



الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي - جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

تحديد مطاوعة عقدة جائر- عمود معدنية موصولة بالبراغي ومدعمة بمجراة معدنية

أعدت هذه الرسالة لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق

إعداد

المهندس حازم الرئيس

إشراف

الدكتور المهندس عفيف رحمة

دمشق 2013

الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي - جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

تحديد مطاوعة عقدة جائر- عمود معدنية موصولة بالبراغي ومدعمة بمجراة معدنية
أعدت هذه الرسالة لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

إشراف الدكتور المهندس: عفيف رحمة

إعداد المهندس: حازم الرئيس



لجنة الحكم السادة الأساتذة:

د. عفيف رحمة	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: حساب الإنشاءات	عضواً مشرفاً
د. عبد الحميد كيخيا	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: منشآت خرسانية مسلحة	عضواً
د. مصطفى بطيخة	المدرس في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: الإنشاءات المعدنية	عضواً



ملخص عن البحث:

يبين هذا البحث طريقة جديدة لتدعيم العقد المعدنية ذات صفيحة النهاية، تلبيةً لبعض المتطلبات المعمارية في المنشآت المعدنية عن طريق تدعيم منطقة العقدة بمقطع مجراة معدنية موصولة بالبراغي بين جناحي العمود.

يدرس البحث كفاءة استخدام مقطع المجراة في تدعيم منطقة الشد والقص في العقدة المعدنية وذلك لزيادة مقاومة العقدة بشكل عام باستخدام الدراسة الميكانيكية في تحديد سلوك العقدة المعدنية من خلال مكافئة مكوناتها بنموذج ميكانيكي بدلالة نظرية المكونات، ودراسة سلوك تلك المكونات في المرحلة اللاحقة، ومن ثم تحليل هذا النموذج باستخدام برنامج (Nascon) لاستنتاج منحنى العزم _ دوران المعبر عن سلوك العقدة.

تمت دراسة ستة عشر نموذجاً مدعماً بسماكات مختلفة لمقطع المجراة والنموذج غير المدعم، كما تمت مقارنة الدراسة باستخدام التقريب اللاحطي مع دراسة العقدة غير المدعمة بحسب الكود الأوربي (prEc3 1.8) واستنتاج أن مقطع المجراة الأكثر ملاءمة لتقوية منطقة اتصال جائر عمود هو ذلك الذي يتساوى فيه سماكة جسد المجراة مع جناحها.

كما تم إجراء تطبيق عملي للبحث في دراسة الإطارات المعدنية وفق برنامج (SAP2000) مع الأخذ بالاعتبار صلابة العقدة المدعمة ومعاينة تأثيراتها على نتائج تحليل الإطار.

فهرس المحتويات

Content

V	فهرس الأشكال
VIII	فهرس الجداول
IX	الرموز المستخدمة
1	<u>الفصل الأول: مقدمة عن البحث (Introduction)</u>
2	1.1 مقدمة (Introduction)
4	2.1 الهدف من البحث (Scope Of The Research)
4	3.1 محتويات الأطروحة – منهجية العمل (Dissertation Contents)
5	4.1 الدراسة المرجعية (Literature review)
9	<u>الفصل الثاني: طرق دراسة سلوك العقد المعدنية (Study Of Behavior Of Steel Joints)</u>
10	1.2 أهمية دراسة مطاوعة العقد المعدنية (The Important Of Ductility Of Steel Joints)
12	2.2 دراسة سلوك العقد المعدنية (Study of joint behavior)
13	3.2 الطرق الميكانيكية لدراسة العقدة (Mechanical Method For Study Joints)
13	1.3.2 نظرية المكونات (Component Method)
15	2.3.2 دراسة سلوك المكونات (Study of component behavior)
18	3.3.2 طريقة T-Stub (T-Stub Method)
20	4.2 طريقة الكود الأوربي لدراسة سلوك العقد المعدنية (Eurocod method for steel connection)
22	5.2 دراسة السلوك اللاخطي للعقد المعدنية (Nonlinear behavior of steel connection)
24	6.2 برنامج (NASCON)
26	<u>الفصل الثالث: دراسة العقدة غير المدعمة (Study Of Un-Stiffened Joint)</u>
27	1.3 الدراسة الخطية للعقدة بحسب الكود الأوربي (prEN 1993-1-8)
30	1.1.3 حساب مقاومة مكونات العقدة
30	1.1.1.3 حساب مقاومة جسد العمود على القص
30	2.1.1.3 حساب مقاومة جسد العمود على الضغط
30	3.1.1.3 حساب مقاومة البراغي على الشد

31	..... حساب مقاومة جناح العمود على الانعطاف 4.1.1.3
32	..... حساب مقاومة جسد العمود على الشد 5.1.1.3
33	..... حساب مقاومة صفيحة النهاية على الانعطاف 6.1.1.3
35	..... حساب معامل الصلابة المرنة بحسب الكود الأوربي 2.1.3
37	..... تحديد سعة الدوران بحسب الكود الأوربي 3.1.3
37	..... 2.3 الدراسة اللاخطية للعقدة بحسب تقريب (Jaspart)
38	..... 1.2.3 تحليل مكونات الوصلة في المرحلة اللاخطية
46	..... <u>الفصل الرابع: دراسة العقدة المدعمة (Study Of Stiffened Joint)</u>
48	..... 1.4 دراسة مكونات الشد في العقدة المدعمة
48	..... 1.1.4 ميكانيكيات انهيار العنصر (T-STUB)
48	..... 2.1.4 نظرية خطوط الانكسار
49	..... 3.1.4 دراسة خطوط الانكسار في جناح العمود
52	..... 2.4 دراسة مكونات الضغط في العقدة المدعمة
53	..... 3.4 دراسة مكونات القص في العقدة المدعمة
55	..... 4.4 تحديد نماذج المدعمات
57	..... 5.4 دراسة النموذج الأول
58	..... 1.5.4 دراسة مكونات الشد
58	..... 1.1.5.4 جناح العمود على الانعطاف
61	..... 2.1.5.4 صفيحة النهاية على الانعطاف
61	..... 3.1.5.4 جسد العمود على الشد
62	..... 4.1.5.4 البراغي على الشد
63	..... 2.5.4 دراسة مكونات الضغط
64	..... 3.5.4 دراسة مكونات القص
75	..... 6.4 تحليل النتائج
78	..... 1.6.4 المقارنة الأولى: سعة الدوران للعقدة (Φ_{cd})
79	..... 2.6.4 المقارنة الثانية: العزم المقاوم الأعظمي للندن عند الانهيار ($M_{plastic}$)

81	.....3.6.4 المقارنة الثالثة: العزم المقاوم الأَعْظَمِي المرن (Melastic).....
82	.....4.6.4 المقارنة الرابعة: معامل الصلابة المرن (S_{jini}).....
84	.....5.6.4 المقارنة الخامسة: العنصر الحرج عند الانهيار.....
85	.....7.4 تطبيق لاعتبار تأثير صلابة العقدة على نتائج التحليل في إطار معدني وفق برنامج (CSI Sap2000).....
85	.....1.7.4 مقدمة عن أهمية اعتبار صلابة العقدة في تحليل الإطارات المعدنية.....
85	.....2.7.4 مواصفات الإطار المدروس.....
87	.....3.7.4 طريقة اعتبار تأثير صلابة العقد ضمن نتائج التحليل.....
89	.....4.7.4 نتائج التحليل.....
90	.....<u>الفصل الخامس: النتائج والتوصيات (Conclusions And Recommendations)</u>
91	.....1.5 نتائج البحث.....
92	.....2.5 التوصيات للأبحاث المستقبلية.....
93	.....المراجع (References).....
95	.....<u>الملحق (A) طريقة الكود الأوربي لدراسة سلوك عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهائية:</u>
96	.....1.A مقدمة.....
101	.....2.A حساب مقاومة مكونات العقدة.....
101	.....1.2.A حساب مقاومة جسد العمود على القص.....
101	.....2.2.A حساب مقاومة جسد العمود على الضغط.....
102	.....3.2.A حساب مقاومة البراغي على الشد.....
102	.....4.2.A حساب مقاومة جناح العمود على الانعطاف.....
104	.....5.2.A حساب مقاومة جسد العمود على الشد.....
104	.....6.2.A حساب مقاومة صفيحة النهاية على الانعطاف.....
107	.....3.A حساب معامل الصلابة المرنة بحسب الكود الأوربي.....
109	.....4.A تحديد سعة الدوران بحسب الكود الأوربي.....

فهرس الأشكال List Of Figures

- 2 الشكل (1.1): أنواع مختلفة من وصلات العزم.
- 3 الشكل (2.1): وصلة جائر عمود ذات صفيحة نهاية.
- 4 الشكل (3.1): نماذج التدعيم في وصلات العزم.
- 6 الشكل (4.1): النماذج التجريبية (T-6) و(T-8).
- 6 الشكل (5.1): النموذج التجريبي (T-C).
- 7 الشكل (6.1): منحنيات القوة – انتقال لنماذج (T-Stub) وفق الدراسة التجريبية والدراسة العددية الجزئية في الدراسة المرجعية.
- 7 الشكل (7.1): النموذج الكامل للعقدة الجزئية في الدراسة المرجعية.
- 8 الشكل (8.1): منحنى العزم – دوران للعقدة المدعمة والعقدة غير المدعمة وفق الدراسة العددية.
- 10 الشكل (1.2): مكونات عقدة جائر - عمود بشكل عام: 1- منطقة القص. 2- منطقة الوصل. 3- مكونات الوصلة.
- 11 الشكل (2.2): منحنى ($M - \Phi$) الذي يعبر عن سلوك العقد المعدنية.
- 14 الشكل (3.2): المكونات التفصيلية لعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية.
- 15 الشكل (4.2): النموذج الميكانيكي المبسط لعقدة جائر-عمود.
- 16 الشكل (5.2): (a) النموذج التحليلي - (b) النموذج المكافئ (c) - النموذج المكافئ المرن.
- 16 الشكل (6.2): منحنى القوة – انتقال المعبر عن سلوك المكونات.
- 17 الشكل (7.2): التقريب ثنائي الخطية لسلوك المكونات.
- 17 الشكل (8.2): تمثيل النابض ذو السلوك ثنائي الخطية بنموذج خطي، النابض على الضغط.
- 17 الشكل (9.2): تمثيل النابض ذو السلوك ثنائي الخطية بنموذج خطي، النابض على الشد.
- 18 الشكل (10.2): خطوط الانكسار في جناح العمود.
- 18 الشكل (11.2): طريقة (T-stub) لتمثيل المنطقة المشدودة من الوصلة.
- 19 الشكل (12.2): طريقة تمثيل عناصر (T-Stub) لعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية.
- 19 الشكل (13.2): ميكانيزمات الانهيار المحتملة لعنصر.
- 20 الشكل (14.2): النموذج المكافئ للوصلة باستخدام طريقة (T-stub).
- 21 الشكل (15.2): نموذج المكونات للعقدة بحسب الكود الأوربي.

21	الشكل (16.2): سلوك المكونات المعتمد في الكود الأوربي.....
21	الشكل (17.2): منحنى العزم - دوران للعقدة بحسب الكود الأوربي.....
22	الشكل (18.2): التمثيل ثنائي الخطية لمنحنى العزم - دوران للعقدة.....
22	الشكل (19.2): سلوك المكونات بحسب تقريب (Jaspart).....
23	الشكل (20.2): تقريب منحنى الإجهاد تشوه للفولاذ بمنحنى متعدد الخطية بحسب (Faella et al).
24	الشكل (21.2): واجهة برنامج (NASCON).....
25	الشكل (22.2): النموذج الميكانيكي للوصلة المعتمد من قبل برنامج (NASCON).....
37	الشكل (1.3): منحنى العزم - دوران وفق الدراسة بحسب الكود الأوربي.....
43	الشكل (2.3): تعريف سلوك المكونات ثنائي الخطية في برنامج (Nascon).....
44	الشكل (3.3): منحنى العزم - دوران للعقدة غير المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.....
44	الشكل (4.3): مقارنة منحنى العزم- دوران بحسب الكود الأوربي والمنحنى الناتج عن الدراسة اللاخطية بحسب تقريب (Jaspart).....
47	الشكل (1.4): العقدة المدعمة باستخدام مقطع المجراة.....
48	الشكل (2.4): خطوط الانكسار في جناح العمود وجناح المجراة.....
50	الشكل (3.4): نمط الانهيار (A) للعقدة.....
51	الشكل (4.4): نمط الانهيار (B) للعقدة.....
52	الشكل (5.4): سلوك جسد العمود على الضغط بحسب (Kuhlmann and Kühnemund).....
53	الشكل (6.4): منطقة القص المدعمة في العقدة بواسطة مقطع المجراة.....
54	الشكل (7.4): تشوهات القص في كل من جسد العمود ومقطع المجراة.....
55	الشكل (8.4): مقطع في العقدة المدعمة باستخدام مقطع المجراة.....
56	الشكل (9.4): ثوابت أبعاد مقطع المجراة المستخدمة.....
68	الشكل (10.4): النموذج الميكانيكي المكافئ للعقدة المدعمة وذو الخواص الموضحة في الجدول (4.4)....
69	الشكل (11.4): منحنى العزم - دوران للنموذج (FS1).....
74	الشكل (12.4): مخططات العزم - دوران للنماذج المدعمة (FS2→FS16).....
75	الشكل (13.4): الحالة الإجهادية لمكونات العقدة في برنامج (Nascon).....
75	الشكل (14.4): مدلولات منحنى العزم - دوران للعقدة.....
76	الشكل (15.4): منحنيات العزم - دوران ثنائية الخطية للنماذج المدعمة مع النموذج غير المدعم.....

78	..... الشكل (16.4): مقارنة سعة الدوران في النماذج المدعمة.
79	..... الشكل (17.4): مقارنة سعة الدوران العظمى بين النموذج غير المدعم والنموذج (FS1).
80	..... الشكل (18.4): مقارنة العزم الأعظمي للذن في النماذج المدعمة (FS 2→FS 16).
81	..... الشكل (19.4): مقارنة العزم الأعظمي للذن في النماذج المدعمة (FS 17→FS 32).
81	..... الشكل (20.4): مقارنة العزم الأعظمي للذن بين النموذج (FS16) مع النموذج غير المدعم (FS0).
82	..... الشكل (21.4): مقارنة العزم الأعظمي المرن للنماذج المدعمة مع النموذج غير المدعم (FS0).
82	..... الشكل (22.4): تصنيف صلابة العقدة بحسب الكود الأوربي [1].
83	..... الشكل (23.4): مقارنة الصلابة الدورانية للعقدة في النماذج المدعمة.
84	..... الشكل (24.4): تصنيف العقدة المدعمة بحسب الصلابة.
85	..... الشكل (25.4): نموذج الإطار المدروس وفق برنامج (SAP2000).
86	..... الشكل (26.4): الحمولات التي يتعرض لها الإطار.
87	..... الشكل (27.4): عناصر (Link) وفق برنامج (SAP2000).
88	..... الشكل (28.4): تمثيل العقد بروابط لاختية (Link element).
88	..... الشكل (29.4): النماذج التحليلية للإطار المدروس.
89	..... الشكل (30.4): صلابة الإطار في النماذج المدروسة.
97	..... الشكل (1.A): سلوك المكونات المعتمد في الكود الأوربي.
98	..... الشكل (2.A): مركز الضغط وذراع العزم المقاوم للوصلة بحسب الكود الأوربي.
100	..... الشكل (3.A): نموذج المكونات للعقدة بحسب الكود الأوربي.
101	..... الشكل (4.A): العرض الفعال لمنطقة الضغط من جسد العمود.
102	..... الشكل (5.A): منحنى القوة - انتقال للبراغي.
103	..... الشكل (6.A): ميكانيزمات الانهيار لجناح (T-Stub).
103	..... الشكل (7.A): الأبعاد الجزئية لجناح (T-Stub).
105	..... الشكل (8.A): تمثيل صفيحة النهاية على الانعطاف بعنصر (T-stub).
106	..... الشكل (9.A): طريقة استنتاج نموذج (T-Stub) الممثل لمكون صفيحة النهاية لصف البراغي فوق جناح الجانز...
109	..... الشكل (10.A): منحنى العزم - دوران للعقدة بحسب الكود الأوربي.

فهرس الجداول List Of Tables

7	الجدول (1.1): مواصفات عناصر الوصلة وخصائص المواد في الدراسة المرجعية.....
13	الجدول (1.2): طرق دراسة سلوك العقد المعدنية.....
14	الجدول (2.2): مكونات عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية.....
23	الجدول (3.2): استنتاج معامل المرونة (Eh) بحسب (Faella et al).....
29	الجدول (1.3): مواصفات المواد بحسب الكود الأوربي (EN 1993-1-1).....
31	الجدول (2.3): الطول الفعال لخطوط الانكسار في جناح العمود على الانعطاف في العقدة غير المدعمة.....
33	الجدول (3.3): الطول الفعال لصفيحة النهاية على الانعطاف في العقدة غير المدعمة.....
36	الجدول (4.3): صلابات مكونات العقدة غير المدعمة بحسب الكود الأوربي.....
40	الجدول (5.3): مقاومة وصلابة مكونات العقدة غير المدعمة وفق الدراسة اللاخطية.....
43	الجدول (6.3): منحنيات القوة انتقال لمكونات العقدة غير المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.....
53	الجدول (1.4): سعة التشوه اللدنة في جسد العمود المضغوط بحسب (Huber).....
57	الجدول (2.4): نماذج المدعمات المستخدمة.....
65	الجدول (3.4): ثوابت المقاومة والصلابة لمكونات العقدة المدعمة.....
68	الجدول (4.4): منحنيات القوة – انتقال لمكونات العقدة المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.....
76	الجدول (5.4): معايير المقارنة لتحديد كفاءة التدعيم المقترح.....
78	الجدول (6.4): الثوابت الأساسية لمنحني العزم – دوران للنماذج المدعمة.....
98	الجدول (1.A): مقاومة وصلابة مكونات العقدة بحسب الكود الأوربي (EC3 1-8).....
100	الجدول (2.A): وصف مكونات عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية.....
104	الجدول (3.A): الطول الفعال لجناح العمود على الانعطاف بحسب الكود الأوربي.....
106	الجدول (4.A): الطول الفعال لصفيحة النهاية على الانعطاف بحسب الكود الأوربي.....

الرموز المستخدمة

Notation

$M_{j,RD}$: العزم المقاوم الأعظمي المرن للعقدة.

$S_{j,ini}$: معامل الصلابة المرن للعقدة.

S_j : معامل الصلابة للعقدة.

Φ : سعة الدوران للعقدة.

$K_{e,i}$: الصلابة المرنة للمكون (i).

$K_{p,i}$: الصلابة اللدنة للمكون (i).

$F_{cws,Rd}$: المقاومة المرنة لجسد العمود على القص.

$F_{cwt,Rd}$: المقاومة المرنة لجسد العمود على الشد.

$F_{cwc,Rd}$: المقاومة المرنة لجسد العمود على الضغط.

$F_{cfb,Rd}$: المقاومة المرنة لجناح العمود على الانعطاف.

$F_{epb,Rd}$: المقاومة المرنة لصفحة النهاية على الانعطاف.

$F_{bt,Rd}$: المقاومة المرنة للبراغي على الشد.

$F_{p,i}$: المقاومة اللدنة للمكون (i).

r : رقم صف البراغي.

A_{vc} : المساحة من مقطع العمود التي تقاوم إجهادات القص.

ω : معامل تخفيض المقاومة يأخذ بالاعتبار تأثير القص في جسد العمود على مقاومته للقوى الشادة والضاغطة.

$b_{eff,c}$: العرض الفعال من جسد العمود الذي يقاوم القوى الضاغطة.

ρ : معامل تخفيض مقاومة جسد العمود على الضغط يأخذ بالاعتبار تأثير التحنيب.

λ_p : معامل التحنيب ويساوي $(\lambda_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}})$.

A_s : مساحة الشد لمقطع البراغي.

$(m, m_x, n, e, e_{min}, p, w)$: الأبعاد الجزئية لجناح ($T - stub$).

$\gamma_{m,i}$: معامل تخفيض المقاومة للعنصر (i) من أجل التصميم وفق طريقة حالات الحدود القصوى.

k_{ec} : الصلابة المكافئة لمكونات الضغط في العقدة.

k_{eq} : الصلابة المكافئة لمكونات الشد في العقدة.

k_{eti} : الصلابة المكافئة لمكونات الشد في صف البراغي (i).

$$\varepsilon: \text{النسبة} \left(\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \right).$$

E : معامل المرونة للمادة في المرحلة الخطية من منحني الإجهاد – تشوه.

E_h : معامل المرونة للمادة في مرحلة التقسية الانفعالية من منحني الإجهاد – تشوه.

ν : معامل بواسون للمادة.

D' : قطر ثقب البرغي.

T_{panel} : مقاومة منطقة القص الكلية من العقدة المدعمة.

γ_c : تشوهات القص لجسد العمود.

γ_{ch} : تشوهات القص لمقطع المجراة.

B_{ch-pa} : العرض الكلي لمقطع المجراة.

B_{ch-pa}^{eff} : العرض الفعال لمقطع المجراة.

τ_{yc} : إجهاد القص المسموح لمقطع العمود.

τ_{ych} : إجهاد القص المسموح لمقطع المجراة.

M_{p-c} : العزم المقاوم في واحدة الطول من جناح العمود.

M_{p-ch} : العزم المقاوم في واحدة الطول من جناح المجراة.

الفصل الأول

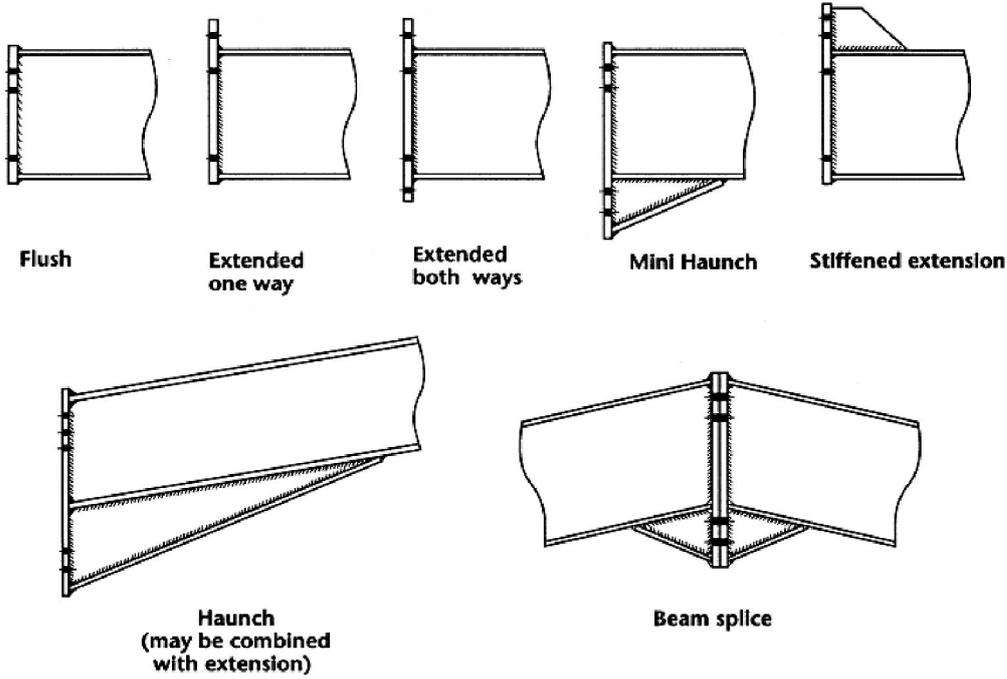
مقدمة عن البحث (Introduction)

1.1 مقدمة عامة (General Introduction):

في المنشآت المعدنية، يتم نقل الأحمال التي تتضمن أوزان وحمولات البلاطات أو العناصر الحاملة إلى الجوائز ومن ثم إلى الأعمدة التي تنقل هذه الأحمال بدورها إلى الأساسات. ويتم نقل الأحمال من الجوائز إلى العمود عن طريق العقدة بين الجوائز والعمود والتي تعتبر تغييراً في مسار الأحمال بين الجوائز والعمود.

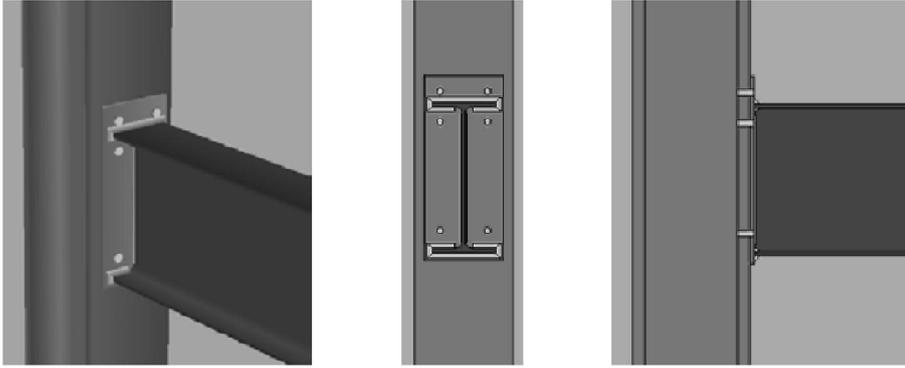
يعتبر موضوع دراسة الوصلات المعدنية من أهم المواضيع في دراسات المنشآت المعدنية بسبب عدد العناصر التي تؤثر على سلوك الوصلة والعقدة بشكل عام بالإضافة إلى ترابط هذه العناصر مع بعضها بطرق مختلفة مما يؤدي إلى الكثير من حالات الانهيار المحتملة التي يستوجب البحث دراستها.

كما يوجد العديد من أنواع الوصلات بين الجوائز و العمود والتي يجتهد المهندس المصمم في اقتراح الأشكال التي تناسب ظروف التنفيذ وطبيعة الأحمال وشدتها حيث يبين الشكل (1.1) أنواع الوصلات التي تنقل العزم في المنشآت المعدنية الموصولة بالبراغي.



الشكل (1.1): أنواع مختلفة من وصلات العزم [6].

تعتبر وصلة جوائز عمود ذات صفيحة نهاية من وصلات العزم الأكثر استخداماً في الإطارات المعدنية المقاومة للعزم نظراً لما تتمتع به هذه الوصلة من خصائص المطاوعة والمقاومة كما يبين الشكل (2.1), وصلة جوائز - عمود ذات صفيحة نهاية.

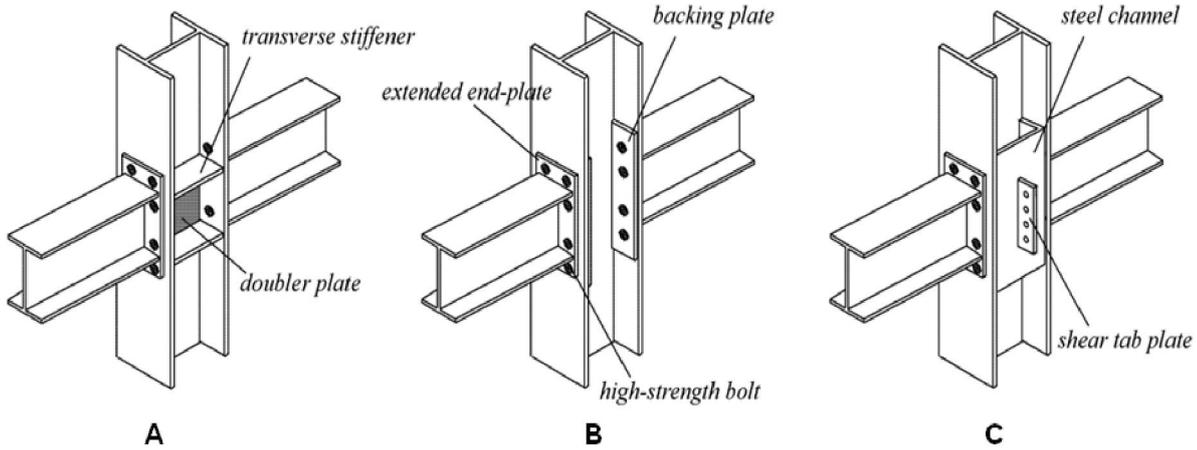


الشكل (2.1): وصلة جوائز عمود ذات صفيحة نهاية [2].

عند دراسة الإطارات في المنشآت المعدنية يتم تصميم الجوائز والأعمدة لتحمل القوى والعزوم التي تتعرض لها من حيث اعتبارات المقاومة والصلابة في نفس الوقت، واختيار المقاطع اللازمة لمقاومة هذه القوى، ولكن عند الوصول إلى منطقة الوصل بين الجوائز والعمود غالباً ما نواجه مشكلة أن الوصلة غير قادرة على مقاومة العزم المنقول من الجوائز إلى العمود لذلك يواجه المهندسون في هذه الحالة خيارين: إما استبدال مقاطع الجوائز والعمود بمقاطع أكبر من أجل زيادة مقاومة الوصلة وهذا يؤدي إلى تكلفة كبيرة غير مبررة، أو بتدعيم الوصلة باستخدام طرق التدعيم المعروفة.

وفي العقد المعدنية التي تتعرض لعزوم كبيرة غالباً ما يلزم تدعيم جسد العمود أو أجنحته بمدعمات تختلف أشكالها وأنواعها بحسب خصوصية الوصلة كما في الشكل (3.1)، حيث يتم التدعيم بصفائح معدنية تلحم على جناح العمود من أجل زيادة مقاومة الجناح لمقاومة اجهادات الانعطاف، أو مدعمات للجسد من أجل زيادة مقاومة الجسد على تحمل اجهادات القص، إن هذه المدعمات تزيد من مقاومة جناح العمود على الانعطاف و من مقاومة جسد العمود على الضغط والقص لكنها تسبب مشكلة معمارية حيث أنه في بعض المنشآت يتم استثمار الفراغ بين جناحي العمود من أجل تمرير الأنابيب و التمديدات كم أنها تحتاج إلى أعمال لحام كثيرة مما يجعل هذا التدعيم غير مجد في حال وجود عدد كبير من الوصلات في المنشأ والحاجة إلى تدعيم كلا الجسد والجناح.

وبسبب الضرورات المعمارية والحاجة إلى زيادة مقاومة العقد من أجل تحمل عزوم كبيرة مع زيادة المجازات في المنشآت وتخفيض الأعمال المعدنية في الموقع، تم اقتراح تدعيم العمود باستخدام مقطع مجرأة معدنية بين جناحي العمود بحيث لا تؤثر على الفراغ المطلوب بين الجناحين بحيث يتم استخدامه كما يتم تدعيم كلا جسد العمود وجناحه مما يؤدي إلى مقاومة كبيرة للعقدة كما يبين الشكل (3.1.c).



الشكل (3.1): نماذج التدعيم في وصلات العزم [3].
A. مدعّمات الجسد. B. مدعّمات الجناح. C. نموذج التدعيم المقترح.

2.1 الهدف من البحث (Scope Of The Research):

كانت العقد المعدنية تقتصر على اعتبارها صلبة (ذات ناقلية كاملة للعزم بين العناصر المتصلة بالعقدة) أو متمفصلة (لا يوجد ناقلية للعزم بين العناصر المتصلة بالعقدة) إلى أن ظهر مفهوم مطاوعة العقدة التي تحدد درجة صلابة العقدة لذلك فإنه لكل نوع من أنواع الوصلات مطاوعة خاصة بها نحدد من خلالها ثوابت الوصلة اللازمة للتصميم وهي: العزم المقاوم للعقدة، الصلابة الدورانية للعقدة، سعة الدوران العظمى للعقدة، وبالتالي لم يعد مقبولاً اعتبار العقدة المعدنية صلبة أو متمفصلة إنما يجب دراسة هذه العقدة وتحديد مطاوعتها من أجل معرفة نسبة مساهمتها في نقل العزوم.

يهدف البحث إلى دراسة سلوك عقدة جوائز عمود ذات صفيحة نهاية مدعمة بقطع مجرأة معدنية بين جناحي العمود من خلال تحديد منحنى العزم – دوران للعقدة من خلال الدراسة الميكانيكية للعقدة، ودراسة تأثير تغيير سماكات مقطع المجرأة المستخدم في التدعيم على منحنى العزم – دوران وذلك من خلال معايير المقاومة والصلابة والمطاوعة (سعة الدوران)، وتحديد كفاءة التدعيم المقترح من خلال مقارنة المنحنى الناتج عن الدراسة التحليلية مع منحنى العزم – دوران للعقدة غير المدعمة، بالإضافة إلى إمكانية اعتبار تأثير سلوك العقدة المدعمة على نتائج التحليل في الإطارات المعدنية من خلال استنتاج صلابتها الدورانية واعتبارها في برامج التحليل الإنشائي.

3.1 محتويات الأطروحة – منهجية العمل (Dissertation Contents):

تتألف هذه الأطروحة من الفصول التالية:

الفصل الأول:

يتضمن مقدمة عامة عن البحث من خلال استعراض مشكلة البحث، الغرض من البحث والدراسات المرجعية حول البحث.

الفصل الثاني:

ويتضمن أهمية تحديد مطاوعة العقد المعدنية بالإضافة إلى طرق دراسة مطاوعة العقد المعدنية وشرح نظري عن الطريقة الميكانيكية المتمثلة في نظرية المكونات (Component method), وطريقة إيجاد منحنى العزم دوران وفقاً لهذه النظرية من خلال الدراسة اللاخطية لسلوك المكونات وتجميعها في نموذج ميكانيكي واحد, بالإضافة إلى شرح وظيفة برنامج (Nascon) المتمثلة في تحليل النموذج الميكانيكي بعد دراسته.

الفصل الثالث:

يتضمن دراسة العقدة غير المدعمة وفق اشتراطات الكود الأوربي وتحليلها لاستنتاج المنحنى المميز لمطاوعة العقدة بحسب الكود, ومن ثم دراسة العقدة دراسة لاخطية بحسب نظرية المكونات ومقارنة منحنى المطاوعة بحسب الكود الأوربي مع المنحنى بحسب الدراسة اللاخطية.

الفصل الرابع:

ويتضمن دراسة العقدة المدعمة بقطع المجرأة من خلال دراسة النموذج الميكانيكي المكافئ لها, حيث تمت دراسة خطوط الانكسار في جناح العمود وفي جناح المجرأة من أجل استنتاج السلوك اللاخطي لمكونات الشد بالإضافة إلى دراسة سلوك منطقة القص في العقدة المدعمة نتيجة توضع المجرأة دراسة تحليلية واستنتاج سلوك مكون القص في العقدة, ومن ثم تجميع المنحنيات المعبرة عن السلوك الميكانيكي وإنشاء نموذج ميكانيكي للعقدة المدعمة وتحليله بحسب برنامج (Nascon) من أجل استنتاج منحنى العزم – دوران, ومن ثم استنتاج منحنيات العزم – دوران لجميع النماذج المدروسة (16 نموذج) ومقارنة المنحنيات الناتجة مع منحنى العزم – دوران للعقدة غير المدعمة وإجراء المقارنة من حيث المقاومة والصلابة والمطاوعة, بالإضافة إلى دراسة إطار معدني بحسب برنامج (Sap2000) باعتبار صلابات العقد المدعمة ومقارنة نتائج التحليل من خلال معيار التشوهات.

الفصل الخامس:

ويتضمن النتائج والتوصيات.

الملحق:

ويتضمن علاقات الحساب لتحديد المقاومة والصلابة للعقدة بحسب الكود الأوربي (EN 1993-1-8:2005).

4.1 الدراسة المرجعية (Literature review):

تناولت العديد من الأبحاث دراسة وتحليل سلوك وصلة جوائز – عمود ذات صفيحة نهاية, من حيث تحديد منحنى المطاوعة المتمثل بمنحنى العزم – دوران للعقدة, حيث تناول الباحثون بشكل عام تحديد خصائص هذا المنحنى المتمثلة بالعزم المقاوم للعقدة تحت تأثير حمولات معينة ($M_{j, RD}$), و ثابت الصلابة البدائي ($S_{j, ini}$) وسعة الدوران (Φ_{CD}), حيث تعبر هذه المفاهيم عن مطاوعة العقدة المعدنية.

حددت الباحثة Ana Margarida Girão Coelho[2] الثوابت التي تحدد مطاوعة عقدة جوائز عمود معدنية حيث قامت بإجراء التجارب على واحد وستين نموذجاً (T-stub), (تم شرح طريقة (T-Stub) في البند (3.3.2)) وعلى ثماني وصلات معدنية كاملة وذلك لوصلة جوائز عمود موصولة بالبراغي وبصفيحة نهاية مع العمود حيث تمت مقارنة

النتائج التجريبية مع نتائج النمذجة العددية وتم تحديد مقاومتها وصلابتها ومميز المطاوعة لهذه النماذج واستنتاج صيغة لتحديد ثوابت مطاوعة هذه الوصلة والمقارنة مع الكود الأوربي (EC3), كما قام الباحثين L. Simo ães da Silva و Ana Giraõ Coelho [1] بتقديم النموذج الرياضي لنظرية المكونات وتحليل استجابة النواض على الشد والضغط في المرحلة اللاخطية من الاستجابة.

أجرى الباحثان Paulo Vila Real, Aldina Santiago [6] دراسة حول تقدير مطاوعة عقدة معدنية باستخدام نظرية المكونات والتحليل اللاخطي لعناصر العقدة وتحديد مقاومة كل عنصر وانهيار العقدة, وذلك باستخدام منحنى $(F - \Delta)$ ثنائي الخطية ومقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية وتحديد محتوى المطاوعة للعقدة.

قام الباحث P. Zoetemeijer [4] بتحليل النموذج (T-stub) الذي يمثل عناصر الوصلة المشدودة وذلك للوصلات غير المدعمة, حيث حدد ميكانيكيات الانهيار لعناصر الوصلة وفق طرق تحليلية وسلسلة من التجارب على الوصلات المعدنية, كما حدد معياراً لتحديد سعة التشوهات في الوصلة.

كما قام الباحثان H. Tagawa, S.Gurel [3] بدراسة تطبيقات استخدام مقطع المجرأة المعدنية في تدعيم العمود في منطقة الوصل وتحديد مطاوعة العقدة المدعمة و تمت دراسة ميكانيكية الانهيار على الشد بطريقة (T-stub) باعتبار أن منطقة الشد هي أهم منطقة في الوصلة تتطلب دراسة سلوكها ومعرفة ميكانيكية الانهيار وذلك من خلال دراسة تجريبية لنماذج (T-stub) لاستنتاج منحنيات القوة - انتقال للنماذج المدعمة.

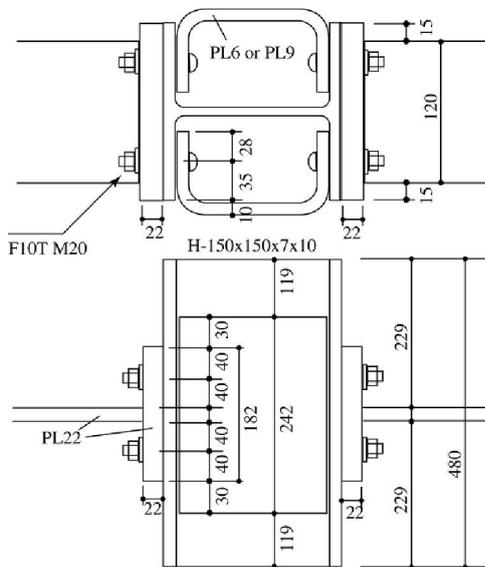
قامت الدراسة التجريبية على (4) نماذج لمنطقة الشد في الوصلة (T-stub) وهي:

- (T-N) النموذج غير المدعم.

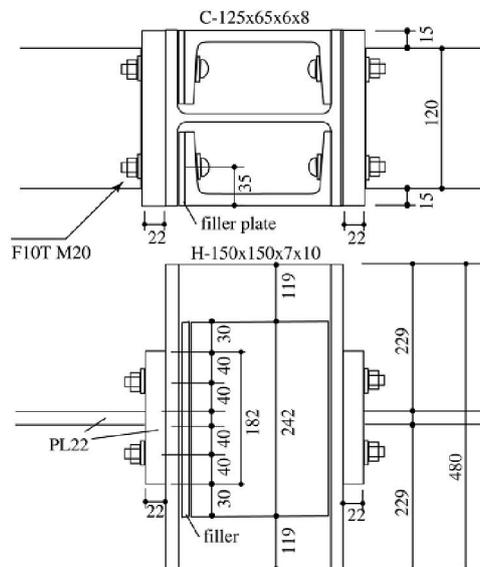
- (T-C) نموذج مدعم بمقطع مجرأة مشكل على الساخن، الشكل (5.1).

- (T-6) نموذج مدعم بمقطع مجرأة مشكل على البارد بسماكة (6mm)، الشكل (4.1).

- (T-9) نموذج مدعم بمقطع مجرأة مشكل على البارد بسماكة (8mm)، الشكل (4.1).



الشكل (4.1): النماذج (T-6) و (T-9), [3].



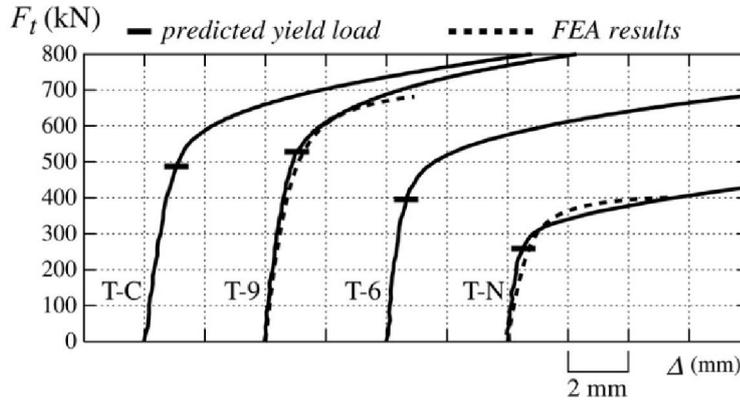
الشكل (5.1): النموذج (T-C), [3].

كما أن مواصفات عناصر الوصلة ومواصفات المواد كما في الجدول (1.1).

Component	Material	Yield stress (N/mm ²)	Ultimate stress (N/mm ²)	Elongation (%)
Column (H-150×150×7×10)	SN400B	288	427	30.5
Hot-rolled channel (C-125×65×6×8)	SS400	328	451	27.0
Plate: 6 mm	SN400B	339	460	26.0
Plate: 9 mm	SN400B	305	446	29.5
Plate: 22 mm	SN490B	352	538	26.5

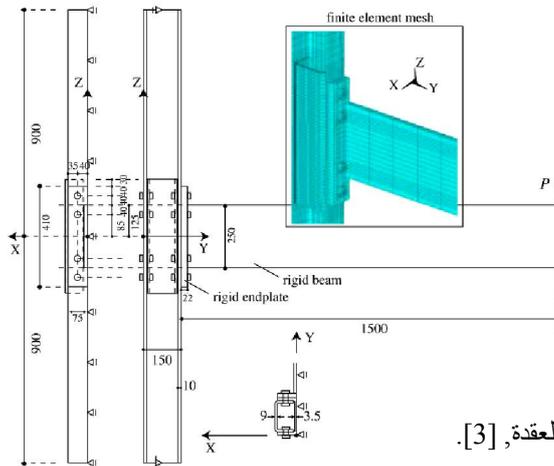
الجدول (1.1): مواصفات عناصر الوصلة وخصائص المواد, [3].

وكانت نتائج تحليل النماذج من خلال منحنيات القوة - انتقال لنماذج (T-stub) وفق الدراسة التجريبية والدراسة العددية كما في الشكل (6.1)، حيث أن القوة المحورية المطبقة على جسد العنصر (T) و(Δ) الانتقال المحوري في جناح العنصر (T) والموافق للقوة (F)، حيث تم وضع جميع المنحنيات على مخطط واحد:



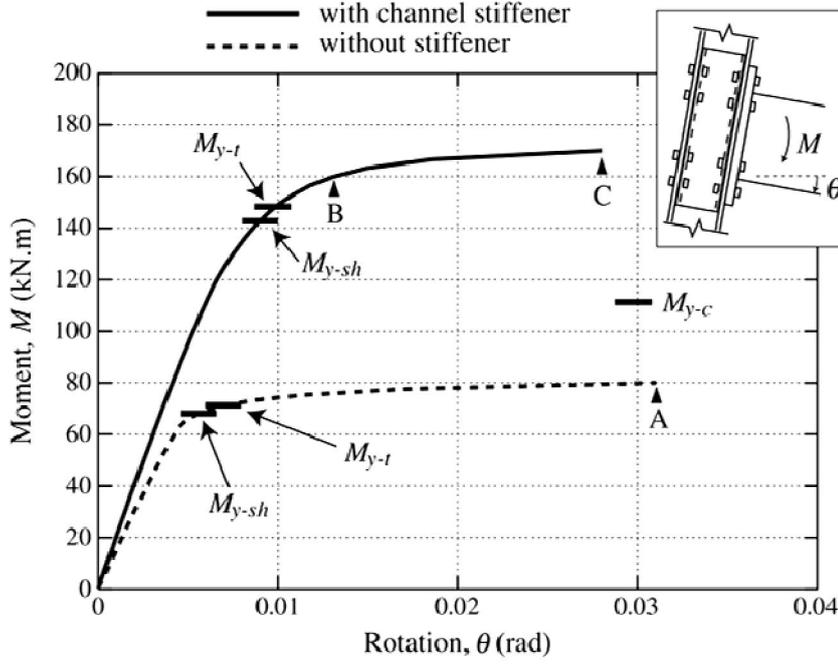
الشكل (6.1): منحنيات القوة - انتقال لنماذج (T-Stub) وفق الدراسة التجريبية والدراسة العددية الجزئية, [3].

كما قام الباحثان بدراسة نموذج عددي كامل للعقدة وفق برنامج (Ansys12)، بقطع مجرأة مشكل على البار ذو سماكة (9mm) حيث تم نمذجة نصف الوصلة بسبب خاصية التناظر حول المحور (Z) وتم استخدام العنصر (SOLID 185) في تقسيم عناصر الوصلة كما يبين الشكل (7.1) النموذج المستخدم في التحليل وشروط الاستناد.



الشكل (7.1): النموذج الكامل للعقدة, [3].

تم تحليل النموذج تحليلًا ستاتيكيًا لاخطيًا مع اعتبار الانتقالات الكبيرة (Non-linear large displacement static analysis) مع تقسيم التحليل إلى (50) خطوة وكانت نتائج التحليل كما في الشكل (8.1).



الشكل (8.1): منحنى العزم - دوران للعقدة المدعمة والعقدة غير المدعمة وفق الدراسة العددية, [3].

حيث يبين الشكل (8.1) نتائج التحليل من خلال منحنى العزم - دوران للعقدة المدعمة باستخدام مقطع المجرأة ذو السماكة (9 mm), ومقارنته مع منحنى العزم - دوران للعقدة غير المدعمة, حيث نجد من المخطط أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (112.5%) عن العقدة غير المدعمة.

الفصل الثاني

طرق دراسة سلوك العقد المعدنية

(Study Of Behavior Of Steel Joints)

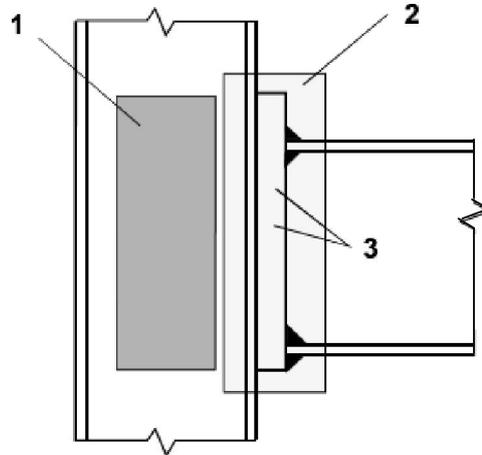
1.2 أهمية دراسة مطاوعة العقد المعدنية (*The Important Of Ductility Of Steel Joints*):

تبدى العقد المعدنية بشكل عام سلوكاً لا خطياً نتيجة تعرضها لحمولات كبيرة، وترتفع درجة لاختية هذا السلوك في العقد المعدنية المقاومة للعزم وذلك نتيجة لكون العقدة مكونة من عدد من المكونات المترابطة فيما بينها ولكل مكون سلوك خاص به بحسب نوع القوى التي يتعرض لها منفصلاً وطبيعة المادة حيث ينتج عن ترابط المكونات مع بعضها عدد من الأفعال ومنها الانتقالات المرنة اللدنة والاحتكاك بين العناصر والانزلاق، إن تحليل هذا السلوك المعقد يتطلب العدد من التبسيطات من أجل إيجاد سلوك الوصلة.

يتجسد سلوك العقد المعدنية بإيجاد منحنى ($M - \Phi$) للعقدة الذي يمثل العلاقة بين العزم المقاوم للعقدة والدوران المرافق لها، حيث تكمن أهمية إيجاد هذا المنحني بمعرفة خصائص الوصلة وهي العزم المقاوم للعقدة، الصلابة الدورانية للعقدة، سعة الدوران العظمى للعقدة وهذه الثوابت هي التي تحدد مصطلح مطاوعة العقدة (Ductility Of Joint).

تسمى منطقة التقاء العمود مع الجائر بمصطلح يدعى (العقدة - Joint) التي تتألف من مكونين أساسيين، الشكل (1.2)، [1]:

- منطقة القص والتي تشكل المنطقة من جسد العمود على امتداد الوصلة (Panel Zone).
- منطقة الوصل (Connection).



الشكل (1.2): مكونات العقدة: 1- منطقة القص. 2- منطقة الوصل. 3- مكونات الوصلة، [1].

قبل عام 1930 كانت العقد تعتبر إما عقداً صلبة أو عقداً مفصلية حيث تنقل العقدة الصلبة كامل القوى بين الجائر والعمود أما العقد المفصلية فتسمح بالدوران بين الجائر و العمود دون نقل أي عزوم، أما بعد هذا أصبح من الملاحظ أن للعقدة سلوك غير منفصل عن أبعاد ومكونات العقدة لذلك كان لابد من دراسة أكثر تفصيلاً للعقد المعدنية.

أما اليوم تطور مفهوم سلوك العقد المعدنية نتيجة لاستخدام طرق تحليل متقدم، وأصبحت العقد تصنف وفق العديد من الاعتبارات في الكودات العالمية المعاصرة والمتخصصة في هذا المجال، حيث يصنف الكود الأوربي ($EC3$) [1] العقد بحسب مقاومتها وبحسب صلابتها (تم تصنيف العقد بحسب صلابتها عند إجراء التحليل المرن للمنشأ وبحسب مقاومتها عند إجراء التحليل اللدن الصلب للمنشأ) وبحسب المقاومة و الصلابة في التحليل اللدن المرن حسب الكود المذكور) حيث تصنف بحسب مقاومتها إلى عقد ذات (مقاومة كاملة، مقاومة جزئية، عقد مفصلية) وذلك بمقارنة العزم

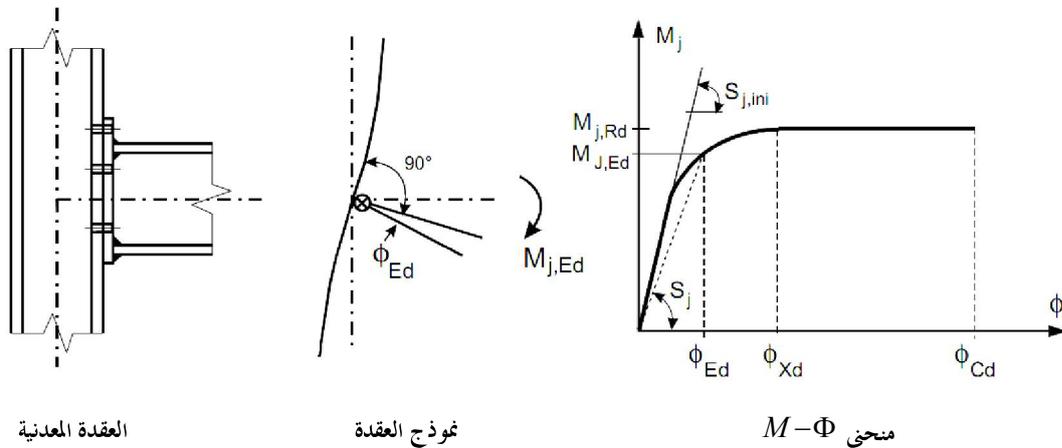
المقاوم ($M_{j,Rd}$) للعقدة مع العزم المقاوم للعناصر المتصلة بها وبحسب صلابتها إلى عقد (صلبة، شبه صلبة، عقد مفصلية) وذلك بمقارن صلابة العقدة ($S_{j,ini}$) مع صلابة العناصر المتصلة بها.

تبدى العقد ذات المقاومة الكاملة مقاومة للعزم لا تقل عن مقاومة العنصر المتصل بها أما العقد ذات المقاومة الجزئية فتبدى مقاومة للعزم أقل من مقاومة العنصر المتصل بها، وتبدى العقد المفصلية مقاومة للعزم أقل من (0.25) مرة من العزم المقاوم للعقد ذات المقاومة الكاملة [2].

يعبر مفهوم الصلابة للعقدة عن إمكانية إعادة توزيع القوى ضمن عناصر المنشأ في مرحلة ما من مراحل التحميل حيث تكون العقد صلبة إذا كانت تملك صلابة كافية بحيث لا يتم إعادة توزيع القوى والعزوم ضمن المنشأ، أما العقد شبه الصلابة فلا تملك هذه الصلابة، وتكون العقد المفصلية قادرة على الدوران ضمن الحدود المقبولة دون أن تنهار نتيجة العزم [2].

يعتبر تحليل وتصميم الإطارات في المنشآت المعدنية بعقد صلبة أو عقد ذات مقاومة كاملة تصميمًا محافظًا، حيث أنه من المعروف أن العقد الصلبة أو ذات المقاومة الكاملة ذات تكلفة عالية مقارنة مع باقي أنواع العقد بينما تصميم الإطارات ذات العقد المفصلية غير صالح في المنشآت التي تتعرض لقوى جانبية (القوى الزلزالية أو قوى الرياح) لذلك هناك اتجاه لتصميم الإطارات ذات العقد شبه الصلبة أو ذات المقاومة الجزئية.

تختلف العقد المعدنية عن بعضها البعض تبعاً لسلوكها الإنشائي ويتم التعبير عن هذا السلوك عبر العلاقة بين العزم المقاوم (M) والدوران المرافق لهذا العزم بين العناصر المتصلة (Φ) وتمثل العلاقة بمنحني ($M - \Phi$) حيث يتم تحديد الخصائص الإنشائية للعقدة من هذا المنحني: العزم المقاوم للعقدة، الصلابة الدورانية للعقدة، سعة الدوران العظمى للعقدة وهذه الثوابت هي التي تحدد مصطلح مطاوعة العقدة (Ductility Of Joint) [1] كما يبين الشكل (2.2)، وعند تحديد منحنى العزم - دوران للعقدة المعدنية يمكننا نمذجة سلوكها على برامج التحليل الإنشائي وتأثير هذا السلوك على المنشأ بشكل عام وبذلك نستطيع نمذجة سلوك العقد المدعمة بدلالة منحنى العزم - دوران المميز لهذه العقدة.



الشكل (2.2): منحني ($M - \Phi$) الذي يعبر عن سلوك العقد المعدنية، [1].

S_j : الصلابة الدورانية، $S_{j,ini}$: الصلابة الدورانية البدائية، Φ : سعة الدوران، M : العزم المقاوم.

2.2 سلوك العقد المعدنية (*Steel joint behavior*):

كما ذكر في البند (1.2) أن سلوك العقد المعدنية يؤثر بشكل مباشر على نتائج التحليل في الإطارات المعدنية، ومن أجل إيجاد هذا السلوك يجب تحديد منحنى العزم – دوران للعقدة الذي يحدد خصائص المطاوعة الرئيسية للعقدة حيث يتم إيجاد منحنى العزم – دوران للعقدة بعدة طرق وهي [4]:

1 - طرق تحليلية .

2 - طريقة النمذجة العددية .

3 - طرق تجريبية .

4 - الطرق الميكانيكية.

الطرق التحليلية:

يتم التعامل مع نماذج رياضية تمثل سلوك كافة مكونات الوصلة واشتقاق منحنى $(M - \Phi)$ ، وتعتمد أسس هذه الطريقة على نظريات التحليل الإنشائي من معادلات التوازن و التوافقية و قانون حفظ المادة من أجل دراسة خواص عناصر العقدة.

الطرق العددية:

يتم نمذجة العقدة بين الجائر والعمود وفق طريقة العناصر المحدودة وتعريف نوع وطبيعة سلوك مواد الوصلة وحالات التحميل ثم تحديد الشروط المحيطة لهذا النموذج والتحليل واستنباط النتائج، وأصبحت طريقة النمذجة العددية مستخدمة بشكل واسع مؤخراً وذلك لتغطية النقص الحاصل في الدراسة التجريبية ولفهم بعض التأثيرات التي يمكن ألا تظهر في الدراسة التجريبية أو صعوبة الاستنتاج في الدراسة التحليلية، كما تتطلب النمذجة العددية الإلمام باللاخطية التي تأخذ بالاعتبار أثر التشوهات الكبيرة (*Geometrically Nonlinear Analysis, GNA*) ولا خطية المواد (*Materially Nonlinear Analysis, MNA*) لفهم السلوك الدقيق للنموذج المدروس.

الطرق التجريبية:

يتم إنشاء نموذج فيزيائي في المخبر يمثل العقدة المطلوبة وتعريضه لحالات التحميل وقياس التشوهات ومنها تحديد المطاوعة، وتتصف هذه الطريقة بأنها مكلفة وتحتاج إلى خبرات سابقة في الدراسات التجريبية.

الطرق الميكانيكية:

يتم مكافئة كل عنصر من عناصر العقدة بنموذج ميكانيكي يمكن أن يمثل إلى حد ما السلوك الفعلي للعقدة، ومن أهم الطرق التي تعتمد على الدراسة الميكانيكية طريقة نظرية المكونات من أجل فهم السلوك الميكانيكي للوصلة عبر النماذج الرياضية وعادة ما تتم دراسة العقد وفق هذه الطريقة ومقارنة النتائج مع الطرق الأخرى.

وبيين الجدول (1.2) محاسن ومساوئ كل طريقة من طرق تحديد مطاوعة العقد المعدنية:

طريقة دراسة العقد المعدنية	محاسن الطريقة	مساوئ الطريقة
الطرق التحليلية	سهولة تطبيق الحساب والكلفة المنخفضة	بساطة النموذج المعرف لسلوك العقدة ووجود العديد من التبسيطات في الحساب مع ضرورة المقارنة مع الطرق التجريبية
الطرق العددية	يمكن دراسة التأثيرات المختلفة في العقدة مثل الاحتكاك بين العناصر وقوى الإرجاع	ذات تكلفة برمجية عالية
الطرق التجريبية	أفضل الطرق لدراسة سلوك العقد المعدنية	مكلفة جدا
الطرق الميكانيكية	إمكانية التطبيق على أي نوع من أنواع العقد وكلفة برمجية منخفضة	تعتمد دقة النتائج على تمثيل سلوك المكونات بشكل دقيق

الجدول (1.2): طرق دراسة سلوك العقد المعدنية, [6].

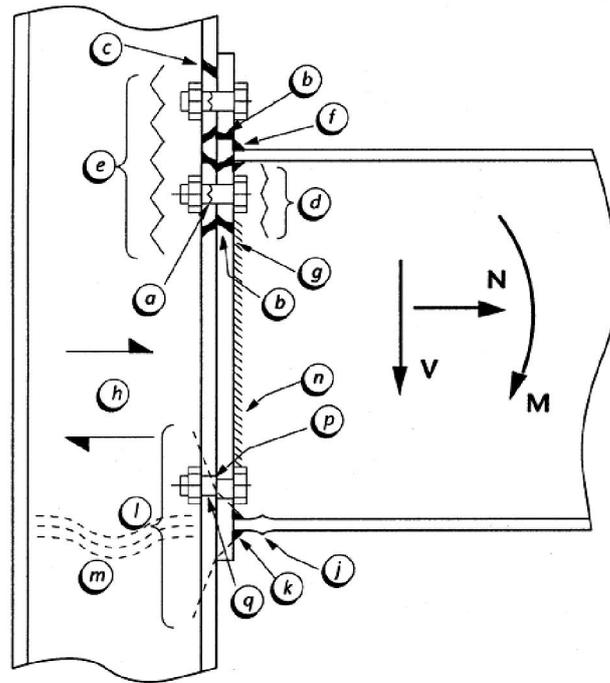
3.2 الطرق الميكانيكية لدراسة العقدة (Mechanical Method To Study Joints):

1.3.2 نظرية المكونات (Component Method):

تعتبر نظرية المكونات من الطرق الميكانيكية التي تمثل سلوك الوصلة بشكل مقبول حيث تنص هذه النظرية على اعتبار أن أي عقدة معدنية مكونة من ثلاث مناطق وهي منطقة الشد ومنطقة الضغط ومنطقة القص وكل منطقة من هذه المناطق تتكون من عدد من المكونات المرتبطة فيما بينها حيث أن هذه المكونات هي مصدر التشوهات التي تحصل في العقدة والتي تؤثر على سلوكها [2].

يتم دراسة سلوك كل مكون من المكونات منفرداً بحسب وضعه في العقدة حيث تتم دراسة هذا المكون وفق أحد الطرق التحليلية أو التجريبية أو العددية وتحديد سلوك هذا المكون المتمثل بمنحني القوة انتقال.

يبين الشكل (3.2) مكونات عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية وأنماط انهيار هذه المكونات:



الشكل (3.2): مكونات عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية, [6].

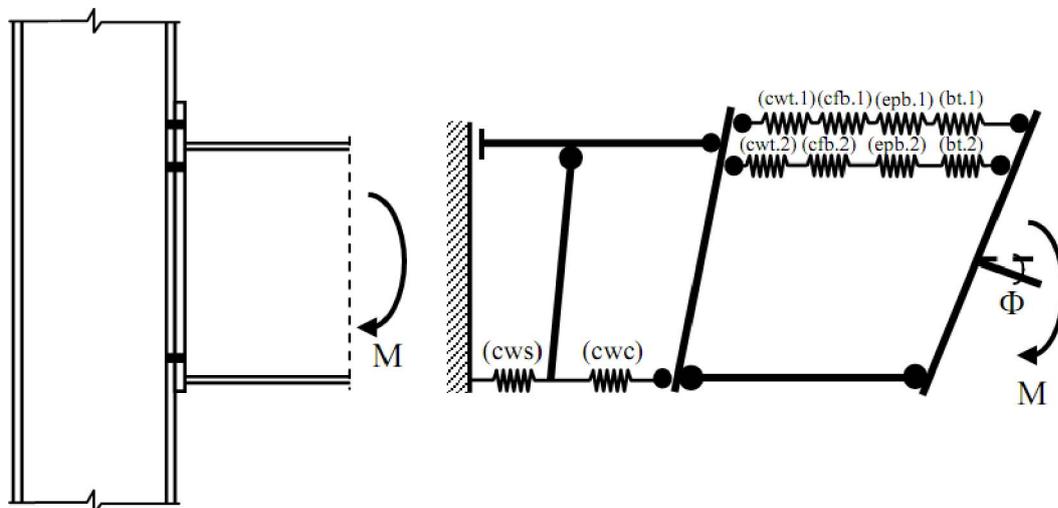
حيث أن مدلولات الشكل (3.2) كما في الجدول (2.2):

المنطقة	الرقم المرجعي	المكون بحسب القوى التي يتعرض لها
منطقة الشد	a	البراغي على الشد.
	b	صفيحة النهاية على الانعطاف.
	c	جناح العمود على الانعطاف.
	d	جسد الجائر على الشد.
	e	جسد العمود على الشد.
	f	لحام جناح الجائر إلى صفيحة النهاية.
	g	لحام جسد الجائر إلى صفيحة النهاية.
منطقة القص الأفقي	h	جسد العمود على القص.
منطقة الضغط	j	جناح الجائر على الضغط.
	k	لحام جناح الجائر.
	l	جسد العمود على الدهس.
	m	جسد العمود على التحنيب.
منطقة القص الشاقولي	n	لحام جسد الجائر إلى صفيحة النهاية.
	p	البراغي على القص.
	q	البراغي على الدهس (عبر صفيحة النهاية أو جناح العمود).

الجدول (2.2): مكونات عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية, [6].

وبعد تحديد سلوك المكونات للعقدة يتم تمثيلها وفق نموذج ميكانيكي مكافئ للعقدة بنوابض متصلة على التسلسل والتفرع وروابط صلابة [2] وهذه العناصر هي بشكل عام لوصلة جائر-عمود بصفحة نهاية موصولة بالبراغي:

- جسد العمود على القص، جسد العمود على الضغط، جسد العمود على الشد، جناح العمود على الانعطاف، صفحة الوصل على الانعطاف، جناح الجائر على الضغط، البراغي على الشد، البراغي على القص، البراغي على الدهس، اللحام، حيث يبين الشكل (4.2) النموذج الميكانيكي لعقدة جائر-عمود متصلة مع العمود بصفحة وصل وبراغي.



الشكل (4.2): النموذج الميكانيكي المبسط لعقدة جائر-عمود [2].

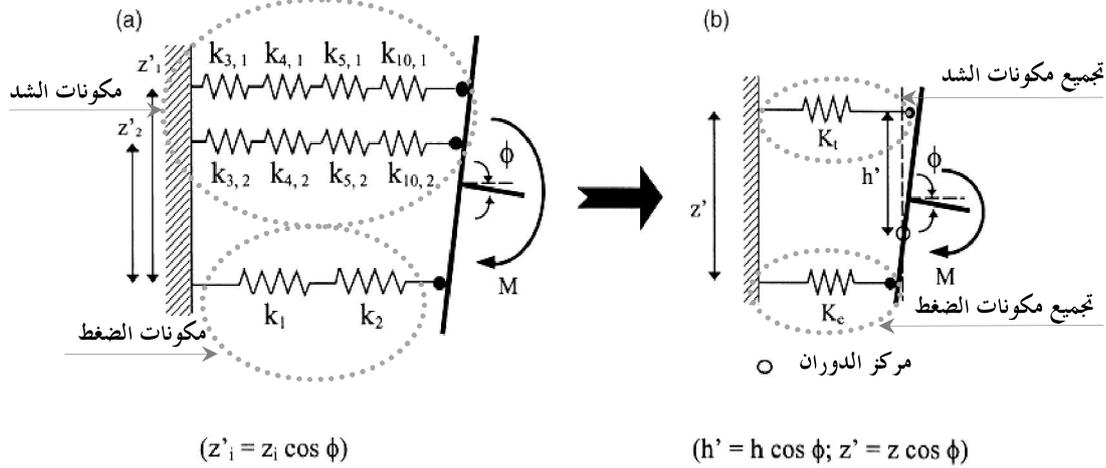
cfb جناح العمود على الانعطاف، epb صفحة الوصل على الانعطاف، bt البراغي على الشد، cwt جسد العمود على الشد، cws جسد العمود على القص، cwc جسد العمود على الضغط.

ثم يتم تجميع هذه النوابض على التسلسل وعلى التفرع وذلك بحسب موقع كل عنصر من عناصر الوصلة كما يبين الشكل (5.2).

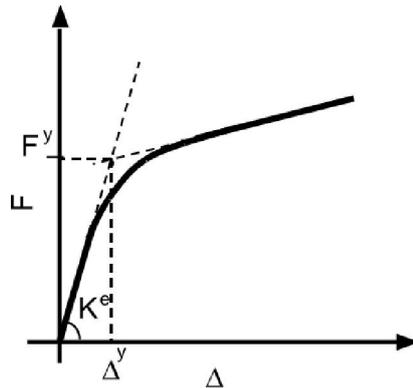
وبذلك وفقاً لهذه الطريقة (نظرية المكونات) تمت مكافئة كل عنصر من عناصر العقدة بنابض ودراسة السلوك اللاخطي لهذا النابض (تحديد منحنى القوة-انتقال) ثم تجميع النوابض على التسلسل وعلى التفرع، وفي النهاية استنتاج منحنى (العزم-دوران) لكامل الوصلة من النموذج المجمع.

2.3.2 دراسة سلوك المكونات (Study of component behavior):

وفقاً للطريقة الميكانيكية في دراسة العقد المعدنية يتم تمثيل كل مكون من مكونات العقدة بنابض ومن ثم تجميع النوابض على التسلسل وعلى التفرع ودراسة النموذج الجديد من أجل تحديد القوى والدوران لنموذج النوابض المكافئ. ومن أجل تحديد هذا النموذج يجب أولاً تحديد سلوك المكونات التي تم تمثيلها بنوابض حيث يتم ترجمة سلوك كل نابض من خلال منحنى قوة محورية – انتقال محوري لهذا النابض وهذا المنحنى هو منحنى لاخطي كما في الشكل (6.2).

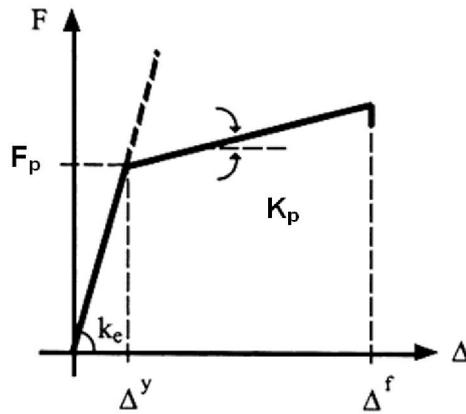


الشكل (5.2): (a) النموذج التحليلي - (b) النموذج المكافئ (c) - النموذج المكافئ المرن, [2].



الشكل (6.2): منحني القوة - انتقال المعير عن سلوك المكونات, [11].

يتطلب تحديد هذا المنحني دراسة كل مكون من المكونات بشكل دقيق وهذا يتطلب جهداً كبيراً وخاصة في حال وجود عدد كبير من المكونات اللازم دراستها لذلك يتم تمثيل سلوك المكونات باستخدام تقريب ثنائي الخطية لمنحني القوة انتقال، الشكل (7.2) حيث أثبتت الدراسات أن هذا التقريب لا يؤثر بشكل كبير على سلوك العقدة المتمثل بمنحني العزم- دوران [11].

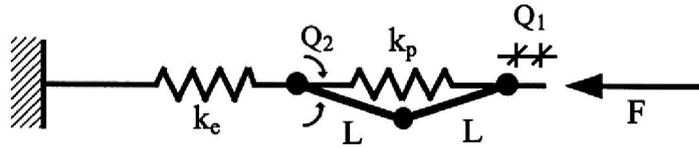


الشكل (7.2): التقريب ثنائي الخطية لسلوك المكونات, [11].

حيث يتم التعبير عن السلوك ثنائي الخطية الموضح في الشكل (7.2) بنموذج فيزيائي خطي وذلك بمكافئة النابض ذو السلوك ثنائي الخطية بنابض مرن ذو صلابة (k_e) ونابض مرن آخر ذو صلابة (k_p) وعنصرين صلبين، كما في الشكل (8.2) في حال المكونات المعرضة للضغط، حيث يحتوي النموذج على درجتين حرة (Q_1, Q_2):

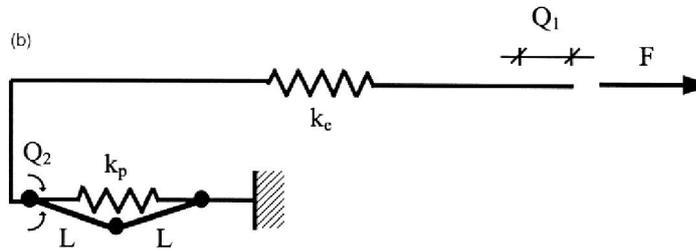
- Q_1 : الانتقال المحوري.

- Q_2 : دوران الرابط الصلب.



الشكل (8.2): تمثيل النابض ذو السلوك ثنائي الخطية بنموذج خطي - النابض على الضغط, [11].

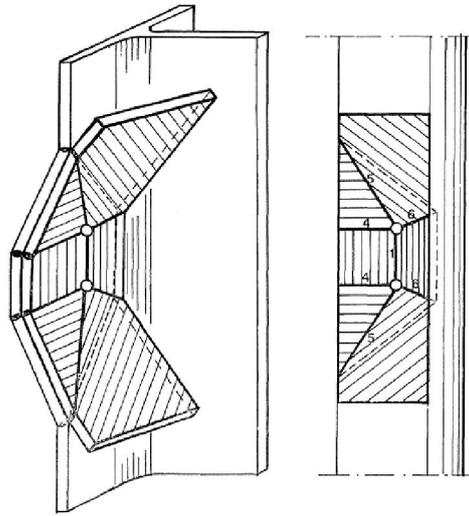
أما النموذج الخطي الذي يمثل السلوك ثنائي الخطية للمكونات المشدودة موضح في الشكل (9.2) - [11].



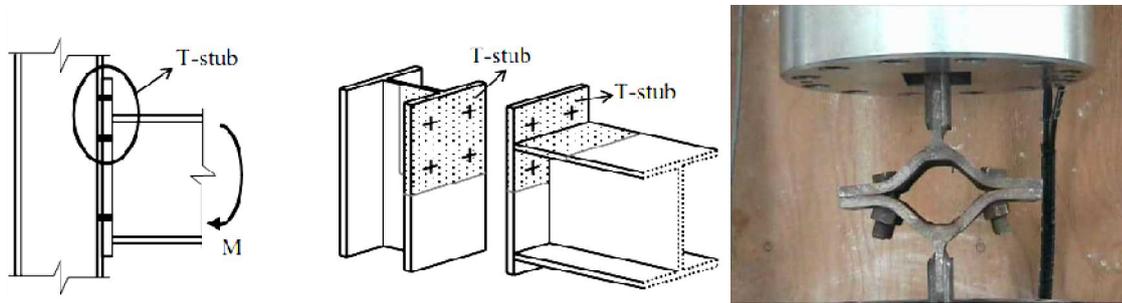
الشكل (9.2): تمثيل النابض ذو السلوك ثنائي الخطية بنموذج خطي - النابض على الشد, [11].

3.3.2 طريقة T-Stub (T-Stub Method):

تعتبر منطقة الشد من أهم المناطق في عقدة جائر عمود والتي تؤثر بشكل كبير على سلوك العقدة وبالتالي يجب دراستها بشكل جيد، حيث تتكون منطقة الشد من المكونات التي تتعرض لقوى الشد بحسب القوى المؤثرة على العقدة ويتم تحديد سعة هذه المنطقة بحسب خطوط الانكسار المدروسة في جناح العمود وشفيحة النهاية كما في الشكل (10.2)، حيث يتم دراسة سلوك هذه المنطقة بدراسة نموذج (T-Stub) لجناح العمود وشفيحة النهاية [5] حيث يمكن باستخدام هذه الطريقة استنتاج الاستجابة اللدنة لشفيحة النهاية وجناح العمود والبراعي، تنص هذه الطريقة على اعتبار المنطقة المشدودة من الوصلة على شكل عنصر (T) حيث يمثل جناح العنصر (T) شفيحة النهاية أو جناح العمود ويتم دراسة خطوط الانكسار في هذا النموذج لتحديد الاستجابة اللدنة للعناصر المشدودة للوصلة وذلك كما يبين الشكل (11.2).

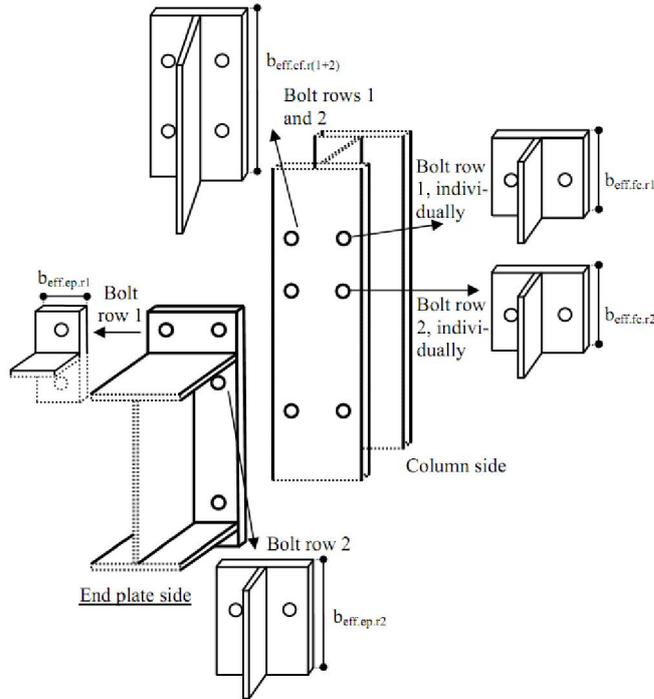


الشكل (10.2): خطوط الانكسار في جناح العمود, [5].



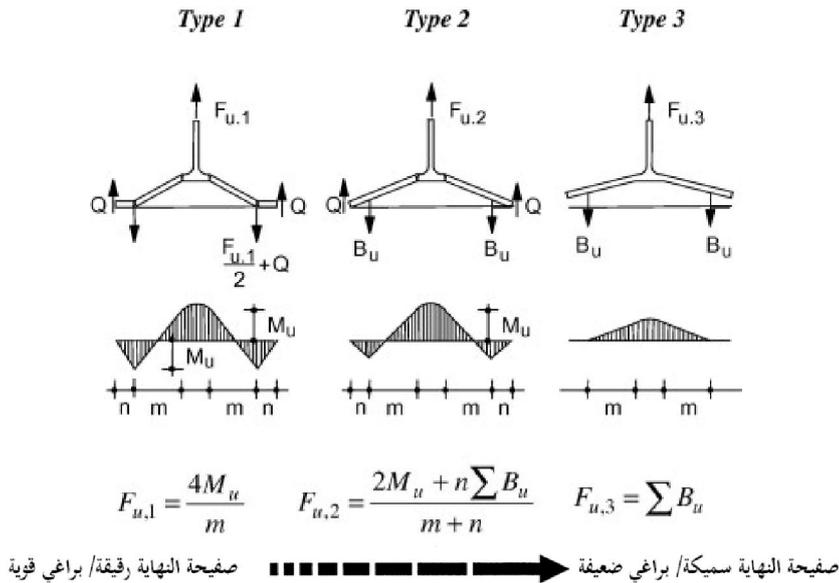
الشكل (11.2): طريقة (T-stub) لتمثيل المنطقة المشدودة من الوصلة, [2].

كما يبين الشكل (12.2) طريقة تمثيل عناصر (T-Stub) لعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية:



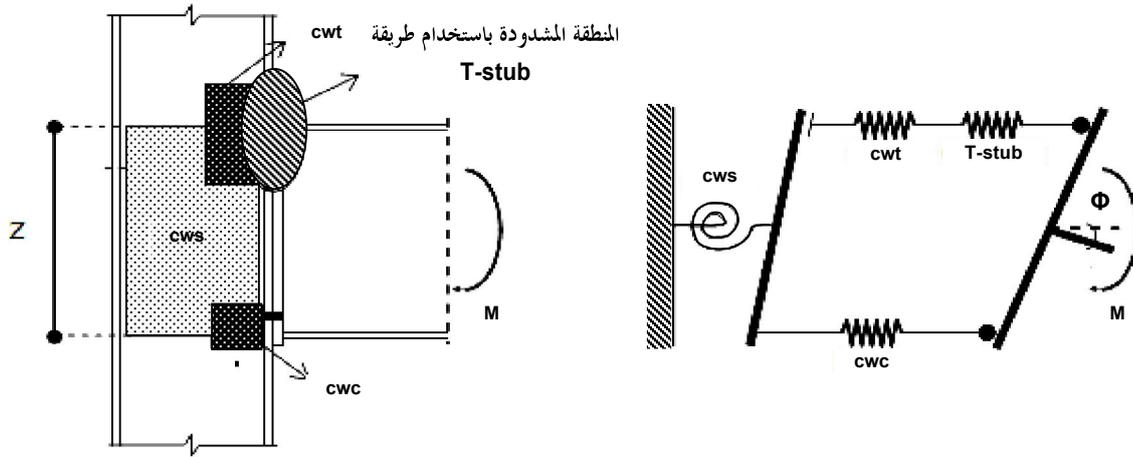
الشكل (12.2): طريقة تمثيل عناصر (T-Stub) لعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية, [2].

كما يبين الشكل (13.2) ميكانيكيات الانهيار المحتملة لعنصر (T-stub), [6].



الشكل (13.2): ميكانيكيات الانهيار المحتملة لعنصر, [6].

وبذلك يصبح النموذج المكافئ للعقدة وفقاً لاعتبار نموذج (T-stub) كما في الشكل (14.2)، حيث يعبر النموذج (T-) (stub) مكونات الشد في العقدة ونجد في النموذج أن مكونات القص تم التعبير عنها بنابض ذو صلابة دورانية في مستوى العقدة.



الشكل (14.2): النموذج المكافئ للوصلة باستخدام طريقة (T-stub), [2].

4.2 طريقة الكود الأوربي لدراسة سلوك العقد المعدنية (Eurocod method for steel connection):

يعتمد الكود الأوربي الطريقة الميكانيكية لتحديد سلوك العقد المعدنية، لعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية وصفين من البراغي في منطقة الشد مع وجود برغيين في كل صف حيث أن النموذج الميكانيكي لهذه العقدة بحسب الكود موضح في الشكل (15.2).

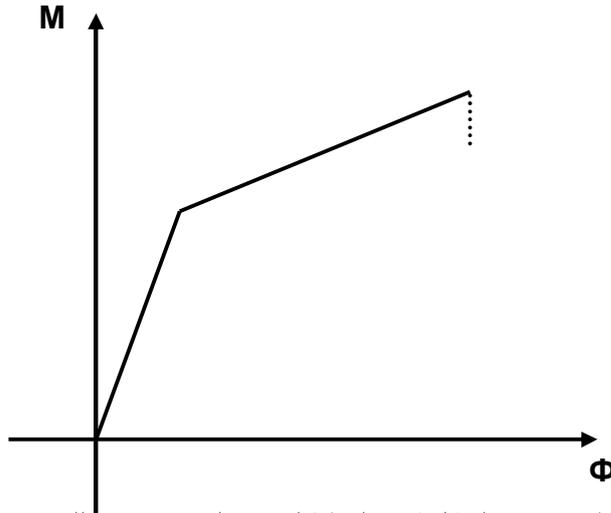
يحدد الكود سلوك المكونات الرئيسية التي تؤثر بشكل رئيسي على منحنى العزم – دوران للعقدة وهذه المكونات لعقدة جائر عمود هي كالتالي [1]:

- جسد العمود على القص (CWS).
- جسد العمود على الضغط (CWC).
- جسد العمود على الشد (CWT).
- جناح العمود على الانعطاف (CFB).
- صفيحة النهاية على الانعطاف (EPB).
- جناح الجائر على الضغط (BFC).
- جسد الجائر على الشد (BWT).
- البراغي على الشد (BT).

5.2 دراسة السلوك اللاخطي للعقد المعدنية (Nonlinear behavior of steel connection):

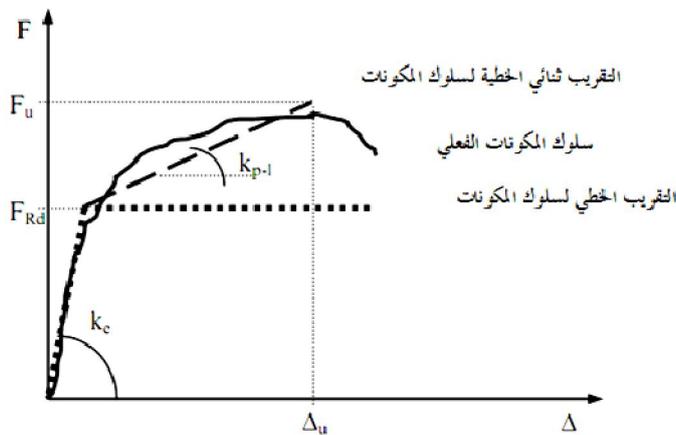
كما ذكر في البند (4.2)، أن الكود الأوربي يقوم بدراسة سلوك العقد المعدنية من خلال منحنى العزم – دوران للعقدة وذلك من خلال سلوك مكونات العقدة وبما أن الكود يعتبر سلوك المكونات مرن خطي وبالتالي فإن منحنى العزم دوران للعقدة مرن خطي أيضاً، وبالتالي فإن الكود الأوربي غير قادر على استنتاج منحنى لاخطي يوصف سلوك العقدة من حيث العزم الأعظمي الذي يؤدي للانهياب وسعة الدوران العظمي للعقدة.

ومن أجل دراسة العقد المعدنية ومعرفة خصائصها أو كفاءة تدعيمها، لا بد من دراسة سلوك هذه العقد في المرحلة اللاخطية واستنتاج المنحنى اللاخطي للعزم – دوران ليصبح هذا المنحنى كما في الشكل (18.2).



الشكل (18.2): التمثيل ثنائي الخطية لمنحنى العزم – دوران للعقدة, [2].

وبما أن مرتبة منحنى العزم – دوران للعقدة من مرتبة منحنى القوة – انتقال لمكونات العقدة لذلك لا بد من دراسة السلوك اللاخطي لمكونات العقدة بتقريب مقبول ولذلك اقترح العالم (Jaspart)، [7] طريقة لدراسة السلوك اللاخطي للعقد المعدنية من خلال دراسة السلوك اللاخطي لمكونات العقدة منفصلة، حيث يتم تعريف سلوك المكونات بمنحنى ثنائي الخطية كما في الشكل (19.2).



الشكل (19.2): سلوك المكونات بحسب تقريب (Jaspart), [7].

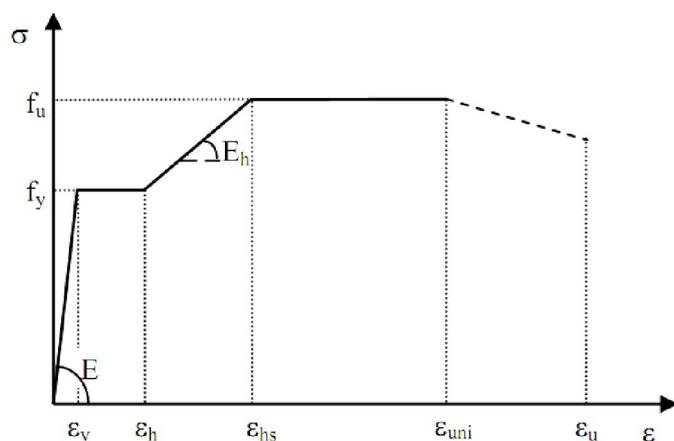
ووفقاً لهذا التقريب يعرف سلوك كل مكون من المكونات بأربع ثوابت وهي معامل الصلابة المرنة (K_e) والمقاومة المرنة للعنصر (F_{Rd}) ومعامل الصلابة اللدنة (K_p) والمقاومة اللدنة للعنصر (F_u). حيث يمكن تحديد المقاومة المرنة ومعامل الصلابة المرنة للعنصر بحسب الكود الاوربي ومن ثم يتم استنتاج معامل الصلابة اللدنة من العلاقة:

$$K_p = \frac{E_h}{E} K_e \dots\dots\dots(1.2)$$

أما بالنسبة لجسد العمود على القص تكون الصلابة كما في العلاقة:

$$K_p = \frac{2(1+\nu)}{3} \frac{E_h}{E} K_e \dots\dots\dots(2.2)$$

تمثل (E_h) معامل المرونة للمادة في مرحلة التقسية الانفعالية (strain hardening modulus)، حيث قدم الباحث [8] (Faella et al) صيغة لاستنتاج هذا المعامل بحسب نوع الفولاذ كما في الشكل (20.2) والجدول (3.2).



الشكل (20.2): تقريب منحنى الإجهاد تشوه للفولاذ بمنحني متعدد الخطية بحسب (Faella et al), [8].

Steel grade	f_y	f_u	ϵ_y	ϵ_h	ϵ_{hs}	ϵ_{uni}	ϵ_u	E_h	E_u
S235	235	360	0.001	0.014	0.037	0.140	0.250	5500	360
S275	275	430	0.001	0.015	0.047	0.120	0.220	4800	430
S355	355	510	0.002	0.017	0.053	0.110	0.200	4250	510

الجدول (3.2): استنتاج معامل المرونة (E_h) بحسب (Faella et al), [8].

كما اقترح (Jaspart) صيغة لحساب المقاومة الحديدية للعنصر (F_u) لمكونات الوصلة وذلك من خلال الحساب بنفس علاقات حساب المقاومة المرنة باستبدال إجهاد الخضوع (f_y) بإجهاد الانكسار (f_u)، وبذلك يمكن تحديد سعة التشوه اللدن لمكونات العقدة باستخدام العلاقة التالية:

$$\Delta_u = \frac{F_{Rd}}{K_e} + \frac{F_u - F_{Rd}}{K_p} \dots\dots\dots(3.2)$$

ويتم تحديد مطاوعة كل عنصر من العلاقة التالية:

$$\varphi_i = \frac{\Delta_u}{\Delta_{F_{Rd}}} : \Delta_{F_{Rd}} = \frac{F_{Rd}}{K_e} \dots\dots\dots(4.2)$$

ويمكن تصنيف المطاوعة بحسب الباحث (Kuhlmann) [9] إلى ثلاثة تصنيفات:

- مكونات ذات مطاوعة عالية $\varphi_i \geq \alpha$.
- مكونات ذات مطاوعة محدودة $\beta \leq \varphi_i < \alpha$.
- مكونات قصيفة $\varphi_i < \beta$.

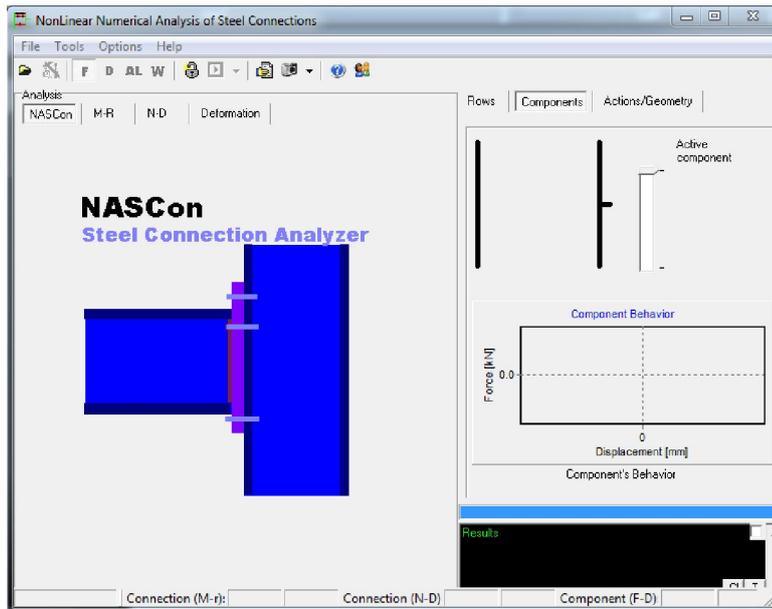
حيث أن الثوابت التجريبية:

$$\alpha = 20, \beta = 3$$

كما يوجد تقريبات أخرى لسلوك المكونات بحسب العديد من الباحثين وتم اختيار التقريب ثنائي الخطية بحسب (Jaspart) كتقريب مقبول لتحديد مطاوعة العقدة.

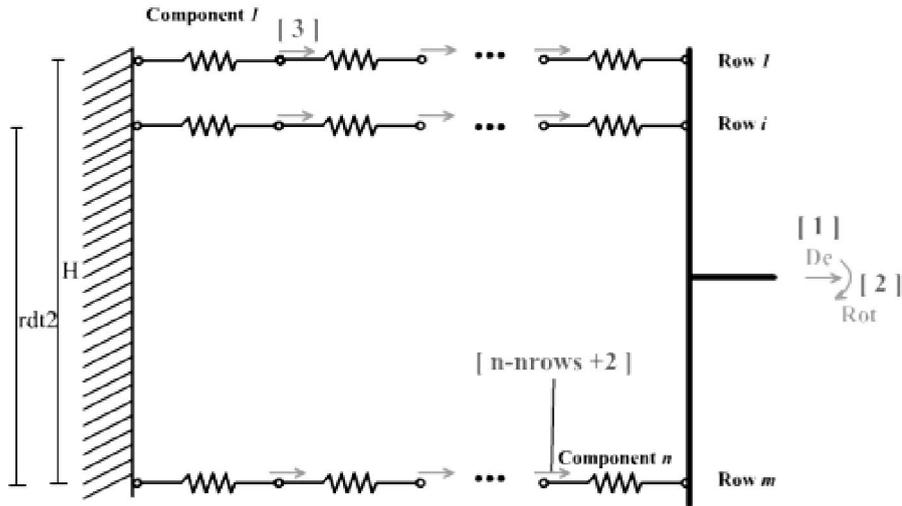
6.2 برنامج (NASCON):

تم تطوير برنامج متخصص في الأبحاث التي تجرى على الوصلات المعدنية في جامعة (Coimbra University-Portugal) يدعى برنامج (NASCON) وهو اختصاراً للعبارة (Nonlinear Analysis Of Steel Connections)، حيث يمكن استنتاج منحنى $(M - \Phi)$ ومنحنى $(N - D)$ للوصلات الخاضعة لقوى محورية و التشوهات الحاصلة في الوصلة، ويبين الشكل (21.2) واجهة البرنامج.



الشكل (21.2): واجهة برنامج (NASCON).

كما يبين الشكل (22.2) النموذج الميكانيكي للوصلة المعتمد من قبل البرنامج.



الشكل (22.2): النموذج الميكانيكي للوصلة المعتمد من قبل برنامج (NASCON), [2].

حيث أن وظيفة البرنامج هي تحليل النموذج الميكانيكي وذلك بعد تحديد مواصفات المكونات المتمثلة بمنحنيات القوة – انتقال للمكونات كمدخلات للبرنامج ويمكن استخدام أي برنامج محاكاة للنوابض من أجل استنتاج منحنى العزم دوران للعقدة.

الفصل الثالث

دراسة العقدة غير المدعمة (*Study Of Un-Stiffened Joint*)

3. دراسة العقدة غير المدعمة (Study Of Un-Stiffened Joint):

1.3 الدراسة الخطية للعقدة بحسب الكود الأوربي (prEN 1993-1-8):

قبل دراسة العقدة المدعمة يجب دراسة العقدة غير المدعمة دراسة خطية ودراسة لاخطية، وسوف تتم الدراسة الخطية للعقدة الغير المدعمة وفق الكود الأوربي حيث يتضمن الحساب حساب العزم المقاوم للعقدة وحساب الصلابة الدورانية البدائية (K_e) ومناقشة سعة الدوران بحسب الكود المذكور، ومن ثم استنتاج المنحني المميز لمطاوعة العقدة وهو منحني خطي.

بعد ذلك يتم دراسة العقدة غير المدعمة بحسب تقريب (Jaspart) واستنتاج منحني العزم - دوران اللاخطي بحسب برنامج (NASCON) ونقارن المنحني المستنتج وفق الكود الأوربي مع المنحني المستنتج بحسب تقريب (Jaspart). يتضمن الحساب وفق الكود الأوربي حساب مقاومة مكونات العقدة المعتبرة وفق الكود ومن ثم تحديد الصلابة الدورانية للعقدة ومناقشة سعة الدوران للعقدة، وبعد ذلك استنتاج منحني العزم - دوران للعقدة بحسب الكود. بداية يتم فرض مواصفات العقدة التي سوف تدرس بحيث يكون المكون الأضعف من مكونات الوصلة هو جناح العمود على الانعطاف من أجل توضيح دور التدعيم المقترح لاحقاً.

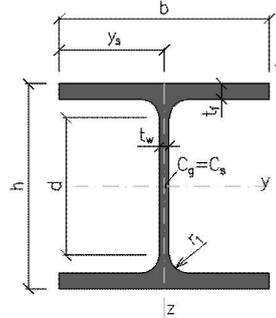
نعمد المواصفات التالية للعقدة:

مواصفات مقطع العمود:

HE160B

$h = b = 160 \text{ mm}$

$t_f = 13 \text{ mm}, t_w = 8 \text{ mm}, r = 15 \text{ mm}, d_c = 104 \text{ mm}$



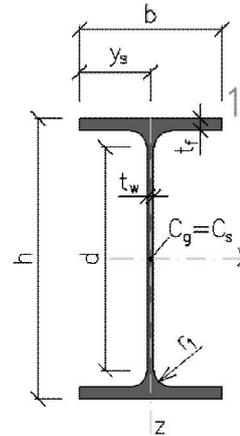
مواصفات مقطع الجائز:

IPE 240

$h = 240 \text{ mm}, b = 120 \text{ mm}$

$t_f = 9.8 \text{ mm}, t_w = 6.2 \text{ mm}, r = 15 \text{ mm}, d_c = 190.4 \text{ mm}$

$S_x = 367 \text{ cm}^3$



مواصفات صفيحة النهاية:

plate : 360x 160x 22mm

مواصفات البراغي:

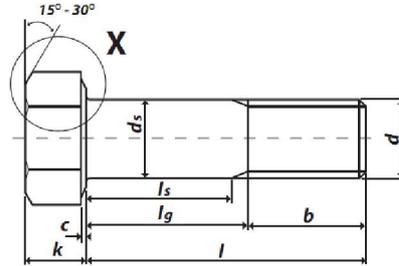
M 20 Gr10.9

$d = 20 \text{ mm}$

$f_{ub} = 1000 \text{ Mpa}$

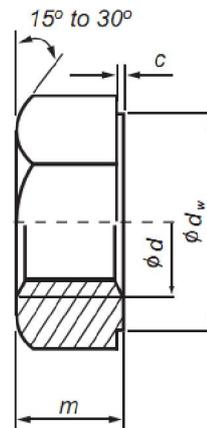
$K = 13.4 \text{ mm}$

$A_s = 245 \text{ mm}^2$



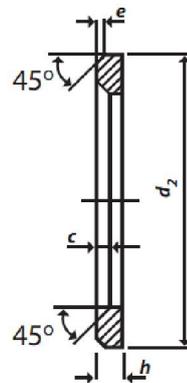
مواصفات العزق:

$m = 18 \text{ mm}$

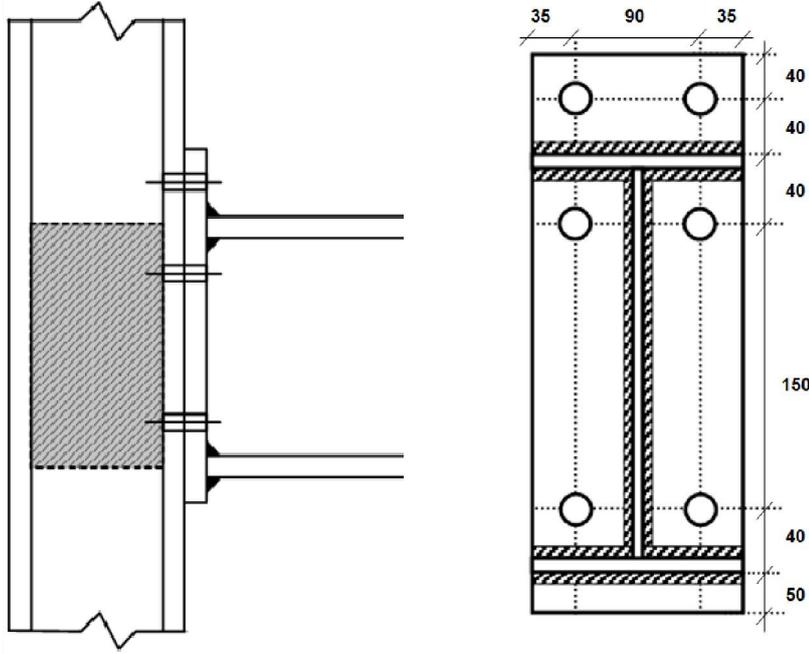


مواصفات الرنديلة:

$h = 4 \text{ mm}$



توزيع صفوف البراغي:



مواصفات المواد:

نعتمد مواصفات الفولاذ الإنشائي لمقطع العمود والجائز من الماركة (Fe 430) وفولاذ صفيحة النهاية من الماركة (Fe510) حيث أن مواصفات المواد موضحة في الجدول (1.3) وفق الكود الأوربي (EN 1993-1-1), [10].

Nominal steel grade	Thickness t mm ^a			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 100 mm ^b	
	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)
EN 10025:				
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	510	335	490
prEN 10113:				
Fe E 275	275	390	255	370
Fe E 355	355	490	335	470

الجدول (1.3): مواصفات المواد بحسب الكود الأوربي (EN 1993-1-1), [10].

كما أن الخصائص الميكانيكية للمادة كما يلي:

$$E = 210000 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\nu = 0.3$$

1.1.3 حساب مقاومة مكونات العقدة:

سوف يتم حساب مقاومة كل مكون من المكونات الأساسية والتي تعتبر بحسب الكود الأوربي الأكثر تأثيراً على منحنى العزم - دوران [1] وهي كما يلي:

- جسد العمود على القص (CWS). - صفيحة النهاية على الانعطاف (EPB).

- جسد العمود على الضغط (CWC). - جناح الجائر على الضغط (BFC).

- جسد العمود على الشد (CWT). - جسد الجائر على الشد (BWT).

- جناح العمود على الانعطاف (CFB). - البراغي على الشد (BT).

حيث يتضمن حساب مقاومة المكونات حساب المقاومة المرنة ويمكن العودة إلى الجدول (1-A) من الملحق (A) من أجل تفصيل العلاقات.

1.1.1.3 حساب مقاومة جسد العمود على القص (cws):

يعتبر جسد العمود على القص من المكونات ذات المطاوعة العالية وتعطى المقاومة المرنة بحسب الكود الأوربي وفق العلاقة التالية:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \times 275 \times 1734}{\sqrt{3} \times 1.1} = 225.25 \text{ KN} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$: A_{vc} = 5400 - 2 \times (160 \times 13 + 13 \times (8 + 2 \times 15))$$

$$A_{vc} = 1734 \text{ mm}^2$$

2.1.1.3 حساب مقاومة جسد العمود على الضغط (cwc):

يعتبر هذا المكون من المكونات متوسطة المطاوعة، وتعطى مقاومة جسد العمود على الضغط بالعلاقة التالية [1]:

$$F_{cwc,Rd} = \frac{\omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} = \frac{0.659 \times 1 \times 216.42 \times 8 \times 275}{1.1} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$F_{cwc,Rd} = 285.64 \text{ KN}$$

3.1.1.3 حساب مقاومة البراغي على الشد (bt):

وتعطى مقاومة البراغي على الشد بالعلاقة:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times 1000 \times 245}{1.2} = 183.75 \text{ KN} \dots\dots\dots(3.3)$$

4.1.1.3 حساب مقاومة جناح العمود على الانعطاف (cfb):

يعتبر جناح العمود على الانعطاف من المكونات المطاوعة حيث يتم استنتاج مقاومة هذا المكون بدلالة طريقة (T-stub) حيث تحدد مقاومة جناح العمود على الانعطاف بالقيمة الأدنى من ميكانيزمات الانهيار التالية [1]:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad \text{Mode 1} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} \quad \text{Mode 2} \\ \sum B_{t,Rd} \quad \text{Mode 3} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3.4)$$

ويكون الطول الفعال وفقاً للحالة المدروسة كما في الجدول (2.3) حيث يمكن العودة إلى الجدول (A-3) من الملحق (A) من أجل تفصيل علاقات الحساب:

	صفوف البراغي منفصلة		صفوف البراغي مجمعة	
	نمط انهيار دائري	نمط انهيار غير دائري	نمط انهيار دائري	نمط انهيار غير دائري
براغي داخلية	182.2	159.75	160	80
براغي طرفية	161.1	119.875	160	80
e=35, m=29				

الجدول (2.3): الطول الفعال لخطوط الانكسار في جناح العمود على الانعطاف في العقدة غير المدعمة.

وبالتالي تحدد مقاومة جناح العمود على الانعطاف وذلك في الصف الأول من البراغي بالقيمة الأدنى من القيم التالية:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} = 174.64 \text{ Kn} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} = 229.6 \text{ Kn} \\ \sum B_{t,Rd} = 347.5 \text{ Kn} \end{array} \right\} : \sum n_{eff} = 119.875 \dots(3.5)$$

$$\Rightarrow F_{t,Rd} = \underline{174.64 \text{ KN}}$$

كما تكون مقاومة جناح العمود على الانعطاف في الصف الثاني من البراغي بالقيمة الأدنى من القيم التالية:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} = 232.74 \text{ KN} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} = 242.74 \text{ KN} \\ \sum B_{t,Rd} = 347.5 \text{ KN} \end{array} \right\} : \sum n_{eff} = 159.75 \dots (3.6)$$

$$\Rightarrow F_{t,Rd} = \underline{232.74 \text{ KN}}$$

و مقاومة جناح العمود على الانعطاف لصفى البراغي بحسب نمط الانهيار المجتمع تساوي:

$$F_{t,Rd(1+2)} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} = 233.1 \text{ KN} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} = 242.85 \text{ KN} \\ \sum B_{t,Rd} = 347.5 \text{ KN} \end{array} \right\} : \sum n_{eff} = 80 + 80 \dots (3.7)$$

$$\Rightarrow F_{t,Rd(1+2)} = \underline{233.1 \text{ KN}}$$

5.1.1.3 حساب مقاومة جسد العمود على الشد (cwt):

يتم تحديد مقاومة جسد العمود على الشد من العلاقة التالية [1]:

$$F_{t,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} = \frac{0.845 \times 119.875 \times 8 \times 275}{1.1} \dots (3.8)$$

$$F_{t,Rd} = \underline{202.58 \text{ KN}}$$

ومقاومة جسد العمود على الشد في الصف الثاني من البراغي:

$$F_{t,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} = \frac{0.765 \times 159.75 \times 8 \times 275}{1.1} \dots (3.9)$$

$$F_{t,Rd} = \underline{244.42 \text{ KN}}$$

ومقاومة جسد العمود على الشد في الصفين الأول والثاني من البراغي:

$$F_{t(1+2),Rd} = \frac{\omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} = \frac{0.765 \times 160 \times 8 \times 275}{1.1} \dots (3.10)$$

$$F_{t(1+2),Rd} = \underline{244.8 \text{ KN}}$$

($b_{eff,t}$): هي الطول الفعال لمنطقة الشد من العمود وبحسب الكود الأوربي تساوي الطول الفعال لجناح (T-Stub) لجناح العمود على الانعطاف في حال اعتبار صفوف البراعي المنفصلة أو المجمعة.
(ω): معامل تخفيض من أجل الأخذ بالاعتبار تأثير قوى القص على مقاومة الجسد للقوى الشادة.

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3(b_{eff,c} t_{wc} / A_{vc})^2}}$$

6.1.1.3 حساب مقاومة صفيحة النهاية على الانعطاف (epb):

يتم تقدير مقاومة صفيحة النهاية على الانعطاف بحسب طريقة (T-STUB) كما في جناح العمود حيث يمثل جناح العنصر (T) صفيحة النهاية أما جسد العنصر (T) فيمثل جناح الجانز الذي ينقل القوى الشادة حيث تحسب المقاومة من القيم الأدنى:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad Mode 1 \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} \quad Mode 2 \\ \sum B_{t,Rd} \quad Mode 3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3.11)$$

وفي الحالة المدروسة تكون ميكانيزمات الانهيار منفصلة (أي كل صف براغي على حدة) نظراً لوجود صفين من البراعي فقط وهما صف البراعي أعلى جناح الجانز وصف البراعي أسفل الجناح وبالتالي يكون الطول الفعال لخطوط الانكسار المتشكلة في الصفيحة كما في الجدول (3.3) حيث يمكن العودة إلى الجدول (4-A) من الملحق (A) من أجل تفصيل علاقات الحساب:

	صفوف البراعي منفصلة	
	نمط انهيار دائري	نمط انهيار غير دائري
صف البراعي الطرفي	195.66	80
صف البراعي الداخلي	206.71	206.71
w=90، e=35، m=29، ex=40، mx=40		

الجدول (3.3): الطول الفعال لصفيحة النهاية على الانعطاف في العقدة غير المدعمة.

وتكون مقاومة الصفيحة عند كل صف من البراغي:

صف البراغي الطرفي:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} = 312.4 KN \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} = 261.85 KN \\ \sum B_{t,Rd} = 2 \times F_{t,Rd} = 2 \times 183.75 = 367.5 KN \end{array} \right\} : \sum n_{eff} = 80 \dots (3.12)$$

$$\Rightarrow F_{t,Rd} = \underline{261.85 KN}$$

صف البراغي الداخلي:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} = 981.4 KN \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} = 427.19 KN \\ \sum B_{t,Rd} = 2 \times F_{t,Rd} = 2 \times 183.75 = 367.5 KN \end{array} \right\} : \sum n_{eff} = 206.71 \dots (3.13)$$

$$\Rightarrow F_{t,Rd} = \underline{367.5 KN}$$

بعد أن تم حساب مقاومات العناصر يتم حساب القوى النهائية في كل صف من البراغي وفق عدد من الاشتراطات (انظر الملحق A)، وتكون القوى النهائية في الصف الأول من البراغي:

$$F_{t1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{cws,Rd} / \beta = 225.25 Kn \\ F_{cwc,Rd} = 285.65 Kn \\ F_{bfc,Rd}^* = 398.56 Kn \\ F_{cwt1,Rd} = 202.58 Kn \\ F_{cfb1,Rd} = 174.64 Kn \leftarrow \\ F_{epb1,Rd} = 261.85 Kn \\ F_{bt1,Rd} = 367.5 Kn \end{array} \right\} \Rightarrow F_{t1,Rd} = \underline{174.64 KN} \dots (3.14)$$

$$*: F_{bfc,Rd} = M_{cf,Rd} / (h - t_{fb}) = \frac{Sx f_y}{\gamma_{m0}} / (h - t_{fb})$$

$$F_{bfc,Rd} = \frac{367 \times 10^3 \times 275}{1.1} / (240 - 9.8) = 398.56 KN$$

وتكون القوى النهائية في الصف الثاني من البراغي:

$$F_{t2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{cws,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} = 50.61 \text{ Kn} \leftarrow \\ F_{cwc,Rd} - F_{t1,Rd} = 110.96 \text{ Kn} \\ F_{bfc,Rd} - F_{t1,Rd} = 223.8 \text{ Kn} \\ F_{cwt2,Rd} = 244.42 \text{ Kn} \\ F_{cfb2,Rd} = 232.74 \text{ Kn} \\ F_{epb2,Rd} = 367.5 \text{ Kn} \\ F_{bt2,Rd} = 367.5 \text{ Kn} \\ F_{cwt(1+2),Rd} - F_{t1,Rd} = 244.8 - 174 = 70.2 \text{ Kn} \\ F_{cfb(1+2),Rd} - F_{t1,Rd} = 233.1 - 174.64 = 58.46 \text{ Kn} \\ F_{bt(1+2),Rd} - F_{t1,Rd} = 735 - 174.6 = 560.4 \text{ Kn} \end{array} \right\} \Rightarrow F_{t2,Rd} = \underline{50.61 \text{ KN}} \dots (3.15)$$

ويكون العزم المقاوم للوصلة بحسب الكود:

$$M_{Rd} = \sum_r h_r F_{t,Rd} \dots (3.16)$$

: r bolt row

(h_r): تمثل بعد صف البراغي المدروس عن مركز الضغط الذي يتم تحديده في الجناح السفلي للجائز.

وبالتالي:

$$M_{Rd} = 174.64 \times 0.265 + 50.61 \times 0.185 \dots (3.17)$$

$$M_{Rd} = \underline{55.64 \text{ KN.m}}$$

2.1.3 حساب معامل الصلابة المرنة بحسب الكود الأوربي:

يتم تقدير معامل الصلابة بحسب الكود الأوربي بالاعتماد على نظرية المكونات حيث يتم اعتبار المكونات على شكل نوابض مرنة لكل منها صلابة محددة ويتم تجميعها على التسلسل وعلى التفرع لاستنتاج معامل الصلابة كما في النموذج الموضح في الشكل (17.2).

ويحدد معامل الصلابة المرنة للعقدة كما في العلاقة:

$$S_{j,ini} = \frac{M}{\phi} = z^2 \frac{k_{ec} k_{eq}}{k_{ec} + k_{eq}} \dots (3.18)$$

وبالتالي بتطبيق العلاقات من الملحق (A) والحساب يمكن تلخيص صلابة المكونات بالجدول (4.3).

المكون	CWS	CWC	CWT	CFB	EPB	BT
الصلابة في الصف الأول (KN/mm)	614.71	2447.29	904.615	1362.033	2515.59	1402.38
الصلابة في الصف الثاني (KN/mm)			904.615	1362.033	11681.63	1402.38

الجدول (4.3): صلابات مكونات العقدة غير المدعمة بحسب الكود الأوربي.

الصلابة المكافئة لمكونات الضغط:

$$k_{ec} = \frac{1}{\frac{1}{614.71} + \frac{1}{2447.29}} = 491.3 \text{ KN / mm} \dots\dots\dots(3.19)$$

الصلابة المكافئة لمكونات الشد على التسلسل في صف البراغي الأول:

$$k_{et1} = \frac{1}{\frac{1}{904.615} + \frac{1}{1362.03} + \frac{1}{2515.59} + \frac{1}{1402.38}} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$k_{et1} = 338.95 \text{ KN / mm}$$

الصلابة المكافئة لمكونات الشد على التسلسل في صف البراغي الثاني:

$$k_{et2} = \frac{1}{\frac{1}{904.615} + \frac{1}{1362.03} + \frac{1}{11681.63} + \frac{1}{1402.38}} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$k_{et2} = 379.03 \text{ KN / mm}$$

(k_{eq}): الصلابة المكافئة لمكونات الشد في صفي البراغي.

$$k_{eq} = \frac{338.95 \times 265 + 379.03 \times 185}{243.036} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$k_{eq} = 686.29 \text{ KN / mm}$$

(z): ذراع العزم وتعطى بالعلاقة:

$$z = \frac{338.95 \times 265^2 + 379.03 \times 185^2}{338.95 \times 265 + 379.03 \times 185} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$z = 243.036 \text{ mm}$$

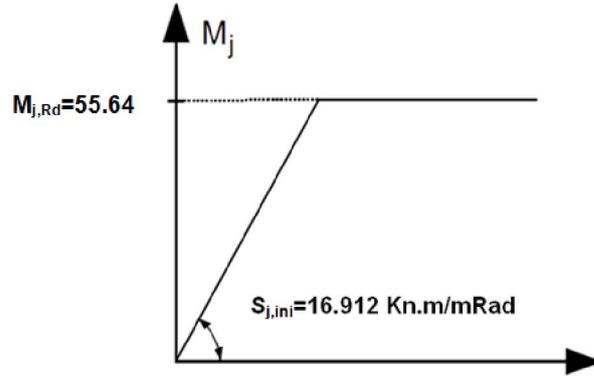
وبالتالي يصبح معامل الصلابة المرنة للوصلة يساوي:

$$S_{j,ini} = z^2 \frac{k_{ec} k_{eq}}{k_{ec} + k_{eq}} = 243.036 \times \frac{491.3 \times 686.29}{491.3 + 686.29} \dots\dots\dots(3.24)$$

$$S_{j,ini} = \underline{16.912 \text{ KN.m / mRad}}$$

3.1.3 تحديد سعة الدوران بحسب الكود الأوربي:

لا يعطي الكود الأوربي صيغة واضحة لحساب سعة الدوران لوصلة جوائز عمود موصولة بالبراغي، إنما يعتبر أن الوصلة تملك سعة دوران كافية من أجل التحليل اللدن إذا تحققت مجموعة من الاشتراطات. وبالتالي يصبح المنحني المميز للعزم - دوران بحسب الكود الأوربي كما في الشكل (1.3).



الشكل (1.3): منحني العزم - دوران وفق الدراسة بحسب الكود الأوربي.

2.3 الدراسة اللاخطية للعقدة بحسب تقريب (Jaspart):

بعد أن تم تحديد المقاومة المرنة والصلابة المرنة بحسب الكود الأوربي يمكن تحديد المقاومة اللدنة والصلابة اللدنة بحسب تقريب (Jaspart) حيث أن الكود الأوربي لا يعطي السلوك اللاخطي لمنحني العزم - دوران ولا يستطيع التنبؤ بسعة الدوران للعقدة، لذلك تم وضع بعض التقريبات للدراسة اللاخطية للعقدة ومنها تقريب (Jaspart). يتم تحديد المقاومة اللدنة بحسب تقريب (Jaspart) باستبدال إجهاد الخضوع للمادة (f_y) بإجهاد الانكسار (f_u) عند حساب المقاومة كما يلي:

$$F_p = F_e \frac{f_u}{f_y} \dots\dots\dots(3.25)$$

كما يتم استنتاج الصلابة اللدنة لجميع المكونات عدا جسد العمود على القص باستبدال معامل يونغ للمادة في المرحلة الخطية بمعامل المرونة للمادة في مرحلة التقسية الانفعالية (Eh) بحسب العلاقة (1.2).

أما بالنسبة لمكون جسد العمود على القص يدخل اعتبار تأثير معامل المرونة القصي ($G = \frac{E}{2(1+\nu)}$) فتكون

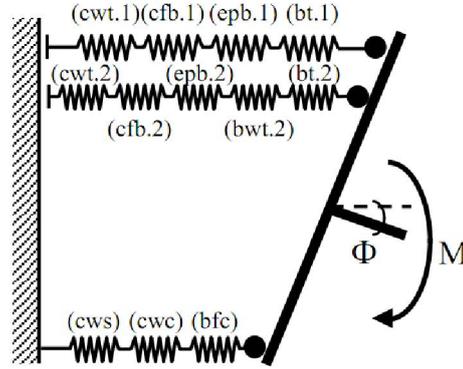
الصلابة اللدنة كما في العلاقة (2.2).

1.2.3 تحليل مكونات الوصلة في المرحلة اللاخطية:

نقوم أولاً بتحديد البارامترات المميزة للنوابض واللازمة لتعريف سلوك كل نابض من النوابض وهذه البارامترات هي:

- المقاومة المرنة للنابض (F_e).
- المقاومة اللدنة للنابض (F_p).
- الصلابة المرنة للنابض (k_e).
- الصلابة اللدنة للنابض (k_p).

نقوم باستنتاج المقاومة اللدنة لمكونات الوصلة وذلك في كل صف من البراغي باعتبار الحالة الأخطر من الانهيار سواء أكان الانهيار منفصلاً أم أن الانهيار من النمط المجمع من أجل نمذجة سلوك النوابض اللاخطي وفق نموذج برنامج (NASCON) الموضح في الشكل:



وتستنتج المقاومة اللدنة لكل مكون من المكونات من المقاومة المرنة للمكونات بحسب الكود الأوربي مع استبدال إجهاد الخضوع للمادة بإجهاد الانكسار كما يلي:

جسد العمود على القص:

$$V_{wp,p} = \frac{0.9 f_{u,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}} \dots \dots \dots (3.26)$$

جسد العمود على الضغط:

$$F_{cwc,p} = \frac{\omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{u,wc}}{\gamma_{m0}} \dots \dots \dots (3.27)$$

البراغي على الشد (مكون قصيف):

$$F_{t,Rd} = F_{t,p} = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{m2} \dots \dots \dots (3.28)$$

جناح العمود على الانعطاف:

$$F_{t,p} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad Mode 1 \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} \quad Mode 2 \\ \sum B_{t,Rd} \quad Mode 3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$M_{p,Rd} = 0.25 \sum n_{eff} t_f^2 f_u$$

جسد العمود على الشد:

$$F_{t,p} = \omega b_{eff,t} t_{wc} f_{u,wc} \dots\dots\dots(3.30)$$

صفيحة النهاية على الانعطاف:

$$F_{t,p} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad Mode 1 \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m+n} \quad Mode 2 \\ \sum B_{t,Rd} \quad Mode 3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$M_{p,Rd} = 0.25 \sum n_{eff} t_p^2 f_u$$

كما تصبح صلابة المكونات بحسب تقريـب (JASPART) كما يلي:

جسد العمود على القص:

$$k_{e,cws} = \frac{0.38 A_{vc} E}{\beta z} \frac{2(1+\nu)}{3} \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(3.32)$$

جسد العمود على الضغط:

$$k_{e,cwc} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c} \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(3.33)$$

جسد العمود على الشد:

$$k_{e,cwt} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c} \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(3.34)$$

جناح العمود على الانعطاف:

$$k_{e,cfb} = \frac{0.9 L_{eff} t_f^3 E}{m^3} \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(3.35)$$

صفيحة النهاية على الانعطاف:

$$k_{e,epb} = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3 E E_h}{m_x^3 E} \dots\dots\dots(3.36)$$

البراغي على الشد:

$$k_{e,bt} = \frac{1.6 A_s E E_h}{L_b E} \dots\dots\dots(3.37)$$

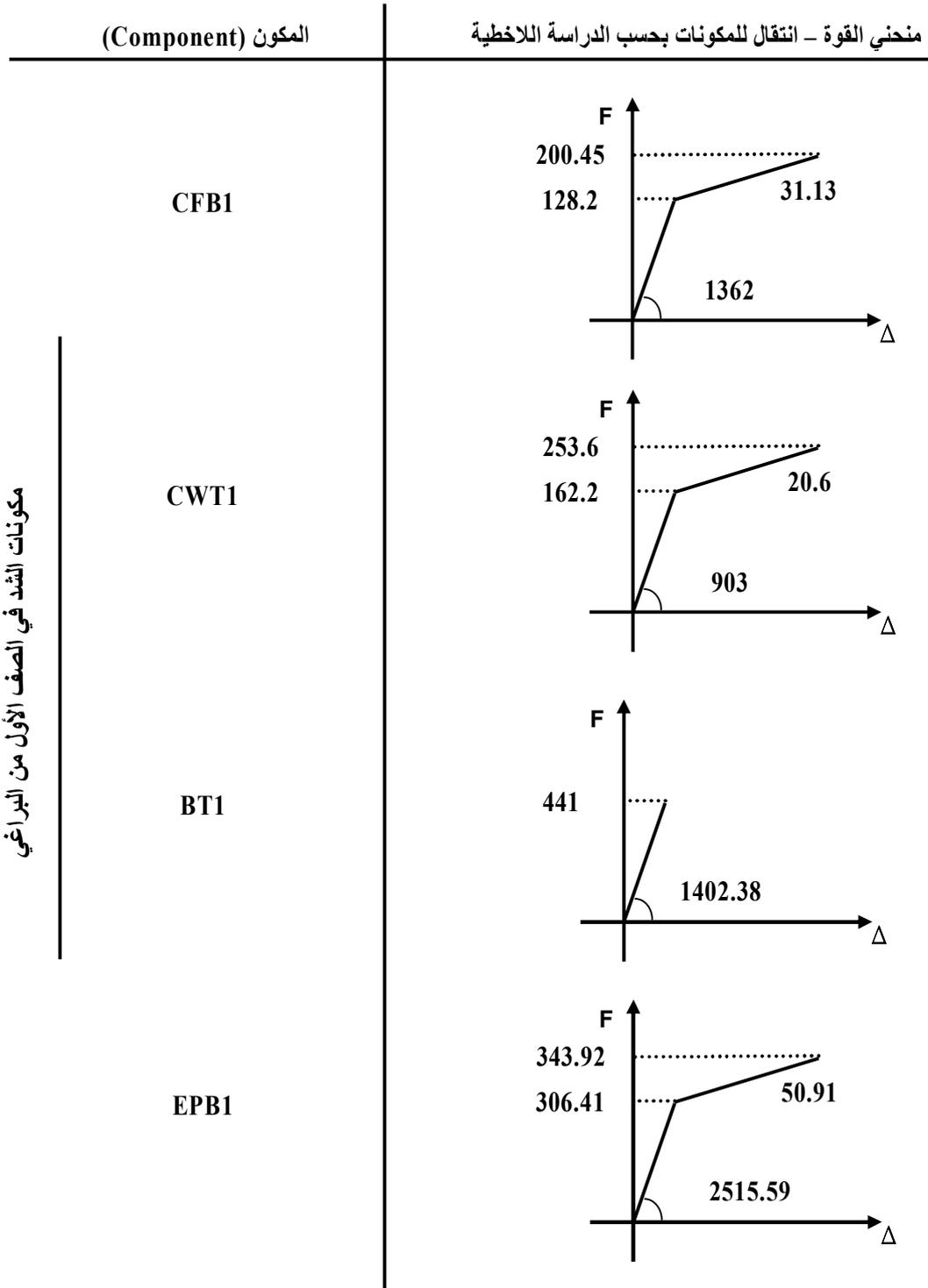
$$L_b = t_f + t_p + 2t_{wsh} + 0.5(t_n + t_h)$$

وبحساب المقاومة اللدنة والصلابة اللدنة كما في العلاقات السابقة يمكن تلخيصها في الجدول (5.3):

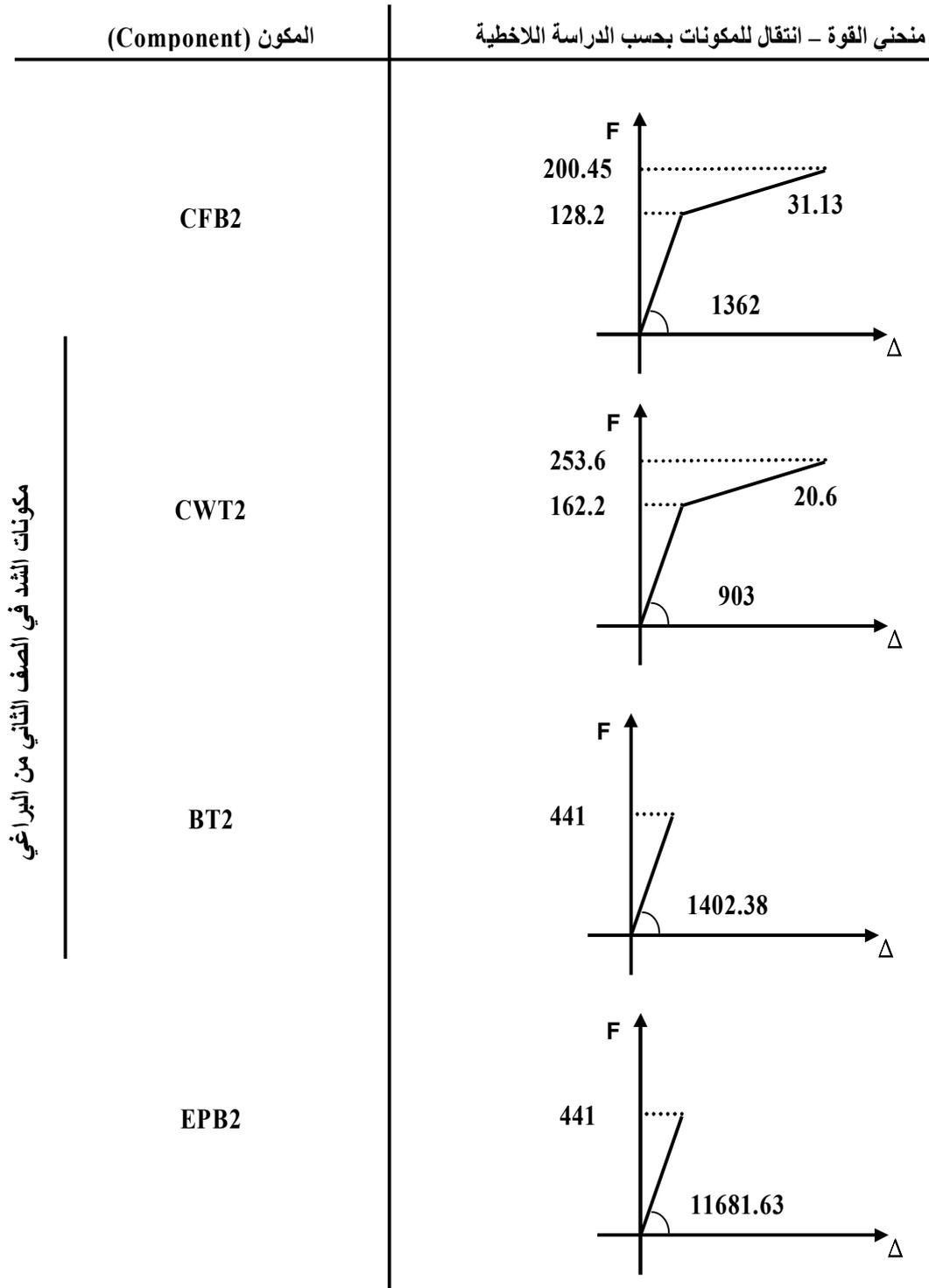
المكون (Component)		المقاومة المرنة (F _e), (KN)	المقاومة اللدنة (F _p), (KN)	الصلابة المرنة (K _e), (KN/mm)	الصلابة اللدنة (K _p), (KN/mm)	
مكونات الشد	الصف الأول	CFB	128.2	200.45	1362	31.13
		CWT	162.2	253.6	903	20.6
		BT	441		1402.38	
		EPB	306.41	343.92	2515.59	50.91
	الصف الثاني	CFB	128.2	200.45	1362	31.13
		CWT	162.2	253.6	903	20.6
		BT	441		1402.38	
		EPB	441		11681.63	
مكونات الضغط		CWS	247.77	387.4	614.71	12.17
		CWC	314.25	491.37	2447.29	48.45

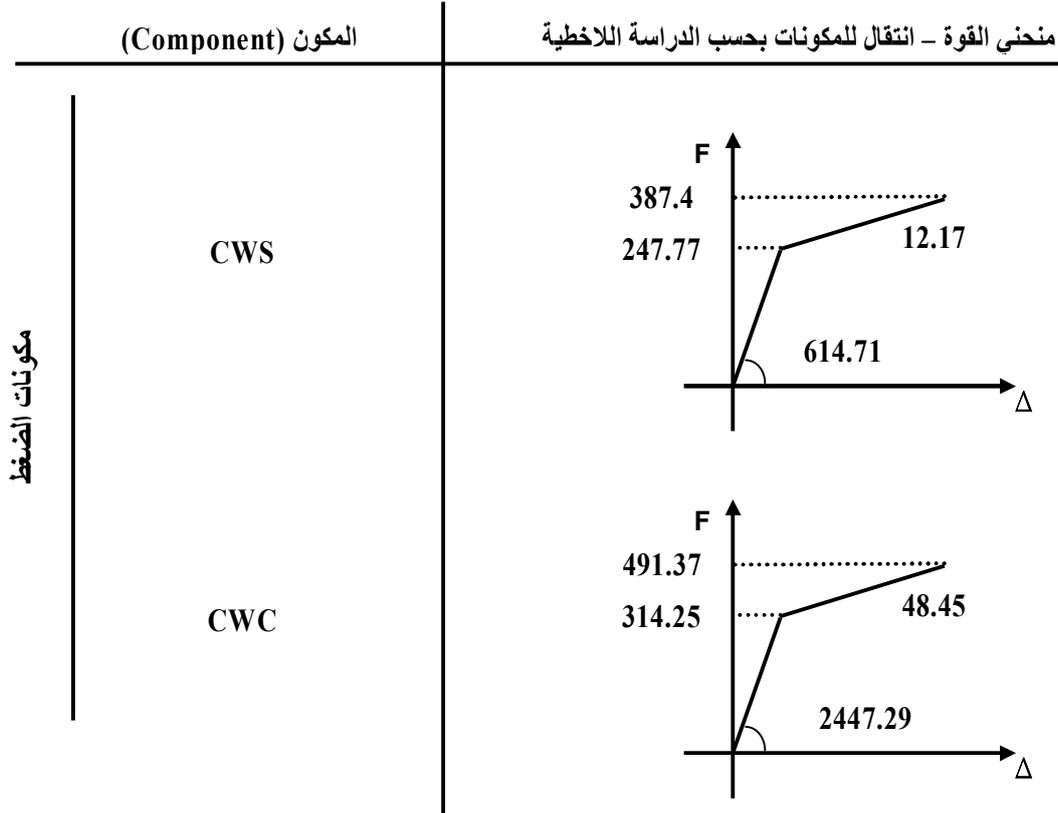
الجدول (5.3): مقاومة وصلابة مكونات العقدة غير المدعمة وفق الدراسة اللاخطية.

وبالتالي تصبح منحنيات القوة - انتقال المعبرة عن سلوك المكونات بحسب الدراسة اللاخطية وفق تقريب (Jaspart) كما في الجدول (6.3).



مكونات الشد في الصف الأول من البراجي

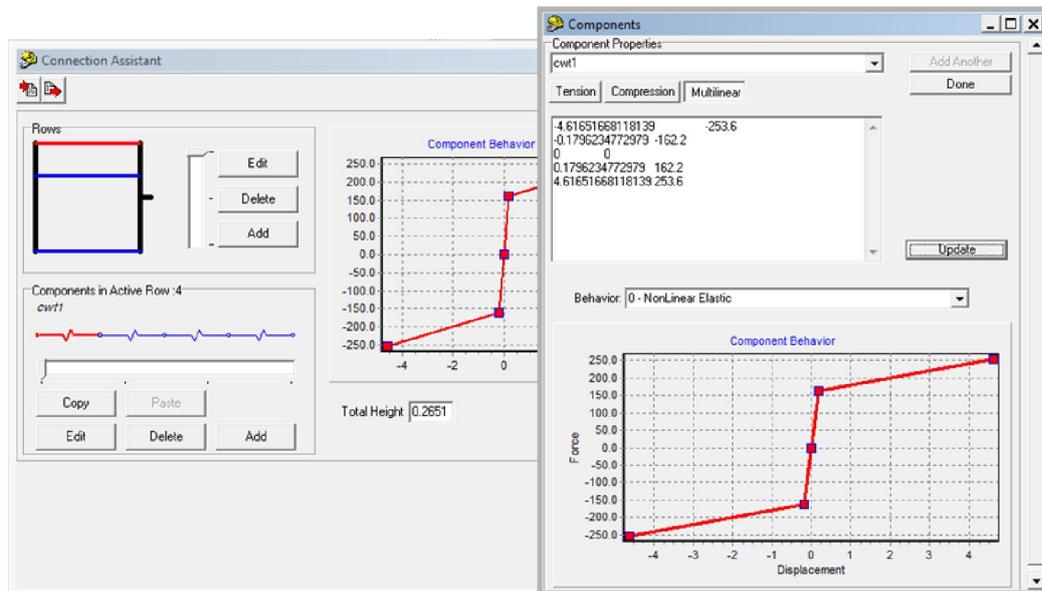




الجدول (6.3): منحنيات القوة انتقال لمكونات العقدة غير المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.

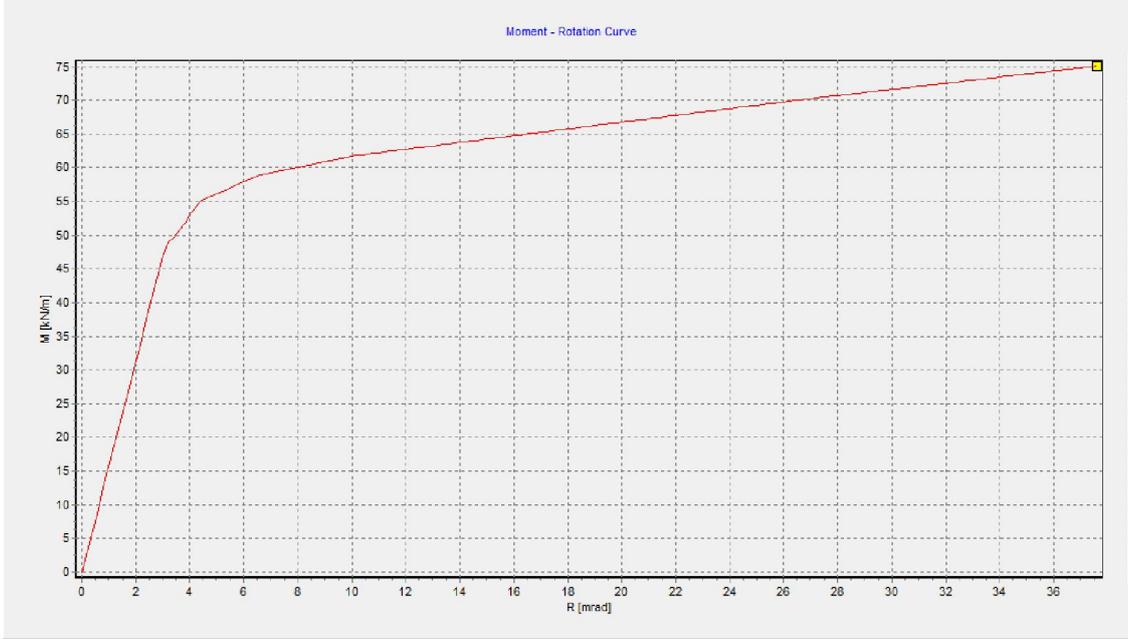
بعد أن تم تحليل المكونات واستنتاج معاملات المقاومة اللدنة والصلابة اللدنة للوصلة نقوم بإدخالها لبرنامج (NASCON) من أجل القيام بالتحليل اللدن للوصلة واستنتاج منحنى العزم - دوران.

يبين الشكل (2.3) تعريف سلوك المكونات ثنائي الخطية حيث أن كل مكون من المكونات يتم تمثيله بنابض ذو سلوك ثنائي الخطية في البرنامج.



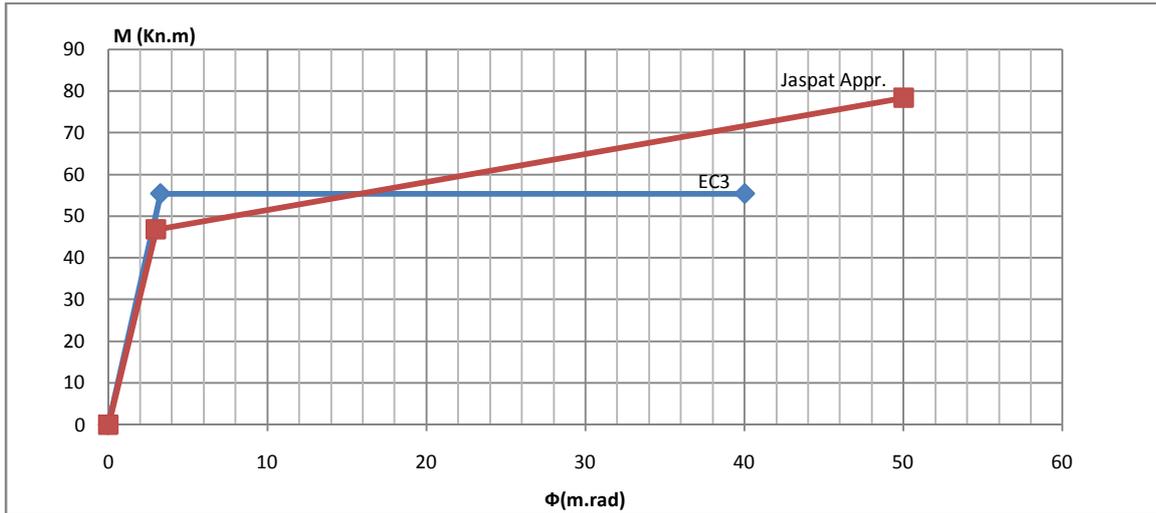
الشكل (2.3): تعريف سلوك المكونات ثنائي الخطية في برنامج (Nascon).

وبتحليل العقدة نجد أن منحنى العزم – دوران للوصلة كما في الشكل (3.3):



الشكل (3.3): منحنى العزم – دوران للعقدة غير المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.

كما يبين المخطط الوارد في الشكل (4.3) مقارنة منحنى العزم- دوران بحسب الكود الأوربي (المنحني الخطي) والمنحني الناتج عن الدراسة اللاخطية بحسب تقريب (Jaspart).



الشكل (4.3): مقارنة منحنى العزم- دوران بحسب الكود الأوربي والمنحني الناتج عن الدراسة اللاخطية بحسب تقريب (Jaspart).

من نتائج منحنى العزم – دوران باستخدام برنامج (NASCON) نستنتج مايلي:

- قيمة العزم المقاوم (M_{Rd}) بحسب برنامج (NASCON) تساوي (46.78 KN.m) بينما كانت في الكود الأوربي (55.4 KN.m).

- قيمة معامل الصلابة المرنة للعقدة بحسب برنامج (NASCON) تساوي (15.63 KN.m/mRad) أما بحسب الكود الأوربي تساوي (16.912 KN.m/mRad).
- قيمة العزم الأعظمي الذي تتحمله العقدة حتى انهيار العنصر الأضعف تساوي (78.3 KN.m).
- تم انهيار العقدة بانهيار جناح العمود على الانعطاف في الصف الأول من البراغي إذن جناح العمود على الانعطاف هو المكون الأضعف وهذا يثبت صحة الفرض.
- يعطي المنحني المستنتج بحسب برنامج (NASCON) سعة الدوران العظمى للعقدة وتساوي (50 KN.m/mRad) بينما لا يعطي الكود الأوربي سعة الدوران.

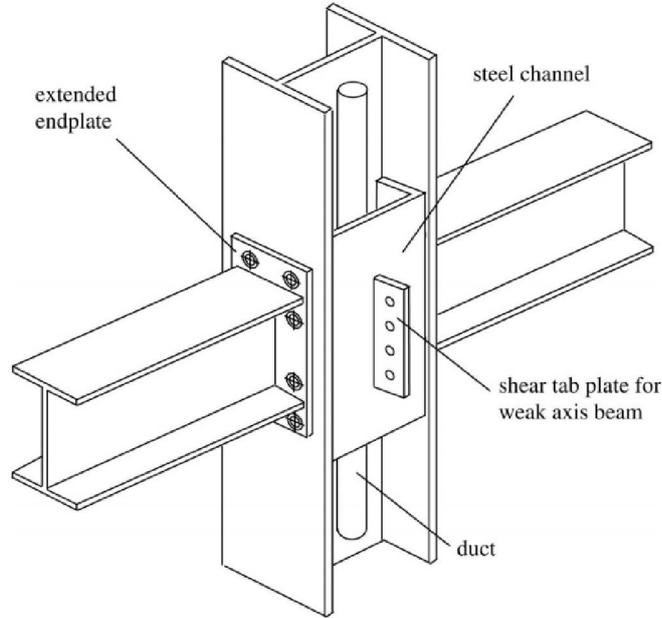
الفصل الرابع

دراسة العقدة المدعمة (*Study Of Stiffened Joint*)

4. دراسة العقدة المدعمة:

سوف نقوم بدراسة العقدة المدعمة المبينة في الشكل (1.4), وسيتم تحليل مكوناتها لاستنتاج منحنى العزم – دوران للعقدة.

وكما ذكر في البند (2.2) أن دراسة العقدة وتحديد منحنى العزم - دوران اللاخطي يحتاج إلى تحديد سلوك مكونات العقدة (أي تحديد منحنى القوة - انتقال لكل مكون من المكونات)، ومن ثم تمثيل هذا السلوك بحسب تقريب (Jaspart) الذي يعتبر منحنى القوة – انتقال للمكونات منحنى ثنائي الخطية، لكن في حال تدعيم العقدة يختلف سلوك المكونات عن السلوك الموصوف في الكود الأوربي نظرا لوجود جناح المجرة الذي يؤثر على مقاومة مكونات الشد في العقدة ووجود جسد المجرة الذي يؤثر على مقاومة مكونات القص في العقدة وبالتالي لا نستطيع الاعتماد على الكود في تحليل مكونات العقدة، لذلك سنقوم بتحليل مكونات العقدة وفق سلوك هذه المكونات حيث سنحلل مكونات الشد بدراسة خطوط الانكسار في جناح (T-Stub) وسنحلل مكونات القص بدراسة توزيع اجهادات القص على جسد العمود ومقطع المجرة كما سيتم ذكره لاحقا.



الشكل (1.4): العقدة المدعمة باستخدام مقطع المجرة [3].

1.4 دراسة مكونات الشد في العقدة المدعمة:

1.1.4 ميكانيكيات انهيار العنصر (T-STUB):

في معظم العقد المعدنية المعرضة للعزم يكون الانهيار ناتجاً عن انهيار منطقة الشد في الوصلة، لذلك لا بد من دراسة منطقة الشد بشكل ملحوظ وفهم سلوكها. وحيث يتم تمثيل منطقة الشد في العقد المعدنية بعنصر (T-Stub) الذي يتم دراسته منفصلاً وتحديد سلوك مكونات الشد الرئيسية في العقدة وهي: جناح العمود على الانعطاف – صفيحة النهاية على الانعطاف والبراعي على الشد، حيث يتم مكافئة جناح وجسد العمود بعنصر (T-Stub) كما تتم مكافئة صفيحة النهاية وجناح الجائر بعنصر (T-Stub). قام العديد من الباحثين بدراسة سلوك العنصر (T-Stub) ومنهم الباحثين (Packer and Morris) [12] حيث صنفا انهيار جناح العنصر (T-Stub) (الذي يمثل جناح العمود أو جناح صفيحة النهاية) بثلاث ميكانيزمات للانهيار وهي:

تلدن البراعي – تلدن البراعي مع الجناح – تلدن الجناح

سوف نقوم في البحث بدراسة تلدن جناح العمود من خلال دراسة خطوط الانكسار في جناح العمود واستنتاج القوى اللازمة لحدوث التلدن ولن نتعرض لدراسة انهيار البراعي أو انهيار صفيحة النهاية وذلك من أجل توضيح دور التدعيم في زيادة مقاومة جناح العمود ويتجلى ذلك من خلال اختيار براعي وصفيحة نهاية ذات مقاومة عالية.

2.1.4 نظرية خطوط الانكسار:

قبل البدء بدراسة منطقة الشد في العقدة يجب التعرف على نظرية خطوط الانكسار [13]، حيث تستخدم هذه النظرية لتحديد القوى التي تسبب انهيار المادة وذلك باستخدام مبدأ العمل الوهمي الذي ينص على اعتبار أنه في مرحلة الانهيار تكون الطاقة الكامنة المقدمة من القوى الخارجية يجب أن تساوي الطاقة المحررة نتيجة انهيار المادة وفق خطوط الانكسار أي:

$$\text{External energy} = \text{Internal energy}$$

expended by the displacement of loads = dissipated by the yield lines rotating

$$\text{Expended} = \text{Dissipated}$$

$$E = D$$

$$\sum (N \times \delta)_{\text{for all regions}} = \sum (m \times L \times \theta)_{\text{for all regions}} \dots \dots \dots (4.1)$$

حيث أن:

(N): القوة المطبقة في المنطقة المدروسة.

(δ): الانتقال الذي تسببه القوة (N).

(m): العزم المقاوم للعنصر المدروس في واحدة الطول.

(L): طول خط الانكسار المدروس.

(θ): دوران خط الانكسار المدروس حول محور الدوران.

ويتم تحديد خطوط الانكسار للعنصر المدروس بحسب الاعتبارات التالية:

- يتم تحديد محور الدوران لخطوط الانكسار من منطقة استناد العنصر المدروس.
- تمر خطوط الانكسار الواقعة بين منطقتين صلبتين من نقطة تقاطع محاور الدوران لتلك المناطق.
- يجب أن تنتهي خطوط الانكسار عند حدود العنصر المدروس.
- تجذب المساند المستمرة والثاقات خطوط الانكسار وتبتعد تلك الخطوط عن المساند البسيطة أو حرة الدوران.

3.1.4 دراسة خطوط الانكسار في جناح العمود:

يتعرض جناح العمود إلى القوى المنقولة عبر البراغي من جناح الجاذز وتسبب هذه القوى انعطافاً في جناح العمود، ويتجلى هذا الانعطاف عبر خطوط انكسار في الجناح والتي يجب تحديدها من اجل معرفة المقاومة العظمى التي تسبب انهيار الجناح.

حيث أن الجناح مدعم بواسطة مقطع المجراة خلف الجناح تتم دراسة خطوط الانكسار في جناح العمود وجناح المجراة بحيث أن الانكسار سوف يكون متزامناً بين جناح العمود وجناح المجراة نظراً لوجود الترابط بين الجناحين عبر البراغي التي تقوم بنقل القوة.

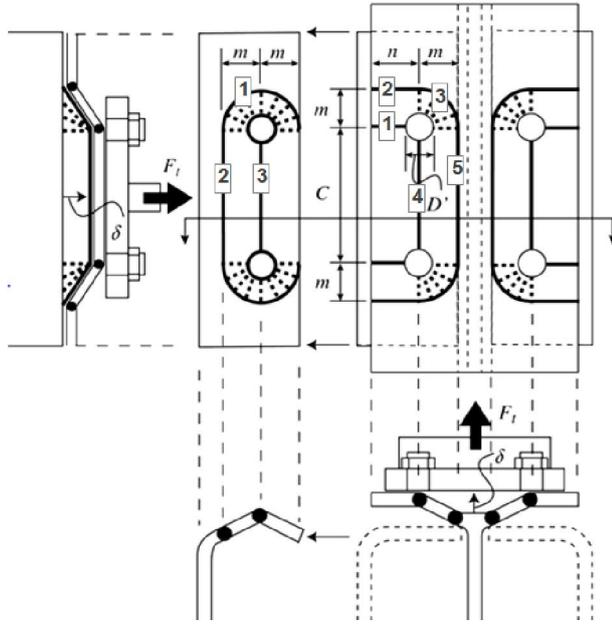
بينت التجارب أن خطوط الانكسار المتشكلة في جناح العمود وجناح المجراة تسلك نمطين للانهايار [3]، النمط الأول (Failure mechanism A) يمثل انهيار جناح العمود وجناح المجراة بشكل خطوط انكسار مجتمعة في صفي البراغي، أما النمط الثاني (Failure mechanism B) فيكون انهيار جناح العمود بشكل مجمع وانهايار جناح المجراة بشكل خطوط انكسار منفصلة ذات شكل دائري كما في الشكل (2.4).



الشكل (2.4): خطوط الانكسار في جناح العمود وجناح المجراة, [3].

دراسة النمط الأول من الانهايار (Failure mechanism A):

يبين الشكل (3.4) نمط الانهايار الأول حيث نجد أن خطوط الانكسار تتشكل في جناح العمود وفي جناح المجراة بشكل مجتمع.



الشكل (3.4): نمط الانهيار (A), [3].

وتكون أطوال خطوط الانكسار في جناح العمود بحسب الترقيم في الشكل (3.4)، كما يلي:

$$L_1 = n - 0.5D$$

$$L_2 = n$$

$$L_3 = \pi m / 2$$

$$L_4 = C - D$$

$$L_5 = C$$

كما تكون أطوال خطوط الانكسار في جناح المجرأة بحسب الترقيم في الشكل (3.4)، كما يلي:

$$L_1 = \pi m$$

$$L_2 = C$$

$$L_3 = C - D$$

وبمساواة العمل الخارجي مع الطاقة المبددة نتيجة الانكسار تكون القوة اللازمة للتلدن:

$$(F_{y-t} / 2)\delta = \left\{ 2M_{pc}n(\delta / m) + 2M_{pc}\delta\pi + M_{pc}C(\delta / m) + 2M_{pc}(n - 0.5D)(\delta / m) \right\} + \left\{ M_{pc}(C - D)(\delta / m) \right\}$$

$$\left\{ 2M_{pch}\delta 2\pi + M_{pch}C(\delta / m) + M_{pch}(C - D)2(\delta / m) \right\} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$: M_{pc} = 0.25t_{fc}^2 f_{yc} \quad \text{per unit length}$$

$$M_{pch} = 0.25t_{fch}^2 f_{ych} \quad \text{per unit length}$$

حيث أن:

(M_{pc}) : العزم المقاوم للشدن لصفحة جناح العمود في واحدة الطول.

(M_{pch}) : العزم المقاوم للشدن لصفحة جناح المجرة في واحدة الطول.

(f_{yc}) : إجهاد الخضوع لمادة جناح العمود.

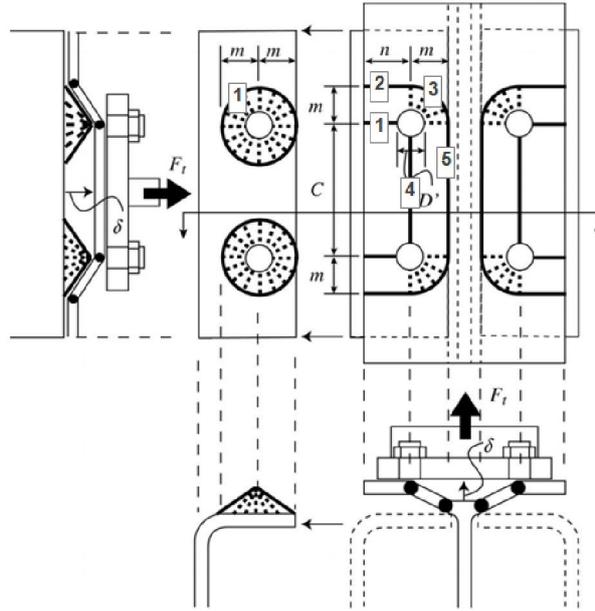
(f_{ych}) : إجهاد الخضوع لمادة جناح المجرة.

(C) : المسافة الشاقولية بين ثقب البراغي.

(D') : قطر ثقب البراغي.

دراسة النمط الثاني من الانهيار (Failure mechanism B):

يبين الشكل (4.4) نمط الانهيار الثاني حيث نجد أن خطوط الانكسار تتشكل في جناح العمود بشكل مجتمع وفي جناح المجرة بشكل منفصل.



الشكل (4.4): نمط الانهيار (B), [3].

وتكون أبعاد خطوط الانكسار في جناح العمود لنمط الانهيار (B), كما يلي:

$$L_1 = n - 0.5D'$$

$$L_2 = n$$

$$L_3 = \pi m / 2$$

$$L_4 = C - D'$$

$$L_5 = C$$

كما يكون طول خطوط الانكسار في جناح المجرة لنمط الانهيار (B), كما يلي:

$$L_1 = 2\pi m$$

وبمساواة العمل الخارجي مع الطاقة المبددة نتيجة الانكسار تكون القوة اللازمة للشدن:

$$(F_{y-t} / 2)\delta = \left\{ \begin{aligned} &2M_{pc} n (\delta / m) + 2M_{pc} \delta\pi + M_{pc} C (\delta / m) + 2M_{pc} (n - 0.5D')(\delta / m) \\ &+ M_{pc} (C - D')(\delta / m) \end{aligned} \right\} + \{2M_{pch} \delta 4\pi\} \dots (4.3)$$

$$M_{pc} = 0.25t^2_{fc} f_{yc} \text{ per unit length}$$

$$M_{pch} = 0.25t^2_{fch} f_{ych} \text{ per unit length}$$

حيث أن:

(M_{pc}) : العزم المقاوم للشدن لصفحة جناح العمود في واحدة الطول.

(M_{pch}) : العزم المقاوم للشدن لصفحة جناح المجرة في واحدة الطول.

(f_{yc}) : إجهاد الخضوع لمادة جناح العمود.

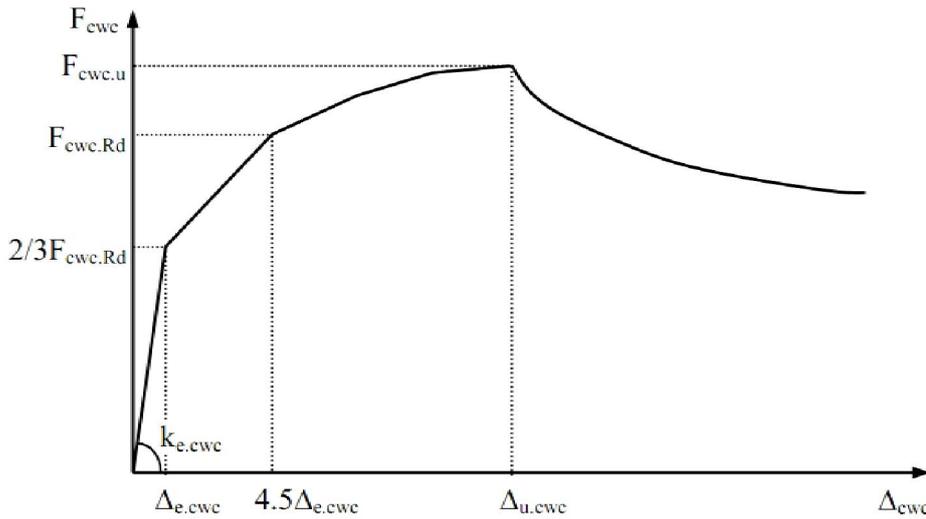
(f_{ych}) : إجهاد الخضوع لمادة جناح المجرة.

(C) : المسافة الشاقولية بين ثقب البراغي.

(D') : قطر ثقب البراغي.

2.4 دراسة مكونات الضغط في العقدة المدعمة:

في وصلة جانز عمود يتعرض جسد العمود إلى الضغط الناتج عن جناح الجانز السفلي والمنقول عبر صفحة النهاية وقد قام الباحثان (Kuhlmann and Kühnemund) [2] بدراسة سلوك مكون جسد العمود على الضغط وذلك بدراسة عدد من النماذج العددية لتحديد سلوك هذا المكون وتم تحديد منحنى القوة - انتقال كما في الشكل (5.4).



الشكل (5.4): سلوك جسد العمود على الضغط بحسب (Kuhlmann and Kühnemund) [2].

حيث يتم استنتاج المقاومة للدنة ($F_{cwc,Rd}$) من الكود الأوربي وكذلك معامل الصلابة المرنة ($k_{e,ewc}$) أما المقاومة

عند الانكسار فيتم استنتاجها باستبدال إجهاد الخضوع (f_y) بإجهاد الانكسار (f_u).

كما اقترح الباحث (Huber) [2] قيمة لسعة التشوه اللدنة في جسد العمود المضغوط وذلك بحسب شكل مقطع العمود

كما في الجدول (1.4):

Column profile	IPE	HEA	HEB	HEM
$c_w c(\text{mm}), \Delta_u$	1.5	3.0	5.0	7.5

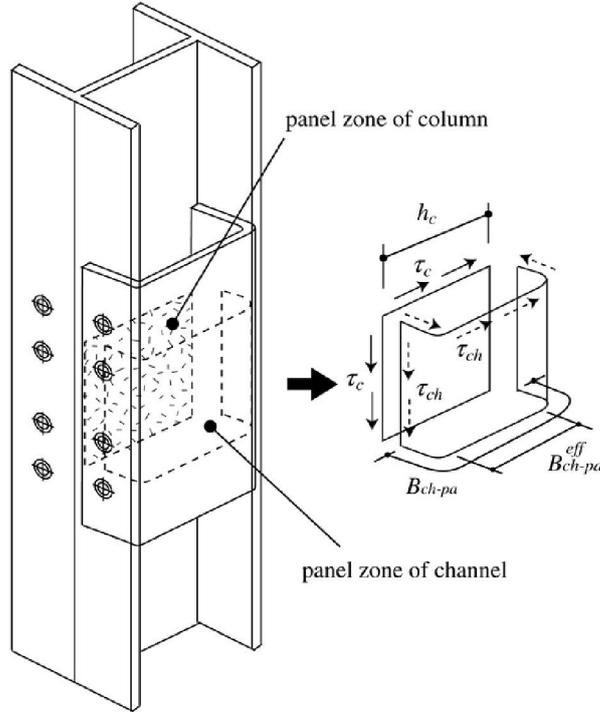
الجدول (1.4): سعة التشوه اللدنة في جسد العمود المضغوط بحسب (Huber), [2].

في معظم وصلات العزم يكون الانهيار ناتجاً عن منطقة الشد لذلك سوف نقوم بإهمال مساهمة المجرأة على زيادة مقاومة الضغط على الوصلة خلال الدراسة من أجل توضيح أهمية التدعيم المقترح في زيادة مقاومة منطقة الشد، ولكن من أجل ذلك يجب أن لا تقل مقاومة مكون الضغط عن مقاومة مكون الشد أي أن منطقة الضغط تملك مقاومة كافية لمقاومة التأثيرات الناتجة عن زيادة القوى الضاغطة مثل التحنيط وبقاء سلوك هذا المكون ضمن المرحلة الخطية.

3.4 دراسة مكونات القص في العقدة المدعمة:

كما تم تعريف منطقة القص في الشكل (1.2) وهي المنطقة من جسد العمود والتي تتعرض لقوى القص، حيث تتعرض هذه المنطقة لقوى الانعطاف والقوى المحورية والقوى القاصة التي لها تأثير كبير على سلوك هذه المنطقة وتشكل عاملاً أساسياً في التصميم. عند التدعيم بمقطع المجرأة تتأثر مقاومة منطقة القص حيث تساهم المجرأة في تحمل بعض الإجهادات القاصة المنقولة عبر البراعي كقوى شد وضغط.

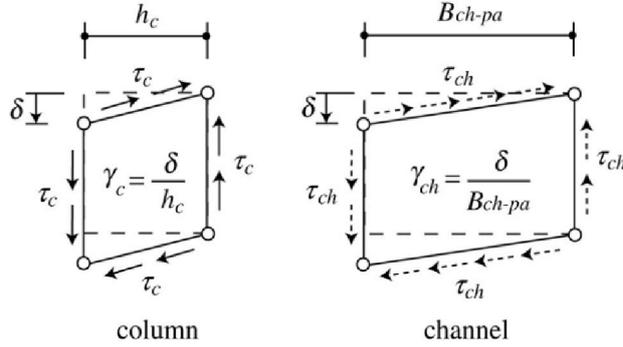
ويبين الشكل (6.4) منطقة القص المدعمة في العقدة بواسطة مقطع المجرأة حيث نلاحظ عرض منطقة القص في المجرأة (B_{ch-pa}) أكبر من عرض منطقة القص في جسد العمود (h_c).



الشكل (6.4): منطقة القص المدعمة في العقدة بواسطة مقطع المجرأة, [3].

يؤدي الاختلاف بين عرض المجرأة وعرض جسد العمود إلى تناقص مساهمة المجرأة في مقاومة القص بالنسبة لمقاومة جسد العمود وذلك يعزى إلى أن نسبة تشوهات القص في المجرأة إلى تشوهات القص في جسد العمود تتناسب

عكسيا مع نسبة عرض المجراة إلى عرض جسد العمود كما في الشكل (7.4) حيث يبين الشكل تشوهات القص في كل من جسد العمود ومقطع المجراة إذا تم نشر المقطع:



الشكل (7.4): تشوهات القص في كل من جسد العمود ومقطع المجراة, [3].

أي أن النسبة بين تشوهات القص للمجراة إلى تشوهات القص لجسد العمود تساوي:

$$\frac{\gamma_{ch}}{\gamma_c} = \frac{h_c}{B_{ch-pa}} \dots \dots \dots (4.4)$$

حيث:

(γ_{ch}): تشوهات القص لمقطع المجراة.

(γ_c): تشوهات القص لجسد العمود.

(h_c): ارتفاع جسد العمود.

(B_{ch-pa}): العرض الكلي لمقطع المجراة.

ومن الاستنتاج أعلاه تعطى مقاومة منطقة القص في الجملة الجديدة بالعلاقة التالية:

$$T_{panel} = \left(A_{vc} + 2 \frac{h_c}{B_{ch-pa}} t_{wch} B_{ch-pa}^{eff} \right) \tau_{yc} \dots \dots \dots (4.5)$$

حيث:

(T_{panel}): مقاومة منطقة القص الكلية في العقدة.

(A_{vc}): مساحة القص لمقطع العمود.

(t_{wch}): سماكة جسد المجراة.

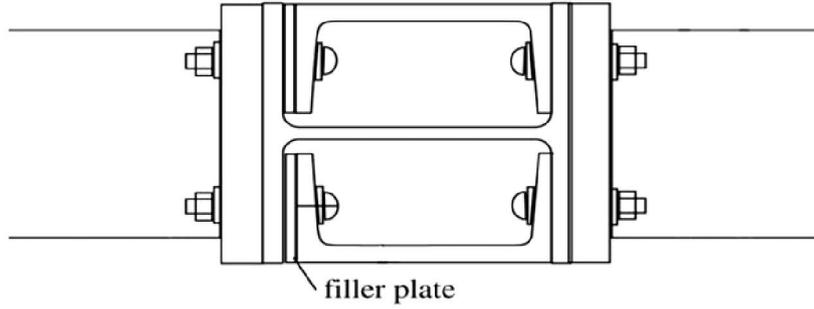
(B_{ch-pa}^{eff}): العرض الفعال لمقطع المجراة كما في الشكل (29).

$$(\tau_{yc}): \text{إجهاد الخضوع على القص لمقطع العمود الذي يساوي } \tau_{yc} = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

لا بد من التنويه هنا أنه تم اعتبار أن البراغي صلبة كفاية بحيث تنقل الإجهادات بين جناحي المجرة والعمود ومن أجل توافق التشوهات.

4.4 تحديد نماذج المدعمات:

إن مقاطع المجرة المستخدمة في التدعيم مقاطع مركبة حيث أنه من الصعب الحصول على مقطع نظامي للمجرة يساوي تماماً الفراغ بين جناحي العمود بالإضافة إلى التحكم بالنماذج من حيث سماكة كل من جناح وجسد مقطع المجرة ودراسة تأثير كل منها على المنحني المميز لمطاوعة العقدة المعدنية كما في الشكل (8.4).



الشكل (8.4): مقطع في العقدة المدعمة باستخدام مقطع المجرة.

كما نعتد مواصفات الفولاذ الإنشائي لمقطع المجرة من الماركة (Fe 430) حيث أن مواصفات المواد موضحة في الجدول (1.3) بحسب الكود الأوروبي (EN 1993-1-1), [10].
كما أن الخصائص الميكانيكية للمادة كما يلي:

$$E = 210000 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\nu = 0.3$$

سوف نقوم بدراسة (32) نموذجاً للتدعيم بالإضافة إلى نموذج العقدة بدون تدعيم واستنتاج منحنيات العزم – دوران لكل منها ووضع معايير للمقارنة من أجل تحديد كفاءة التدعيم المقترح وتأثير كل مكن المتغيرات على المطاوعة.

يتم استنتاج طول وعرض وارتفاع المجرة الشكل (9.4) بحسب أبعاد الوصلة كما يلي:

- طول مقطع المجرة (h):

يساوي طول المجرة المسافة الصافية بين جناحي العمود حيث أن مقطع العمود (HEB 160 B) بحسب الكود الأوروبي يكون طول المجرة اللازم:

$$h = 160 - 2 \times 13 = 134 \text{ mm}$$

- عرض مقطع المجرة (b):

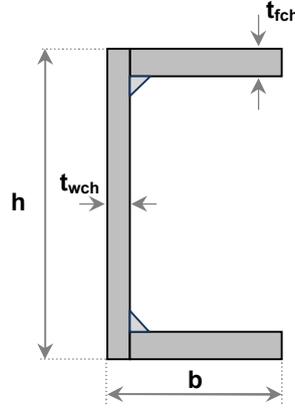
يساوي عرض المجرة المسافة من حافة جناح العمود وحتى نصف قطر التقوس عند الجسد أي:

$$b = \frac{160 - 2 \times 15 - 8}{2} \approx 60 \text{ mm}$$

- ارتفاع مقطع المجراة (L):

يجب أن يكون طول المجراة مغلف لطول منطقة الوصل أي يساوي طول صفيحة النهاية وبالتالي:

$$L = 360 \text{ mm}$$



الشكل (9.4): ثوابت أبعاد مقطع المجراة المستخدمة.

حيث يبين الجدول (2.4) نماذج المدعمات المستخدمة:

النموذج	t_{wch} (mm)	t_{fch} (mm)	h(mm)	b(mm)	L(mm)	
النماذج ثابتة سماكة الجسد	FS 1	6	6	134	60	360
	FS 2	6	8	134	60	360
	FS 3	6	10	134	60	360
	FS 4	6	12	134	60	360
	FS 5	8	6	134	60	360
	FS 6	8	8	134	60	360
	FS 7	8	10	134	60	360
	FS 8	8	12	134	60	360
	FS 9	10	6	134	60	360
	FS 10	10	8	134	60	360
	FS 11	10	10	134	60	360
	FS 12	10	12	134	60	360
	FS 13	12	6	134	60	360

النموذج		$t_{wch}(mm)$	$t_{fch}(mm)$	$h(mm)$	$b(mm)$	$L(mm)$
	FS 14	12	8	134	60	360
	FS 15	12	10	134	60	360
	FS 16	12	12	134	60	360
النماذج ثابتة سماكة الجناح	FS 17	6	6	134	60	360
	FS 18	8	6	134	60	360
	FS 19	10	6	134	60	360
	FS 20	12	6	134	60	360
	FS 21	6	8	134	60	360
	FS 22	8	8	134	60	360
	FS 23	10	8	134	60	360
	FS 24	12	8	134	60	360
	FS 25	6	10	134	60	360
	FS 26	8	10	134	60	360
	FS 27	10	10	134	60	360
	FS 28	12	10	134	60	360
	FS 29	6	12	134	60	360
	FS 30	8	12	134	60	360
	FS 31	10	12	134	60	360
	FS 32	12	12	134	60	360

الجدول (2.4): نماذج المدعّمات المستخدمة.

5.4 دراسة النموذج الأول:

تمت دراسة النماذج الموضحة في الجدول السابق حيث ستتضمن دراسة النماذج تحديد مواصفات النوايض الممثلة للمكونات التي تؤثر على مطاوعة العقدة (منحني العزم دوران للعقدة) وهذه المكونات هي:

- جسد العمود على القص (CWS).
- جسد العمود على الضغط (CWC).
- جسد العمود على الشد (CWT).
- جناح العمود على الانعطاف (CFB).
- صفيحة النهاية على الانعطاف (EPB).

- البراغي على الشد (BT).

وبعد تحديد مواصفات كل نابض من النوابض واستنتاج منحنى القوة – انتقال لكل نابض في المرحلة اللاخطية نقوم بدراسة النموذج المجمع للنوابض بحسب برنامج (Nascon).

1.5.4 دراسة مكونات الشد:

1.1.5.4 جناح العمود على الانعطاف:

سنقوم بتحديد الخصائص الميكانيكية المميزة للنابض من أجل دراسة النموذج في المرحلة اللاخطية بحسب تقريب (Jaspart) وهي: المقاومة والصلابة في المرحلة المرنة والمقاومة والصلابة في المرحلة اللدنة كما يلي.

المقاومة المرنة:

لمقطع المجراة في العقدة المدعمة تأثير مباشر على مقاومة جناح العمود حيث يتغير سلوك هذا المكون ويجب إعادة دراسة خطوط الانكسار المشتركة بين جناح العمود وجناح المجراة كما في الفقرة (1.4) حيث تكون المقاومة المرنة لجناح العمود على الانعطاف في الجملة الجديدة هي القيمة الأدنى من ميكانيكي الانهيار (B،A) كما يجب ألا تتجاوز مقاومة البراغي على الشد، وتساوي المقاومة المرنة للانهيار الناتج عن النمط (A) في الصف الأول والثاني من البراغي:

$$F_{y-t} = \left\{ \begin{array}{l} 2M_{pc} n / m + 2M_{pc} \pi + M_{pc} C / m + 2M_{pc} (n - 0.5D) / m \\ + M_{pc} (C - D) / m \end{array} \right\} +$$

$$\left\{ 2M_{pch} 2\pi + M_{pch} C / m + M_{pch} (C - D) 2 / m \right\} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$: M_{pc} = 0.25 t_{fc}^2 f_{yc} \quad \text{per unit length}$$

$$M_{pch} = 0.25 t_{fch}^2 f_{ych} \quad \text{per unit length}$$

حيث أن:

$$m = 25 \text{ mm}$$

$$n = 35 \text{ mm}$$

$$C = 150 \text{ mm}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 13 \text{ mm}$$

$$t_{fch} = 6 \text{ mm}$$

$$f_{yc} = f_{ych} = 275 \text{ MPa}$$

وبالتعويض نجد أن:

$$F_{y-t} = 328.34 \text{ KN}$$

كما تساوي المقاومة المرنة للانهيار الناتجة عن النمط (B) في الصف الأول والثاني من البراغي:

$$(F_{y-t} / 2)\delta = \left\{ \begin{array}{l} 2M_{pc} n (\delta / m) + 2M_{pc} \delta \pi + M_{pc} C (\delta / m) + 2M_{pc} (n - 0.5D') (\delta / m) \\ + M_{pc} (C - D') (\delta / m) \end{array} \right\} +$$

$$\{2M_{pch} \delta 4\pi\} \dots \dots \dots (4.7)$$

$$: M_{pc} = 0.25 t_{fc}^2 f_{yc} \quad \text{per unit length}$$

$$M_{pch} = 0.25 t_{fch}^2 f_{ych} \quad \text{per unit length}$$

حيث أن:

$$m = 25 \text{ mm}$$

$$n = 35 \text{ mm}$$

$$C = 150 \text{ mm}$$

$$D' = 22 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 13 \text{ mm}$$

$$t_{fch} = 6 \text{ mm}$$

$$f_{yc} = f_{ych} = 275 \text{ MPa}$$

وبالتعويض نجد أن:

$$F_{y-t} = 319.24 \text{ KN}$$

كما أن مقاومة البراغي في صف الشد الواحد (حيث يحتوي الصف على برغيين) تساوي:

$$F_{t,Rd} = 2(0.9 f_{ub} A_s) \dots \dots \dots (4.8)$$

$$F_{t,Rd} = 441 \text{ KN}$$

وبالتالي تكون المقاومة المرنة لجناح العمود على الانعطاف في كل صف من صفوف الشد:

$$F_{y-t} = \min \text{ of } (319.24 \text{ KN}, 328.34 \text{ KN}, 441 \text{ KN}) \dots \dots \dots (4.9)$$

$$F_{y-t} = 319.24 \text{ KN}$$

الصلابة المرنة:

تحسب الصلابة المرنة لجناح العمود على الانعطاف والمدعم بمقطع المجراة بحسب الكود الأوربي مع استبدال الطول الفعال بحسب خطوط الانكسار المستنتجة للجناح نتيجة وجود المجراة بالإضافة إلى صلابة جناح المجراة:

$$k_{e,cfb} = \frac{0.9 L_{eff,c} t_{f,c}^3 E}{m^3} + \frac{0.9 L_{eff,ch} t_{f,ch}^3 E}{m^3} \dots \dots \dots (4.10)$$

$$L_{eff,c} = 0.5 \times \{2n + \pi m + C + (C - D') + 2(n - 0.5D')\}$$

$$L_{eff,ch} = 0.5 \times \{4\pi m\}$$

$$\Rightarrow L_{eff,c} = 237.26 \text{ mm}$$

$$L_{eff,ch} = 157 \text{ mm}$$

حيث أن:

وبالتالي تكون الصلابة المرنة:

$$k_{e,cfb} = 6715.363 \text{ KN} / \text{mm}$$

المقاومة اللدنة:

تحسب المقاومة اللدنة بحسب تقرييب (Jaspart) من المقاومة المرنة باستبدال إجهاد الخضوع للمادة (f_y) بإجهاد الانكسار (f_u) أي أن المقاومة اللدنة لجناح العمود على الانعطاف هي القيمة الأدنى من ميكانيزمي الانهيار (B,A) كما يجب ألا تتجاوز مقاومة البراغي على الشد، وتساوي المقاومة اللدنة للانهيار الناتج عن النمط (A) في الصف الأول والثاني من البراغي:

$$F_{y-t} = \left\{ \begin{array}{l} 2M_{pc} n / m + 2M_{pc} \pi + M_{pc} C / m + 2M_{pc} (n - 0.5D) / m \\ + M_{pc} (C - D) / m \end{array} \right\} +$$

$$\left\{ 2M_{pch} 2\pi + M_{pch} C / m + M_{pch} (C - D) 2 / m \right\} \dots \dots \dots (4.11)$$

$$: M_{pc} = 0.25 t_{fc}^2 f_{uc} \quad \text{per unit length}$$

$$M_{pch} = 0.25 t_{fch}^2 f_{uch} \quad \text{per unit length}$$

وبالتالي:

$$F_{y-t} = 513.4 \text{ KN}$$

كما تكون المقاومة اللدنة للانهيار الناتج عن النمط (B) في الصف الأول والثاني من البراغي:

$$F_{y-t} = 499.18 \text{ KN}$$

كما أن مقاومة البراغي في صف الشد الواحد (حيث يحتوي الصف على برغيين) تساوي:

$$F_{t,Rd} = 2(0.9 f_{ub} A_s) \dots \dots \dots (4.12)$$

$$F_{t,Rd} = 441 \text{ KN}$$

وبالتالي تكون المقاومة المرنة لجناح العمود على الانعطاف في كل صف من صفوف الشد:

$$F_{y-t} = \min of (513.4 \text{ KN} , 499.18 \text{ KN} , 441 \text{ KN})$$

$$F_{y-t} = 441 \text{ KN}$$

الصلابة اللدنة:

تحسب الصلابة اللدنة لجناح العمود على الانعطاف بحسب تقرييب (Jaspart) بالعلاقة التالية:

$$k_{p,cfb} = k_{e,cfb} \frac{E_h}{E} \dots \dots \dots (4.13)$$

$$k_{p,cfb} = 6715.363 \frac{4800}{210000} = 153.5 \text{ KN} / \text{mm}$$

2.1.5.4 صفيحة النهاية على الانعطاف:

لا تتأثر صفيحة النهاية على الانعطاف بوجود مقطع المجراة ذلك كونها مكون منفصل لذلك تكون الخصائص الميكانيكية لصفيحة النهاية على الانعطاف في الصف الأول من البراجي (صف البراجي الطرفي) كما في العقدة الغير مدعمة:

$$F_{e,epb} = 306.41Kn, F_{p,epb} = 343.92$$

$$k_{e,epb} = 2515.59KN / mm, k_{p,epb} = 50.91KN / mm$$

كما تكون الخصائص الميكانيكية لصفيحة النهاية على الانعطاف في الصف الثاني من البراجي (صف البراجي الداخلي) حيث يحدث انهيار في البراجي قبل الانهيار في الصفيحة:

$$F_{e,epb} = F_{p,epb} = 441kN$$

$$k_{e,epb} = 11681.63KN / mm$$

3.1.5.4 جسد العمود على الشد:

المقاومة المرنة:

يتعرض جسد العمود إلى قوى الشد الناتجة عن انعطاف الجناح ويتم تحديد المقاومة المرنة لجسد العمود على الشد بحسب الكود الأوربي من العلاقة التالية:

$$F_{e,cwt} = \omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc} \dots \dots \dots (4.14)$$

(ω): معامل تخفيض من أجل الأخذ بالاعتبار تأثير قوى القص على مقاومة الجسد للقوى الشادة.

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 (b_{eff,t} t_{wc} / A_{vc})^2}} \dots \dots \dots (4.15)$$

($b_{eff,t}$): هي الطول الفعال لمنطقة الشد من العمود وبحسب الكود الأوربي تساوي الطول الفعال لجناح (T-)

(STUB) لجناح العمود على الانعطاف وتساوي:

$$b_{eff,t} = 237.26mm$$

وبالتالي تكون المقاومة المرنة لجسد العمود على الشد في كل من الصف الأول والثاني من البراجي:

$$F_{e,cwt} = 0.625 \times 237.26 \times 8 \times 275$$

$$F_{e,cwt} = 326.4KN$$

الصلابة المرنة:

$$k_{e,cwt} = \frac{0.7b_{eff} t_{w,c} E}{d_c} \dots\dots\dots(4.16)$$

$$k_{e,cwt} = 2682.86 \text{ KN} / \text{mm}$$

المقاومة اللدنة:

يتم تحديد المقاومة اللدنة لجسد العمود على الشد بحسب تقريب (Jaspart) بالعلاقة التالية:

$$F_{p,cwt} = \omega b_{eff,t} t_{wc} f_{u,wc} \dots\dots\dots(4.17)$$

حيث أن $(f_{u,wc})$ إجهاد الانكسار لمادة جسد العمود وتساوي:

$$f_{u,wc} = 430 \text{ MPa}$$

وبالتالي تكون المقاومة اللدنة لجسد العمود على الشد في كل من الصف الأول والثاني من البراجي:

$$F_{p,cwt} = 510.37 \text{ KN}$$

الصلابة اللدنة:

$$k_{p,cwt} = \frac{0.7b_{eff} t_{w,c} E}{d_c} \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(4.18)$$

$$k_{p,cwt} = 61.32 \text{ KN} / \text{mm}$$

4.1.5.4 البراجي على الشد:

تعتبر البراجي من المكونات ذات الانهيار القصيف لذلك في تسلك سلوك مرن فقط بدون الدخول في المرحلة اللدنة وتعطى مقاومة البراجي على الشد بحسب الكود الأوربي كما يلي:

$$F_{t,Rd} = 0.9f_{ub} A_s \dots\dots\dots(4.19)$$

$$F_{t,Rd} = 441 \text{ KN}$$

حيث (A_s) مساحة الشد للبراجي.

وتكون صلابة هذا المكون:

$$k_{e,bt} = \frac{1.6A_s E}{L_b} = 1402.38 \text{ KN} / \text{mm} \dots\dots\dots(4.20)$$

2.5.4 دراسة مكونات الضغط:

يتعرض جسد العمود للضغط الناتج عن جناح الجائر السفلي والمنقول عبر صفيحة النهاية حيث سيتم إهمال مقاومة جسد المجرأة على الضغط وبالتالي تكون مواصفات هذا المكون كما يلي:
المقاومة المرنة:

تعطى المقاومة المرنة لجسد العمود على الضغط بالعلاقة التالية :

$$F_{e,cwc} = \omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc} \leq \omega K_{wc} \rho b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc} \dots\dots\dots(4.21)$$

حيث:

(ω): معامل تخفيض يأخذ بالاعتبار تأثير القص في الجسد على مقاومة الضغط.

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1.3(b_{eff,c} t_{wc} / A_{vc})^2}} \dots\dots\dots(4.22)$$

($b_{eff,c}$): يمثل العرض الفعال من جسد العمود المعرض للضغط كما في العقدة غير المدعمة.

$$b_{eff,c} = t_{fb} + 2\sqrt{2}\alpha_p + 5(t_{fc} + S) + S_p \dots\dots\dots(4.23)$$

$$:S_p = 2t_p, \alpha_p = r$$

وبالتالي تكون المقاومة المرنة لجسد العمود على الضغط:

$$F_{e,cwc} = \omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc} = 0.659 \times 1 \times 216.42 \times 8 \times 275$$

$$F_{e,cwc} = 285.64 \text{ kN}$$

الصلابة المرنة:

$$k_{e,cwc} = \frac{0.7b_{eff} t_{wc} E}{d_c} \dots\dots\dots(4.24)$$

$$k_{e,cwc} = 2447.21 \text{ KN / mm}$$

المقاومة اللدنة:

$$F_{p,cwc} = \omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{u,wc} \dots\dots\dots(4.25)$$

$$F_{p,cwc} = 446.65 \text{ KN}$$

الصلابة اللدنة:

$$k_{p,cwc} = \frac{0.7b_{eff} t_{wc} E}{d_c} \frac{E_h}{E} = 56 \text{ KN / mm} \dots\dots\dots(4.26)$$

3.5.4 دراسة مكونات القص:

يتعرض جسد العمود وجسد المجرأة إلى القص الناتج عن العزم في منطقة الوصل ويتم حساب مواصفات هذا المكون كما يلي:

المقاومة المرنة:

كما وُجد من الفقرة (11.1) أن مقاومة منطقة القص في الجملة المدعمة تساوي:

$$T_{e,panel} = \left(A_{vc} + 2 \frac{h_c}{B_{ch-pa}} t_{wch} B_{ch-pa}^{eff} \right) \tau_{yc} \dots \dots \dots (4.27)$$

حيث أن:

$$A_{vc} = 1734 \text{ mm}^2$$

$$t_{wch} = 6 \text{ mm}$$

$$B_{ch-pa}^{eff} = 122 \text{ mm}$$

$$B_{ch-pa} = 254 \text{ mm}$$

$$\tau_{yc} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{275}{\sqrt{3}} = 158.77 \text{ Mpa}$$

وبالتعويض نجد أن:

$$T_{e,panel} = 310.36 \text{ KN}$$

الصلابة المرنة:

$$k_{e,cws} = \frac{0.38 A_v E}{\beta z} \dots \dots \dots (4.28)$$

$$: A_v = A_{vc} + 2 \frac{h_c}{B_{ch-pa}} t_{wch} B_{ch-pa}^{eff}$$

وبالتعويض نجد أن:

$$k_{e,cws} = \frac{0.38 A_v E}{\beta z} = 1097.3 \text{ KN /mm}$$

$$: A_v = 1734 + 1431.4 = 3165.4 \text{ mm}^2$$

المقاومة اللدنة:

$$T_{p,panel} = T_{e,panel} \times \frac{f_u}{f_y} \dots \dots \dots (4.29)$$

$$T_{p,panel} = 485.3 \text{ KN}$$

الصلابة اللدنة:

$$k_{p,cws} = \frac{2(1+\nu)}{3} \cdot \frac{0.38A_v E}{\beta z} \cdot \frac{E_h}{E} \dots\dots\dots(4.30)$$

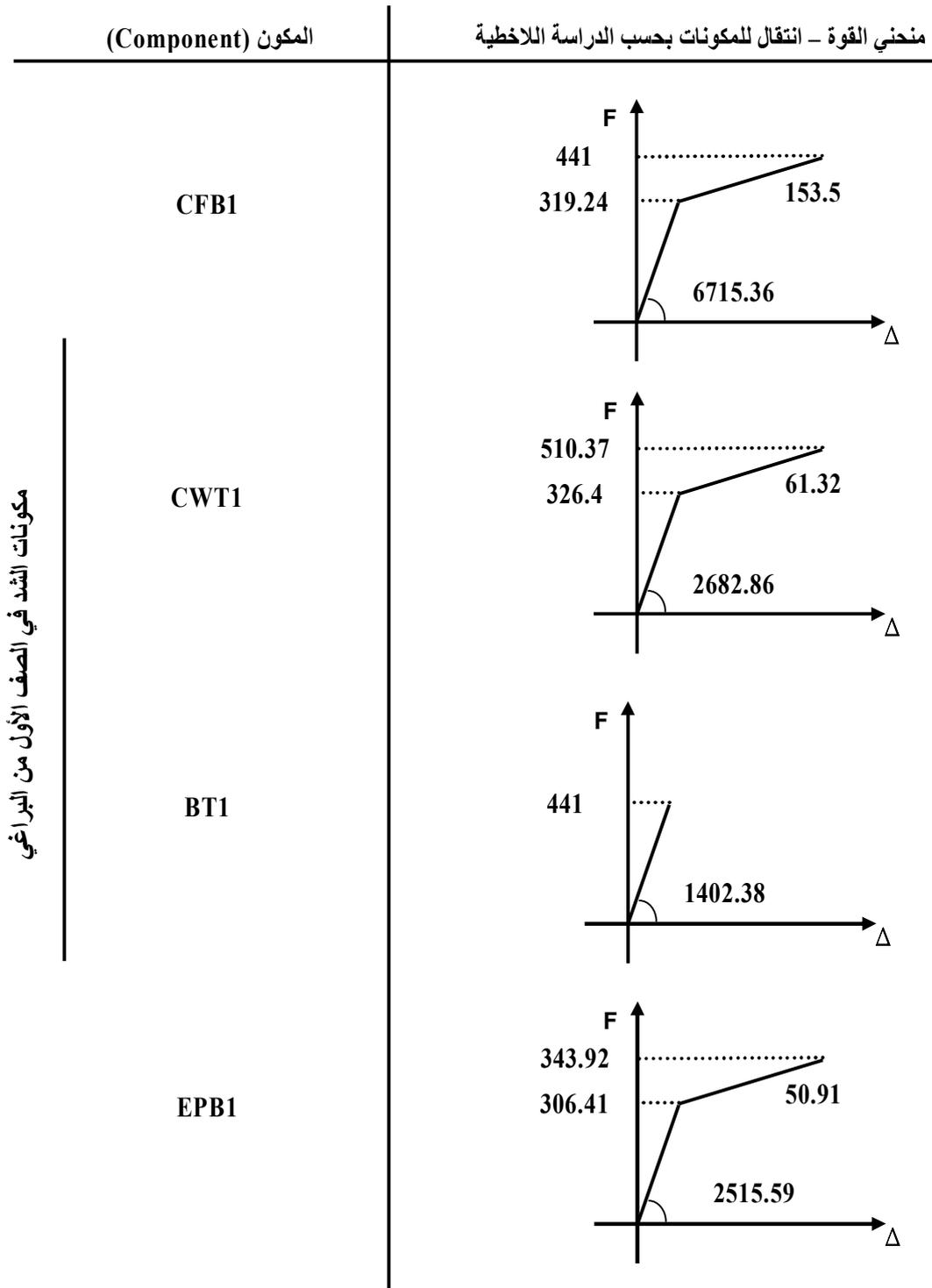
$$k_{p,cws} = 21.73 \text{ KN /mm}$$

يبين الجدول (3.4) ثوابت مكونات العقدة المدعمة وفق طريقة الدراسة الميكانيكية:

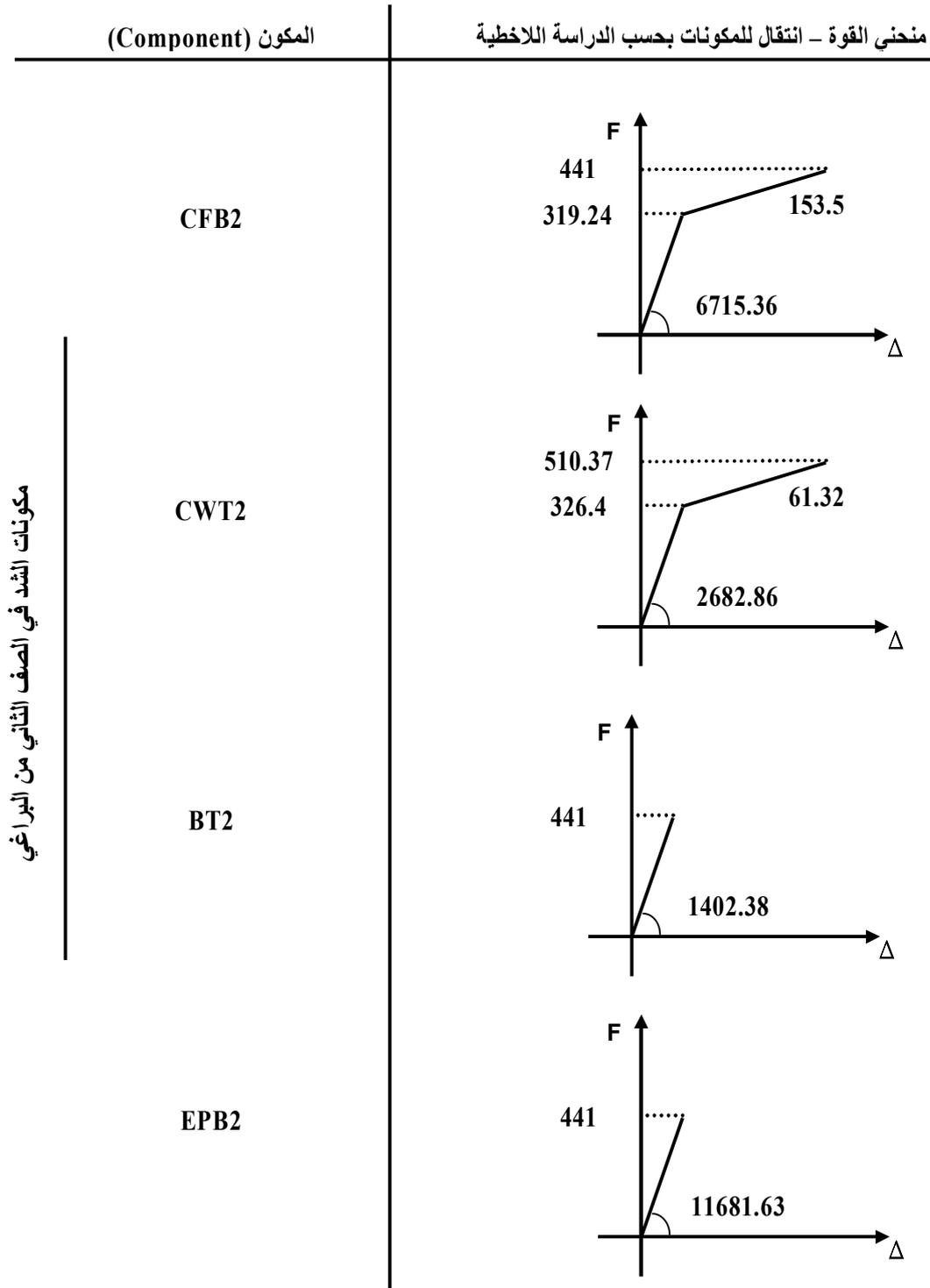
المكون (Component)		المقاومة المرنة (F _e) (KN)	المقاومة اللدنة (F _p) (KN)	الصلابة المرنة (K _e) (KN /mm)	الصلابة اللدنة (K _p) (KN /mm)	
مكونات الشد	الصف الأول	CFB	319.24	441	6715.36	153.5
		CWT	326.4	510.37	2682.86	61.32
		BT	441		1402.38	
		EPB	306.41	343.92	2515.59	50.91
	الصف الثاني	CFB	319.24	441	6715.36	153.5
		CWT	326.4	510.37	2682.86	61.32
		BT	441		1402.38	
		EPB	441		11681.63	
مكونات الضغط وفق النموذج الميكانيكي		CWS	310.36	485.3	1097.3	21.73
		CWC	285.64	446.65	2447.21	56

الجدول (3.4): ثوابت المقاومة والصلابة لمكونات العقدة المدعمة.

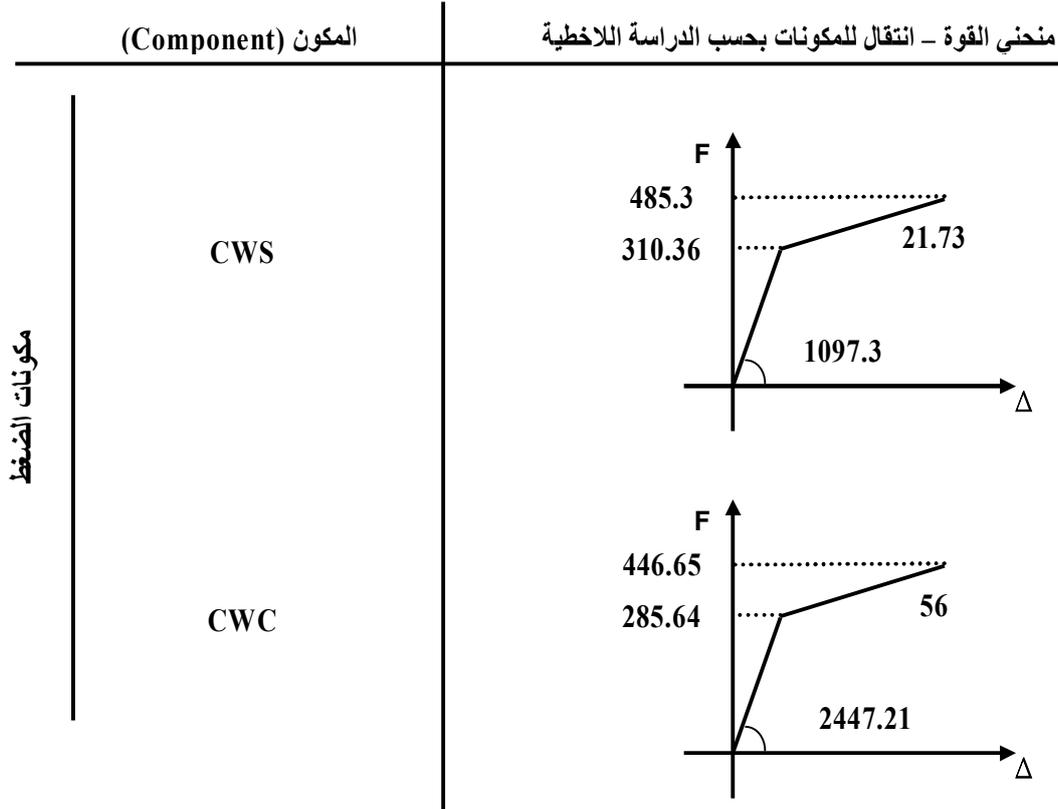
وبالتالي تصبح منحنيات القوة - انتقال المعبرة عن سلوك مكونات العقدة المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية وفق تقريب (Jaspart) كما في الجدول (4.4).



مكونات الشد في الصف الأول من البراهي

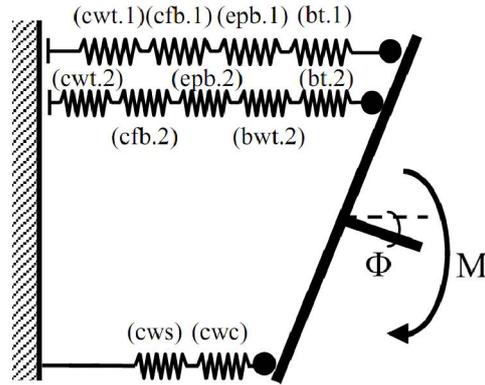


مكونات الشد في الصف الثاني من البراغي

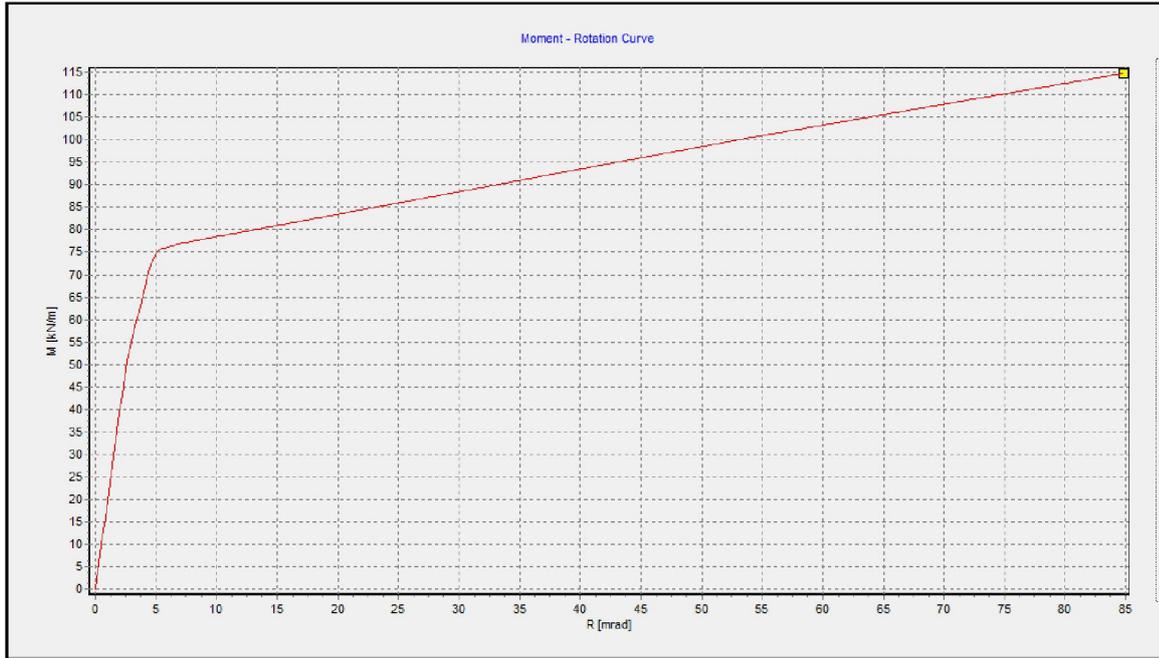


الجدول (4.4): منحنيات القوة - انتقال لمكونات العقدة المدعمة بحسب الدراسة اللاخطية.

نقوم بتحليل النموذج الميكانيكي الموضح في الشكل (10.4) والذي تم تحديد خصائص مكوناته في الجدول (4.4) وفق برنامج (Nascon) واستنتاج مخطط العزم - دوران نجد أنه كما في الشكل (11.4).



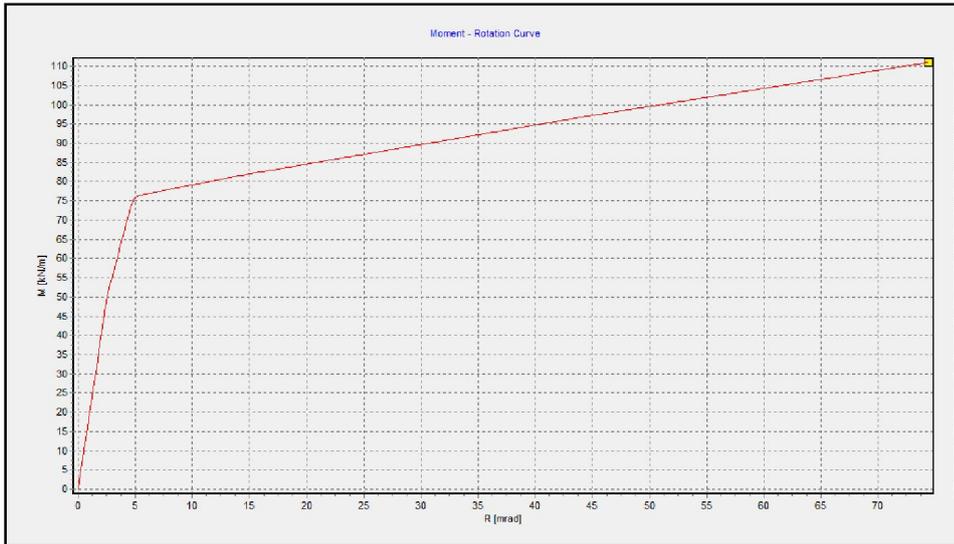
الشكل (10.4): النموذج الميكانيكي المكافئ للعقدة المدعمة وذو الخواص الموضحة في الجدول (4.4).



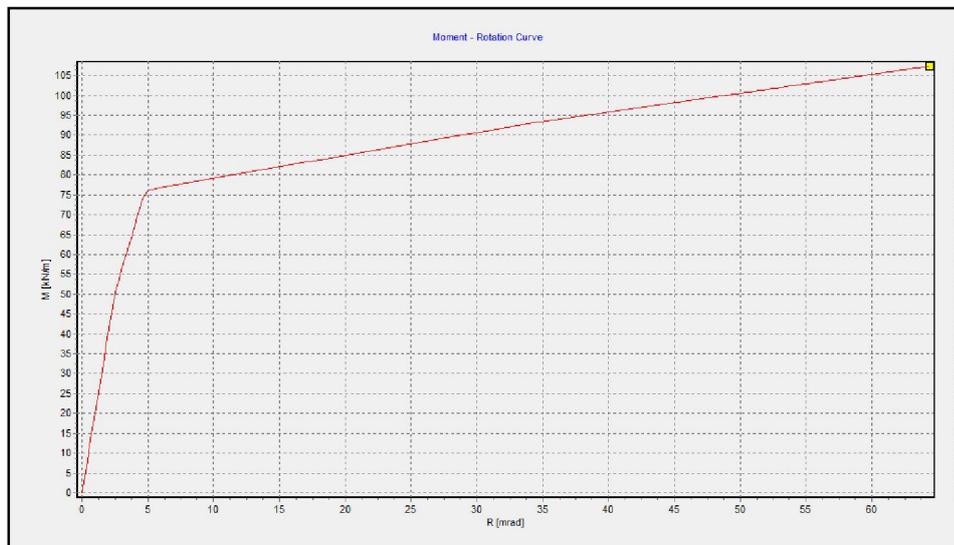
الشكل (11.4): منحنى العزم - دوران للنموذج (FS1).

وبنفس الطريقة كما في النموذج (FS1) تم تحليل باقي النماذج من (FS2→FS16) حيث أن النماذج من (FS17→FS32) مماثلة للنماذج من (1-16) مثلا النموذج (FS2) مماثل للنموذج (FS21) حيث أن سماكة الجسد (6mm) وسماكة الجناح (8mm)، ولكن تم فصل النماذج لمعرفة تأثير تثبيت سماكة كل من جناح المجرأة وجسدها على النتائج عند القيام بالمقارنة، وتكون مخططات العزم دوران لكل نموذج كما في الشكل (12.4):

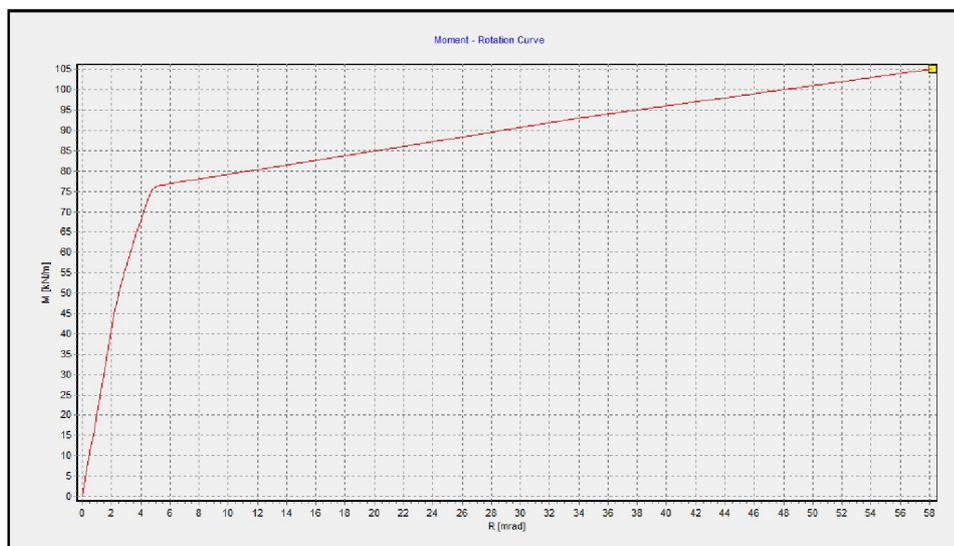
**M- Φ diagram
FS11**



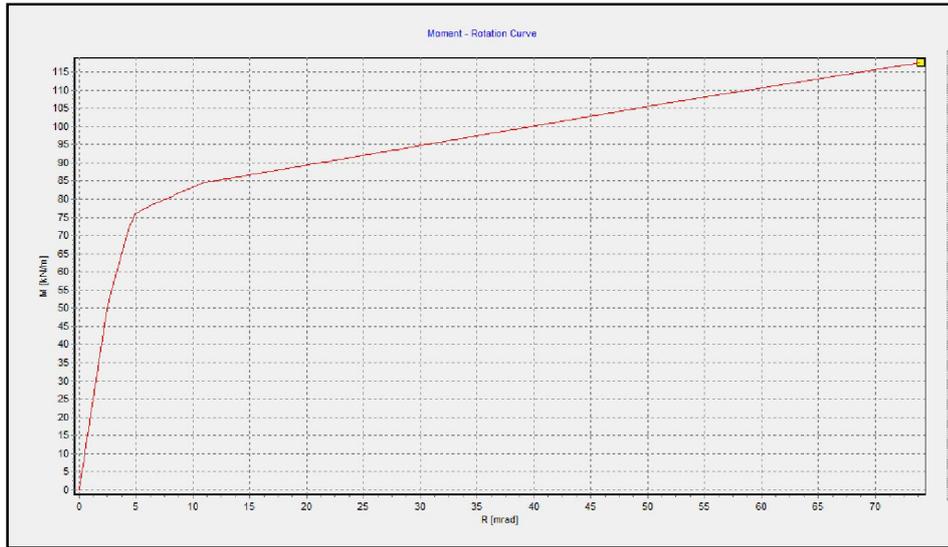
**M- Φ diagram
FS12**



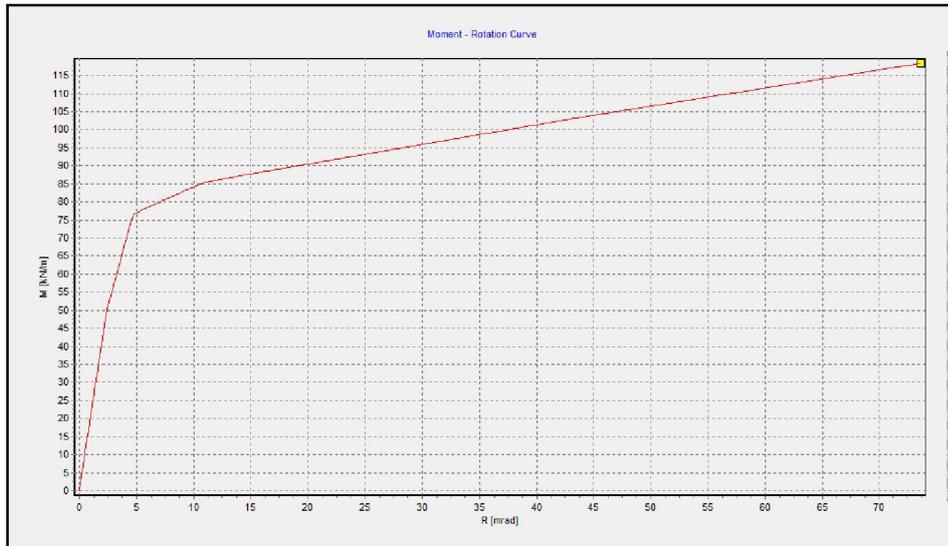
**M- Φ diagram
FS13**



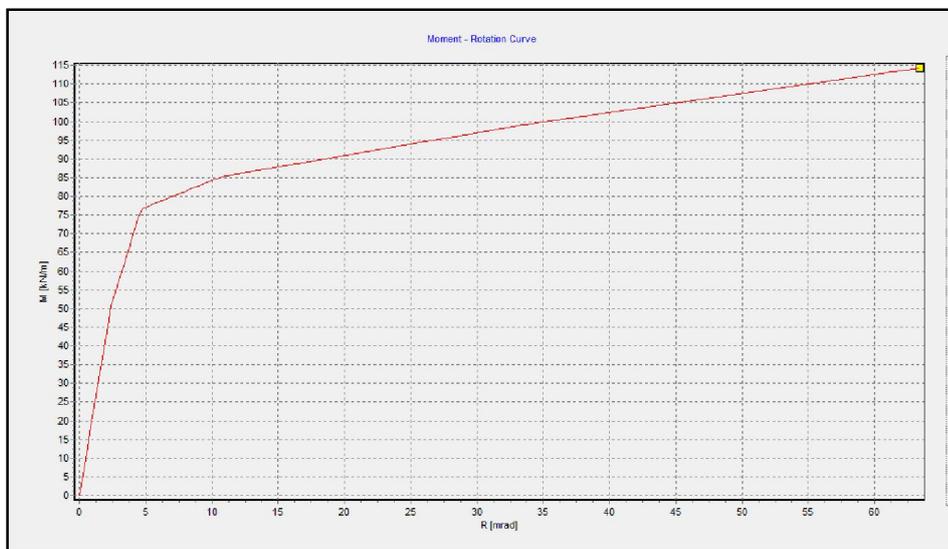
**M- Φ diagram
FS5**



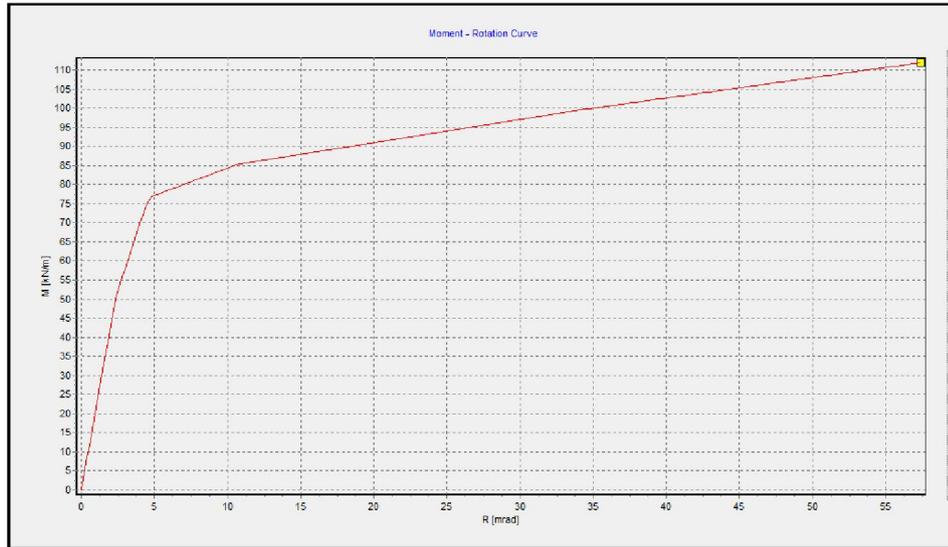
**M- Φ diagram
FS6**



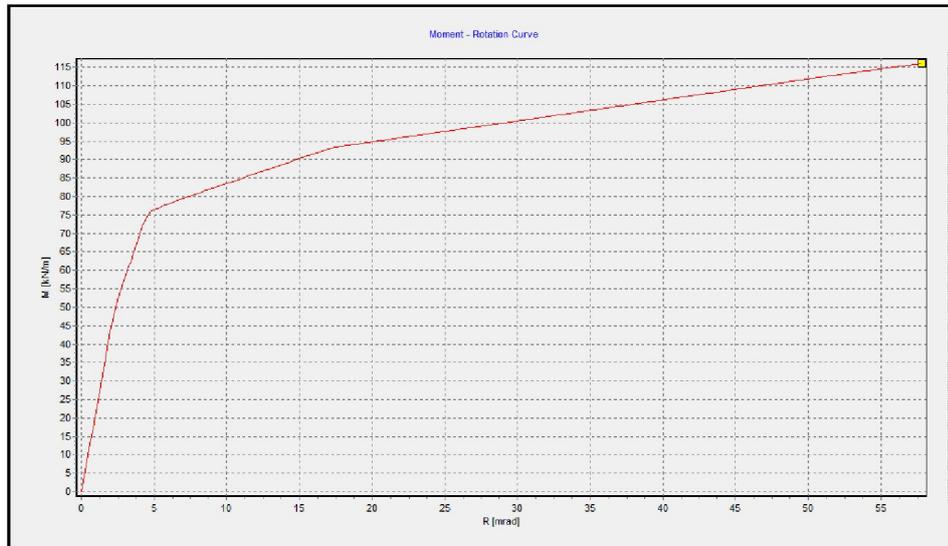
**M- Φ diagram
FS7**



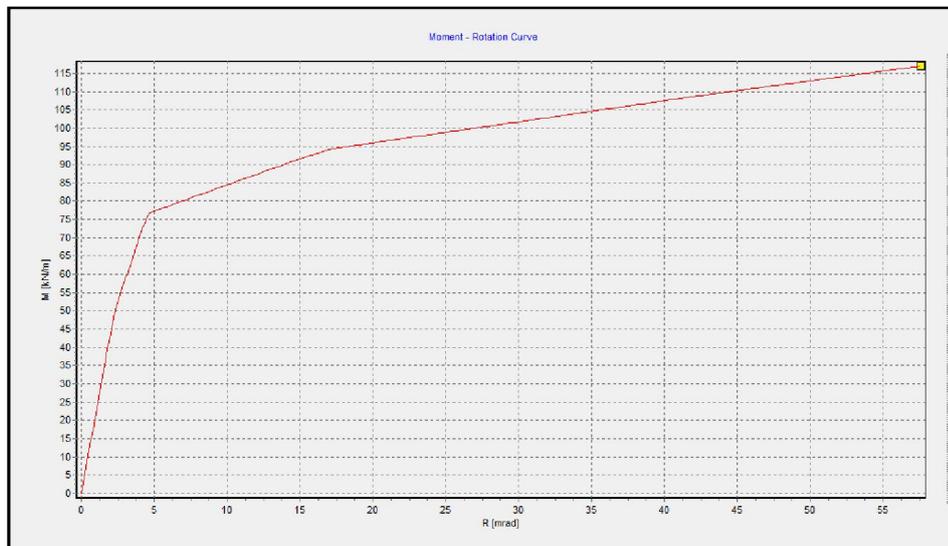
**M- Φ diagram
FS8**



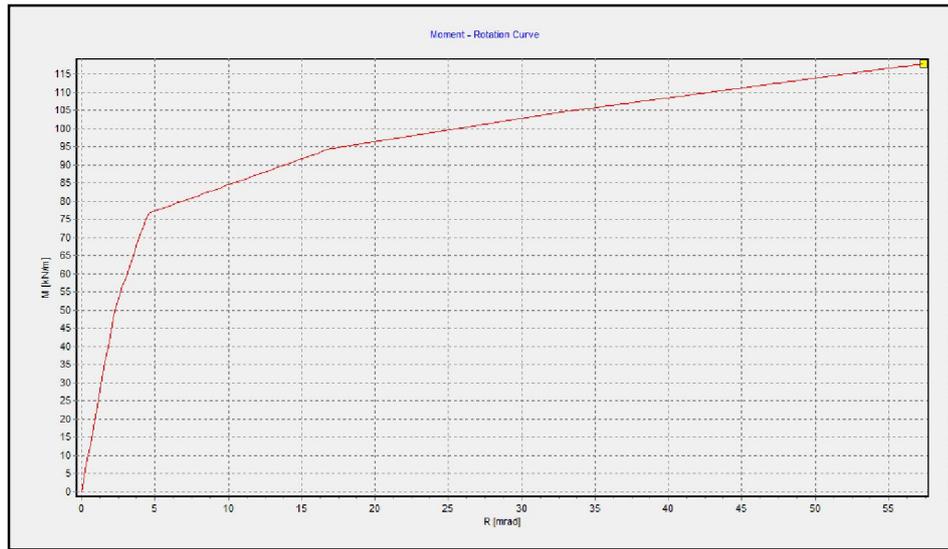
**M- Φ diagram
FS9**



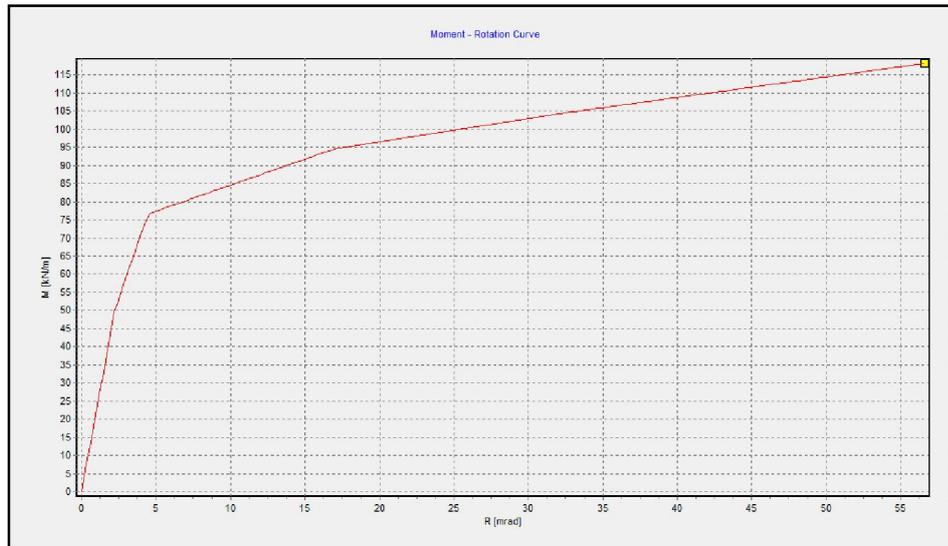
**M- Φ diagram
FS10**



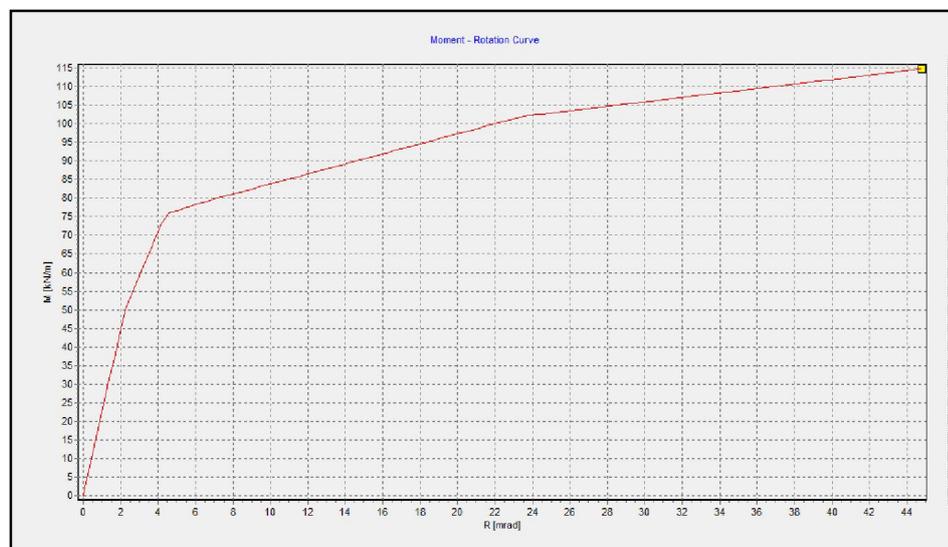
**M- Φ diagram
FS11**



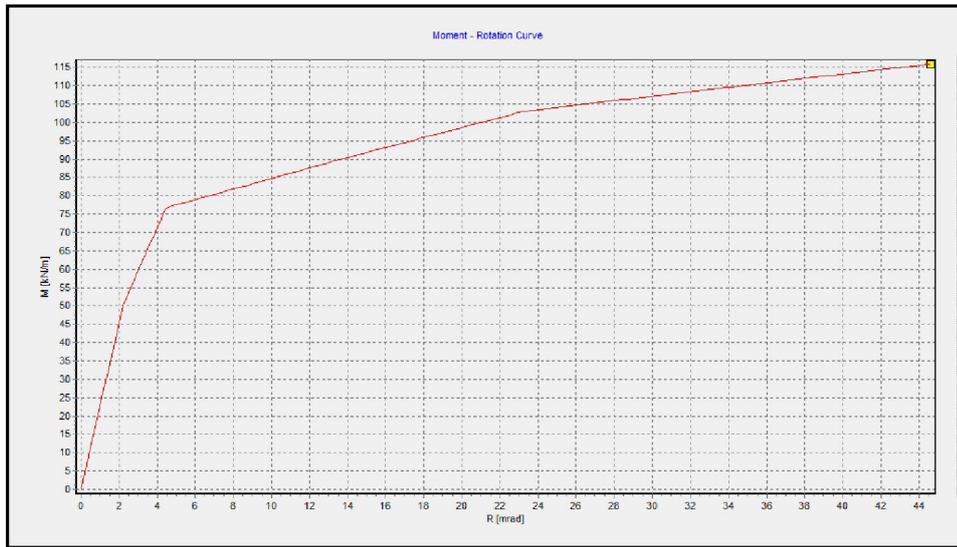
**M- Φ diagram
FS12**



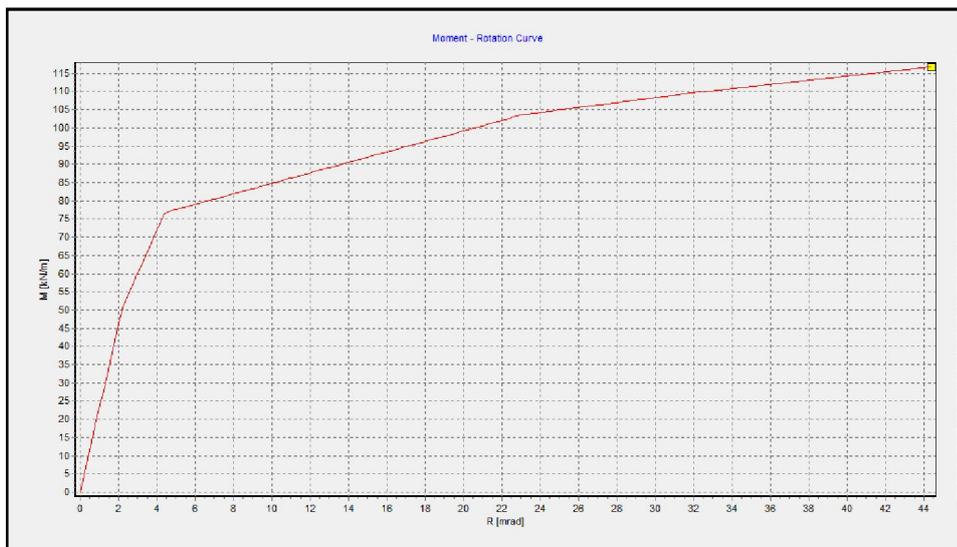
**M- Φ diagram
FS13**



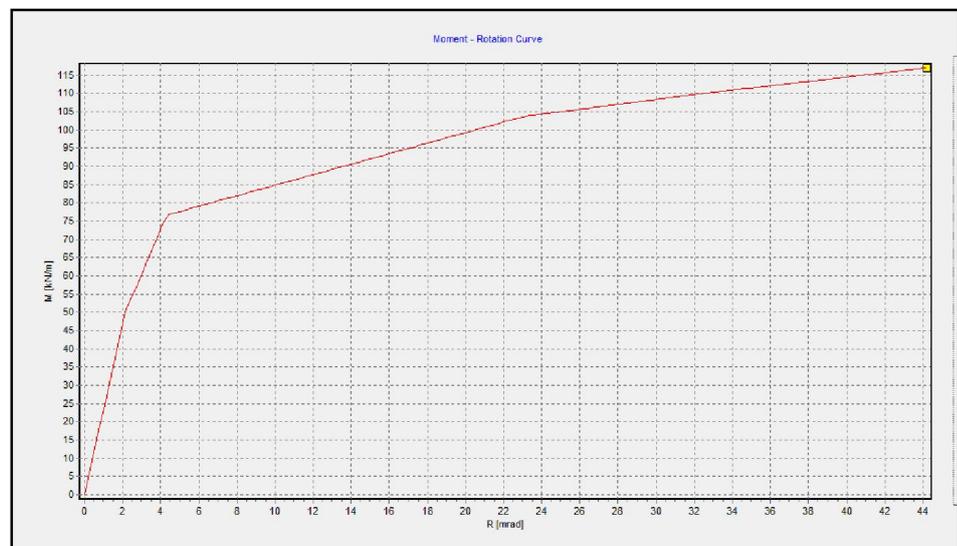
**M- Φ diagram
FS14**



**M- Φ diagram
FS15**



**M- Φ diagram
FS16**



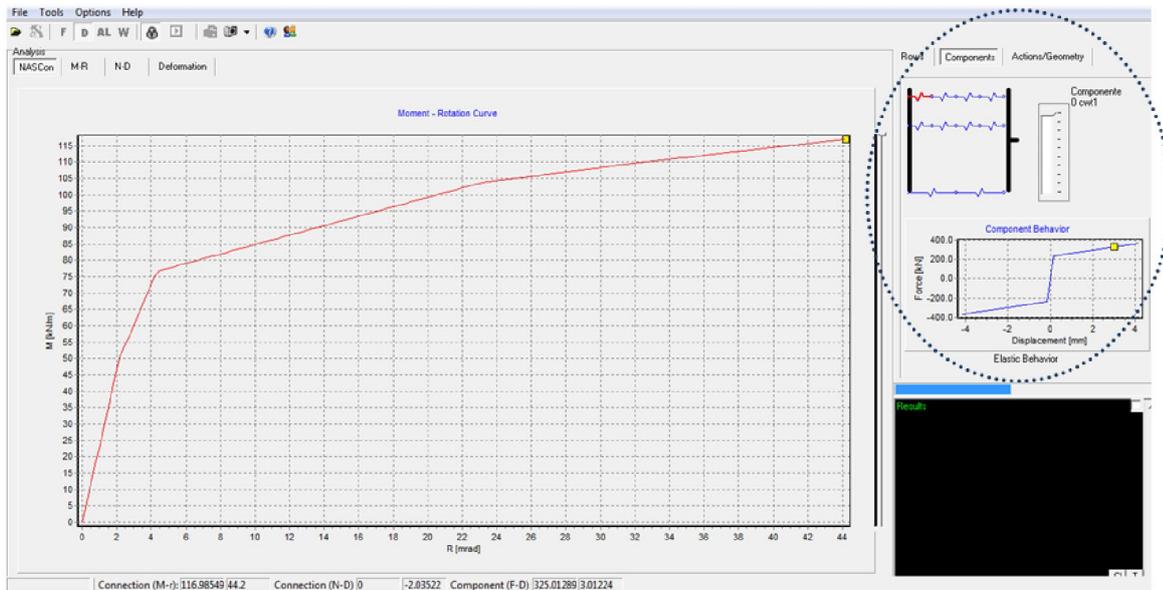
الشكل (12.4): مخططات العزم - دوران للنماذج المدعمة (FS2→FS16).

6.4 تحليل النتائج:

بعد تحليل النماذج المدعمة باستخدام مقاطع المجرأة وتحديد المنحني المميز لمطاوعة العقدة في كل نموذج تم إيجاد أن تلك المنحنيات لاختية وتتعلق درجة لاختية هذه المنحنيات بانهييار العنصر الحرج، فإذا كان سلوك المكونات خطي تماما تكون درجة منحنى العزم - دوران خطية، أما إذا كانت درجة منحنيات القوة - انتقال للمكونات ثنائية الختية وبنفس القيم تكون درجة منحنى العزم - دوران ثنائي الختية.

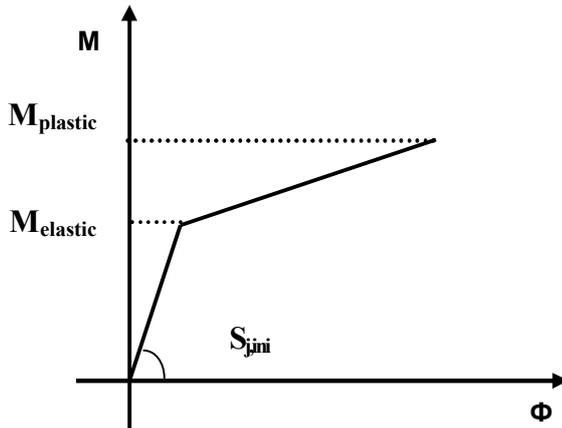
أما في الحالة المدروسة حيث أن درجة منحنيات القوة - انتقال للمكونات ثنائية الختية باختلاف القيم لهذه المنحنيات تكون درجة منحنى العزم - دوران للعقدة متعددة للاختية بحسب انهيار العناصر الحرجة.

يتم تحليل النتائج وفق الدراسة بالطريقة الميكانيكية من خلال مراقبة الحالة الإجهادية للمكونات ودخول المكونات في المرحلة للاختية كما يبين الشكل (13.4) حيث يتيح برنامج (Nascon) إمكانية مراقبة الحالة الإجهادية لكل مكون من المكونات على حدة في أي مرحلة من مراحل دوران العقدة.



الشكل (13.4): الحالة الإجهادية لمكونات العقدة (ضمن الخط المنقط).

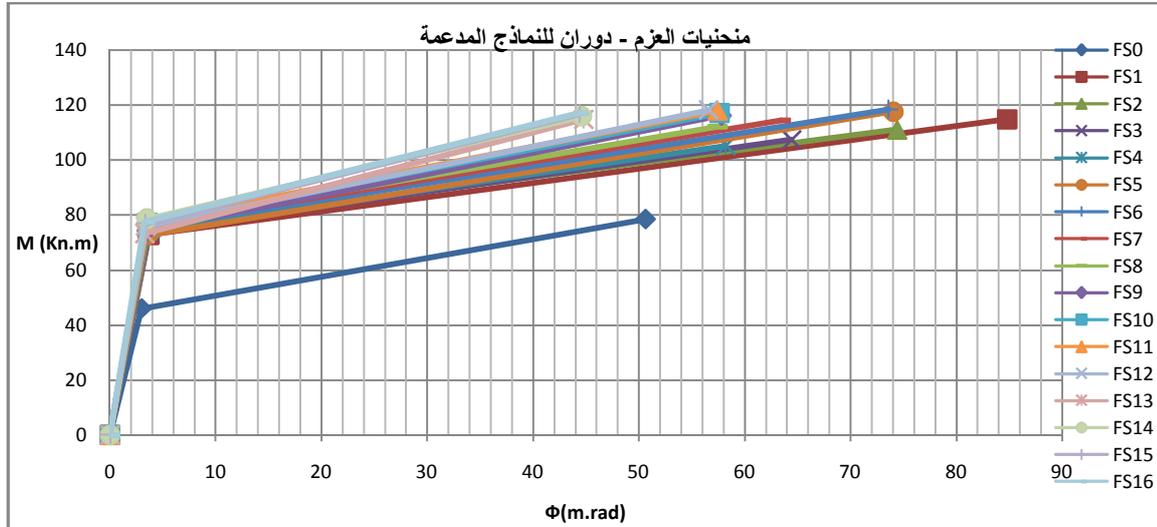
ومن أجل إجراء المقارنة وفق عدد من المعايير التي يمكن من خلالها استنباط النتائج التي تحدد سلوك العقدة نقوم بصياغة المنحنيات الواردة في الشكل (15.4)، بشكل منحنيات ثنائية الختية (لاختية من الدرجة الثانية) حيث يبين الشكل (14.4) المدلولات الأساسية لمنحنى العزم - دوران ذو السلوك ثنائي الختية والمعبر عن مطاوعة العقدة.



الشكل (14.4): مدلولات منحنى

العزم - دوران للعقدة.

حيث يبين الشكل (15.4) النماذج المدعمة (FS1→FS16) مع النموذج غير المدعم (FS0) بشكل منحنيات ثنائية الخطية حيث يمكن تحديد العتبة التي تتغير فيها خطية المنحني من تحليل النماذج تحليل خطي (اعتبار السلوك الخطي للمكونات).



الشكل (15.4): منحنيات العزم - دوران ثنائية الخطية للنماذج المدعمة مع النموذج غير المدعم.

وسنقوم بتحليل النتائج وإجراء المقارنات بين النماذج المدعمة والنموذج غير المدعم وبين النماذج المدعمة فيم بينها لمعرفة تأثير تغيير سماكة كل من جسد وجناح المجرأة على مواصفات الوصلة، وستتم المقارنة وفق المعايير المبينة في الجدول (5.4).

المعيار الأول:	سعة الدوران للعقدة (Φ_{cd}).
المعيار الثاني:	العزم المقاوم الأعظمي اللدن عند الانهيار ($M_{plastic}$).
المعيار الثالث:	العزم المقاوم المرن ($M_{elastic}$).
المعيار الرابع:	معامل الصلابة المرن ($S_{j,ini}$).
المعيار الخامس:	العنصر الحرج عند الانهيار.

الجدول (5.4): معايير المقارنة لتحديد كفاءة التدعيم المقترح.

وباستنباط النتائج من منحنيات العزم – دوران للعقدة المدعمة نلخص الثوابت الأساسية لهذا المنحني في الجدول (6.4):

Model	t_{wch}	t_{fch}	$M_{plastic}$ (KN.m)	$M_{elastic}$ (KN.m)	Φ_{cd} (mRad)	S_{jini} (KN.m/m Rad)	Failure Model	
FS0	-	-	78.45	46.00	50.6	15.33	cfb1	
النماذج ثابتة سماكة الجسد	FS 1	6	6	114.80	72.87	84.80	19.60	epb1
	FS 2	6	8	111.00	75.59	74.40	19.80	epb1
	FS 3	6	10	107.36	73.97	64.40	20.00	epb1
	FS 4	6	12	105.10	74.57	58.20	20.32	epb1
	FS 5	8	6	117.54	72.64	74.00	20.70	cwc
	FS 6	8	8	118.40	75.43	73.6	20.93	epb1
	FS 7	8	10	114.30	76.00	63.40	21.20	epb1
	FS 8	8	12	111.94	76.68	57.40	21.48	epb1
	FS 9	10	6	116.11	74.29	57.80	21.65	cwc
	FS 10	10	8	117.00	77.14	57.60	21.90	cwc
	FS 11	10	10	117.94	77.79	57.40	22.21	cwc
	FS 12	10	12	118.18	76.00	56.60	22.51	epb1
	FS 13	12	6	114.78	73.32	44.80	22.50	cwc
	FS 14	12	8	115.84	78.58	44.60	22.77	cwc
	FS 15	12	10	116.72	76.85	44.40	23.10	cwc
	FS 16	12	12	116.98	77.49	44.20	23.43	cwc
النماذج ثابتة سماكة الجناح	FS 17	6	6	114.80	72.87	84.80	19.60	epb1
	FS 18	8	6	117.54	72.64	74.00	20.70	cwc
	FS 19	10	6	116.11	74.29	57.80	21.65	cwc
	FS 20	12	6	114.78	73.32	44.80	22.50	cwc
	FS 21	6	8	111.00	75.59	74.40	19.80	epb1
	FS 22	8	8	118.4	75.43	73.6	20.93	epb1
	FS 23	10	8	117.00	77.14	57.60	21.90	cwc
	FS 24	12	8	115.84	78.58	44.60	22.77	cwc
	FS 25	6	10	107.36	73.97	64.40	20.00	epb1

Model	t_{wch}	t_{fch}	$M_{plastic}$ (KN.m)	$M_{elastic}$ (KN.m)	Φ_{cd} (mRad)	S_{jini} (KN.m/m Rad)	Failure Model
FS 26	8	10	114.30	76.00	63.40	21.20	epb1
FS 27	10	10	117.94	77.79	57.40	22.21	cwc
FS 28	12	10	116.72	76.85	44.40	23.10	cwc
FS 29	6	12	105.10	74.57	58.20	20.32	epb1
FS 30	8	12	111.94	76.68	57.40	21.48	epb1
FS 31	10	12	118.18	76.00	56.60	22.51	epb1
FS 32	12	12	116.98	77.49	44.20	23.43	cwc

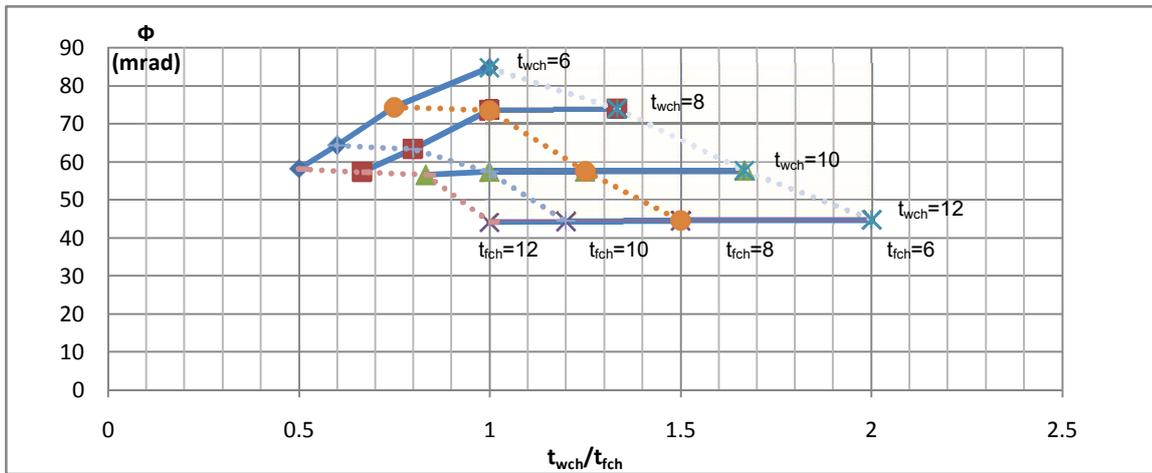
الجدول (6.4): الثوابت الأساسية لمنحني العزم - دوران للنماذج المدعمة.

1.6.4 المقارنة الأولى: سعة الدوران للعقدة (Φ_{cd}) :

سعة الدوران في العقدة غير المدعمة وفق الكود الأوربي:

لا يعطي الكود الأوربي صيغة واضحة لحساب سعة الدوران لوصلة جوائز عمود موصولة بالبراغي، إنما يعتبر أن العقدة تملك سعة دوران كافية من أجل التحليل اللدن ضمن شروط محددة.

يبين المخطط الوارد في الشكل (16.4) نتائج تحليل سعة الدوران في النماذج المدروسة، حيث يمثل المحور الشاقولي سعة الدوران أما المحور الأفقي فيمثل نسبة سماكة جسد إلى جناح المجراة (المتغير سماكة جناح المجراة)، حيث تظهر النماذج من (FS 1→FS 16) بالخط المستمر أما النماذج من (FS 17→FS 32) فتظهر بالخط المنقط.



الشكل (16.4): مقارنة سعة الدوران في النماذج المدعمة.

حيث نلاحظ من المخطط المبين في الشكل (16.4) أنه من أجل سماكة ثابتة لجسد المجراة كلما زادت سماكة جناح المجراة تنخفض سعة الدوران إلا في النماذج ذات سماكة الجسد (10, 12 mm).

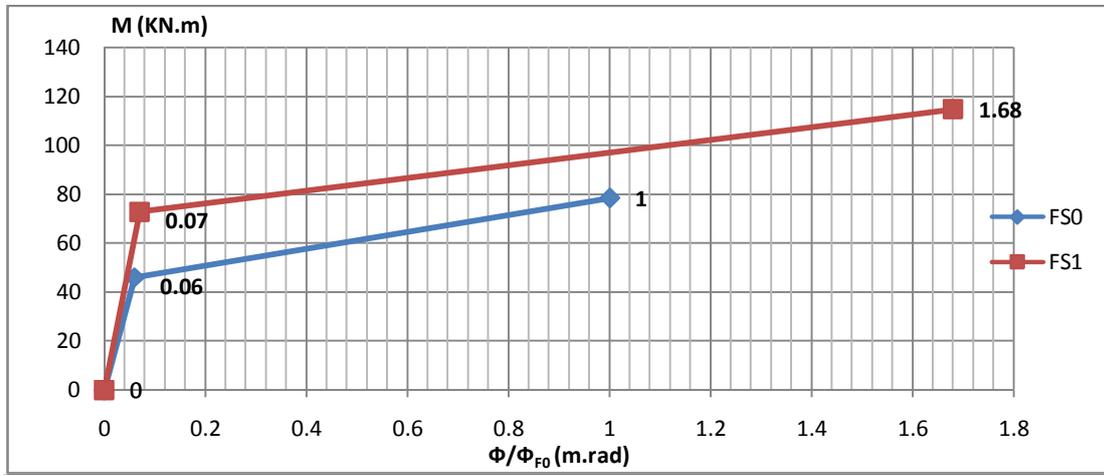
يتم تفسير ذلك من مراقبة ميكانيكيات الانهيار في النواضح اللاخطية في مرحلة التحليل حيث أنه في النماذج ذات سماكة جسد المجرأة (10, 12 mm) كان الانهيار في جسد العمود على الضغط وبالتالي لم يعد هناك تأثير لسماكة الجناح على سعة الدوران.

ونلاحظ من المخطط المبين في الشكل (16.4) أنه من أجل سماكة ثابتة لجناح المجرأة (النماذج بالخط المنقط) أنه كلما زادت سماكة جسد المجرأة تنخفض سعة الدوران في جميع النماذج.

ويفسر ذلك بأنه عندما تكون سماكة جناح المجرأة ثابتة لا يوجد تغير في سلوك النواضح في منطقة الشد ويصبح التحكم بسعة الدوران من خلال نواضح منطقة الضغط التي تزداد صلابة النموذج الميكانيكي بزيادة صلابة تلك النواضح والمرتبطة بسماكة جسد المجرأة.

تبين من دراسة النماذج أن النموذج الأكثر مطاوعة هو النموذج (FS1) حيث سماكة جسد المجرأة والجناح أصغر ما يمكن (6mm) حيث أن هذا النموذج أكثر ملائمة للتحليل اللدن.

وباستخدام نموذج التدعيم (FS1) نلاحظ أن سعة الدوران ازدادت عن النموذج غير المدعم بحدود (68%) كما يبين المخطط الوارد في الشكل (17.4) حيث يمثل المحور الأفقي نسبة من سعة الدوران العظمى للعقدة غير المدعمة و(Φ_{F0}) تمثل سعة الدوران في العقدة غير المدعمة.



الشكل (17.4): مقارنة سعة الدوران العظمى بين النموذج غير المدعم والنموذج (FS1).

2.6.4 المقارنة الثانية: العزم المقاوم الأعظمي اللدن عند الانهيار ($M_{plastic}$):

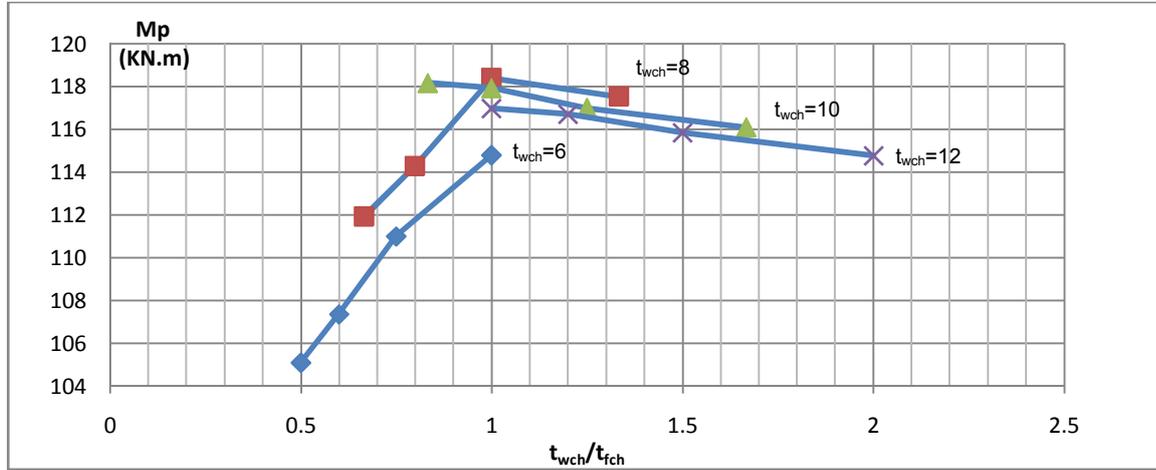
العزم الأعظمي اللدن المقاوم بحسب الكود الأوربي:

لا يعطي الكود الأوربي العزم الأعظمي المقاوم للعقدة إنما يعطي العزم الأعظمي المرن المقاوم، لذلك لا يمكن التنبؤ بقيمة العزم الأعظمي اللدن الذي تنهار عنده العقدة بحسب الكود.

العزم الأعظمي اللدن المقاوم في النماذج المدعمة:

نلاحظ من النماذج المدروسة أن العزم الأعظمي اللدن المقاوم يكون في النماذج التي تتساوى فيها سماكات جسد المجرة مع جناحها، وذلك لأن سماكة جناح المجرة هي المسؤولة عن زيادة مقاومة منطقة الشد أما سماكة جسد المجرة هي المسؤولة عن زيادة مقاومة منطقة الضغط مما يؤدي إلى موازنة ذراع المزدوجة وبالتالي يزيد العزم المقاوم الأعظمي اللدن.

يبين المخطط الوارد في الشكل (18.4) نتائج تحليل العزم الأعظمي اللدن في النماذج (FS 1→FS 16)، حيث يمثل المحور الشاقولي العزم الأعظمي اللدن أما المحور الأفقي فيمثل نسبة سماكة جسد إلى جناح المجرة (المتغير سماكة جناح المجرة).

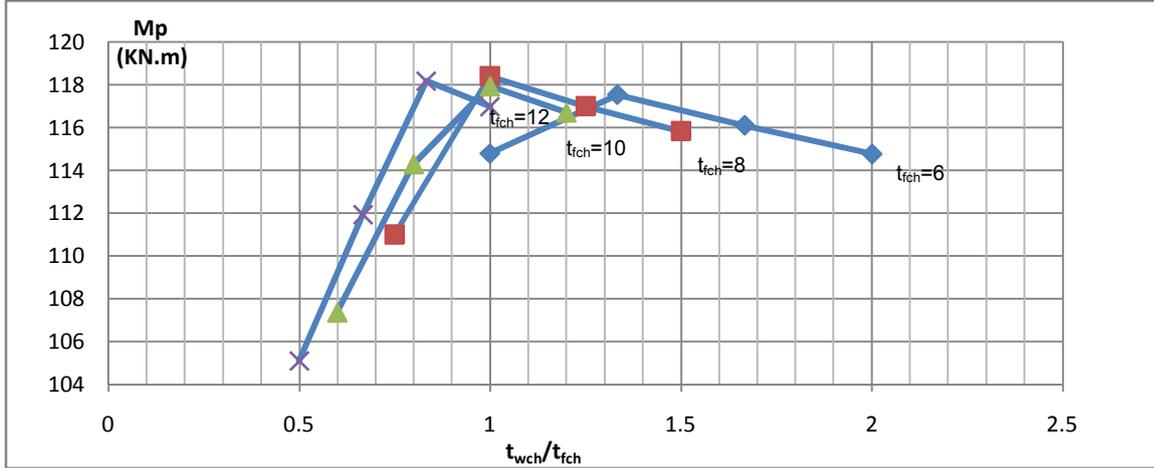


الشكل (18.4): مقارنة العزم الأعظمي اللدن في النماذج المدعمة (FS1→FS16).

وبتحليل المخطط في الشكل (18.4)، نجد أنه عندما تكون سماكة جسد المجرة (6, 8 mm) نلاحظ أنه بزيادة سماكة جناح المجرة في النماذج المدروسة ينخفض العزم الأعظمي اللدن وذلك بسبب أنه بزيادة سماكة جناح المجرة تزيد من مقاومة وصلابة مكون جناح العمود على الانعطاف (cfb) الذي يصبح ذو صلابة أكبر من المكونات المتصلة معه على التسلسل مما يؤدي إلى انخفاض الحالة الإجهادية لتلك النواض والتي يحدث انهيارها أولاً (epb) الأمر الذي يؤدي إلى انهيار العقدة عند النابض الأضعف قبل أن تجهد نواض الضغط بشكل كافٍ.

أما عندما تكون سماكة جسد المجرة (10, 12 mm) نجد أنه عندما تزداد سماكة جناح المجرة يزداد العزم المقاوم حيث تساهم نواض الضغط بدعم النموذج الميكانيكي وعدم حدوث الانهيار عند مكونات الشد الأضعف حتى تصل إلى حالة إجهادية مرتفعة.

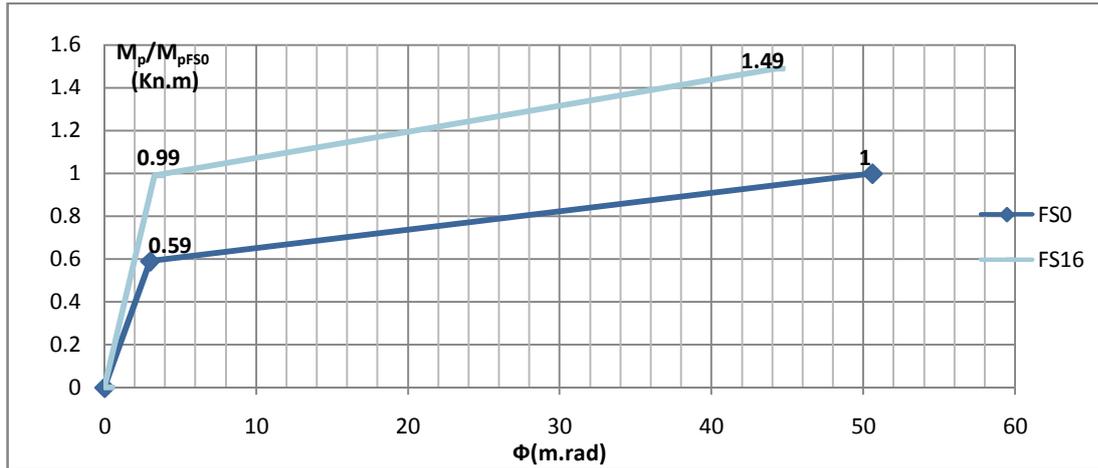
كما يبين المخطط الوارد في الشكل (19.4) نتائج تحليل العزم الأعظمي اللدن في النماذج (FS 17→FS 32) حيث أن المتغير هو سماكة جسد المجرة.



الشكل (19.4): مقارنة العزم الأعظمي للندن في النماذج المدعمة (FS 17→FS 32).

يمكن تفسير المخطط الوارد في الشكل (19.4) كما في المخطط المبين في الشكل (18.4). حيث نجد أنه بزيادة سماكة جسد المجرأة يزداد العزم المقاوم للندن ثم يبدأ بالانخفاض عندما تزيد سماكة الجسد عن حد معين وذلك بسبب أنه عندما تكون سماكة جسد المجرأة كبيرة نسبياً تزداد صلابة منطقة الضغط في النموذج الميكانيكي عن منطقة الشد الأمر الذي يؤدي إلى انهيار النموذج بسبب فرق الصلابة بين منطقتي الشد والضغط (يتوجه الانهيار إلى منطقة الشد).

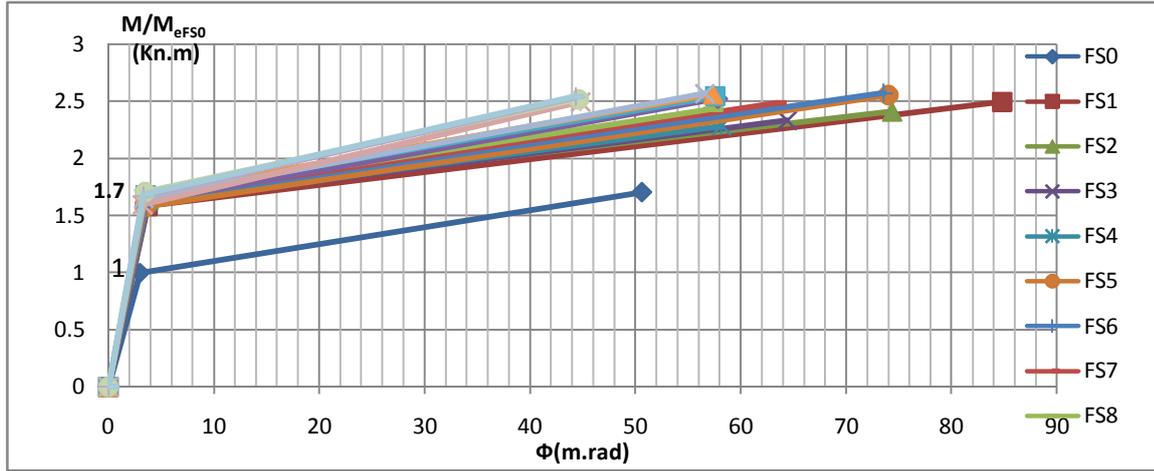
و باستخدام التدعيم (FS6) يزداد العزم المقاوم للعقدة عن النموذج غير المدعم بحدود (50%) كما يبين المخطط في الشكل (20.4) حيث أن المحور الشاقولي يمثل نسبة من العزم الأعظمي للندن للعقدة غير المدعمة ($M_{p,FS0}$).



الشكل (20.4): مقارنة العزم الأعظمي للندن بين النموذج (FS16) مع النموذج غير المدعم (FS0).

3.6.4 المقارنة الثالثة: العزم المقاوم الأعظمي المرن ($M_{elastic}$):

نلاحظ من النماذج المدعمة أن العزم المقاوم المرن متقارب في معظم النماذج، وباستخدام أي نموذج تدعيم نجد أن العزم الأعظمي المقاوم المرن ازداد عنه في العقدة غير المدعمة بنسبة (70%) كما يبين المخطط الوارد في الشكل (21.4) حيث أن المحور الشاقولي يمثل نسبة من العزم المقاوم المرن للعقدة غير المدعمة (M_{eFS0}).



الشكل (21.4): مقارنة العزم الأعظمي المرن للنماذج المدعمة مع النموذج غير المدعم (FS0).

4.6.4 المقارنة الرابعة: معامل الصلابة المرن ($S_{j,ini}$):

نقوم بإجراء هذه المقارنة من أجل تحديد ما إذا كانت العقدة صلبة أو شبه صلبة وتتم هذه المقارنة وفق معايير الكود الأوربي [1]، حيث تعتبر العقدة صلبة (المنطقة (1) من الشكل (22.4))، إذا تحقق معيار الصلابة البدائية التالي:

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b \dots \dots \dots (4.31)$$

حيث ($k_b = 8$): في الإطارات المعدنية حيث تخفض جملة التثبيت بحدود (80%) من الانتقالات الأفقية.

($k_b = 25$): في باقي الإطارات المعدنية.

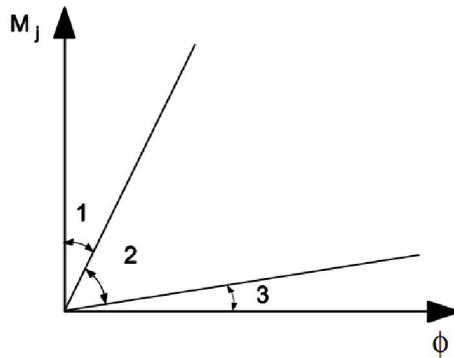
(I_b): عزم عطالة الجائز.

(L_b): طول الجائز من المحور إلى المحور.

كما تعتبر العقدة مفصلية (المنطقة (3) من الشكل (22.4))، إذا تحقق معيار الصلابة البدائية التالي:

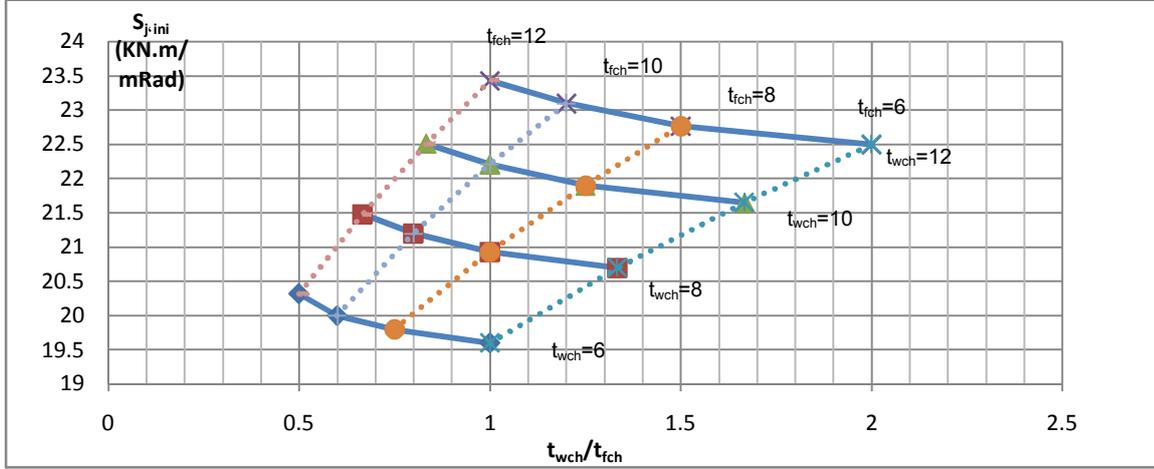
$$S_{j,ini} \leq 0.5 EI_b / L_b \dots \dots \dots (4.32)$$

و تعتبر العقدة شبه صلبة إذا كان منحنى العزم دوران للعقدة واقع في المنطقة (2) من الشكل (22.4)، أي المنطقة بين العقدة الصلبة والعقدة المفصلية.



الشكل (22.4): تصنيف صلابة العقدة بحسب الكود الأوربي [1].

يبين المخطط الوارد في الشكل (23.4) نتائج تحليل معامل الصلابة المرن في النماذج المدروسة, حيث يمثل المحور الشاقولي معامل الصلابة الدورانية للعقدة أما المحور الأفقي فيمثل نسبة سماكة جسد إلى جناح المجرأة, كما تظهر النماذج من (FS 1→FS 16) بخط مستمر أما النماذج (FS 17→FS 32) بخط منقط.



الشكل (23.4): مقارنة الصلابة الدورانية للعقدة في النماذج المدعمة.

ونلاحظ من المخطط الوارد في الشكل أنه بزيادة سماكة جناح المجرأة تزداد الصلابة الدورانية للعقدة وذلك بسبب أنه كلما زادت سماكة جناح المجرأة تزداد صلابة منطقة الشد الأمر الذي يؤدي إلى زيادة صلابة النموذج. كما نلاحظ من النماذج بالخط المنقط من الشكل (23.4) زيادة الصلابة الدورانية للعقدة بزيادة سماكة جسد المجرأة حيث أنه بزيادة سماكة جسد المجرأة تزداد صلابة منطقة الضغط الأمر الذي يؤدي إلى زيادة صلابة النموذج. وباعتبار أن مجازات الجوائز في الإطار المدروس (3m) وأنه يوجد جملة تربيط تخفض من الانتقالات الأفقية بحدود (80%) تكون القيم:

$$k_b EI_b / L_b = 8 \times 210 \times 10^6 \times 3892 \times 10^{-8} / 3 / 1000$$

$$k_b EI_b / L_b = 21.79 \text{ Kn.m / mrad}$$

$$\frac{0.5 E I_b}{L_b} = 13.6 \text{ Kn.m / mrad}$$

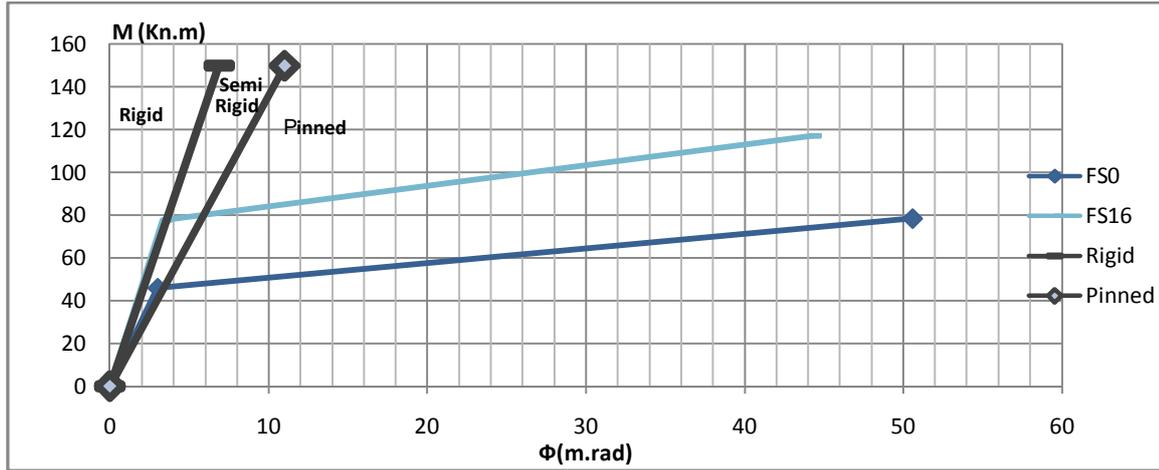
حيث أن قيمة معامل الصلابة المرن في العقدة غير المدعمة يساوي:

$$S_{j,ini} = 15.33 \text{ Kn.m / mrad}$$

ومعامل الصلابة المرن في العقدة المدعمة باستخدام نموذج التدعيم (FS16):

$$S_{j,ini} = 23.43 \text{ Kn.m / mrad}$$

وبالتالي نجد بحسب التصنيف السابق أن العقدة غير المدعمة تصنف كعقدة نصف صلبة أما العقدة المدعمة باستخدام نموذج التدعيم (FS16) فتصنف كعقدة صلبة كما يبين المخطط في الشكل (24.4).



الشكل (24.4): تصنيف العقدة المدعمة بحسب الصلابة.

5.6.4 المقارنة الخامسة: العنصر الحرج عند الانهيار:

نلاحظ من دراسة النماذج أن العنصر الحرج عند الانهيار (المكون الأضعف) في العقدة غير المدعمة هو جناح العمود على الانعطاف في الصف الأول من البراغي، أما في النماذج المدعمة نجد أن العنصر الحرج عند الانهيار في النماذج ذات سماكة جسد المجرأة mm (8،6) هو صفيحة النهاية على الانعطاف أما في النماذج ذات سماكة جسد المجرأة mm (12،10) هو جسد العمود على الضغط.

ونستنتج من المقارنة أن المجرأة ساهمت بتدعيم جناح العمود على الانعطاف بشكل ملحوظ حيث ظهر أن الانهيار يحصل في منطقة الشد في صفيحة النهاية على الانعطاف وبذلك نحصل على أعلى مقاومة للعقدة أما بزيادة سماكة جسد المجرأة يكون المكون الأضعف هو جسد العمود على الضغط حيث أن مكون جسد العمود على القص يملك صلابة عالية مقارنة بجسد العمود على الضغط لذلك يحصل الانهيار في جسد العمود على الضغط.

7.4 تطبيق لاعتبار تأثير صلابة العقدة على نتائج التحليل في إطار معدني وفق برنامج (CSI SAP 2000):

1.7.4 مقدمة عن أهمية اعتبار صلابة العقدة في تحليل الإطارات المعدنية:

لا تقتصر الغاية من تحديد مطاوعة العقد المعدنية في إيجاد العزم المقاوم التصميمي فحسب إنما لسلوك العقد تأثير مباشر على نتائج التحليل في المنشأ ككل، حيث تتأثر التشوهات الحاصلة في الإطارات المعدنية بصلابة العقدة وبالتالي هناك تأثير على القوى والعزوم الناتجة في عناصر الإطار.

ومع تطور علوم الهندسة الإنشائية والحاجة المعمارية لمجازات طويلة يبدو هذا الأمر هاماً للاعتبار وخصوصاً عند استخدام المقاطع الصفائحية الملحومة حيث أن استخدام عقد صلبة قد يخفض الحاجة إلى مقاطع كبيرة عند تصميم الجوائز.

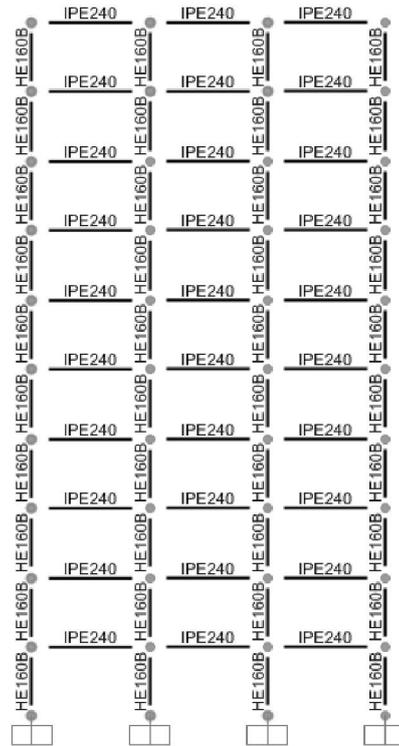
ومن أجل توضيح هذا الأمر تمت دراسة إطار معدني مكون من ثلاث فتحات ومتعدد الطوابق وفق برنامج (SAP2000)، حيث سنقوم بدراسة هذا الإطار بدون اعتبار تأثير صلابة العقدة، ومن ثم سنقوم بتحليله مع اعتبار الصلابة للعقدة غير المدعمة ومع اعتبار الصلابة للعقدة المدعمة باستخدام نموذج التدعيم (FS16).

2.7.4 مواصفات الإطار المدروس:

الإطار معدني مكون من ثلاث فتحات بمجازات (5m) وعشرة طوابق بارتفاع طبقي يساوي (3m) كما في الشكل (25.4) حيث:

- مقاطع الأعمدة (HE160 B).

- مقاطع الجوائز (IPE 240).



الشكل (25.4): نموذج الإطار المدروس وفق برنامج (SAP2000).

مواصفات مواد مقاطع الإطار:

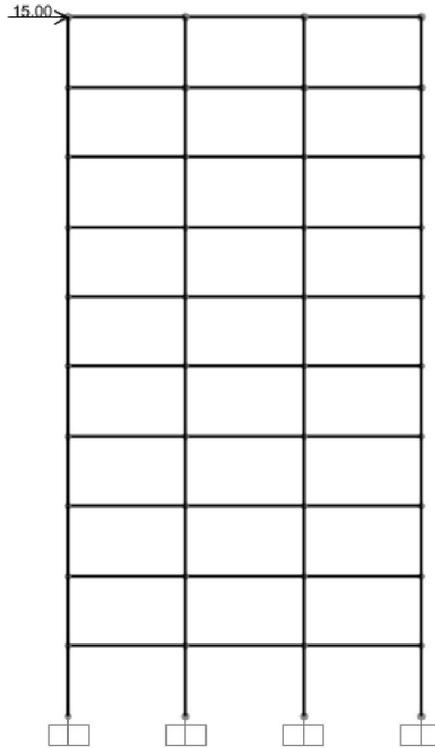
الفولاذ ماركة (Fe 430) حيث أن إجهاد الخضوع (275 MPa) وإجهاد الانكسار (430 MPa) كما أن الخصائص الميكانيكية للمادة كما يلي:

$$E=210\,000\text{ N/mm}^2$$

$$\nu=0.3$$

حالة التحميل التي يتعرض لها الإطار:

سوف نقوم بدراسة الإطار وفق حمولات جانبية مطبقة أعلى الإطار وقدرها (15 t) بدون اعتبار تأثير الوزن الذاتي لعناصر الإطار من أجل معرفة الانتقالات الجانبية ومقارنتها بين النماذج كما في الشكل (26.4):



الشكل (26.4): الحمولات التي يتعرض لها الإطار.

مواصفات عقد الإطار:

نعتبر اتصال جوائز عناصر الإطار مع الأعمدة وصلات عزم ذات صفيحة نهاية حيث أن صلابة العقدة غير المدعمة وفق النموذج (FS0):

$$S_{j,ini}=1533\text{ t.m/rad}$$

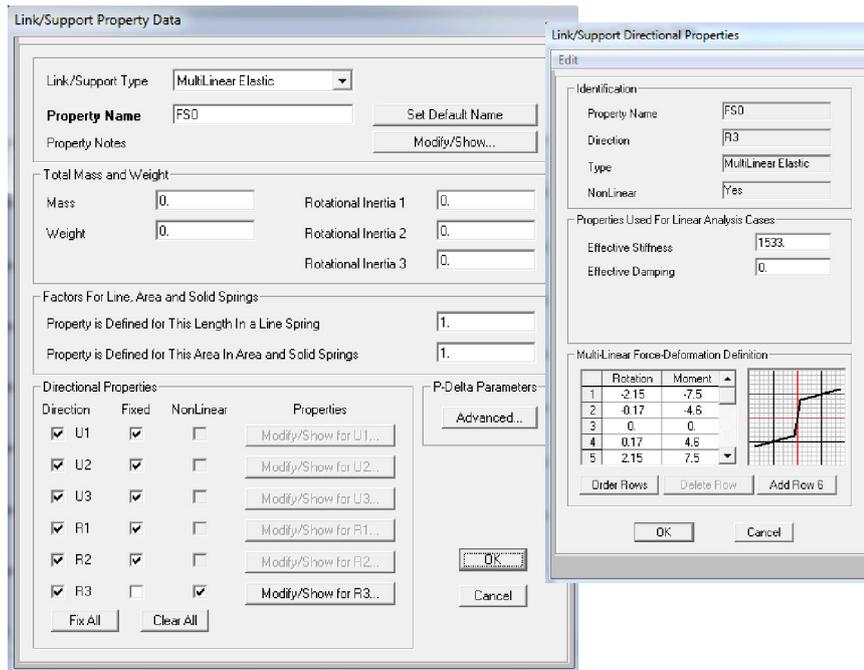
كما أن صلابة العقدة المدعمة وفق نموذج التدعيم (FS16):

$$S_{j,ini}=2343\text{ t.m/rad}$$

3.7.4 طريقة اعتبار تأثير صلابة العقد ضمن نتائج التحليل:

يحتاج تمثيل سلوك العقد وفق برنامج (SAP2000) إلى فهم طريقة التحليل التي يقوم بها البرنامج للعناصر الإطارية حيث لا يمكن اعتبار هذا السلوك بشكل مباشر إنما نحتاج إلى تمثيل رياضي يكافئ سلوك العقدة وتأثيرها على عناصر الإطار.

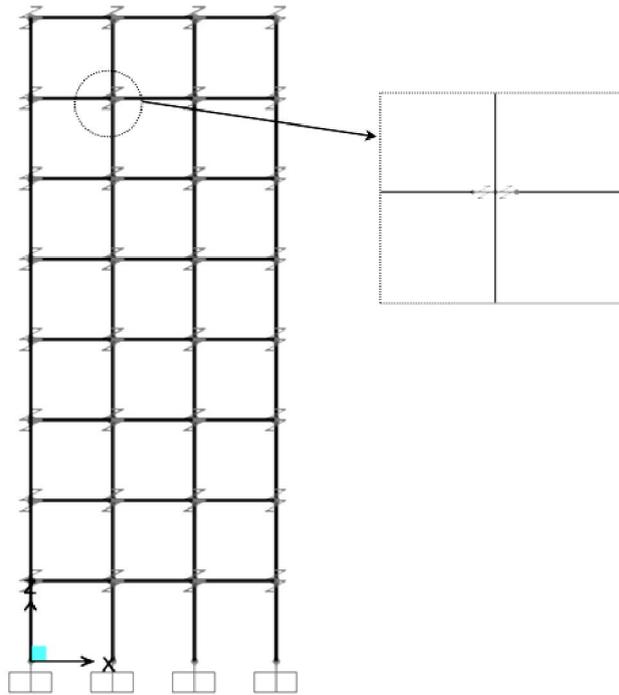
يمكن مكافئة العقدة بنابض يحمل صلابة دورانية في مستويه (وفق درجة الحرية (R3) وفق البرنامج, حيث أن الإطار المدروس يقع في المستوى ((XZ), وذلك من خلال عنصر (Link element) من النوع (Multilinear elastic) كما في الشكل (27.4), حيث يتم اعتبار جميع درجات الحرية في هذا العنصر وتقييدها ما عدا درجة الحرية (R3) حيث يتم تمثيل منحنى القوة – انتقال وفق هذه الدرجة.



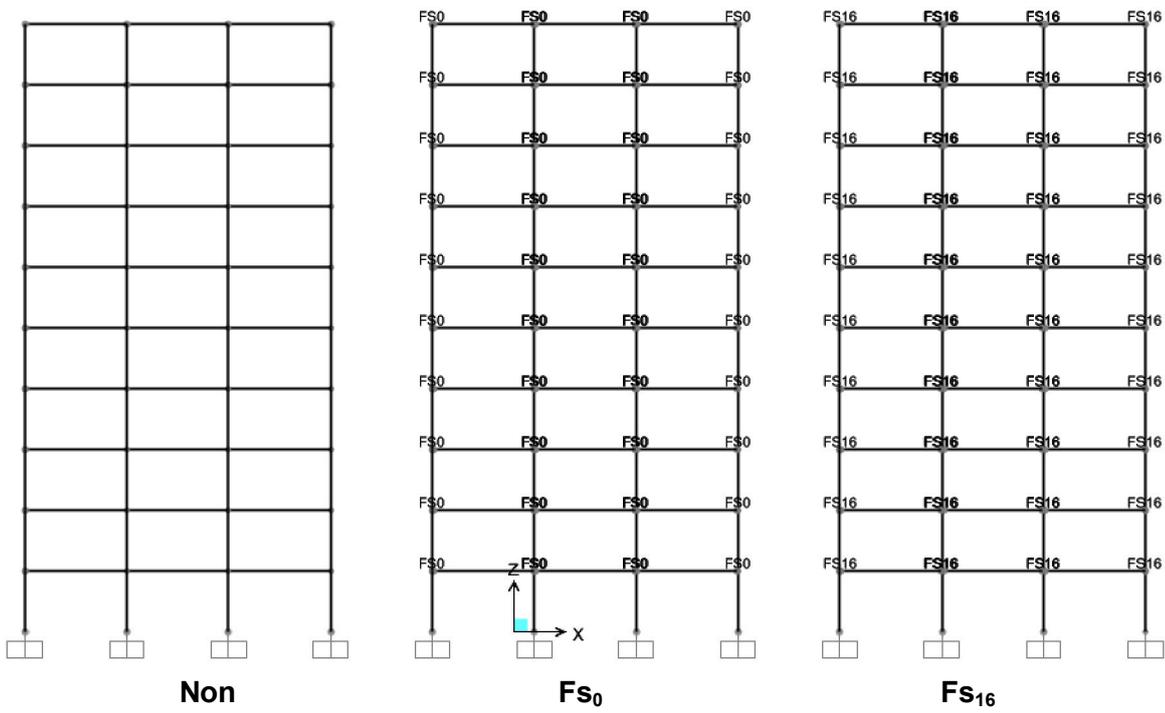
الشكل (27.4): عناصر (Link) وفق برنامج (SAP2000).

نقوم بنمذجة الروابط اللاخطية بين الجوائز والأعمدة بطول (2cm) حيث أن هذا الطول يعتمد على إمكانية النمذجة بحيث يكون أصغر ما يمكن كما في الشكل (28.4).

كما يبين الشكل (29.4), النماذج التي سنقوم بتحليلها حيث يمثل النموذج ذو الروابط اللاخطية (FS0) نموذج الإطار ذو العقد غير المدعمة أما النموذج ذو الروابط اللاخطية (FS16) نموذج الإطار ذو العقد المدعمة باستخدام مقطع المجراة ذو سماكة جسد وجناح المجراة (12x12).



الشكل (28.4): تمثيل العقد بروابط لاختية (Link element).

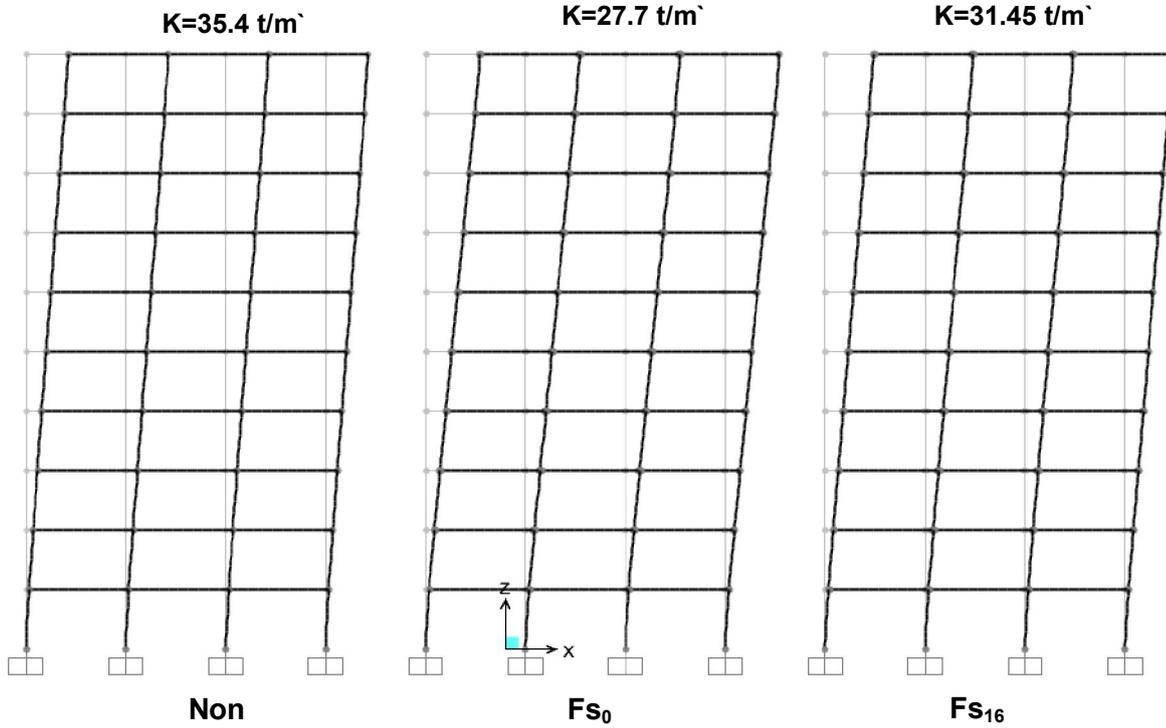


الشكل (29.4): النماذج التحليلية للإطار المدروس.

4.7.4 نتائج التحليل:

بتحليل الإطار وفق حالة التحميل المعروفة حيث أن نوع التحليل مرن خطي (Linear elastic) يبين الشكل (30.4) نتائج التحليل من حيث صلابة الإطار نتيجة القوى المطبقة في أعلى الإطار, حيث نجد أنه بتحليل الإطار بعقد غير مدعمة وبدون اعتبار تأثير الصلابة الدورانية للعقدة كانت صلابة الإطار تساوي (35.4 t/m^3), وباعتبار تأثير صلابة العقدة الدورانية في النموذج غير المدعم كانت صلابة الإطار تساوي (27.7 t/m^3), أما باستخدام نموذج التدعيم (FS16) نجد بأن صلابة الإطار تساوي (31.45 t/m^3), ونلاحظ من النتائج أهمية الأخذ بالاعتبار صلابة العقدة الدورانية في التحليل حيث أن العقدة غير المدعمة كانت تصنف شبه صلبة لذلك نلاحظ اختلاف صلابة الإطار بين النموذج الذي يأخذ بالاعتبار الصلابة الدورانية للعقدة غير المدعمة (FS0) والنموذج الذي لا يعتبر تأثير الصلابة الدورانية للعقدة (Non), حيث اختلفت صلابة الإطار بحدود (27%) والذي ينتج عنه اختلاف في نتائج القوى في عناصر الإطار.

كما أن استخدام مقطع المجرة ذو سماكة الجسد والجنح ($12 \times 12 \text{ mm}$) في تدعيم عقد الإطار قد ساهم في زيادة صلابة الإطار بحدود (13%) عن النموذج غير المدعم (FS0) وهي نسبة جيدة ضمن معيار تخفيض الانتقالات في الإطارات المعدنية بدون استخدام جمل تربيط (Brace) أو أي جملة مقاومة شاقولية.



الشكل (30.4): صلابة الإطار في النماذج المدروسة.

الفصل الخامس

النتائج والتوصيات

(Conclusions And Recommendations)

1.5 نتائج البحث:

تم في هذا البحث بدراسة سلوك عقدة اتصال جائر مع عمود مدعمة ذات صفيحة نهاية دراسة خطية بحسب الكود الأوربي ودراسة لاختية بحسب الطريقة الميكانيكية لتحليل العقد المعدنية مع اعتبار التقريب ثنائي الخطية بحسب تقريب (Jaspart)، كما تمت دراسة العقدة المدعمة بمقطع مجراة معدنية بين جناحي العمود دراسة خطية ودراسة لاختية بالطريقة الميكانيكية حيث تم اعتماد التقريب ثنائي الخطية لسلوك المكونات وتم استنتاج هذا السلوك من خلال البحث في سلوك مكونات العقدة المدعمة، ومن ثم تم تجميع النموذج الميكانيكي المكافئ للعقدة وتم تحليله عبر برنامج (Nascon)، وذلك لاستنتاج منحنيات العزم - دوران المعبرة عن مطاوعة العقدة المعدنية، كما قمنا بدراسة نموذج لإطار معدني مع اعتبار تأثير صلابة العقد على نتائج التحليل وذلك على برنامج (Sap2000)، وتمت مقارنة النتائج من خلال وضع عدة معايير من حيث المطاوعة والصلابة والمقاومة وتم التوصل إلى النتائج التالية:

1 - تتخفض سعة الدوران بزيادة سماكة أياً من جسد أو جناح المجراة حيث أن زيادة صلابة أياً من النواض في النموذج الميكانيكي يساهم في تخفيض سعة الدوران.

وتبين من دراسة النماذج أن النموذج الأكثر مطاوعة هو النموذج (FS1) ذو سماكة جسد وجناح المجراة (6x6 mm)، وتم استنتاج أن سعة دوران العقدة المدعمة ازدادت بحوالي (70%) عنها في العقدة غير المدعمة.

2 - يرتبط العزم المقاوم للندن للعقدة بموازنة صلابة نواض الشد والضغط في النموذج الميكانيكي حيث تم ملاحظة من النماذج المدروسة أن العزم الأعظمي للندن المقاوم يكون في النماذج التي تتساوى فيها سماكات جسد المجراة مع جناحها، حيث تتقارب صلابة الشد والضغط في النموذج الميكانيكي أي أن النسبة:

$$t_{wh} / t_{ch} = 1$$

وتبين من الدراسة أن العزم الأعظمي المقاوم للندن للعقدة قد ازداد بحوالي (50%) باستخدام نموذج التدعيم (FS6).

3 - نلاحظ أن العزم الأعظمي المقاوم المرن في العقدة المدعمة ازداد عنه في العقدة غير المدعمة بنسبة (70%)، وذلك لمعظم النماذج المدروسة.

4 - نلاحظ من دراسة النماذج انه بزيادة سماكة أياً من جسد أو جناح المجراة تزداد صلابة العقدة حيث أن زيادة صلابة أي نواض من النواض يؤدي إلى زيادة صلابة النموذج الميكانيكي.

ومن دراسة النماذج المدعمة نجد أنه بتدعيم العقدة وفق النموذج (FS16)، ذو سماكة جسد وجناح المجراة (12 x 12 mm)، قد تحولت العقدة من عقدة شبه صلبة (حيث تم اختيار عناصر العقدة وفق هذا الغرض) إلى عقدة صلبة، حيث أن معامل الصلابة المرنة المعبر عن صلابة العقدة قد ازداد باستخدام نموذج التدعيم المذكور عن ذلك في النموذج غير المدعم بحدود (55%).

5 - ساهم مقطع المجراة بتدعيم جناح العمود على الانعطاف بشكل ملحوظ حيث ظهر أن الانهيار يحصل في منطقة الشد في صفيحة النهاية على الانعطاف وبذلك نكون قد حصلنا على أعلى مقاومة للعقدة في منطقة العمود، كما أن جسد مقطع المجراة قد ساهم في تدعيم منطقة القص في العقدة بشكل ملحوظ من خلال تحويل أنماط الانهيار من منطقة القص إلى منطقة الضغط في العقدة كما تبين دراسة النماذج (FS13→FS16).

6- للبحث تطبيق عملي في التصميم اليومي حيث أن تحليل الإطارات المعدنية بدون اعتبار تأثير صلابة العقدة على توزيع القوى والعزوم بين العناصر فيه بعض التجاوز ويظهر تأثيره بشكل واضح كلما زاد عدد العناصر في الإطار المدروس، ويمكن اعتبار تأثير هذا السلوك في تحليل الإطارات المعدنية باستخدام برامج التحليل الإنشائي من خلال معامل الصلابة البدائي الذي يتم تمثيله من خلال نابض ذو صلابة دورانية في منطقة العقدة.

2.5 التوصيات للأبحاث المستقبلية:

يوجد بعض النقاط التي بحاجة للتوسع في دراستها من أجل الأبحاث المستقبلية:

- 1- تم البحث في سلوك منطقة الشد والقص في العقدة المدعمة ولكن لم يتم اعتبار تأثير التدعيم على منطقة الضغط في العقدة حيث يمكن دراسة هذه المنطقة وتأثير جسد المجراة على مقاومة وصلابة هذه المنطقة بشكل أكثر تفصيلاً.
- 2- تم استخدام تقريب (Jaspart) في تحديد سلوك المكونات بشكل ثنائي الخطية ويمكن استخدام تقريبات أخرى لتحديد سلوك هذه المكونات مثل تقريب (Swanson model (1999) وتقريب (Beg).
- 3- يمكن استخدام برامج المحاكاة العددية في تقدير سلوك المكونات بشكل لاخطي حيث أن البحث في سلوك أحد المكونات بشكل ملحوظ ودقيق يحتاج إلى أبحاث مستقلة.
- 4- يمكن إنشاء نموذج كامل للعقدة المدعمة باستخدام أحد برامج المحاكاة العددية ومقارنة النتائج مع الطريقة الميكانيكية، ولكن هذه الطرق مكلفة برمجياً وتحتاج إلى دقة في نمذجة عناصر العقدة وخصوصاً الاحتكاك بين العناصر.

المراجع

References

- [1] EN1993-1-8 (2002) Eurocode 3: “**Design of steel structures- Part 1.8: Design of joints**”. Brussels:CEN.
- [2] Margarida A, Coelho G (2004). “**Characterization Of The Ductility Of Bolted End Plate Beam-To-Column Steel Connections**”, (Phd Thesis), University of Coimbra, France.
- [3] Tagawa H, Gurel S (2005). “**Application of steel channels as stiffeners in bolted moment connections**”. *Journal of Constructional Steel Research*, 61 (12), 1650–1671.
- [4] Concepción Díaz, Pascual Martí, Mariano Victoria, Osvaldo M. Querin (2010). “**Review on the modelling of joint behaviour in steel frames**”. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(5), 741-758.
- [5] Zoetemeijer P (1974) . “**A Design Method For The Tension Side Of Statically Loaded Bolted Beam-To-Column Connections**”. Heron, Delft, Netherlands.
- [6] “**Joints in Steel Construction: Moment Connections**” (1995), British Constructional Steelwork Association, The Steel Construction Institute, 233 pages.
- [7] Jaspart JP, Maquoi R (1994). “**Prediction of the semi-rigid and partial strength properties of structural joints**”. In: *Proceedings of the Annual Technical Meeting on Structural Stability Research, Lehigh, USA; 177-191.*
- [8] Faella C, Piluso V, Rizzano G (2000). “**Structural semi-rigid connections theory, design and software**”. CRC Press, USA.
- [9] Kuhlmann U, Davison JB, Kattner M (2000). “**Rotation capacity of steel joints: verification procedure and component tests**”. Dordrecht, The Netherlands; 363-372.
- [10] EN1993-1-1 (2003) Eurocode 3: “**Design of steel structures- Part 1.1: General rules and rules for buildings**”. Brussels:CEN.
- [11] Silva Ls. et al (2002). “**Post-Limit Stiffness And Ductility Of End-Plate Beam-To-Column Steel Joints**”. *Computers And Structures*, 515–531.

[12] Packer JA, Morris LJ (1977). **“A limit state design method for the tension region of bolted beam–column connections”**. *Journal of the Structural Engineer*, 55(10).

[13] Gerard Kennedy, Charles Goodchild (1997). **“Practical Yield Line Design”**. British Cement Association On Behalf Of The Industry Sponsors Of The Reinforced Concrete Council.

الملحق A (Appendix A)

طريقة الكود الأوربي لدراسة سلوك عقدة جانز
عمود ذات صفيحة نهاية

1.A مقدمة:

يعتبر الكود الأوربي (EN 1993-1-8) من الكودات المعاصرة في دراسة وتحديد سلوك العقد المعدنية حيث تعتمد معظم برامج تحليل الوصلات المعدنية على الخوارزمية المقدمة في هذا الكود لتحليل العقد المعدنية واستنتاج منحنى العزم – دوران المعبر عن سلوك العقدة.

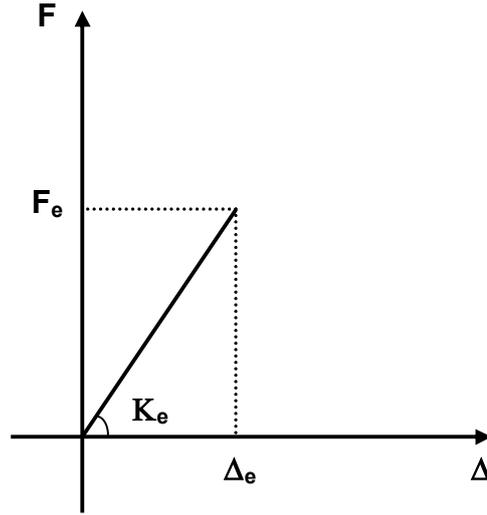
يعتمد الكود الأوربي الطريقة الميكانيكية لتحديد سلوك العقدة المعدنية بشكل عام وعقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية حيث يعتبر النموذج الميكانيكي المطلوب لتحليل هذه العقدة من أعقد النماذج بسبب عدد القوى والمكونات التي تتعرض لها الوصلة.

في الحقيقة ليس من الممكن تحليل العقدة المعدنية بحسب الكود (EN 1993-1-8) بشكل يدوي حيث تحتاج إلى جهد كبير في الحساب حتى لأبسط أنواع العقد، ولكن لا بد من التعرف على الطريقة المقدمة في تحليل العقد المعدنية من أجل فهم سلوكها إمكنية معايرة النتائج وفق برامج حساب العقد المعدنية.

يقوم الكود الأوربي بدراسة عقدة جائر عمود ذات صفيحة نهاية ذات صفيين من البراغي في منطقة الشد مع وجود برغيين في كل صف من خلال تقسيم العقدة إلى ثلاث مناطق وهي منطقة الشد ومنطقة الضغط ومنطقة القص حيث يتم دراسة كل منطقة من خلال دراسة سلوك مكونات هذه المنطقة، ويحدد الكود المذكور سلوك المكونات الرئيسية التي تؤثر بشكل رئيسي على منحنى العزم – دوران للعقدة وهذه المكونات هي كالتالي [1]:

- جسد العمود على القص (CWS).
- جسد العمود على الضغط (CWC).
- جسد العمود على الشد (CWT).
- جناح العمود على الانعطاف (CFB).
- صفيحة النهاية على الانعطاف (EPB).
- جناح الجائر على الضغط (BFC).
- جسد الجائر على الشد (BWT).
- البراغي على الشد (BT).

حيث تتم مكافئة كل مكون من المكونات بنايوض ذو سلوك مرن خطي كما في الشكل (1.A) ويتم تحديد خصائص هذه النوايوض لتمثيل منحنى القوة انتقال بإيجاد المقاومة والصلابة لهذه المكونات وفق البند 6.2 والبند 6.3 على الترتيب كما في الجدول (1.A).



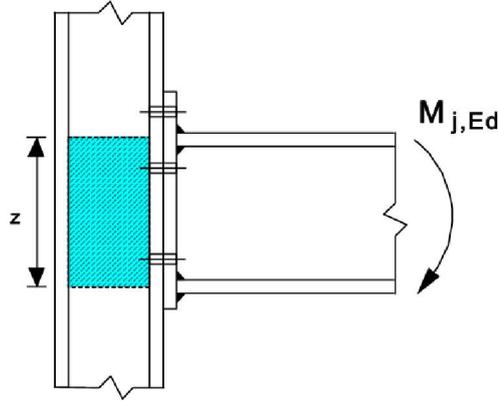
الشكل (1.A): سلوك المكونات المعتمد في الكود الأوربي, [1].

المكون	المقاومة المرنة (F_e)	الصلابة المرنة (K_e)
CWS	$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}}$	$k_{e,cws} = \frac{0.38 A_{vc} E}{\beta z}$
CWC	$F_{cwc,Rd} = \frac{\omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}}$ $\leq \frac{\omega K_{wc} \rho b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m1}}$	$k_{e,cwc} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c}$
CWT	$F_{t,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}}$	$k_{e,cwt} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c}$
CFB	$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad \text{Mode 1} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad \text{Mode 2} \\ \sum B_{t,Rd} \quad \text{Mode 3} \end{array} \right\}$	$k_{e,cfb} = \frac{0.9 L_{eff} t_f^3 E}{m^3}$
EPB	$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4M_{p,Rd}}{m} \quad \text{Mode 1} \\ \frac{2M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad \text{Mode 2} \\ \sum B_{t,Rd} \quad \text{Mode 3} \end{array} \right\}$	$k_{e,cfb} = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3 E}{m_x^3}$

المكون	المقاومة المرنة (F_e)	الصلابة المرنة (K_e)
BFC	$F_{bfc,Rd} = M_{cf,Rd} / (h - t_{fb}) = \frac{Sx f_y}{\gamma_{m0}} / (h - t_{fb})$	-
BT	$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{m2}}$	$k_{e,bt} = \frac{1.6 A_s E}{L_b} :$ $L_b = t_f + t_p + 2t_{wsh} + 0.5(t_n + t_h)$

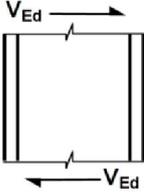
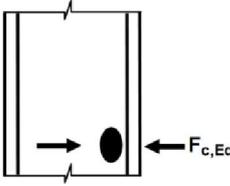
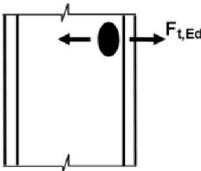
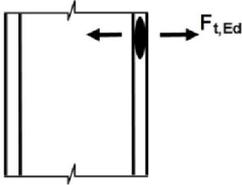
الجدول (1.A): مقاومة وصلابة مكونات العقدة بحسب الكود الأوربي (EC3 1-8), [2].

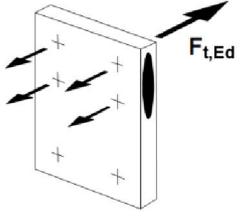
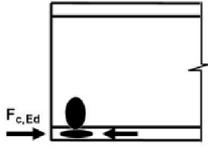
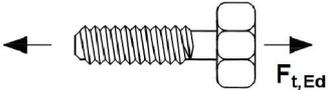
تعتبر النوايض التي تمثل المكونات المضغوطة متوضعة في مركز منطقة الضغط والتي توجد بحسب الكود في مركز جناح الجانز السفلي كما في الشكل (2.A)، كما تعتبر النوايض الممتلئة لمكونات الشد متوضعة في مركز كل صف من البراغي أما مكونات القص فتعتبر متوضعة في مركز الضغط.



الشكل (2.A): مركز الضغط وذراع العزم المقاوم للوصلة بحسب الكود الأوربي, [1].

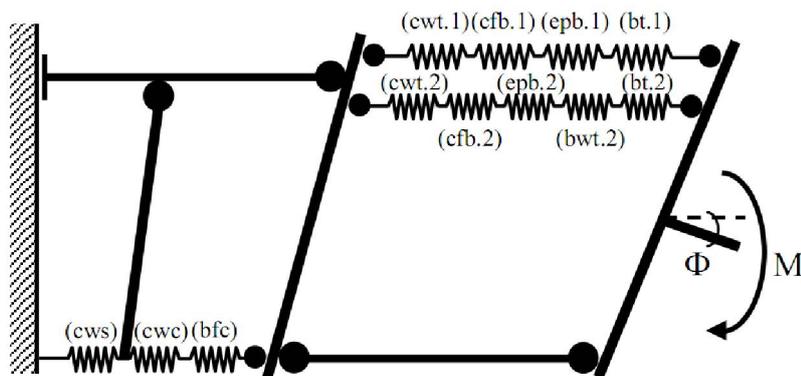
كما يبين الجدول (2.A) وصف المكونات الواردة في الجدول (1.A).

المكون (Component)	الوصف
CWS	
CWC	
CWT	
CFB	

المكون (Component)	الوصف
EPB	
BFC	
BT	

الجدول (2.A): وصف مكونات عقدة جوائز عمود ذات صفيحة نهاية، [1].

وبالتالي يكون نموذج المكونات للعقدة بحسب الكود الأوربي كما في الشكل (3.A).



الشكل (3.A): نموذج المكونات للعقدة بحسب الكود الأوربي، [1].

2.A حساب مقاومة مكونات العقدة:

1.2.A حساب مقاومة جسد العمود على القص:

يعتبر جسد العمود على القص من المكونات ذات المطاوعة العالية وتعطى المقاومة المرنة بحسب الكود الأوربي وفق العلاقة التالية:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}}$$

$$: A_{vc} = A - 2b t_f + t_f (t_w + 2r)$$

2.2.A حساب مقاومة جسد العمود على الضغط:

يعتبر هذا المكون من المكونات متوسطة المطاوعة، وتعطى مقاومة جسد العمود على الضغط بالعلاقة التالية:

$$F_{cwc,Rd} = \frac{\omega K_{wc} b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} \leq \frac{\omega K_{wc} \rho b_{eff,c} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m1}}$$

حيث:

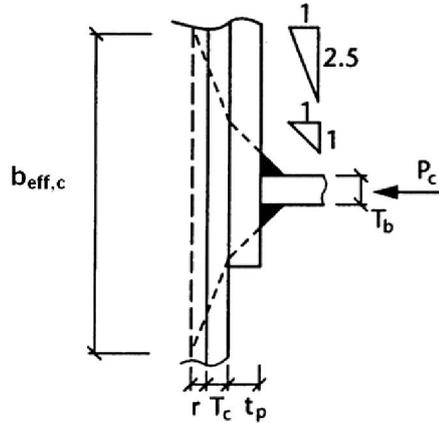
(ω): معامل تخفيض يأخذ بالاعتبار تأثير القص في الجسد على مقاومة الضغط.

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 (b_{eff,c} t_{wc} / A_{vc})^2}}$$

($b_{eff,c}$): يمثل العرض الفعال من جسد العمود المعرض للضغط كما هو موضح في الشكل (4.A).

$$b_{eff,c} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \alpha_p + 5(t_{fc} + S) + S_p$$

$$: S_p = 2t_p, \alpha_p = r$$



الشكل (4.A): العرض الفعال لمنطقة الضغط من جسد العمود, [6].

(ρ): معامل تخفيض من أجل الأخذ بالاعتبار التحنيب.

$$\text{if } \lambda_p \leq 0.72: \quad \rho = 1$$

$$\text{if } \lambda_p > 0.72: \quad \rho = (\lambda_p - 0.2) / \lambda_p^2$$

$$\lambda_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$

(K_{wc}): معامل تخفيض يأخذ بالاعتبار انخفاض مقاومة الضغط في العنصر المدروس نتيجة القوى المحورية في

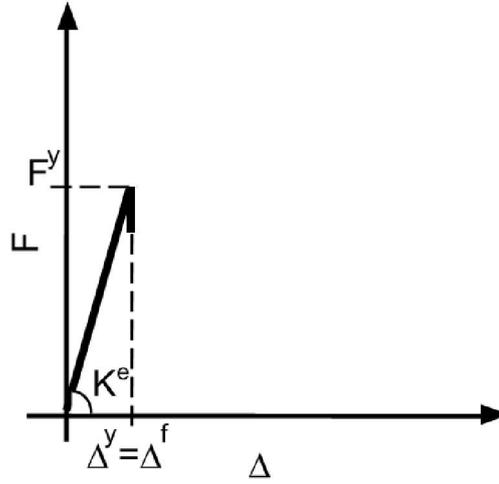
العمود ويمكن اعتباره يساوي الواحد من أجل غرض البحث.

$$K_{wc} = 1$$

3.2.A حساب مقاومة البراغي على الشد:

يعتبر مكون البراغي على الشد من المكونات القصيفة حيث يسلك سلوكها منحنى القوة – انتقال المنحنى الموضح في

الشكل (5.A).



الشكل (5.A): منحنى القوة – انتقال للبراغي، [6].

وتعطى مقاومة البراغي على الشد بحسب الكود الأوربي كما يلي:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{m2}}$$

$$\gamma_{m2} = 1.2$$

حيث (A_s) مساحة الشد للبرغي.

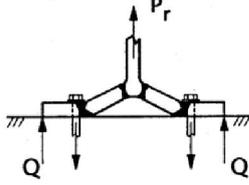
4.2.A حساب مقاومة جناح العمود على الانعطاف:

يعتبر جناح العمود على الانعطاف من المكونات المطاوعة حيث يتم استنتاج مقاومة هذا المكون بدلالة طريقة

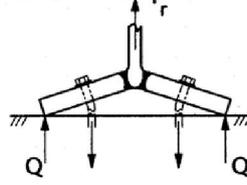
(T-stub) حيث تحدد مقاومة جناح العمود على الانعطاف بالقيمة الأدنى من ميكانيزمات الانهيار التالية:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4 M_{p,Rd}}{m} \quad \text{Mode 1} \\ \frac{2 M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad \text{Mode 2} \\ \sum B_{t,Rd} \quad \text{Mode 3} \end{array} \right.$$

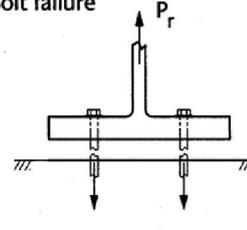
Mode 1:
Complete flange yielding



Mode 2:
Bolt failure with flange yielding



Mode 3:
Bolt failure



صفحة النهاية رقيقة/ براغي قوية



صفحة النهاية سميكة/ براغي ضعيفة

الشكل (6.A): ميكانزمات الانهيار لجناح (T-Stub), [6].

حيث يعبر النمط الأول من الانهيار عن انهيار الجناح فقط ويعبر النمط الثاني عن انهيار الجناح مع البراغي أما النمط الثالث من الانهيار يعبر عن انهيار البراغي، الشكل (6.A).

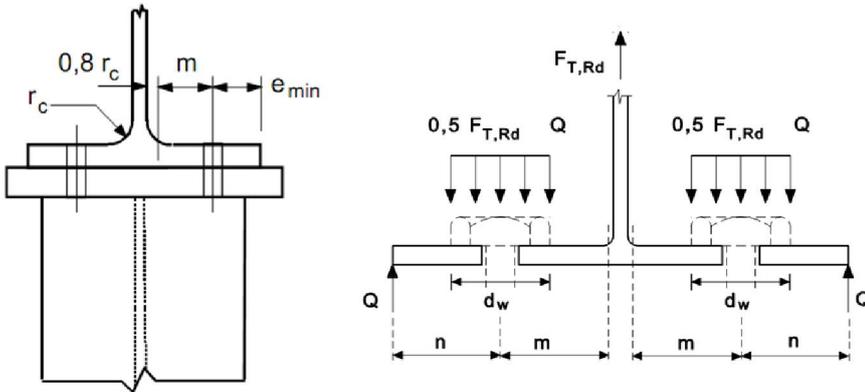
حيث أن:

($M_{p,Rd}$): تمثل عزم الانكسار في جناح (T-Stub) وتعتمد قيمة هذا العزم على الطول الفعال لخطوط الانكسار لمادة الفولاذ وتساوي:

$$M_{p,Rd} = 0.25 \sum 1_{eff} t_f^2 f_y / \gamma_{m0}$$

$$: \gamma_{m0} = 1.1$$

(m, n): الأبعاد الجزئية للبراجي في جناح (T-Stub) المدروس كما هو مبين في الشكل (7.A) حيث أن $n = e_{min}$.



الشكل (7.A): الأبعاد الجزئية لجناح (T-Stub), [1].

(l_{eff}): الطول الفعال لخط الانكسار في جناح (T-Stub) ويتم استنتاج هذا الطول بالاعتماد على التحليل اللدن للصفحة واستنتاج ميكانيزمات الانهيار حيث يعطي الكود الأوربي الصيغ اللازمة لحساب هذا الطول وذلك بحسب صف البراغي المدروس وطريقة دراسة جناح (T-Stub) سواء كان منفصل أم مجتمع كما في الجدول (3.A).

Bolt-row Location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $L_{eff,cp}$	Non-circular patterns $L_{eff,nc}$	Circular patterns $L_{eff,cp}$	Non-circular patterns $L_{eff,nc}$
Inner bolt-row	$2 \pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
End bolt-row	The smaller of: $2 \pi m$ $\pi m + 2e1$	The smaller of: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e1$	The smaller of: $\pi m + p$ $2e1 + p$	The smaller of: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e1 + 0,5p$
Mode 1:	$L_{eff,1}=L_{eff,nc}$ but $L_{eff,1} \leq L_{eff,cp}$		$\sum L_{eff,1}=\sum L_{eff,nc}$ but $\sum L_{eff,1} \leq \sum L_{eff,cp}$	
Mode 2:	$L_{eff,2}=L_{eff,nc}$		$\sum L_{eff,2}=\sum L_{eff,nc}$	

الجدول (3.A): الطول الفعال لجناح العمود على الانعطاف بحسب الكود الأوربي [1].

5.2.A حساب مقاومة جسد العمود على الشد:

يتم تحديد مقاومة جسد العمود على الشد من العلاقة التالية:

$$F_{t,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}}$$

(ω): معامل تخفيض من أجل الأخذ بالاعتبار تأثير قوى القص على مقاومة الجسد للقوى الشادة.

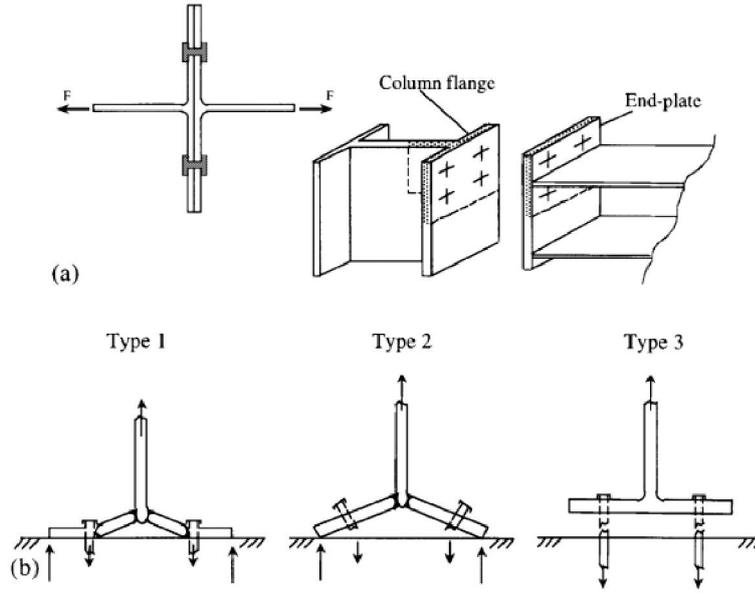
$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1.3(b_{eff,c} t_{wc} / A_{vc})^2}}$$

($b_{eff,t}$): هي الطول الفعال لمنطقة الشد من العمود وبحسب الكود الأوربي تساوي الطول الفعال لجناح (T-

Stub) لجناح العمود على الانعطاف.

6.2.A حساب مقاومة صفحة النهاية على الانعطاف:

يتم تقدير مقاومة صفحة النهاية على الانعطاف بحسب طريقة (T-Stub) كما في جناح العمود حيث يمثل جناح العنصر (T) صفحة النهاية أما جسد العنصر (T) فيمثل جناح الجائر الذي ينقل القوى الشادة كما يبين الشكل (8.A).



الشكل (8.A): تمثيل صفيحة النهاية على الانعطاف بعنصر (T-stub), [8].

وكما في جناح العمود يتم تحديد المقاومة وفق القيمة الأدنى من القيم التالية:

$$F_{t,Rd} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{4 M_{p,Rd}}{m} \quad \text{Mode 1} \\ \frac{2 M_{p,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad \text{Mode 2} \\ \sum B_{t,Rd} \quad \text{Mode 3} \end{array} \right.$$

حيث يعبر النمط الأول من الانهيار عن انهيار الجناح فقط ويعبر النمط الثاني عن انهيار الجناح مع البراغي أما النمط الثالث من الانهيار يعبر عن انهيار البراغي.

حيث أن:

$(M_{p,Rd})$: تمثل عزم الانكسار في جناح (T-Stub) وتعتمد قيمة هذا العزم على الطول الفعال لخطوط الانكسار لمادة الفولاذ وتساوي:

$$M_{p,Rd} = 0.25 \sum 1_{eff} t_f^2 f_y / \gamma_{m0}$$

$\gamma_{m0} = 1.1$

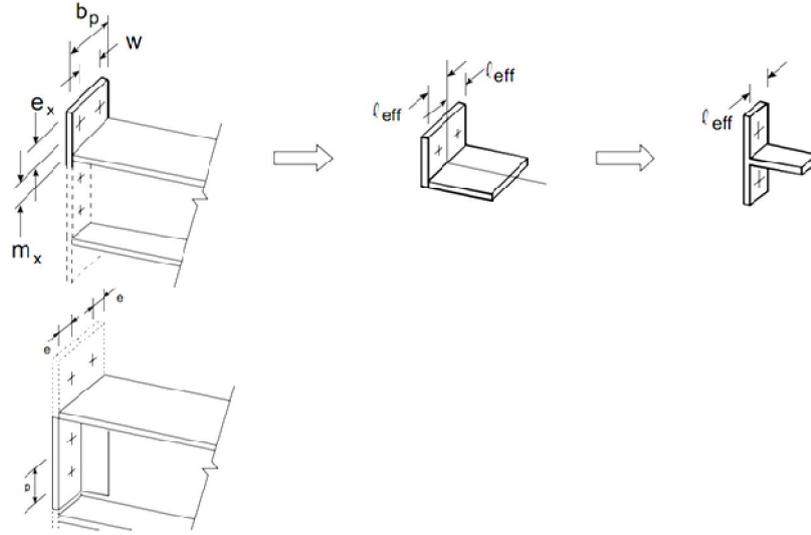
(m, n) : الأبعاد الجزئية للبراغي في جناح (T-Stub) المدروس حيث:

$$n = e_{min}$$

$$e_{min} = e \quad \text{for Inner bolt-row.}$$

$$e_{min} = e_x \quad \text{for First bolt-row below tension flange of beam.}$$

حيث يبين الشكل (9.A) طريقة استنتاج نموذج (T-Stub) لصف البراجي فوق جناح الجانز مع الأبعاد الجزئية الخاصة.



الشكل (9.A): طريقة استنتاج نموذج (T-Stub) الممثل لمكون صفيحة النهاية لصف البراجي فوق جناح الجانز, [1].

(l_{eff}): تمثل الطول الفعال لخطوط الانكسار التي من المحتمل أن تتشكل في صفيحة النهاية ويتم استنتاجها بحسب الدراسة اللدنة لخطوط الانكسار ويعطي الكود الأوربي الصيغ اللازمة لحساب هذا الطول بحسب موقع صف البراجي المدروس وبحسب كون الدراسة لصفوف البراجي مجتمعة أو منفردة ونمط الانهيار كما في الجدول (4.A).

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $L_{eff,cp}$	Non-circular patterns $L_{eff,nc}$	Circular patterns $L_{eff,cp}$	Non-circular patterns $L_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2 \pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Smallest of: $4m_x + 1,25 e_x$ $e+2m_x+0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w+2m_x+0,625e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2 \pi m$	am	$\pi m + p$	$0,5p + am - (2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2 \pi m$	$4m + 1,25 e$	$2P$	P
Other end bolt-row	$2 \pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m+0,625e + 0,5p$
Mode 1:	$L_{eff,1}=L_{eff,nc}$ but $L_{eff,1} \leq L_{eff,cp}$		$\sum L_{eff,1} = \sum L_{eff,nc}$ but $\sum L_{eff,1} \leq \sum L_{eff,cp}$	
Mode 2:	$L_{eff,2}=L_{eff,nc}$		$\sum L_{eff,2} = \sum L_{eff,nc}$	

الجدول (4.A): الطول الفعال لصفيحة النهاية على الانعطاف بحسب الكود الأوربي, [1].

وبعد حساب مقاومات العناصر يتم حساب القوى النهائية في كل صف من البراعي بحسب الاشتراطات التالية:

- يتم حساب المقاومة لكل صف من صفوف البراعي بالقيمة الأدنى من مقاومة المكونات.
- يتم حساب المقاومة للصف الأول من البراعي بالقيمة الأدنى من مقاومة المكونات المنفصلة.
- يتم حساب مقاومة الصف الثاني من البراعي وحتى الصف (i) بالقيمة الأدنى من ما يلي:
 - المكونات المنفردة.
 - المكونات مجتمعة مطروحا منها مقاومة الصف الذي السابق.
- يجب ألا تتجاوز المقاومة لأي صف من الصفوف عدا الصف الأول مقاومة جسد العمود على القص أو مقاومة جسد العمود على الضغط أو مقاومة جسد وجناح الجانز على الضغط.

ووفقاً لهذه الاعتبارات يمكن صياغة مقاومة صفوف البراعي كالتالي [2]:

مقاومة الصف الاول من البراعي:

$$F_{t1,Rd} = \min(F_{cws,Rd} / \beta, F_{cwc,Rd}, F_{bfc,Rd}, F_{cwt1,Rd}, F_{cfb1,Rd}, F_{epb1,Rd}, F_{bt1,Rd})$$

مقاومة الصف الثاني من البراعي:

$$F_{t2,Rd} = \min(F_{cws,Rd} / \beta - F_{t1,Rd}, F_{cwc,Rd} - F_{t1,Rd}, F_{bfc,Rd} - F_{t1,Rd}, F_{cwt2,Rd}, F_{cfb2,Rd}, F_{epb2,Rd}, F_{bt2,Rd}, F_{cwt(1+2),Rd} - F_{t1,Rd}, F_{cfb(1+2),Rd} - F_{t1,Rd}, F_{bt(1+2),Rd} - F_{t1,Rd})$$

ويكون العزم المقاوم للوصلة بحسب الكود:

$$M_{Rd} = \sum_r h_r F_{t,Rd}$$

: r bolt row

(h_r): تمثل بعد صف البراعي المدروس عن مركز الضغط الذي يتم تحديده في الجناح السفلي للجائز.

($F_{t,Rd}$): المقاومة الفعالة لصف البراعي وفق الحساب من الأعلى إلى الأسفل وبحسب المكون الاضعف.

3.A حساب معامل الصلابة المرنة بحسب الكود الأوربي:

يتم تقدير معامل الصلابة بحسب الكود الأوربي بالاعتماد على نظرية المكونات حيث يتم اعتبار المكونات على شكل نوابض مرنة لكل منها صلابة محددة ويتم تجميعها على التسلسل وعلى التفرع لاستنتاج معامل الصلابة كما في النموذج الموضح في الشكل (17.2).

ويحدد معامل الصلابة المرنة للعقدة كما في العلاقة:

$$S_{j,ini} = \frac{M}{\phi} = z^2 \frac{k_{ec} k_{eq}}{k_{ec} + k_{eq}}$$

حيث أن:

(k_{ec}): الصلابة المكافئة لمكونات الضغط وتعطى بالعلاقة:

$$k_{ec} = \frac{1}{\frac{1}{k_{e,cws}} + \frac{1}{k_{e,cwc}}}$$

(k_{eq}): الصلابة المكافئة لمكونات الشد في صفي البراغي.

$$k_{eq} = \frac{k_{et1} z_1 + k_{et2} z_2}{z}$$

(z): ذراع العزم وتعطى بالعلاقة:

$$z = \frac{k_{et1} z_1^2 + k_{et2} z_2^2}{k_{et1} z_1 + k_{et2} z_2}$$

حيث:

(k_{eti}): الصلابة المكافئة لمكونات الشد على التسلسل في صف البراغي (i).

(z_i): المسافة بين صف البراغي (i) ومركز الضغط.

حيث تعطى الصلابة المكافئة لمكونات الشد على التسلسل في صف البراغي الواحد بالعلاقة:

$$k_{eti} = \frac{1}{\frac{1}{k_{e,cwti}} + \frac{1}{k_{e,cfbi}} + \frac{1}{k_{e,epbi}} + \frac{1}{k_{e,bti}}}$$

تعطى معاملات الصلابة بحسب الكود بالعلاقات التالية:

جسد العمود على القص:

$$k_{e,cws} = \frac{0.38 A_{vc} E}{\beta z}$$

جسد العمود على الضغط:

$$k_{e,cwc} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c}$$

جسد العمود على الشد:

$$k_{e,cwt} = \frac{0.7 b_{eff} t_w E}{d_c}$$

جناح العمود على الانعطاف:

$$k_{e,cfb} = \frac{0.9 L_{eff} t_f^3 E}{m^3}$$

صفحة النهاية على الانعطاف:

$$k_{e,epb} = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3 E}{m_x^3}$$

البراغي على الشد:

$$k_{e,bt} = \frac{1.6 A_s E}{L_b} :$$

$$L_b = t_f + t_p + 2t_{wsh} + 0.5(t_n + t_h)$$

4.A تحديد سعة الدوران بحسب الكود الأوربي:

في الحقيقة لا يعطي الكود الأوربي صيغة واضحة لحساب سعة الدوران لوصلة جوائز عمود موصولة بالبراغي، إنما يعتبر أن الوصلة تملك سعة دوران كافية من أجل التحليل اللدن إذا تحقق الشرط التالي وذلك في حال تشكل العزم المقاوم للوصلة من مقاومة جسد العمود على القص أي أن جسد العمود على القص هو المكون الأضعف:

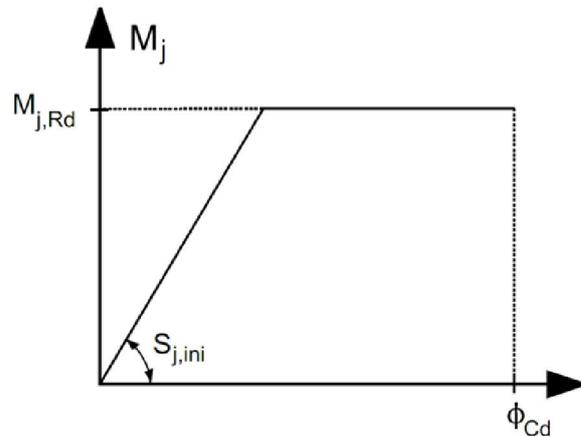
$$d / t_w \leq 69 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

أما في حال تشكل العزم المقاوم للوصلة من مقاومة جناح العمود على الانعطاف أو صفحة النهاية على الانعطاف فيمكن اعتبار أن الوصلة تملك سعة دوران كافية للتحليل اللدن إذا سماكة كل من جناح العمود أو صفحة النهاية أقل من القيمة التالية:

$$t \leq 0.36 d \sqrt{f_{ub} / f_y}$$

وفي النهاية بعد حساب مقاومة العقدة وصلابتها وسعة دورانها يكون المنحني المميز لسلوك العقدة بحسب الكود الأوربي كما في المنحني المبين في الشكل (10.A).



الشكل (10.A): منحني العزم - دوران للعقدة بحسب الكود الأوربي, [1].

Abstract:

In this research, a channel was used to strengthen the column zone in beam-column steel joint. The performance of the joint before and after strengthening was investigated using Materially Non-linear analysis and T-stub model which takes the component method into account. On the other hand, a comparison with the Eurocode 3 was performed.

The effect of the thickness of both channel flange and channel web on the ductility and resistance moment was studied in this research.

It is shown that adding a channel enhances the ductility and the resistance moment significantly. Moreover, it is explored that ignoring the real behaviour of the joint may affect the actual performance of steel structures.

Keywords: *Beam-to-column joint; Bolted moment connection; Stiffener; Channel; Yield mechanism; component method, T-stubs model, non linear behavior, Ductility*

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering



***Determination Of The Ductility Of Bolted End Plate Beam-To-
Column Steel Joints Stiffened With Steel Channel***

*Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the
degree of Master of Science in Structural Engineering*

By

Hazem Alrayes

Supervisor

Dr. Afif Rahma

Damascus 2013