل وسطي أقل بحوالي 23% من نتائج الاختبار ، بعدها طريقة

EC4 بمعدل 28% أقل من نتائج الاختبار، ثم طريقة BS5400 بمعدل 34% أقل من نتائج الاختبار.

11- ينصح بطريقة EC4 لأنها تغطي مجالاً واسعاً من نتائج الأبحاث الحديثة التي تهتم بمقاومة الأعمدة المركبة. طريقة EC4 في تقديم أو عرض منحنى التفاعل (M- N) هي طريقة مباشرة وهذا ما يمكن من القيام بالحساب اليدوي.

6- المراجع

- [1] ACI Committee 318. Building code requirements for reinforced concrete. Detroit, MI: American Concrete Institution, 1992.
- [2] Basu AK, Sommerville W. Derivation of formulae for the design of rectangular composite columns. Proceedings of the ICE, supplementary volume, 1969:233–80.
- [3] Beer H, Schulz G. The theoretical basis of the new column curves of the European Convention for Constructional Steelwork (in French). Construction Me´tallique, No 3, September 1970.
- [4] BS 5400. Steel, concrete and composite bridges: Part 5: Code of practice for design of composite bridges. London: British Standards Institution, 1979.
- [5] Chen WF, Lui EM. Structural stability: theory and implementation. New York: Elsevier,
- [6] Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures, Part 1.1: General rules and rules for buildings. Brussels: Commission of European Communities, March 1992.
- [7] European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). European recommendations for steel construction. Construction Press, 1981.
- [8] Furlong RW. Strength of steel-encased concrete beam columns. Journal of the Structural Division, ASCE 1976;93(5):113–24.

- [9] Load and resistance factor design specification for structural steel buildings. Chicago, IL: American Institution of Steel Construction (AISC), 1993.
- [10] Roik K, Bergmann R. Eurocode 4: Composite columns. Report EC4/6/89, University of Bochum, June 1989.
- [11] Shakir-Khalil H, Mouli M. Further tests on concrete-filled rectangular hollow-section columns. Structural Engineer 1990;68(20):405–12.
- [12] SSRC Task Group 20. A Specification for the Design of Steel-Concrete Composite Columns. AISC Engineering Journal, Fourth Quarter, 1979:101–15.
- [13] Viridi KS, Dowling PJ. The ultimate strength of composite columns in biaxial bending. Proceedings of the ICE 1973;55(2):251–72.

7- أبحاث مستقبلية:

- 1- دراسة الأعمدة المركبة في الأبنية المتعددة الطوابق المعرضة لعزوم ضخمة.
- 2- دراسة تأثير الحمولات الجانبية على الأعمدة المركبة.
- 3- تصميم روابط القص عندما يكون العزم هو القيمة الغالبة.
- 4- تصميم أعمدة مركبة مع أشكال غير منتظمة.
- 5- تصرف وصلة جائز-عمود وألية نقل القص والعزم فيها.