النسبة الاقتصادية لحديد التسليح في خرسانة الأعتاب المستطيلة المفردة حديد التسليح

نجم عبيد سالم الغزالي عبد الكريم الصفار

جامعة بابل- كلية الهندسة

الخلاصة

تم في هذا البحث ربط المتطلبات التصميمية لعتب خرساني ذو مقطع مستطيل مع كلفة تنفيذ هذا العتب. وقد تم التوصل الى نسبة حديد تسليح اقتصادية تفي بمتطلبات التصميم وباقل كلفة للخرسانة المسلحة. كما تم التوصل الى ايجاد معادلة خطية تربط بين العزم المسلط على العتب والكلفة الكلية. ومن خلال هذه المعادلة يمكن تخمين كلفة العتب لعزم معين مسلط على العتب.

1. المقدمة

يواجه المهندس المدني المسؤول عن التصميم حالة تصميم جسر ذو مقطع مستطيل (ايجاد ابعاد المقطع والتسليح) متعرض لحمل معين. باستخدام طريقة المقاومة القصوى في التصميم (Ultimate Strength Design) لتسليح منفرد للجسر (Singly Reinforced Beam) نفرض ابعاد المقطع ومن ثم يتم اختيار نسبة حديد التسليح (ρ) بحيث تحقق المتباينة ($\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$) لتحقيق فشل الشد في الحديد [1-4]. يفضل هذا النوع من الفشل كونه فشل تدريجي، فالانتقال من الفشل الاولي للحديد الى الفشل الثانوي في الكونكريت يتطلب زمن ويؤدي الى هطول وتشققات في كونكريت العتب وبذلك يعطي تحذيرا. ومن ثم تدقق ابعاد المقطع المفروضة ثم يتم ايجاد كمية التسليح وعدد قضبان التسليح لكي توضع في طبقة واحدة او في طبقتين حسب عرض الجسر.

كما هو معروف ان مابعد مرحلة التصميم تبدأ مرحلة التنفيذ. وعادة مرحلة التنفيذ تتطلب الاخذ بنظر الاعتبار الكلف، وهذه الكلف تتضمن كلفة الخرسانة وكلفة حديد التسليح وكلفة القالب وكلفة الايدي العاملة [5]. يلجأ المنفذ عادة الى التقليل من كلفة التنفيذ الى اقل مايمكن من خلال استخدام البدائل المتوفرة [1]. فمثلا يختار المنفذ بين طريقة الصب الجاهز وطريقة الصب الموقعي. ويختار القالب الذي من الممكن ان يكون خشبي او من صفائح الخشب الرقائقي او قالب حديدي او قالب المنيوم او غيره من الانواع المتوفرة. ان لكل من هذه القوالب استخدامات خاصة، فمثلا القالب الحديدي وقالب الالمنيوم يستخدمان عندما يراد انتاج سطوح مقوسة او دائرية كما في حالة الاعمدة المدورة او لصب الانابيب الكونكريتية او الواجهات المنحنية بينما القالب الخشبي الذي يعتبر الاكثر استخداما في الوقت الحاضر في بلدنا يتميز برخص ثمنه مقارنة بالانواع الاخرى.

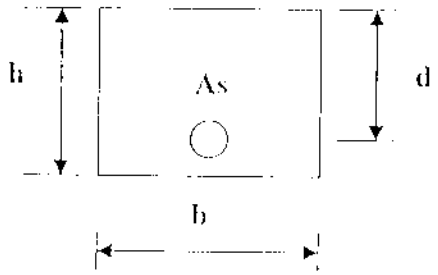
مما سبق يتبين ان التصميم مرتبط بكلفة التنفيذ. ولكن عادة لاتراعى النواحي الاقتصادية في التصميم، بينما تعتبر الناحية الاقتصادية لاي منشأ او مشروع من الامور التي لاتقل اهمية عن الامور الاخرى مثل المتانة او النوعية [2].

في هذا البحث تم دراسة تصميم جسر خرساني ذو مقطع مستطيل مفرد حديد التسليح وتم ربط التصميم مع كلفة التنفيذ لتحقيق موازنة اقتصادية من خلال اختيار افضل نسبة حديد (ρ) تحقق المتطلبات التصميمية والمتطلبات الاقتصادية في آن واحد. وقد تم اعداد برنامج بلغة بيسك لحساب قيمة نسبة حديد

التسليح (ρ) ، كمية الحديد ، البعد العمودي للمقطع المستطيل حيث ان البعد الافقي مفروض، وكلفة المتر طول من الخرسانة المسلحة.

2. الحالة المدروسة

في هذه الدراسة تم تصميم جسر ذو مقطع مستطيل متعرض لعزوم معينة باستخدام طريقة المقاومة القصوى في التصميم (Ultimate Strength Design) لتسليح منفرد للجسر (Singly Reinforced Beam) . الشكل رقم (١) يبين مقطع الجسر.



(الشكل رقم (1))

1.2 الفرضيات

لاغراض عملية تم فرض

1. عرض الجسر b = 360 mm
2. العزوم المسلطة على الجسر (300, 400, 500, 600, 700, 800) KN.m
3. fy = 414 MPa
4. f'c = 28 MPa
5. قطر الاثربة (Stirrups) مساوية الى 10 mm
6. الغطاء الكونكريتي (Concrete cover) مساوي الى 40 mm من كل جهة.

ان المعادلة المستخدمة لحساب عرض المقطع هي:

$$b = 2dc + 2\ cover + n\ db + (n-1)\ s$$

حيث:

قطر الاثربة، وفرضت مساوية الى 10 mm

سمك الغطاء الكونكريتي، وفرض مساوي الى 40 mm من كل جهة.

عدد قضبان التسليح

قطر قضبان التسليح

المسافة بين قضبان التسليح، وتحدد بموجب المعادلة ($s = \max(db, 25\ mm)$)

قطر قضبان حديد تسليح الجسور المستخدمة تتراوح بين 12 mm الى 25 mm، ومن الممكن ان يكون التسليح للمقطع يمكن ان يكون بطبقة واحدة او اكثر. ولغرض تشغيل البرنامج الحاسوبي تم اعتماد حديد التسليح لطبقة واحدة كالاتي:

$$b = 100 + n\ db + (n-1)\ s$$

$b = 360$ mm, $s = 25$ mm

$360 = 100 + n\,db + 25\,n + 25$

$285 = n\,(db + 25)$

وباختيار قطر قضيب التسليح مساوي الى 22mm يصبح عدد قضبان التسليح في طبقة واحدة:

$n = 285/(22 + 25) = 6$

وبتدقيق عرض المقطع

$b = 100 + 6 \times 22 + 5 \times 25 = 357$ mm (O.K.)

لذا تكون مساحة التسليح في طبقة واحدة

$As = 6 \times (11)^2 \Pi = 2281$ mm^2

لقد استخدمت مساحة التسليح 2281 mm^2 لتحديد كون التسليح في طبقة واحدة. أي انه اذا كانت مساحة التسليح المستخرجة مساوية او اقل من 2281 mm^2 فيكون التسليح في طبقة واحدة واذا كانت المساحة المستخرجة اكبر من 2281 mm^2 يكون التسليح في اكثر من طبقة. اما ارتفاع العتب فحسب لطبقة واحدة كالاتي:

$h = d + 22/2 + 10 + 40$

$h = d + 60$

و لاكثر من طبقة يكون ارتفاع العتب $h = d + 85$

2.2 المعادلات المستخدمة

$\rho_{min} = 1.4/fy$

$\rho_b = 0.85\,\beta_1 (f'c/fy)\,(600/(600 + fy))$

اخذت قيمة $\beta_1 = 0.85$ لان $f'c = 28$ Mpa < 30 MPa

$\rho_{max} = 0.75\,\rho_b$

$Mu = \phi\,\rho\,fy\,b\,d^2\,(1 - 0.59\,\rho\,fy/f'c)$

ϕ (Strength reduction factor) = 0.9

2.3 كلفة متر طول من الجسر ذو المقطع المستطيل

تم فرض الاسعار التالية، والتي تتضمن كلفة المواد مع اجور العمل، تماشيا مع اسعار الاسواق المحلية (في فترة اعداد هذا البحث)، مع ملاحظة انه يمكن فرض الاسعار حسب الوقت المستخدم في التصميم.

المادة	الكلفة (دينار عراقي (ID) x 1000)
كونكريت جاهز	50 ID/ m^3
حديد التسليح	400 ID/ ton
القالب الخشبي*	6 ID/ m^2

* كلفة القالب الخشبي تتضمن كلفة متر مربع من القالب الخشبي مع اجور عمل حديد التسليح

وتحسب كلفة متر طول من الجسر ذو المقطع المستطيل كالاتي:

1. كلفة الكونكريت CC

$CC = b \times h \times 1 \times 50000/(1000 \times 1000) = 0.05\,bh$

b و h تقاس بالمليمتر.

2. كلفة القالب CF

$$CF = (b + 2h) \times 1 \times 6000/ 1000 = 6(b + 2h)$$

b و h تقاس بالملیمتر.

3. كلفة حديد التسليح CS

$$CS = As \times 1 \times 7.8 \times 400 \times 1000 / 10^6 = 3.12\ As$$

حيث ان As تقاس بالملیمتر المربع و 7.8 هي كثافة الحديد بالطن/ م^3.

4. الكلفة الكلية TC

$$TC = CC + CF + CS$$
$$= 0.05\ bh + 6\ (b + 2h) + 3.12\ As$$

3. الحسابات

$\rho_{min} = 1.4/ fy = 1.4/ 414 = 0.0034$

$\rho_b = 0.85\ \beta_1 (f'c/ fy)\ (600/(600 + fy))$
$= 0.85 \times 0.85\ (28/ 414)\ (600/ (600 + 414)) = 0.0289$

$\rho_{max} = 0.75\ \rho_b = 0.75 \times 0.0289 = 0.0217$

$Mu = \phi\ \rho\ fy\ b\ d^2 (1 - 0.59\ \rho\ fy/f'c)$

بفرض ان

$A = \phi\ \rho\ fy\ b\ (1 - 0.59\ \rho\ fy/f'c)$

$A = 0.9 \times \rho \times 414 \times 360\ (1 - 0.59 \times \rho \times 414/ 28)$ (KN/ m)

فان

$d = SQR\ (Mu \times 10^6/ A)$ (mm)

نختار عشرة قيم لـ ρ من ρ_{min} الى ρ_{max} بزيادة قدرها

$(\rho_{max} - \rho_{min})/ 9 = (0.0217 - 0.0034)/9 = 0.002$

لعزم مقداره 300 KN.m و لـ $\rho = 0.0034$ تجري الحسابات كالاتي:

$d = 823$ mm

$As = \rho\ bd = 0.0034 \times 360 \times 823 = 1007\ mm^2$

ان هذه المساحة اقل من $2281\ mm^2$ لذا يكون التسليح بطبقة واحدة

$h = d + 60 = 823 + 60 = 883$ mm

$CC = 0.05\ bh = 0.05 \times 360 \times 883 = 15894$ ID/m

$CF = 6\ (b + 2h) = 6\ (360 + 2 \times 883) = 12756$ ID/ m

$CS = 3.12\ As = 3.12 \times 1007 = 3142$ ID/m

$TC = CC + CF + CS = 15894 + 12756 + 3142 = 31792$ ID/ m

ولقيم ρ الاخرى تجري الحسابات بنفس الاسلوب السابق، والجدول رقم (1) يبين النتائج. ولقيم العزوم الاخرى من 400 KN.m الى 800 KN.m توضح الجداول من رقم (2) الى رقم (6) النتائج. اما الجدول رقم (7) فيبين الكلفة الكلية لقيم ρ تتراوح من ρ_{min} الى ρ_{max} ولجميع العزوم من 300 KN.m الى 800 KN.m.

من الجدول رقم (7) (عدا عمود العزم 300 KN.m) نلاحظ ان القيمة الثامنة لـ ρ والتي هي (0.0176) تعطي اقل كلفة كلية. وكمحاولة لايجاد معادلة يمكن من خلالها تحديد قيمة كلية تخمينية للجسر تحت عزوم من 400 KN.m الى 800 KN.m استخدم البرنامج الجاهز (Grapher) وكانت المعادلة:

$TC = 23.095\ Mu + 17927$ ..... (1)

حيث يكون العزم بوحدات KN.m والكلفة بالدينار العراقي. الشكل رقم (2) يبين العلاقة بين العزوم والكلفة الكلية، ونلاحظ ان الكلفة تزداد مع ازدياد قيمة العزم المسلط وهذا امر طبيعي ومتوقع.

4. المناقشة والاستنتاج

1. من خلال الجداول نلاحظ انه يمكن انتخاب ρ الاقتصادية (تفي بمتطلبات التصميم واقل كلفة للخرسانة المسلحة) لاي عزم معطى.
2. من خلال الجداول (عدا الجدول رقم (1)) نلاحظ ان ρ الاقتصادية هي ثامن قيمة، ونتوقع ان تزحف الى موقع اخر عند تغير الاسعار.
3. من الممكن تخمين الكلفة الكلية للعتب اذا علم العزم (للقيم البينية للعزم من 400 KN.m الى 800 KN.m) باستخدام المعادلة (1).

5. التوصيات

1. تطبيق البرنامج الحاسوبي على عرض عملي اخر للعتب مثل 300mm او 250mm او غيره.
2. تطوير البحث وذلك بتضمين كلفة المتر طول من الجسر كلفة الاتاري وكلفة حديد التسليح العلوي اللازم لربطه مع الاتاري.
3. تطوير البحث ليشمل اجزاء اخرى من المنشأ الخرساني مثل الاعمدة والسقوف.

ملحق (1) – الجداول والرسوم

الجدول رقم (1): الحسابات لعزم مقداره 300 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	CT
0.0034	823	1007	883	15894	12756	3142	31792
0.0054	659	1281	719	12942	10788	3997	27727
0.0075	565	1526	625	11250	9660	4761	25671
0.0095	507	1734	567	10206	8964	5410	24580
0.0115	465	1925	525	9456	8460	6006	23916
0.0136	432	2115	492	8856	8064	6599	23519
0.0156	407	2286	492	8856	8064	7132	24052
0.0176	387	2452	472	8496	7824	7650	23970
0.0197	370	2624	455	8190	7620	8187	23997
0.0217	357	2789	442	7956	7464	8702	24122

الجدول رقم (2): الحسابات لعزم مقداره 400 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	CT
0.0034	951	1164	1011	18198	14292	3632	36122
0.0054	761	1479	821	14778	12012	4614	31404
0.0075	652	1760	712	12816	10704	5491	29011
0.0095	585	2001	645	11610	9900	6243	27753
0.0115	537	2223	597	10746	9324	6936	27006
0.0136	499	2443	584	10512	9168	7622	27302
0.0156	470	2640	555	9990	8820	8237	27047
0.0176	447	2832	532	9576	8544	8836	26956
0.0197	428	3035	513	9234	8316	9470	27020
0.0217	412	3219	497	8946	8124	10043	27113

الجدول رقم (3): الحسابات لعزم مقداره 500 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	CT
0.0034	1063	1301	1123	20214	15636	4059	39909
0.0054	851	1654	911	16398	13092	5160	[illegible]
0.0075	729	1968	789	14202	11628	6140	[illegible]
0.0095	654	2237	714	12852	10728	6979	[illegible]
0.0115	600	2484	685	12330	10380	7750	
0.0136	558	2732	643	11574	9876	8522	
0.0156	526	2954	611	10998	9492	9216	
0.0176	500	3168	585	10530	9180	9883	
0.0197	478	3390	563	10134	8916	10577	
0.0217	460	3594	545	9810	8700	11273	

الجدول رقم (4): الحسابات لعزم مقداره 600 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	
0.0034	1164	1425	1224	22032	16848	[illegible]	
0.0054	932	1812	992	17856	14064	5653	37573
0.0075	799	2157	859	15462	12468	6730	34660
0.0095	717	2452	802	14436	11784	7650	33870
0.0115	658	2724	743	13374	11076	8499	32949
0.0136	611	2991	696	12528	10512	9332	32372
0.0156	576	3235	661	11898	10092	10093	32083
0.0176	548	3472	633	11394	9756	10833	31983
0.0197	524	3716	609	10962	9468	11594	32024
0.0217	504	3937	589	10602	9228	12283	32113

الجدول رقم (5): الحسابات لعزم مقداره 700 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	CT
0.0034	1258	1540	1318	23724	17976	4805	46505
0.0054	1007	1958	1067	19206	14964	6109	40279
0.0075	863	2330	948	17064	13536	7270	37870
0.0095	774	2647	859	15462	12468	8259	36189
0.0115	710	2939	795	14310	11700	9170	35180
0.0136	660	3231	745	13410	11100	10081	34591
0.0156	622	3493	707	12726	10644	10898	34268
0.0176	592	3751	677	12186	10284	11703	34173
0.0197	566	4014	651	11718	9972	12524	34214
0.0217	545	4258	630	11340	9720	13285	34345

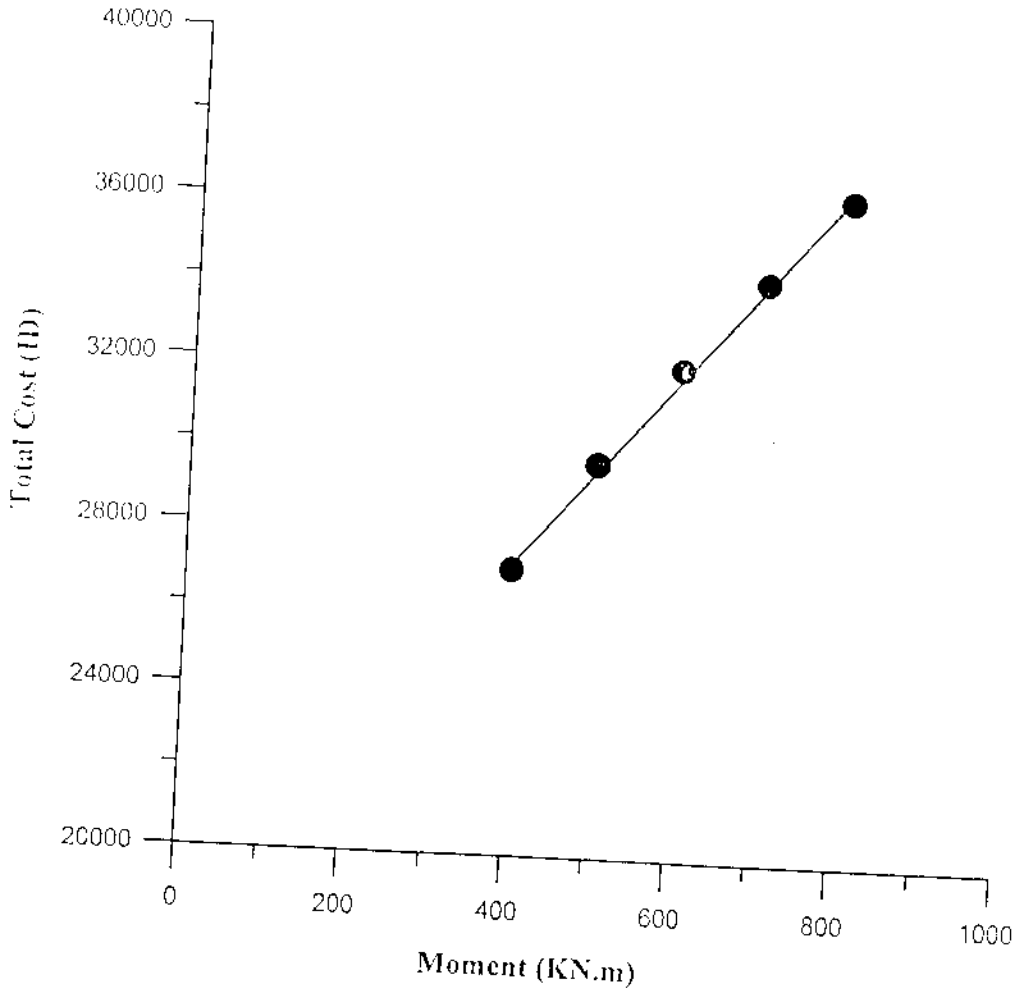
الجدول رقم (6): الحسابات لعزم مقداره 800 KN.m

ρ	d	As	H	CC	CF	CS	CT
0.0034	1345	1646	1405	25290	19020	5136	49446
0.0054	1077	2094	1137	20466	15804	6533	42803
0.0075	922	2489	1007	18126	14244	7766	40136
0.0095	827	2828	912	16416	13104	8823	38343
0.0115	759	3142	844	15192	12288	9803	37283
0.0136	705	3452	790	14220	11640	10770	36630
0.0156	665	3735	750	13500	11160	11653	36313
0.0176	633	4011	718	12924	10776	12514	36214
0.0197	605	4291	690	12420	10440	13388	36248
0.0217	582	4547	667	12006	10164	14187	36357

الجدول رقم (7): الكلفة الكلية لجميع قيم ρ ولجميع العزوم

Mu
KN.m

ρ	Total Cost ID					
	300	400	500	600	700	800
0.0034	31792	36122	39909	43326	46505	49446
0.0054	27727	31404	34650	37573	40279	42803
0.0075	25671	29011	31970	34660	37870	40136
0.0095	24580	27753	30559	33870	36189	38343
0.0115	23916	27006	30460	32949	35180	37283
0.0136	23519	27302	29974	32372	34591	36630
0.0156	24052	27047	29706	32083	34268	36313
0.0176	23970	26956	29595	31983	34173	36214
0.0197	23997	27020	29627	32024	34214	36248
0.0217	24122	27113	29723	32113	34345	36357



الشكل رقم (2) ــ العلاقة بين العزم والكلفة الكلية

ملحق (2) – البرنامج

```
10 fy = 414: fc = 28: b = 360 : f = 0.9
20 FOR Mu = 300 TO 800 STEP 100
30 PRINT "Mu" = ; Mu : PRINT
40 FOR P = 0.0034 TO 0.0217 STEP (0.0217 – 0.0034) / 9
50 A = 0.9  *  414 * 360 * (1 – 0.59 * P * 414 / 28)
60 d = SQR ( Mu * 1o^6 / A)
70 As  = P * b * d
80 IF As > 2281 THEN H = d – 85 : GO TO 100
90 H = d + 60
100 CC = 0.05 * b * H: CF = 6 * (b + 2 * H): CS = 3.12 * As
110 TC = CC + CF + CS
120 B$ = "#.####    ####    ####    ####"
130 C $ = "######   ######   ######   ######"
140 PRINT USING B$; P; d; As; H;
150 PRINT USING C$; CC; CF; CS; CT
160 PRINT
170 NEXT P
180 PRINT: PRINT
190 NEXT Mu
200 END
```

ملحق (3) – المصادر

1. ارنين ليفون وزهير سايكو (1983). "انشاء المباني"

2. د. جميل الملائكة (1965). "النسبة الاقتصادية لحديد التسليح في خرسانة السقوف والاعتاب".

3. د. مؤيد نوري الخلف و هناء عبد يوسف (1984). "تكنلوجيا الخرسانة".

4. Arthur. H. Nilson and George Winter. "Design of Concrete Structures" Tenth Edition

5. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI- 318- 83).

Abstract

In this research the design requirements of a reinforced rectangular concrete beam are connected with the implementation cost. Economical steel ratio is found which satisfy design requirements and with minimum cost. Linear relationship between the total cost and the applied moment on the beam is derived. By this equation, the cost of a beam can be estimated for applied moment on the beam.