

دراسة تحليلية لتصميم الجدران القصية بطريقة معادلات التوازن

د. م. سفانه حموية*

قسم مدني عام، مدرس في كلية الهندسة المدنية بالحسكة، جامعة الفرات

الملخص

تخضع الجدران القصية (الجدران الإنشائية) من الخرسانة المسلحة نتيجة القوى الأفقية، لحالة انعطاف مركب "قوة ضاغطة مركزية مترافقة مع عزم انعطاف واقع في مستوي الجدار"، وتعتمد إحدى طرائق التصميم على معادلات التوازن في رسم مخطط الترابط لمقطع عرضي لجدار معروف الأبعاد والتسليح، إنَّ تعدد صفوف التسليح على طول الجدار وتغيّر نسب التسليح بين العناصر المحيطية وجسد الجدار جعل من رسم مخطط الترابط أمراً ليس سهلاً، فلجأ المهندسون لتبسيط الحل لفرضيتين الأولى: اعتماد أسلوب مبسط لتمثيل القوى في صفوف التسليح بعدة محصلات فقط (ثلاث أو أربع)، والثانية: افتراض وصول الإجهاد في جميع الأسياخ لحد السيلان سواء في الأسياخ المضغوطة أو المشدودة. يتناول البحث بيان صلاحية هذه الأساليب والفروقات بين الأسلوب الدقيق بحساب القوة الناتجة عن كلِّ صفِّ من التسليح وبين الطرائق المبسطة، وذلك بتغيير كلِّ من نسب التسليح في العناصر المحيطية مع تغيير جودة الخرسانة، ودراسة مدى تأثير نسبة التسليح في جسد الجدار، وأجريت المقارنة بين الأسلوب الدقيق والتقريبي لتمثيل التسليح، وذلك من أجل زيادة نسبة التسليح في الجسد، ومرة أخرى بافتراض أن الإجهاد وصل إلى حد الخضوع f_y في جميع الأسياخ، وأظهرت النتائج تقارباً بين الطرائق الثلاث من أجل الفرضية الأولى، وأنَّ زيادة نسبة تسليح في الجسد أعطت نتائج غير دقيقة بحالة الطرائق التقريبية، كما أنَّ الاعتماد على الفرضية الثانية لم يكن بصلاح الأمان بحالة الطرائق التقريبية.

الكلمات المفتاحية: جدران قصية، مقاومة القوى الأفقية، معادلات التوازن، مخطط ترابط.

1- مقدمة:

يحدث الانهيار في المقاطع الخاضعة للانعطاف المركب إما بوصول الخرسانة إلى طاقتها القصوى بحيث يصل الانفعال في الليف الأقصى إلى القيمة 0,003، حينها ينهار المقطع بشكل مفاجئ وقصيف، وقد يصل جزء من الفولاذ المضغوط لحد السيلان، ويكون الضغط هو الحاكم واللامركزية صغيرة، أو قد يتم الانهيار بوصول الفولاذ في الطرف الأقل انضغاطاً لمرحلة السيلان وحينئذٍ يحدث الانهيار بسبب وصول الفولاذ إلى مرحلة اللدونة ويكون هذا الانهيار مسبقاً بإنذار، أي تظهر شقوق في منطقة الفولاذ المشدود ويحدث ذلك بحال اللامركزية الكبيرة.

اعتمد في البحث على رسم مخطط الترابط (طريقة معادلات التوازن) لتصميم المقطع العرضي لجدار قصي (لجدار إنشائي) على الانعطاف المركب [1، 2]، وذلك بفرض أبعاد للعناصر المحيطة في نهايتي الجدار، مع تسليح طولي سواء في العناصر المحيطة أو في جسد الجدار ضمن المجال المسموح به وفق الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة [3].

2- أهمية البحث:

بالرغم من انتشار البرامج الإنشائية لتصميم المنشآت من الخرسانة المسلحة، إلا أنَّ العديد من المهندسين لا زالوا يفضلون استعمال الحل اليدوي، أو برنامج Excel لإعداد ورقات عمل خاصة بهم، سواء من أجل إعداد تصميم أو تدقيق الدراسات الهندسية اللازمة، معتمدين بذلك على طرائق تقريبية لرسم مخطط الترابط لجدار مفروض الأبعاد والتسليح، وهذا الأمر ليس سهلاً حتى لو تم الاكتفاء بتحديد ثلاثة نقاط أساسية من المخطط وهي: نقطة الضغط المركزي، والنقطة التوازنية، ونقطة الانعطاف البسيط، فمن أجل تحديد أي نقطة من المخطط خلاف نقطة الضغط المباشر أو الانعطاف البسيط، تُفرض قيمة لموقع المحور الحيادي X ويُحسب من أجلها الانفعال والإجهاد في كلِّ صف من صفوف أسياخ التسليح على طول الجدار، بما يتناسب مع موقعها بالنسبة للمحور الحيادي. كما يُعد تصميم الجدار أكثر اقتصادياً عند اقتراب نسبة استطاعته من الواحد، عكس ذلك حال بعدها عنه.

من هنا جاءت أهمية البحث في توضيح صلاحية الافتراضات المبسطة، وبيان الفروقات بين الطرائق التقريبية والطريقة الدقيقة لرسم مخطط الترابط، مع بيان تأثير زيادة نسبة تسليح جسد الجدار، إضافة لدراسة مدى دقة الافتراض بأن الإجهاد في جميع صفوف الأسياخ قد وصل لإجهاد الخضوع.

3- طريقة البحث:

لرسم مخطط ترابط جدار معلوم الأبعاد والتسليح، كما هو موضح في الجدول (1)، اعتمدت الطريقة الدقيقة (TF) بحساب القوة المحصلة لكل صف من صفوف أسياخ سواء في العناصر المحيطية أم في التسليح الطولي للجسد، يبين الشكل (1) مقطعاً عرضياً في الجدار مع مخطط الجسم الحر لهذه الحالة ومخطط الانفعالات والإجهادات الفعلية f_s ، أُعيدت الحسابات بتبسيط الحل وفق الفرضيتين الآتيتين:

• **الفرضية الأولى:** اختصار عدد القوى المحصلة في صفوف أسياخ التسليح وفق:

الطريقة التقريبية (4F): تمثيل القوى المحصلة في صفوف الأسياخ بأربع قوى:

C_{S1} : محصلة قوى الضغط في الفولاذ للعمود المخفي (العنصر المحيطي).

C_{S2} : محصلة قوى الضغط في الفولاذ المضغوط الواقع في جسد الجدار.

T_{S3} : محصلة قوى الشد في الفولاذ المشدود الواقع في جسد الجدار.

T_{S4} : محصلة قوى الشد في الفولاذ المشدود للعمود المخفي.

الطريقة التقريبية (3F): تمثيل القوى المحصلة في صفوف الأسياخ بثلاث قوى فقط، يبين الشكل (2) مقطع عرضي في الجدار مع مخطط الجسم الحر لهذه الحالة، حيث:

C_S : محصلة القوى الضغط في الفولاذ المضغوط للعمود المخفي.

$F_{S,body}$: محصلة القوى في جميع أسياخ الفولاذ في جسد الجدار.

T_S : محصلة القوى الشد في الفولاذ المشدود للعمود المخفي.

الجدول (1) الطرائق المعتمدة في تمثيل القوى الداخلية المحصلة في صفوف أسياخ التسليح الطولي

طريقة تمثيل القوى	الرمز
ثلاثة قوى محصلة	3F → Three Forces
أربعة قوى محصلة	4F → Four Forces
القوى لكافة صفوف التسليح	TF → Total Forces

- **الفرضية الثانية:** أنّ الإجهاد قد وصل لحد السيلان في جميع صفوف الأسيخ سواء في الأسيخ المضغوطة أو المشدودة، إذ تقترض بعض المراجع [7]، أنّ هذا التقريب مقبول بحالة القوى المتناوبة كما هو الحال في القوى الزلزالية، وبالتالي لا ضرورة لحساب الإجهاد في الفولاذ والتأكد من وصوله لحد السيلان، يبين الشكل (3) مقطعاً عرضياً في الجدار مع مخطط الجسم الحر من أجل تمثيل صفوف أسيخ التسليح الطولي بأربع قوى محصلة، أما فعلياً والأدق فليس من الضروري وصول جميع صفوف الأسيخ على طرفي المحور الحياضي لإجهاد الخضوع، ولهذا تم إجراء مقارنة بين الحالتين، وفق الفرضيتان أعلاه، اعتماداً على حالات واقعية لنسبة التسليح الطولي في العناصر المحيطية تعادل $\mu_s = 1,75\%$ ومقاومة مميزة أسطوانية $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ وتسليح طولي في جسد الجدار يساوي الحد الأدنى المسموح به وفق الكود العربي السوري [3]، وهو $5T10/m$.

1-3 المتغيرات المعتمدة في البحث:

دُرِس جدار قصي ذات سماكة $t=20\text{cm}$ وطول $\ell_w = 400 \text{ cm}$ مع عناصر محيطية مخفية، واعتمد طول العنصر المحيطي كحد أقصى وفق الملحق (ز) من الكود العربي السوري [3]، والمتوافق مع نسخة الكود الأمريكي ACI 318-08 [5]:

$$\ell_{be} = 0,15 \cdot \ell_w = 0,15 \cdot 400 = 60 \text{ cm}$$

استُعملت ثلاث مقاومات مميزة أسطوانية للخرسانة على الضغط، وثلاث نسب تسليح RR للفولاذ في العناصر المحيطية، كما في الجدولين (2) و(3)، مع تسليح طولي في جسد الجدار $5T10/m$ ، ويبين الجدول (4) الحالات المدروسة لرسم مخطط الترابط ID1 وفق الفرضية الأولى.

الجدول (2) المقاومات المميزة الأسطوانية المعتمدة ونسب التسليح الطولي RR في العناصر المحيطية

نسبة التسليح في العناصر المحيطية		المقاومة المميزة الأسطوانية للخرسانة	
$\mu_s = 1,00\%$	RR1: Reinforced Ratio1	$f'_c = 180 \text{ kg/cm}^2$	C ₁
$\mu_s = 1,75\%$	RR2: Reinforced Ratio2	$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	C ₂

نسبة التسليح في العناصر المحيطة		المقاومة المميزة الأسطوانية للخرسانة	
$\mu_s = 2,50\%$	RR3: Reinforced Ratio3	$f'_c = 225\text{kg/cm}^2$	C ₃

الجدول (3) المقاومات المميزة الأسطوانية المعتمدة ونسب التسليح الطولي RR في العناصر المحيطة

$(RR)\mu_s$	التسليح اللازم A_s (cm^2)	النوع الأول للأسياخ			النوع الثاني للأسياخ			نسبة التسليح الفعلية
		Φ_1 (mm)	العدد	A_{s1}	Φ_2 (mm)	العدد	A_{s1}	
$\mu_s = 1,00\%$	12	14	8	12,32	-	-	-	0,0103
$\mu_s = 1,75\%$	21	18	6	15,27	14	4	6,16	0,0179
$\mu_s = 2,50\%$	30	20	8	25,13	16	2	4,02	0,0243

الجدول (4) دليل الحالات المدروسة لرسم مخططات الترابط Interaction Diagram (ID1)

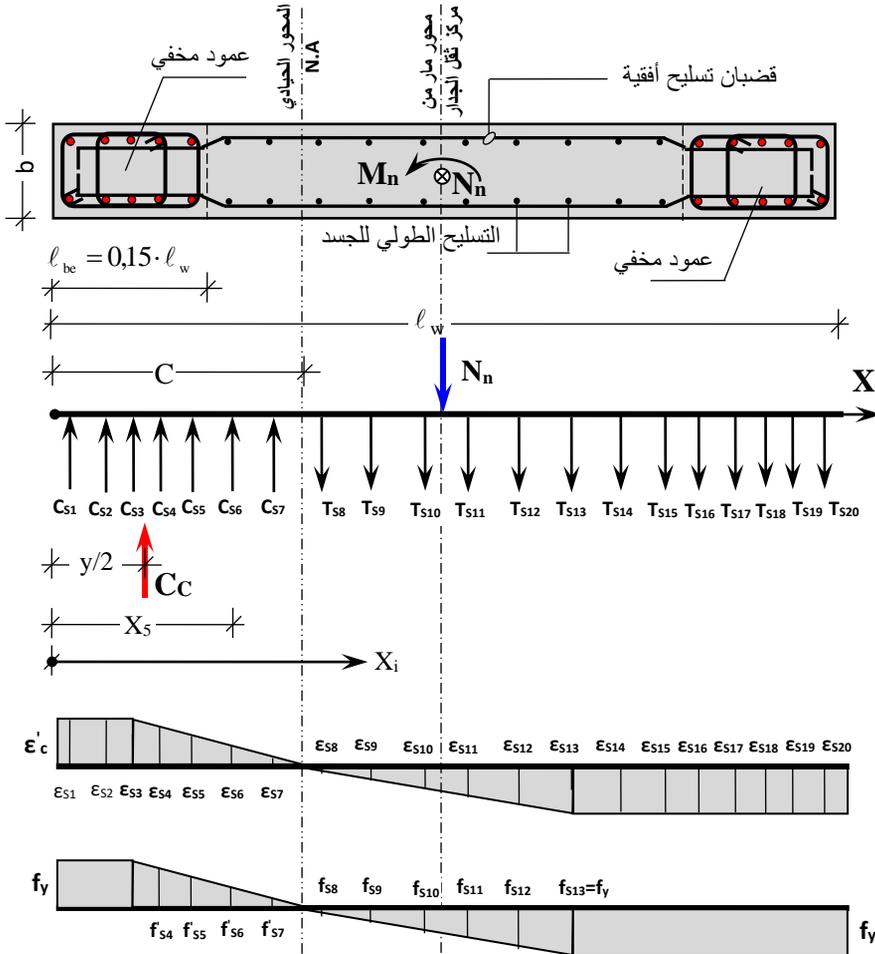
اعتماداً على الإجهاد الفعلي f_s في الفولاذ وتسليح الجسد 5T10/m

$\mu_s = 1,00\%$, $f'_c = 200\text{kg/cm}^2$	$\mu_s = 1,00\%$, $f'_c = 180\text{kg/cm}^2$
ID1- C2-RR1- 3F-BR1	ID1- C1-RR1- 3F-BR1
ID1- C2-RR1- 4F-BR1	ID1- C1-RR1- 4F-BR1
ID1- C2-RR1- TF-BR1	ID1- C1-RR1- TF-BR1
$\mu_s = 1,75\%$, $f'_c = 200\text{kg/cm}^2$	$\mu_s = 1,75\%$, $f'_c = 180\text{kg/cm}^2$
ID1- C2-RR2- 3F-BR1	ID1- C1-RR2- 3F-BR1
ID1- C2-RR2- 4F-BR1	ID1- C1-RR2- 4F-BR1
ID1- C2-RR2- TF-BR1	ID1- C1-RR2- TF-BR1
$\mu_s = 2,50\%$, $f'_c = 200\text{kg/cm}^2$	$\mu_s = 2,50\%$, $f'_c = 180\text{kg/cm}^2$
ID1- C2-RR3- 3F-BR1	ID1- C1-RR3- 3F-BR1
ID1- C2-RR3- 4F-BR1	ID1- C1-RR3- 4F-BR1
ID1- C2-RR3- TF-BR1	ID1- C1-RR3- TF-BR1
$\mu_s = 2,50\%$, $f'_c = 225\text{kg/cm}^2$	$\mu_s = 1,00\%$, $f'_c = 225\text{kg/cm}^2$
ID1- C3-RR3- 3F-BR1	ID1- C3-RR1- 3F-BR1
ID1- C3-RR3- 4F-BR1	ID1- C3-RR1- 4F-BR1
ID1- C3-RR3- TF-BR1	ID1- C3-RR1- TF-BR1
	$\mu_s = 1,75\%$, $f'_c = 225\text{kg/cm}^2$
	ID1- C3-RR2- 3F-BR1
	ID1- C3-RR2- 4F-BR1
	ID1- C3-RR2- TF-BR1

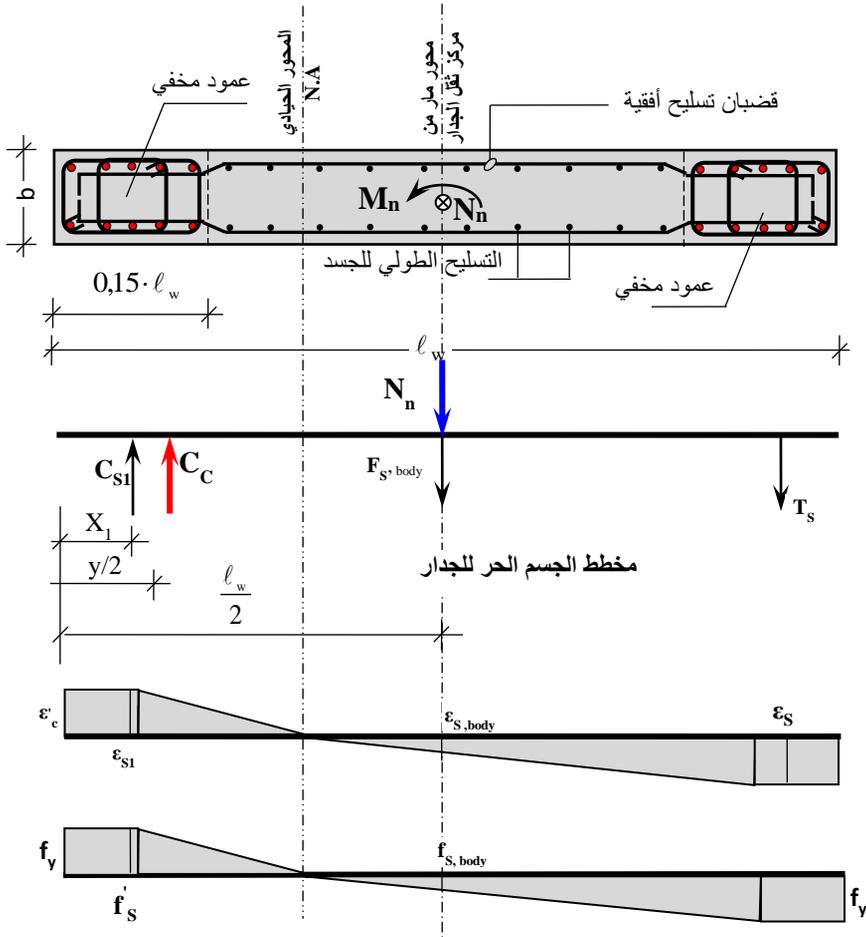
من أجل حالة واقعية أولى حيث المقاومة المميزة الأسطوانية $f'_c = 200\text{kg/cm}^2$ ونسبة تسليح في العناصر المحيطة تساوي $\mu_s = 2,50\%$ ، تم تغيير قيم التسليح الطولي BR في جسد الجدار من BR1 → BR5 (قيم صغيرة إلى قيم كبيرة تزيد عن نصف المساحة المسموحة) كما في الجدول (5)، لتبيان أثر ذلك.

الجدول (5) التسليح الطولي المعتمد في جسد الجدار

الرمز	نسبة التسليح بالمترا	التسليح الطولي لكل وجه
BR1	$\mu_s = 0,0039$	5T10/m
BR2	$\mu_s = 0,0055$	7T10/m
BR3	$\mu_s = 0,0071$	9T10/m
BR4	$\mu_s = 0,0101$	9T12/m
BR5	$\mu_s = 0,0139$	9T14/m



الشكل (1) تسليح جدار قصي ومخطط الجسم الحر لكافة القوى وكل من مخططي الانفعال والإجهاد الفعلي لفلواز صفوف الأسياخ



الشكل (2) تسليح جدار قصي ومخطط الجسم الحر لحالة تمثيل القوى المحصلة في الفولاذ بثلاث قوى، إضافة لمخططي الانفعال والإجهاد الفعلي لفولاذ التسليح

وأخيراً من أجل ذات الحالة الواقعية تم رسم مخططات الترابط ID2 وفق الفرضية الثانية [7]، حيث وصل الإجهاد في جميع صفوف الأسياخ لإجهاد الخضوع.

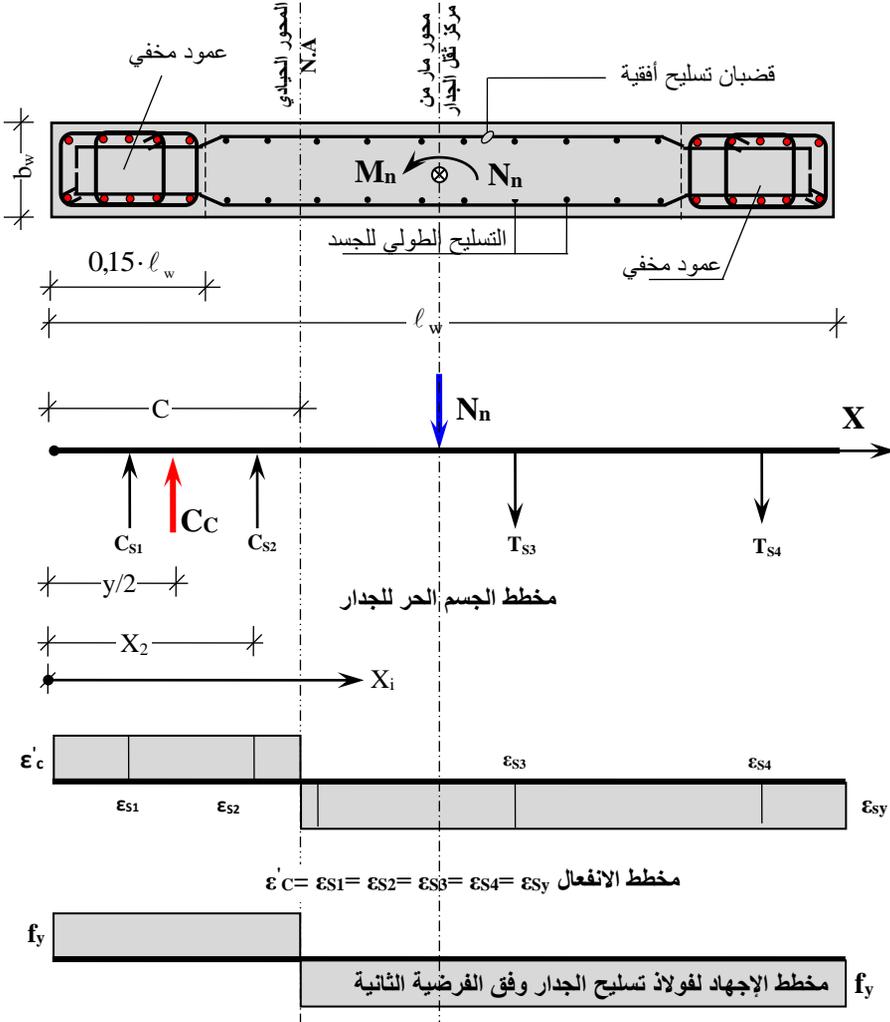
2-3 العلاقات النظرية لرسم مخطط الترابط:

يكفي لرسم أي مخطط ترابط تحديد ثلاث نقاط كحدّ أدنى [1،2]، وعادةً يفضّل الأثقل عدد النقاط عن خمس نقاط لتحسين دقة المخطط، ولكن سيُستعمل عدد أكبر من ذلك.

- النقطة الأساسية الأولى رقم 1 من المخطط: تمثل قيمة قوّة الضغط المباشر الإسمية التي يمكن للمقطع تحملها وتُحسب وفق العلاقة:

$$N_0 = 0,85 \cdot f'_c \cdot A'_c + A_{S(\text{tot})} \cdot f_y$$

- $A_{S(\text{tot})}$: مساحة التسليح الطولي الكلي في الجدار بما فيه تسليح الجسد.
- A'_c : مساحة المقطع الخرساني العرضي للجدار.



- الشكل (3) التسليح لجدار قصي ومخطط الجسم الحر حالة تمثيل جميع صفوف الاسياخ بأربع قوى وكل من مخططي الانفعال والإجهاد باعتماد على الوصول إلى f_y

- **النقطة الأساسية الثانية رقم 2 من المخطط:** وتمثل الجهود M_b , N_b التي يتحملها المقطع بحالة الانهيار التوازني، وعليه يُحسب بعد خط الصفر (المحور المحايد للإجهادات) للحالة التوازنية، ومن ثم تُحسب القوة التوازنية N_b والعزم التوازني M_b للمقطع وفق معادلات التوازن الأولى والثانية كالاتي:
يُحسب بعد المحور المحايد X_b في الحالة التوازنية من العلاقة:

$$X_b = \frac{6300}{6300 + f_y} \cdot d \quad ; \quad d = \ell_w - \ell_{be} / 2$$

يُحسب طول بلوك إجهاد الضغط للخرسانة: $y_b = \beta \cdot x_b$

$$f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \beta = 0,85 \quad \text{من أجل:}$$

يُحسب إجهاد الشدّ في الفولاذ المشدود: لا ضرورة لإيجاد قيمته فعلياً، فهو حتماً وصل إلى إجهاد الخضوع للحالة التوازنية، ومع ذلك من الممكن حسابه وفق العلاقة:

$$f_s = 6300 \cdot \frac{d - x_b}{x_b} \leq f_y$$

$$f'_s = 6300 \cdot \frac{x_b - d'}{x_b} \leq f_y \quad \text{حساب إجهاد الضغط في الفولاذ:}$$

كما يمكن الاعتماد على علاقة حساب إجهاد الشدّ نفسها، وبذلك تكون الإشارة سالبة أي الإجهاد ضغط.

حساب محصلة القوى في الخرسانة المضغوطة: $C_C = 0,85 \cdot f'_c \cdot y_b \cdot b_w$

حصول القوى في الفولاذ المضغوط للعنصر المحيطي: $C_{S1} = A_{S1} \cdot f'_{S1}$

حصول القوى في الفولاذ المضغوط الواقع في جسد الجدار: $C_{S2} = A_{S2} \cdot f'_{S2}$

حصول القوى في الفولاذ المشدود الواقع في جسد الجدار: $T_{S3} = A_{S3} \cdot f_{S3}$

حصول القوى في الفولاذ المضغوط للعنصر المحيطي: $T_{S4} = A_{S4} \cdot f_{S4}$

من معادلة التوازن الأولى تُحسب قيمة القوة الناظمية الضاغطة بالحالة التوازنية:

$$N_b = C_C + C_{S1} + C_{S2} - T_{S3} - T_{S4}$$

من معادلة التوازن الثانية وبأخذ مجموع العزوم حول محور يمرّ من أبعد ليف مضغوط تُحسب قيمة العزم التوازني:

$$M_b = C_C \cdot \frac{y_b}{2} + C_{S1} \cdot x_1 + C_{S2} \cdot x_2 - N_b \cdot \frac{\ell_w}{2} - T_{S3} \cdot x_3 - T_{S4} \cdot x_4$$

- النقطة الأساسية الثالثة رقم 3 من المخطط: تُمَثَّل نقطة الشد المركزي، حيث تُحسب قيمة قوة الشد المباشر التي يمكن للمقطع تحملها مع إهمال مقاومة

$$N_T = -A_{S(\text{tot})} \cdot f_y \text{ العلاقة: وفق العلاقة:}$$

4- النتائج والمناقشة:

المرحلة الأولى من الدراسة التحليلية: رُسمت مخططات الترابط لكافة الحالات الموضحة في الجدول (4) وهي 27 حالة، وحُسبت قيم القوى والعزوم الإسمية اعتماداً على معادلات التوازن لاثنتا عشرة نقطة إضافة للنقاط الثلاث الأساسية، كما بلغ العدد الإجمالي للنقاط المدروسة وفق الطريقة الدقيقة اثنتان وعشرون نقطة، ولم يُبين الفارق بين القوى المحصلة الإسمية N_n ، لأنه كان صغيراً جداً في كافة مراحل الدراسة، وتم التركيز على العزوم فقط، ويبين الجدول (6) قيم كلٍ من نقطة الضغط المركزي والشد المركزي للحالات المدروسة.

الجدول (6) قيم نقطتي الشد المركزي والضغط البسيط من أجل تسليح الجسد BR1

جودة الخرسانة	تسليح كل طرف من العناصر المحيطة (cm ²)	N ₀ (ton)	N _T (ton)
C1	12,32	1410,48	186,48
	21,43	1483,37	259,37
	29,15	1545,20	321,20
C2	12,32	1546,48	186,48
	21,43	1619,37	259,37
	29,15	1681,20	321,20
C3	12,32	1716,48	186,48
	21,43	1789,37	259,37
	29,15	1851,20	321,20

الجدول (7) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الإسمية للحالة ID1-C1-RR1-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	511,59	521,36	517,82	1,20	-0,68
160	0,43	716,82	755,78	762,43	5,98	0,87
200	0,54	765,73	799,65	810,42	5,52	1,33
226,31	0,61	778,59	807,53	813,40	4,28	0,72
240	0,65	766,94	792,92	804,26	4,64	1,41
260	0,70	744,80	766,11	779,13	4,41	1,67
280	0,76	716,04	732,37	747,30	4,18	2,00
300	0,81	680,24	691,32	708,83	4,03	2,47
320	0,86	637,04	642,66	663,11	3,93	3,08
340	0,92	586,19	586,19	610,03	3,91	3,91

الجدول (8) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C1-RR2-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	634,53	644,30	633,39	-0,18	-1,72
160	0,43	840,72	879,69	885,91	5,10	0,70
200	0,54	889,62	923,56	933,91	4,74	1,11
226,31	0,61	902,50	931,43	934,34	3,41	0,31
240	0,65	881,75	907,72	919,21	4,08	1,25
260	0,70	848,03	869,34	882,75	3,93	1,52
280	0,76	809,36	825,69	840,99	3,76	1,82
300	0,81	764,95	776,04	793,90	3,65	2,25
320	0,86	714,23	719,86	740,65	3,57	2,81
340	0,92	656,75	656,75	680,92	3,55	3,55

الجدول (9) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C1-RR3-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	738,81	748,59	731,04	-1,06	-2,40
160	0,43	945,83	984,79	992,27	4,68	0,75
200	0,54	994,72	1028,67	1040,26	4,38	1,11
226,31	0,61	1007,6	1036,54	1037,73	2,90	0,11
240	0,65	979,13	1005,11	1018,25	3,84	1,29
260	0,70	935,60	956,92	971,96	3,74	1,55
280	0,76	888,52	904,84	921,64	3,59	1,82
300	0,81	836,82	847,90	867,14	3,50	2,22
320	0,86	779,72	785,35	807,40	3,43	2,73
340	0,92	716,61	716,61	741,94	3,41	3,41

الجدول (10) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C2-RR1-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	549,97	559,74	556,20	1,12	-0,64
160	0,43	777,85	816,82	823,46	5,54	0,81
200	0,54	832,18	866,13	876,89	5,10	1,23
226,31	0,61	846,49	875,43	881,30	3,95	0,67
240	0,65	834,91	860,89	872,23	4,28	1,30
260	0,70	812,05	833,36	846,38	4,06	1,54
280	0,76	781,59	797,92	812,85	3,85	1,84
300	0,81	743,09	754,18	771,69	3,71	2,27
320	0,86	696,22	701,85	722,30	3,61	2,83
340	0,92	640,72	640,72	664,56	3,59	3,59

الجدول (11) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الاسمية للحالة ID1-C2-RR2-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	672,90	682,68	671,77	-0,17	-1,62
160	0,43	901,76	940,72	946,95	4,77	0,66
200	0,54	956,09	990,03	1000,38	4,43	1,03
226,31	0,61	970,40	999,34	1002,24	3,18	0,29
240	0,65	949,72	975,70	987,18	3,79	1,16
260	0,70	915,28	936,59	950,00	3,65	1,41
280	0,76	874,90	891,23	906,53	3,49	1,69
300	0,81	827,81	838,90	856,76	3,38	2,09
320	0,86	773,42	779,05	799,83	3,30	2,60
340	0,92	711,28	711,28	735,45	3,29	3,29

الجدول (12) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الاسمية للحالة ID1-C2-RR3-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	777,19	786,96	769,42	-1,01	-2,28
160	0,43	1006,86	1045,83	1053,30	4,41	0,71
200	0,54	1061,19	1095,14	1106,73	4,11	1,05
226,31	0,61	1075,50	1104,44	1105,63	2,72	0,11
240	0,65	1047,10	1073,08	1086,22	3,60	1,21
260	0,70	1002,85	1024,17	1039,21	3,50	1,45
280	0,76	954,06	970,39	987,19	3,36	1,70
300	0,81	899,68	910,76	930,00	3,26	2,07
320	0,86	838,91	844,53	866,59	3,19	2,55
340	0,92	771,14	771,14	796,47	3,18	3,18

الجدول (13) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الاسمية للحالة ID1-C3-RR1-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	597,94	607,72	604,17	1,03	-0,59
160	0,43	854,15	893,11	899,76	5,07	0,74
200	0,54	915,27	949,22	959,98	4,66	1,12
226,31	0,61	931,37	960,31	966,18	3,60	0,61
240	0,65	919,88	945,86	957,19	3,90	1,18
260	0,70	896,11	917,42	930,44	3,69	1,40
280	0,76	863,52	879,85	894,78	3,49	1,67
300	0,81	821,66	832,75	850,26	3,36	2,06
320	0,86	770,21	775,84	796,28	3,27	2,57
340	0,92	708,89	708,89	732,73	3,25	3,25

الجدول (14) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C3-RR2-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	نسب التغير في قيم العزوم الأسمية (%)	
					$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$
80	0,22	720,88	730,65	719,74	-0,16	-1,52
160	0,43	978,05	1017,02	1023,25	4,42	0,61
200	0,54	1039,18	1073,12	1083,47	4,09	0,96
226,31	0,61	1055,27	1084,21	1087,12	2,93	0,27
240	0,65	1034,68	1060,66	1072,14	3,49	1,07
260	0,70	999,34	1020,66	1034,06	3,36	1,30
280	0,76	956,84	973,16	988,46	3,20	1,55
300	0,81	906,38	917,47	935,33	3,09	1,91
320	0,86	847,41	853,03	873,82	3,02	2,38
340	0,92	779,45	779,45	803,62	3,01	3,01

الجدول (15) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C3-RR3-BR1

X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	نسب التغير في قيم العزوم الأسمية (%)	
					$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$
80	0,22	825,16	834,94	817,39	-0,95	-2,15
160	0,43	1083,16	1122,12	1129,60	4,11	0,66
200	0,54	1144,28	1178,22	1189,82	3,83	0,97
226,31	0,61	1160,38	1189,32	1190,51	2,53	0,10
240	0,65	1132,07	1158,05	1171,19	3,34	1,12
260	0,70	1086,91	1108,23	1123,27	3,24	1,34
280	0,76	1035,99	1052,32	1069,12	3,10	1,57
300	0,81	978,25	989,33	1008,57	3,01	1,91
320	0,86	912,89	918,52	940,57	2,94	2,34
340	0,92	839,31	839,31	864,64	2,93	2,93

يُلاحظ من نتائج الفروقات المبيّنة في الجداول من (7) حتى (15) والمستنتجة من معادلات التوازن وفق فرضية تمثيل القوى الداخلية بعدد محدود من المحصلات، الآتي:

- يعد التطابق بين قيم العزوم المحسوبة وفق الطريقة الدقيقة وتلك المحسوبة وفق الطرائق التقريبية جيد جداً، حيث لم يزد الفرق عن 3,91% عند تجميع قوى داخلية بأربع محصلات، ولا عن 5,98% عند تجميعها بثلاث محصلات.
- أنّ التطابق بين الطريقة الدقيقة والطرائق التقريبية يتحسن نسبياً عند الاعتماد على افتراض عدد محصلات القوى الداخلية هي أربعة وليست ثلاثة.
- أنّ زيادة نسبة التسليح في العناصر المحيطية من قيمة دنيا 1,0% إلى قيمة قصوى 2,5% وتحسين مقاومة الخرسانة للجدار من 180Kg/cm² إلى

225Kg/cm² أي بنسبة زيادة 25% قد ساهمتا في تقارب الفرق بين كلٍ من الطريقتين التقريبتين والطريقة الدقيقة بقيمة لا تتجاوز 4,00% لطريقة 3F وقيمة لا تتجاوز 1,50% للطريقة 4F، أي تتقارب النتائج بشكل كبير وتكاد أن تتطابق كلما كانت جودة الخرسانة أفضل وكلما زادت نسبة تسليح العنصر المحيطي، كما هو مبين في الجدول (16):

الجدول (16) متوسط الفرق من أجل جودة للخرسانة ثابتة مع تغير نسبة التسليح في العناصر المحيطية

تسليح الجسد	جودة الخرسانة	متوسط الفرق للطريقة 3F	متوسط الفرق للطريقة 4F
BR1	C1	3,67%	1,43%
	C2	3,41%	1,32%
	C3	3,13%	1,21%

المرحلة الثانية من الدراسة التحليلية:

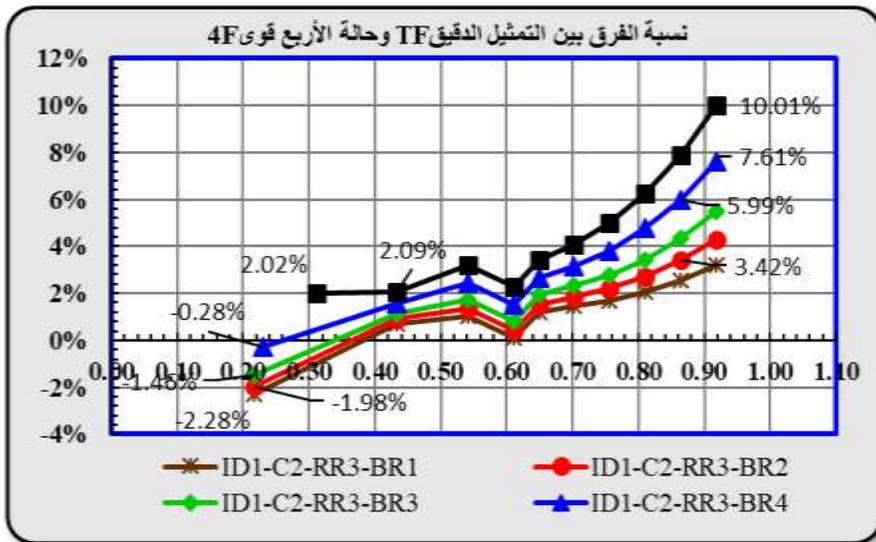
لدى وصول طول العنصر المحيطي للحد الأعظمي المسموح به وفق الكود التصميمي واستعمال نسبة تسليح أعظمية في العناصر المحيطية المخفية بسبب عدم تحقق قدرة الجدار لتحمل الجهود المطبقة من تأثير القوى الزلزالية، يلجأ المهندسون لزيادة نسبة التسليح في جسد الجدار على ألا تتجاوز 2,50% بالمتر الطولي، ولبيان مدى تأثير زيادة نسبة التسليح في جسد الجدار على الطريقتين التقريبتين مقارنة مع الطريقة الدقيقة TF، رُسمت مخططات الترابط لحالة واقعية باستعمال خرسانة ذي الرمز C2 ($f'_c = 200\text{kg/cm}^2$) ونسبة تسليح في العناصر المحيطية RR3 ($\mu_s = 2,50\%$) مع تغير تسليح الجسد من BR1 → BR5، كما في الجدول (5).

أظهرت نتائج الدراسة المبينة في الجدول (12) لحالة ID1-C2-RR3-BR1 حيث تسليح الجسد بنسبة أصغرية 0,39% تعادل 5T10/m ونتائج الدراسة المبينة بالجدول (17) لحالة ID1-C2-RR3-BR5 حيث تسليح الجسد بنسبة 1,39% تعادل 9T14/m، أنه كلما زادت نسبة التسليح في الجسد زاد الفرق بين كلٍ من الطريقتين التقريبتين والطريقة الدقيقة TF ولكن يُعد التوافق ممتازاً بالنسبة للطريقة 4F وخاصة أنه لصالح الأمان، أي أن الطريقة التقريبية تعطي قيم عزوم أصغر من تلك الناتجة عن الطريقة الدقيقة، حيث تراوحت بقيمة وسطية من (4,62% → 1,17%)، الشكل (4)، وأكبر من ذلك بالنسبة للطريقة 3F، إذ تراوحت من (11,33% → 3,03%)، وهو

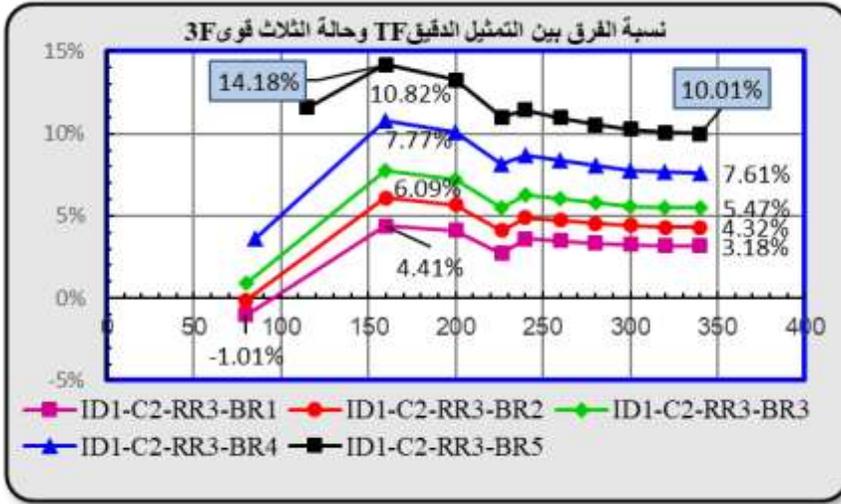
أيضاً لصالح الأمان، الشكل (5)، ولهذا السبب لم يُعتمد على زيادة نسبة التسليح في الجسد عن القيمة %1,39، لأن الزيادة في الفرق ستتجه لحد غير اقتصادي وتزيد عن %15، ويبين الشكل (6) مخططات الترابط للحالة ID1-C2-RR3-BR5 للطرائق الثلاث.

الجدول (17) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية للحالة ID1-C2-RR3-BR5

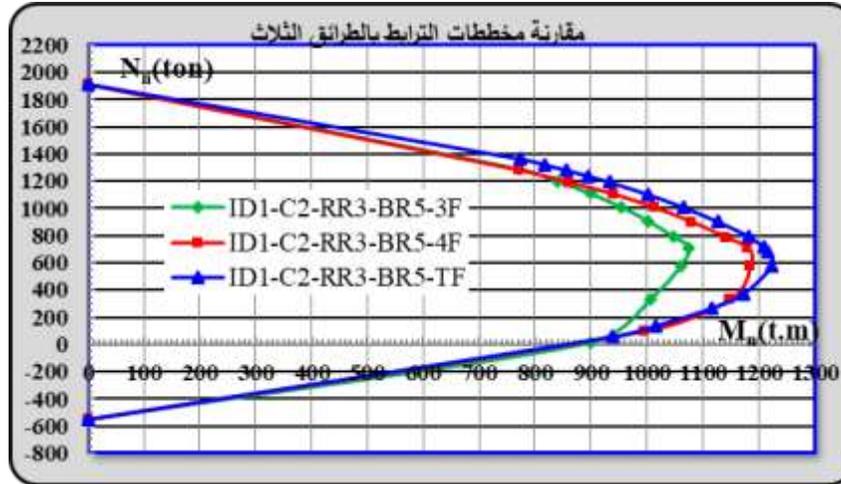
X	X/d	M _{n,F3} (t-m)	M _{n,F4} (t-m)	M _{n,TF} (t-m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}} \%$	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}} \%$
115	0,31	898,76	995,97	1016,47	11,58	2,02
160	0,43	1006,86	1148,70	1173,19	14,18	2,09
200	0,54	1061,19	1184,75	1223,70	13,28	3,18
226,31	0,61	1075,50	1180,84	1208,31	10,99	2,27
240	0,65	1047,10	1141,66	1182,25	11,43	3,43
260	0,70	1002,85	1080,44	1126,45	10,97	4,08
280	0,76	954,06	1013,50	1066,63	10,55	4,98
300	0,81	899,68	940,02	1002,44	10,25	6,23
320	0,86	838,91	859,39	932,74	10,06	7,86
340	0,92	771,14	771,14	856,88	10,01	10,01



الشكل (4) نسبة الفرق بين التمثيل الدقيق TF وحالة الأربع قوى 4F بتغير تسليح الجسد BR



الشكل (5) نسبة الفرق بين التمثيل الدقيق TF وحالة الثلاث قوى 3F بتغيير تسليح الجسد BR



الشكل (6) مخططات الترابط للطرائق (3F-4F-TF) لجدار قصي وفق الحالة ID1-C2-RR3-BR5

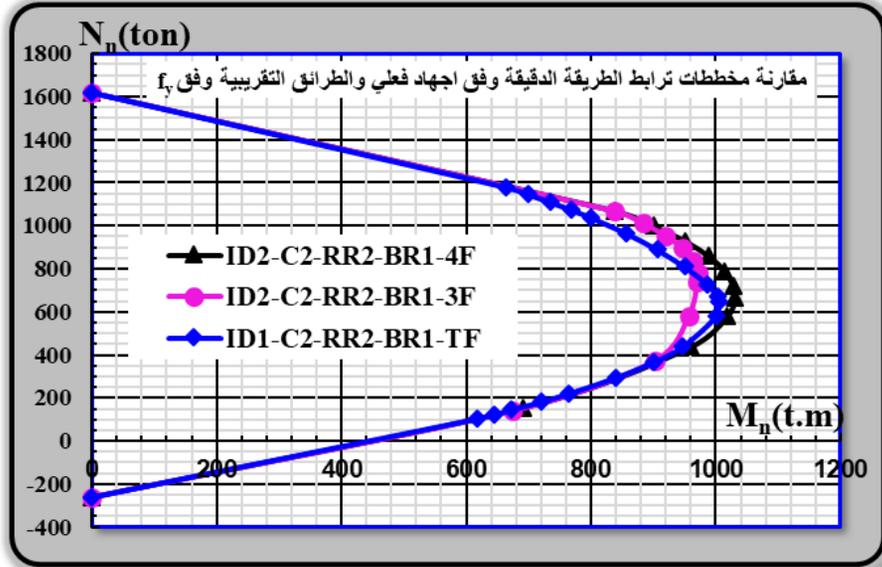
المرحلة الثالثة من الدراسة التحليلية:

أُعيد دراسة الحالة الواقعية مع تثبيت نسبة تسليح الجسد بـ $5T10/m$ وفق فرضية وصول الإجهاد في جميع صفوف التسليح لإجهاد الخضوع f_y ، أي تم مقارنة الحالة ID2-C2-RR3-BR1-3F، والحالة ID2-C2-RR3-BR1-4F، والحالة ID2-C2-RR3-BR1-3F، مع نتائج الحالة ID1-C2-RR3-BR1-TF، ويوضح الجدول (18) نتائج العزوم الإسمية للحالات المدروسة الثلاث مع نسب التغير للعزوم الإسمية، بيّنت النتائج أنّ الاعتماد

على الفرضية الثانية لرسم مخطط الترابط وفق الطريقة التقريبية، كما في الشكل (7)، قد أعطى قيم لبعض العزوم ليست لصالح الأمان بدءاً من القيمة 0,65 لبعد خط الصفر النسبي وحتى القيمة 0,92، مع وجود فروقات لقيم خط الصفر النسبي الأصغر من ذلك، لكن يمكن اعتبارها صغيرة ومقبولة.

الجدول (18) نتائج ونسب التغير في قيم العزوم الأسمية لحالة واقعية وذلك بين الطريقتين 3F, 4F وفق الفرضية الثانية، والطريقة الدقيقة TF وفق الفرضية الأولى

X	X/d	ID2- M _{n,F3} (t.m)	ID2- M _{n,F4} (t.m)	ID1- M _{n,TF} (t.m)	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,3F}}{M_{n,TF}}$ %	$\frac{M_{n,TF} - M_{n,F4}}{M_{n,TF}}$ %
80	0,22	675,18	691,52	671,77	-0,51	-2,94
160	0,43	901,76	958,31	946,95	4,77	-1,20
200	0,54	956,09	1017,66	1000,38	4,43	-1,73
226,31	0,61	970,40	1030,32	1002,24	3,18	-2,80
240	0,65	971,12	1027,67	987,18	1,63	-4,10
260	0,70	963,89	1014,16	950,00	-1,46	-6,75
280	0,76	946,84	988,31	906,53	-4,45	-9,02
300	0,81	919,96	950,12	856,76	-7,38	-10,90
320	0,86	883,26	899,60	799,83	-10,43	-12,47
340	0,92	836,73	836,73	735,45	-13,77	-13,77



الشكل (7) مخططات الترابط للطريقتين التقريبتين (3F-4F) وفق الفرضية الثانية مع مخطط الترابط للطريقة الدقيقة TF وفق الفرضية الأولى.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

- يمكن من أجل تسهيل رسم مخططات الترابط الاعتماد على فكرة تمثيل القوى الداخلية بأربع محصلات وحتى بثلاث محصلات بدلاً عن تمثيلها الحقيقي، حيث كانت العزوم الناتجة عن ذلك أصغر بقليل من تلك الناتجة عن تمثيل كل صف من صفوف التسليح بقوة منفردة.
- أنّ تمثيل القوى الداخلية بأربع محصلات أعطى نتائج أفضل من تمثيلها بثلاث محصلات، حتى أنها تكاد أن تتطابق مع نتائج التمثيل الحقيقي للقوى الداخلية.
- كلما كانت جودة الخرسانة أفضل، وزادت نسبة التسليح في العناصر المحيطية، كلما تحسن التطابق بين الطريقة الدقيقة بتمثيل القوى الداخلية والطرائق التقريبية.
- تبقى النتائج لصالح الأمان باستعمال الطرائق التقريبية حتى مع زيادة نسبة التسليح في جسد الجدار، ولا تتعدى 5% بتمثيل القوى الداخلية بأربعة محصلات، وتزيد قليلاً عن 11% بتمثيل القوى الداخلية بثلاث محصلات وذلك عندما تصل نسبة تسليح الجدار إلى 0,0139.
- لا يُنصح باستعمال الطريقة التقريبية بتمثيل القوى الداخلية بثلاث محصلات مع نسبة تسليح للجسد تزيد عن 0,0125 حيث يسبب ذلك هدراً بالاقتصاد.
- إنّ الاعتماد على فرضية وصول الإجهاد في جميع أسياخ التسليح لحد الخضوع f_y تعطي قيماً للعزوم الأسمية ليست لصالح الأمان، تصل الفروقات ببعض الأحيان إلى 13%، وخاصة من أجل نسبة عالية من بعد الخط المحايد للإجهاد المنسوب على الارتفاع الفعال (x/d) .

6- المراجع:

- [1] البيتون المسلح 2، للأستاذ الدكتور المهندس علاء الدين ناصر والأستاذ الدكتور المهندس يوسف الرغبان، منشورات جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية، الطبعة الثانية، حلب 2021.

- [2] تصميم العناصر الخرسانية المسلحة، للأستاذ الدكتور المهندس علاء الدين ناصر، منشورات نقابة المهندسين فرع حلب، الطبعة الأولى، حلب 2017.
- [3] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، الطبعة الخامسة المطورة، نقابة المهندسين السوريين، دمشق 2022.
- [4] الملحق رقم 2/ للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، الطبعة الثالثة، دمشق 2020.

[5] ACI Committee. "**Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary.**" American Concrete Institute, 2008.

[6] ACI Committee. "**Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary.**" American Concrete Institute, 2019.

[7] 2012 IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual: "**Building Design Examples for Steel and Concrete, Vol. 3**", Structural Engineers Association of California, 2012.

An Analytical Comparison For Designing Shear Walls Using the Equilibrium Equations Method

***Dr. Eng. Sufana Hamwiah**

*Dept. of General Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering in Al-Hasakah,
Al-Furat University

Abstract

As a result of the horizontal forces, the shear walls (structural walls) of reinforced concrete are subjected to a complex bending state, "a central compressive force associated with a bending moment located in the plane of the wall".

One of the design methods depends on the equilibrium equations in drawing the interaction diagram for a cross-section of a wall of known dimensions and reinforcement, The multiplicity of reinforcement rows along the wall and the change in the values of the reinforcement ratios between the sides and the body of the wall made drawing the interaction diagram not easy, so the engineers resorted to simplifying the solution according to two hypotheses.

The first: Adopting a simplified method to represent the resultant forces in all longitudinal armament bars, with only several forces (three or four).

The second: Considering that the tension in all rows of longitudinal bars have reached the point of yield strength of steel, whether in compressed or tensioned Reinforcement bars

The research deals with explaining the differences between the accurate method of representing the reinforcement rows and the simplified methods by changing each of the reinforcement ratios in the boundary elements with the change in the quality of the concrete, and studying the extent of the effect of changing the proportion of reinforcement in the body of the wall on this comparison, and for a realistic case, the exact method was compared And the approximate representation of the reinforcement in order to increase the proportion of reinforcement in the body of the wall, and again for a constant value

of stress assuming that it reached yield stress f_y in all rows of reinforcing bars, and the results showed convergence between the three methods for the sake of the first hypothesis, and that increasing the proportion of reinforcement in the body gave inaccurate results in the case of approximate methods, and relying on the second hypothesis was not in favor of safety in the case of approximate methods.

Key Words: Shear Walls, Resistance to horizontal forces, Equilibrium Equations, Interaction Diagram.