مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد(1) – 2025: 89-114

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (1) -2025: 89-114

التصميم الأمثل لعناصر التقوية في الديافرامات المسندية شبه المنحرفة في الجسور الصندوقية المعدنية المستندة على مسند وحيد عند مركز الصندوق

برهان الدين مهند كلش*[1] غياث حلاق[2]

[1*] طالب ماجستير–مهندس في قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق.
Borhan94.kalash@damascusuniversity.edy.sy

[2] أستاذ، دكتور، مهندس– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق.
GhayathHallak@Damascusuniversity.edu.sy

تاريخ الايداع: 2022/12/20
تاريخ القبول:21 /2/ 2023

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

الملخص:

تلعب عناصر التقوية في الديافرامات المسندية المتوضعة في الجسور الصندوقية المعدنية دوراً محورياً في تحديد سلوك ومقاومة الانهيار لهذه الديافرامات. لم تتوفر أية معلومات عن تأثير تغيير ترتيب وتموضع وأبعاد عناصر التقوية على سلوك وحمل الانهيار للديافرامات شبه المنحرفة. سيتم في هذه الورقة بناء نموذج عددي ثلاثي البعد باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة والقادر على محاكاة السلوك الحقيقي لهذه الديافرامات وبعد التأكد من صلاحية هذا النموذج بمقارنته مع تجربة مخبرية سابقة، سيتم إجراء دراسة بارومترية للوصول إلى التموضع والأبعاد والترتيب الأمثل لعناصر التقوية في الديافرامات شبه المنحرفة المستندة على مسند وحيد عند مركز الصندوق. المتغيرات في الدراسة البارومترية: نسبة (عرض/ارتفاع) الديافرام، ترتيب، وقياس عناصر التقوية. إن معيار المقارنة هو حمل الانهيار.

الكلمات المفتاحية: الجسور الصندوقية المعدنية، الديافرامات شبه المنحرفة، عناصر تقوية الديافرام.

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.pHp/index/index
ISSN (online): 2789-6854

Optimum Design of Stiffeners in Trapezoidal Load-Bearing Diaphragms in Steel-Box Girders Having a Central Support

Burhan aldin Mohand Kalash*[1] Ghayath Hallak[2]

*[1.] Master student- Eng, Department of Structural Engineering- Damascus University.
Borhan94.kalash@damascusuniversity.edy.sy

[2.] Professor- Dr, Eng, Department of structural engineering- Damascus University. GhayathHallak@Damascusuniversity.edu.sy

Received: 20/12/2022
Accepted: 21/2/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

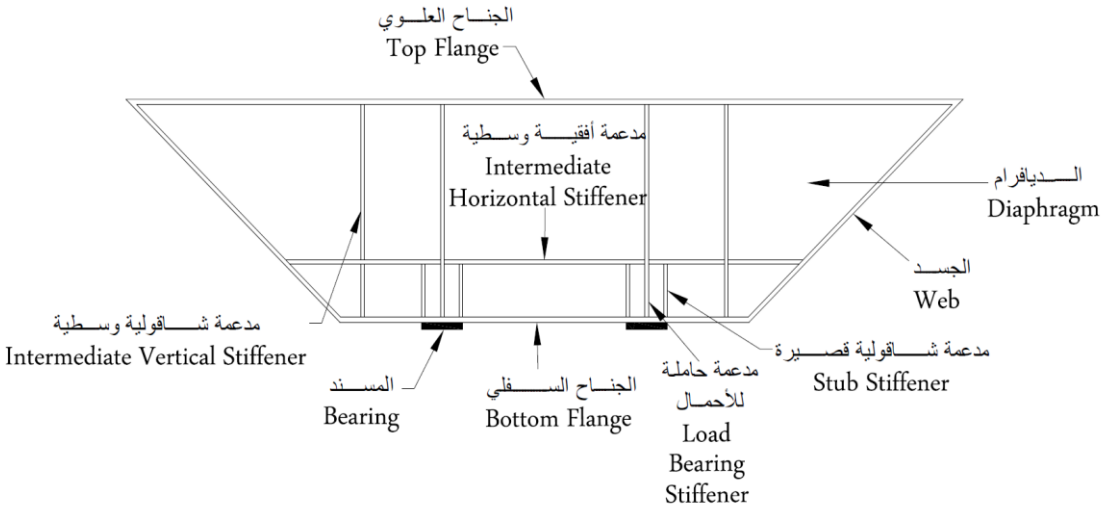
Stiffeners of Load-Bearing Diaphragms in steel box girders play a crucial role in determining the behavior and ultimate strength of those diaphragms. There is no information on the effect of altering arrangements and sizes of the Stiffeners on the behavior and collapse load of trapezoidal Load-Bearing diaphragms. This paper shows the 3-D numerical model built using Abaqus finite element software, which is capable of stimulating the real behavior of those diaphragms. After establishing validity of the model by comparing it with a previous laboratory experiment, a parametric study is carried out to determine the optimal arrangement and sizes of stiffeners in trapezoidal Load-Bearing Diaphragms that are supported on a single bearing located at the central of the box. Variables in the parametric study are: Breadth/Depth ratio of the diaphragms, the size and arrangement of the stiffeners. The criterion for the comparison is collapse load.

Keywords: Steel Box Girder, Trapezoidal Load-Bearing Diaphragms, Diaphragm Stiffeners.

المقدمة:

وظيفتها توزيع الحمل إلى صفيحة الديافرام والمساهمة في استقراره ، مدعمات شاقولية قصيرة (Stub Stiffeners) وتتوضع فوق المسند، مهمتها تدعيم صفيحة الديافرام بالقرب من المسند بحيث يتم توزيع الإجهادات الضاغطة المركزة من خلال تلدن الصفيحة، مدعمات شاقولية وأفقية وسطية (Intermediate Vertical and Horizontal stiffener) مهمتها تقسيم صفيحة الديافرام لأجزاء ذات نسب نحالة مقبولة[2]. يوضح الشكل(1) أنواع هذه المدعمات.

تتعرض الديافرامات المسندية في الجسور الصندوقية المعدنية إلى تراكب إجهادات ناتج عن قوى مختلفة أهمها: قوى القص المنقولة من الجسد وعزم الانحناء ضمن المستوي والناتج عن تصرف الديافرام كجائز محمل ومستند على المساند بالإضافة الى عزم الانحناء خارج المستوي والناتج عن لا مركزية المساند[1]. يتم تدعيم الديافرامات المسندية في الجسور الصندوقية المعدنية بعناصر تقوية تشمل: مدعمات حاملة للأحمال(Load-Bearing Stiffener) وتتوضع فوق المسند وتمتد من الجناح السفلي فوق المسند تماماً حتى الجناح العلوي



الشكل (1) أنواع مدعمات الديافرامات في الجسور الصندوقية المعدنية

منDean and Dowling [4] اختبارات على 6 ديافرامات مسندية مستطيلة مدعمة بعضها مزود بفتحات في منتصف الديافرام وموزعة على جسرين. لاحظ الباحثون أن أنماط الانهيار في الديافرامات المدعمة والمستندة على مسندين كانت متشابهة وهي عبارة عن خطوط انكسار بدءاً من الزاوية السفلية للفتحة وبشكل مائل نحو الأسفل وآلية الانهيار هي ذاتها في الديافرامات غير المدعمة وهذا يؤكد الدور الرئيسي للصفيحة في تحديد آلية الانهيار.

ازداد الاهتمام بدراسة سلوك الجسور الصندوقية عموماً والديافرامات المسندية خصوصاً على أعقاب انهيار جسر ميلفورد أثناء تشييده في انكلترا عام 1970 كنتيجة لانهيار إحدى الديافرامات المسندية، تبين أن الانهيار ليس فقط بسبب سوء الصنع (Imperfection) للديافرام ولكن بسبب عزم الإنحناء خارج المستوي الذي تعرض له الديافرام بسبب لامركزية المسند والتي بالأساس لم يكن مصمم عليها[3]. تم إجراء تجارب مخبرية على الديافرامات وذلك للحصول على معرفة أوسع عن سلوك هذه الديافرامات حيث أجرى كل

للمسند يعطي أكبر زيادة في حمل الانهيار وذلك في حالة توضع المساند عند التقاء الجسد مع الجناح السفلي. وبالنسبة للديافرامات المستندة على مسند يبعد مسافة عن التقاء الجسد مع الجناح السفلي فإن أكبر زيادة في حمل الانهيار حصلت عند استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال على حافتي المسند كما لوحظ وجود زيادة مهمة في حمل الانهيار عند استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمتين شاقوليتين قصيرتين على حافة المسند. أما بالنسبة للديافرامات المستندة على مسند وحيد عند مركز الصندوق، حصلت أكبر زيادة قي حمل الانهيار عند استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال على حافة المسند.

تم في هذه الورقة بناء نموذج عددي ثلاثي البعد باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة و القادر على محاكاة السلوك الحقيقي لهذه الديافرامات و بعد التأكد من صلاحية هذا النموذج بمقارنته مع تجربة مخبرية سابقة، سيتم إجراء دراسة بارومترية للوصول إلى التموضع والأبعاد والترتيب الأمثل لعناصر التقوية في الديافرامات شبه المنحرفة المستندة على مسند وحيد عند مركز الصندوق. إن معيار المقارنة هو حمل الانهيار.

أما الباحثان Irwin and Loe[4,1] فقد أجريا اختبارات على الديافرامات المسندية شبه المنحرفة المدعمة. حصل الانهيار بسبب تحنيب المدعمات والصفيحة معاً كما وجد الباحثان أن مدعمات الجسد والأجنحة العرضية القريبة من الديافرام تؤمن مساراً ثانوياً لانتقال حوالي 30% من الأحمال من الجسد إلى المسند مباشرةً.

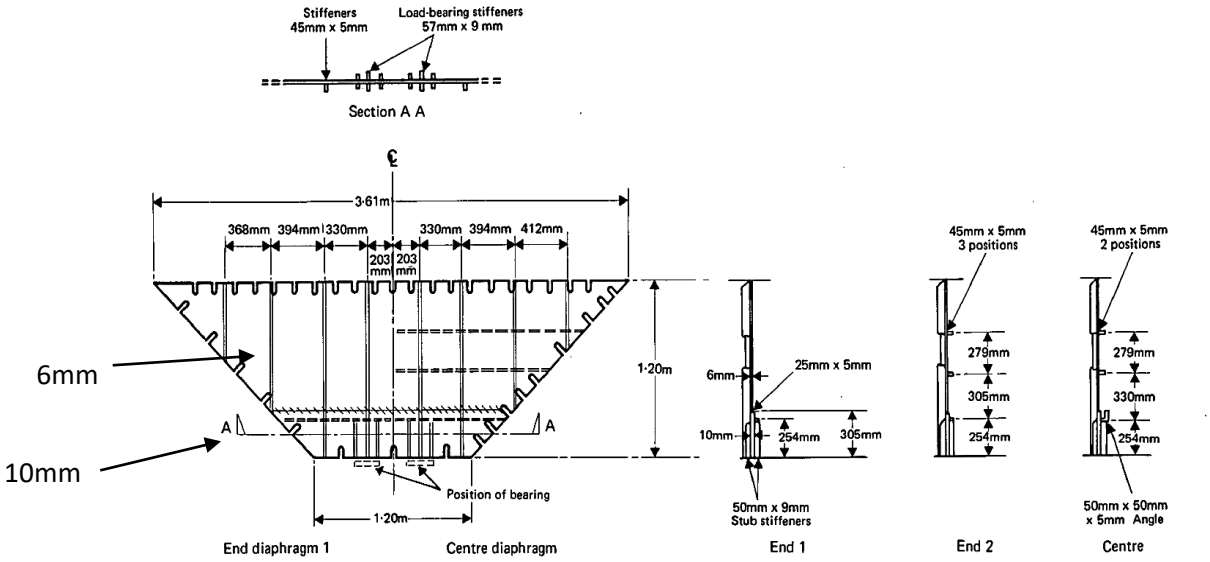
تم اختبار أربع ديافرامات مسندية طرفية مستطيلة غير مدعمة موزعة على جسرين صندوقين من قبل Dean and[4] Dowling. هذه الديافرامات لها نسبة عرض إلى سماكة تتراوح بين 44 و 136. انهارت الديافرامات ذات نسبة النحالة الأكبر بسبب تحنيب الصفيحة وانتشار اللدونة عند حمل يفوق ضعف حمل التحنيب الحرج المرن، بينما انهارت الديافرامات المكتنزة (stocky) عند حمل قريب من حمل دهس المسند (squash load).

أجرى الباحثان Megson and Hallak[2,5,6,7] دراسة بارومترية موسعة لتحديد التصميم الأمثل للديافرامات المستطيلة المسندية و ذلك من خلال بناء نموذج عددي يحاكي إحدى الديافرامات المستطيلة المختبرة في (Imperial College)، وقد وجدا أن استخدام مدعمة حاملة للأحمال عند الزاوية الداخلية

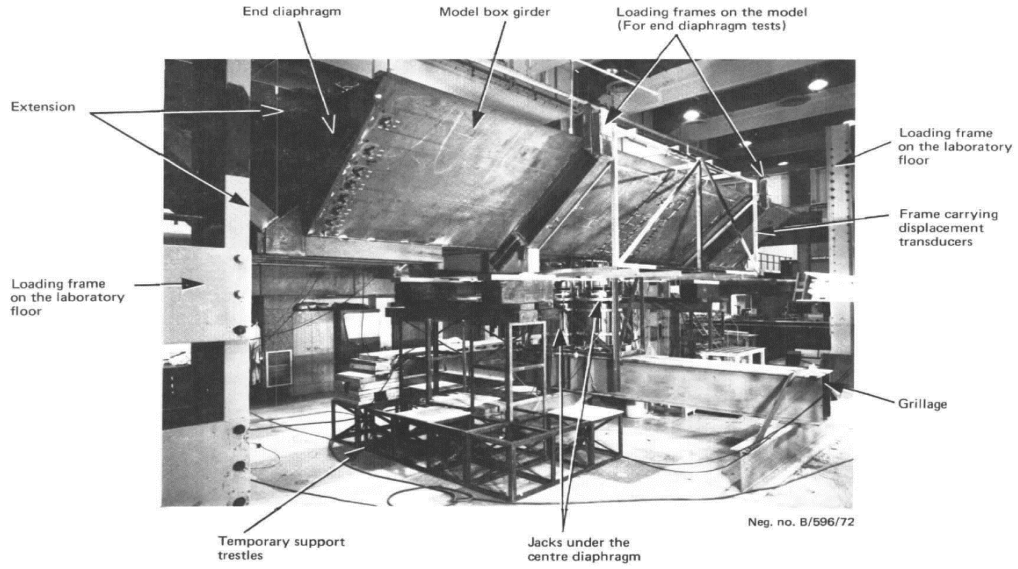
1-الدراسة المرجعية المعتمدة[1]:

تم اعتماد التجربة المخبرية المجراة في مختبر أبحاث النقل والطرقات في انكلترا (TRRL) لجائز صندوقي شبه منحرف متوضع بداخله 3 ديافرامات: اثنان طرفيان و ثالث مركزي و ذلك كمعيار لمقارنة صحة النتائج للنموذج الحسابي المقترح.

يوضح الشكل (2) أبعاد وتفاصيل الديافرامات المختبرة والشكل (3) النموذج المختبر.



الشكل (2) أبعاد و تفاصيل الديافرامات المختبرة[1]



الشكل (3) النموذج المختبر فيTRRL[1]

2-1 خصائص المواد:

النموذج بأكمله مصنع من الفولاذ صنف 50B وفق الكود البريطاني BS4360 أما قيم إجهاد الخضوع الوسطية لكل مكون من مكونات الصندوق فهي موضحة في الشكل (4):

Mean static yield stresses for the model components

Component \ Nominal thickness	3 mm (1/8 in)	5 mm (3/16 in)	6 mm (1/4 in)	10 mm (3/8 in)
Diaphragm plates: East	–	–	440 (4, 5.5%)	410 (3, 1.4%)
West	–	–		
Central	–	–	455 (2, 2.2%)	
Diaphragm stiffeners: stub,	–	–	–	385 (2, 1.8%)
load bearing,	–	–	–	400 (2, 0.6%)
others	–	425 (2, 1.6%)	–	–
Web plates; north east,	–	–	480 (2, 2.9%)	–
south east,	–	–	380 (2, 0)	–
north west,	–	–	475 (2, 2.1%)	–
south west,	–	–	450 (2, 1.5%)	–
north central,	350 (2, 7.3%)	–	–	–
south central	395 (2, 2.2%)	–	–	–
Web stiffeners	–	370 (1, –)	425 (2, 1.1%)	–
Upper flange; plate,	–	435 (2, 2.7%)	–	–
longitudinal stiffeners,	–	–	445 (1, –)	–
transverse stiffeners	–	–	444 (1, –)	–
Lower flange; plate,	–	–	–	405 (2, 1.0%)
longitudinal stiffeners,	–	–	415 (1, –)	–
transverse stiffeners	–	–	444 (1, –)	–

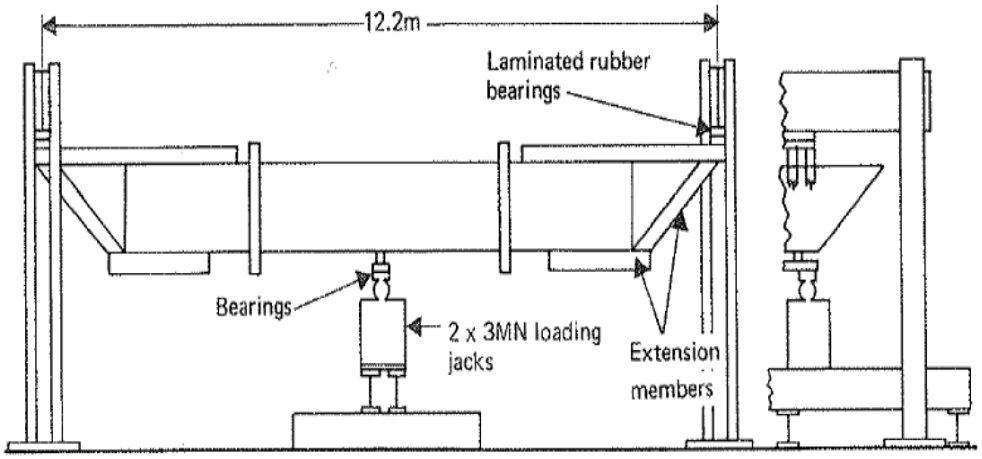
Mean static yield stress, Nmm^{-2} (No. of specimens tested; difference between highest and lowest test result as a percentage of the mean)

الشكل (4) قيم إجهاد الخضوع الوسطية لكل مكون من مكونات الصندوق[1]

2-2 إجراء التجربة:

على الديافرام المركزي بواسطة مضختين هيدروليكيتين أسفل الديافرام كل منها قادرة على تطبيق حمل يصل إلى 3000 kN. يوضح الشكل (5) آلية إجراء تجربة الديافرام المركزي.

عند اختبار الديافرام المسندي المركزي كان لابد من إطالة نموذج الجسر باستخدام عناصر إضافية و ذلك للحصول على قص و عزم بالنسب المطلوبة. تم تطبيق الحمل بشكل تدريجي

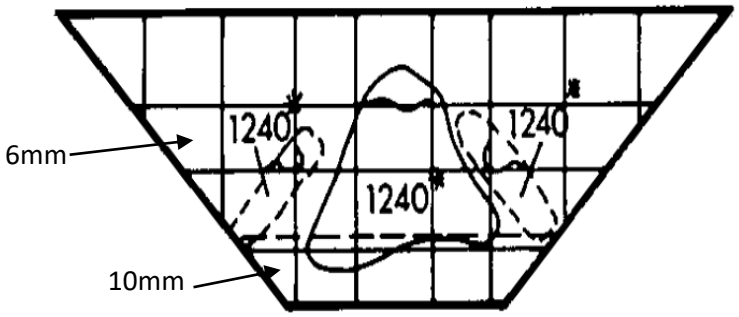


الشكل (5) تجربة اختبار الديافرام المركزي[4]

2-3 سلوك الديافرام المركزي:

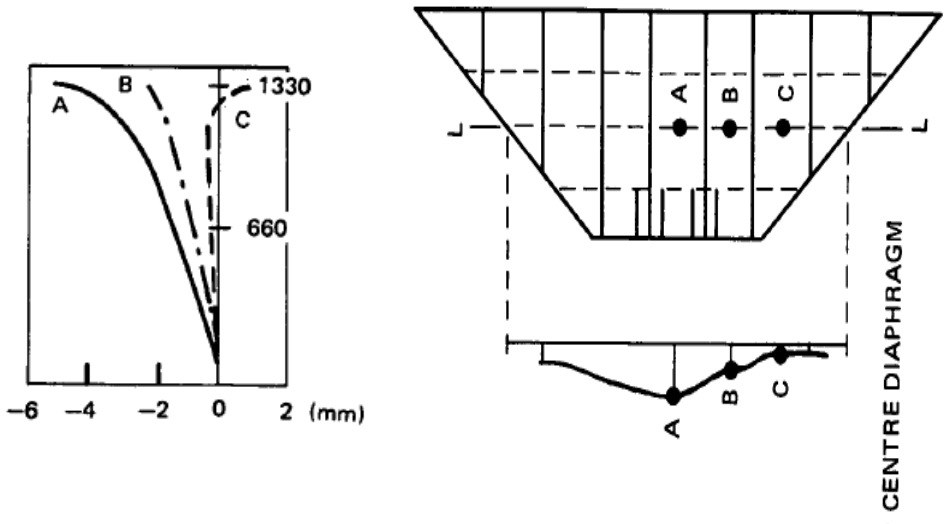
صفيحة الديافرام ذو سماكة 6mm في المنطقة بين المسند والجسد المجاور. في الوقت ذاته كان الانحناء في المنطقة المركزية يزداد بشكل ملحوظ وأدى ذلك إلى تشوه الجزء العلوي لصفيحة الديافرام ذو السماكة 10mm وحصل الانهيار عند حمل 1330kN للمسند نتيجة لتطور التحنيب في هذه المناطق. يبين الشكل (6) شكل الانهيار.

كما ورد في الشكل (2) فإن الديافرام مؤلف من صفيحة سفلية سماكة 10mm وصفيحة علوية سماكة 6mm. بدأت المنطقة المركزية للديافرام بالانحناء مع بدء التحميل ثم توسع الانحناء ليصل إلى المدعمات الشاقولية. عند الوصول إلى حمل 1120kN للمسند حدث خطأ في نظام التحكم مما أدى إلى إزالة الحمل وإعادة التجربة في اليوم التالي. عند إعادة التحميل والوصول إلى حمل 1200kN للمسند ظهر التحنيب في



الشكل (6) أماكن التحنيب في الديافرام المركزي مع قيم الأحمال التي ظهرت عندها[1]

كما يوضح الشكل (7) الانتقالات خارج المستوي لثلاث نقاط من الديافرام.

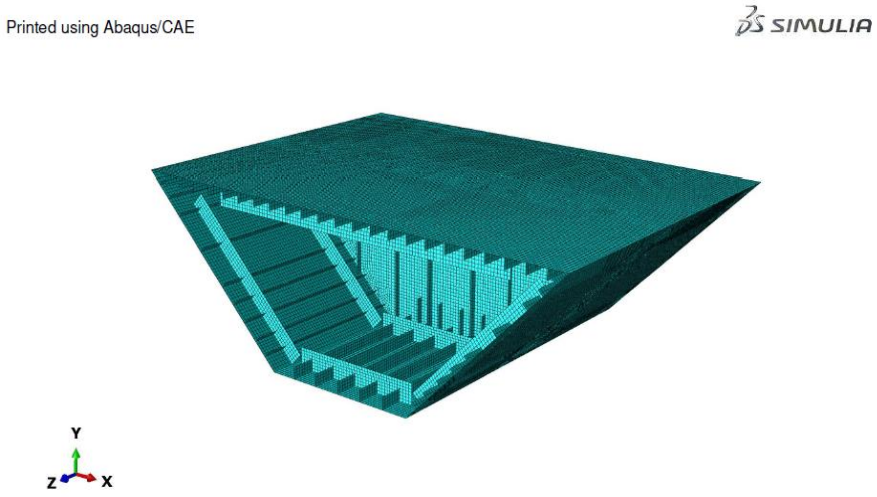


الشكل (7) انتقال النقاط A,B,C خارج المستوي وصولاً للانهيار[1]

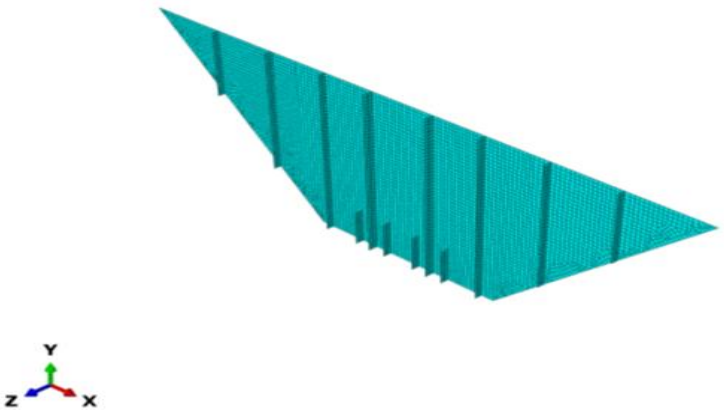
3-النموذج العددي:

1.1D من كل طرف مع الديافرام المركزي وذلك عوضاً عن نمذجة كامل الجسر بأكمله وذلك باستخدام برنامج Abaqus. يوضح الشكل (8) النموذج العددي المقترح والشكل (9) شكل الديافرام العددي (جهة المدعمات الشاقولية).

تم اقتراح بناء نموذج عددي ثلاثي البعد ليحاكي و يتوقع سلوك الديافرام المركزي الشبه المنحرف بالاعتماد على الأبحاث المقدمة من الباحثين Megson & Hallak المتعلقة بالديافرام مستطيل الشكل. تم نمذجة جزء من الجائز الصندوقي بمقدار



الشكل (8) النموذج العددي المقترح للديافرام المركزي المختبر

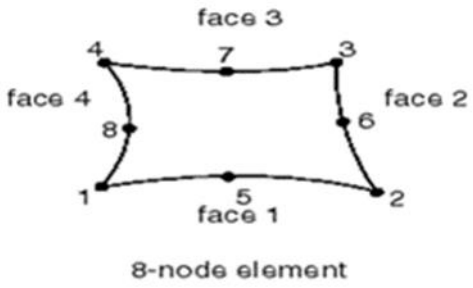


الشكل (9) الديافرام المركزي في النموذج العددي (جهة المدعمات الشاقولية)

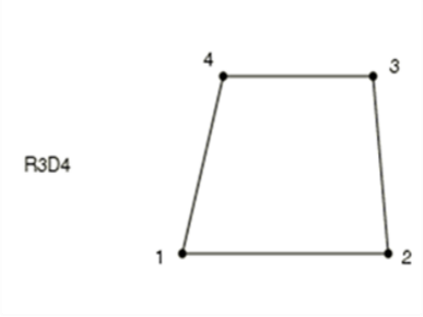
3-1 العناصر المستخدمة في النمذجة:

integration)، أما المساند فقد تم نمذجتها باستخدام عنصر صلد رباعي الأضلاع ذو أربع عقد (R3D4).

تمت نمذجة الصفائح وعناصر التقوية باستخدام عنصر قشري مزدوج الانحناء (S8R) ذو ثمانية عقد وستة درجات من الحرية لكل عقدة (D.O.F 6) وتكامل مخفض (Reduced



الشكل (10) العنصر القشري S8R

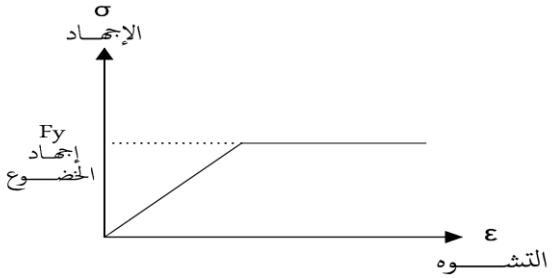


الشكل (11) العنصر الصلدR3D4

3-2 مواصفات المواد في النموذج العددي:

اعتماد القيم الواردة في الشكل(4) مع إهمال التقسية. يوضح الشكل (12) السلوك المعتمد للمادة:

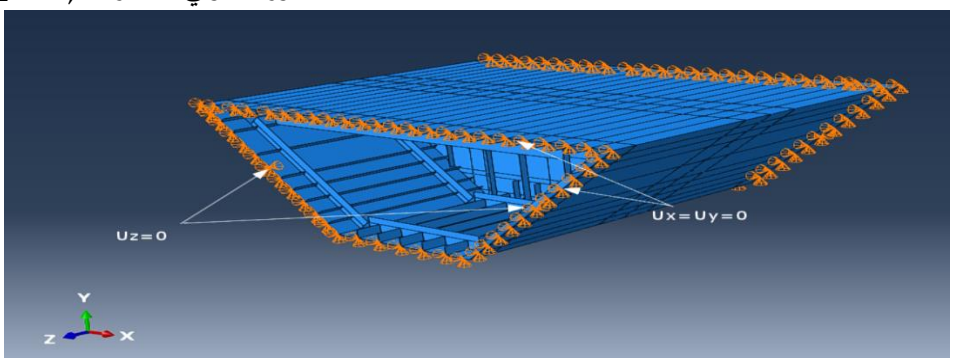
معامل المرونة E=205000 MPa ، نسبة بواسون μ=0.3، أما قيم إجهاد الخضوع F_y لكل مكون من مكونات الصندوق فتم



الشكل (12) السلوك المعتمد المادة

3-3:الشروط المحيطية (Boundary Conditions) المعتمدة في النموذج العددي:

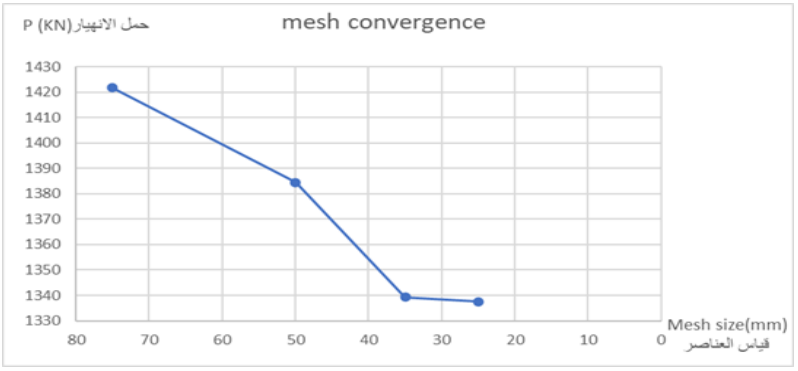
انتقالات الأجنحة و الأجساد عند الأطراف مقيدة بالاتجاهين $(u_x = u_y = 0)$ أما النقطة في منتصف الأجساد فمقيدة أيضا باتجاه المحور الطولي للجسر z $(u_z = 0)$.



الشكل (13) الشروط المحيطية

4-3 تحديد التقسيم الأمثل لشبكة العناصر (Optimum Mesh):

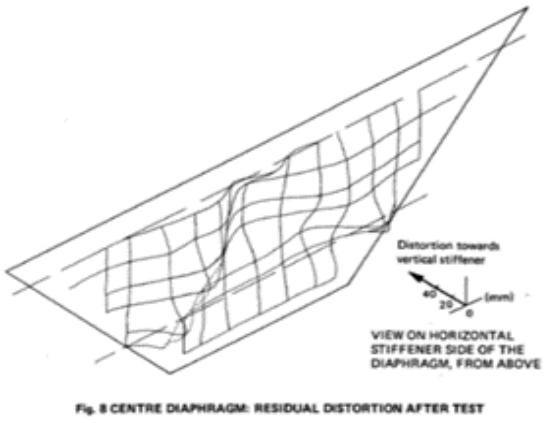
تم اختبار عدة قياسات للعناصر(25،35،50،75 mm) وذلك للوصول الى التقسيم الأمثل والذي عنده يصبح التغير في نتائج التحليل (حمل الانهيار،انتقالات،...) ضئيل مهما تغير قياس العناصر بعدها. كان الإختلاف في نتائج حمل الانهيار بين التقسيمتين (25،35) ضئيل بنسبة لا تتعدى 0.14%. سيتم اعتماد تقسيمة 25mm



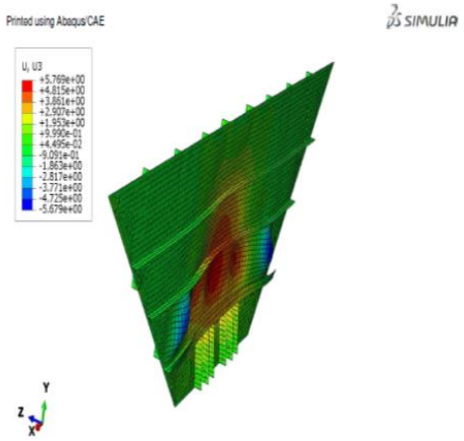
الشكل (14) العلاقة بين قياس العناصر و حمل الانهيار

4-3 مقارنة سلوك الديافرام المركزي بين التجربة المخبرية و النمذجة العددية:

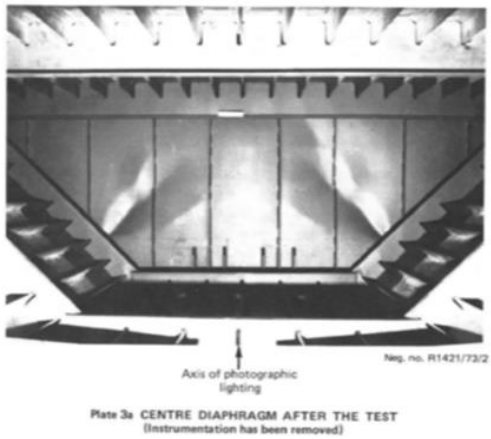
سلك الديافرام العددي سلوكاً مشابهاً لسلوك الديافرام المركزي المختبر من ناحية شكل التشوه النهائي عند الانهيار ويظهر ذلك من خلال مقارنة الأشكال (19,18,17,16,15).



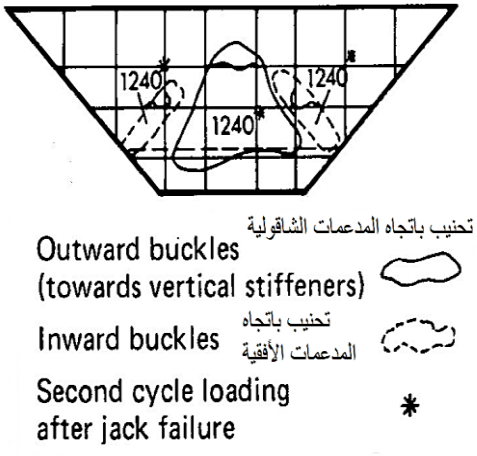
الشكل (15) تشوهات الديافرام المركزي بعد انتهاء الاختبار[1]



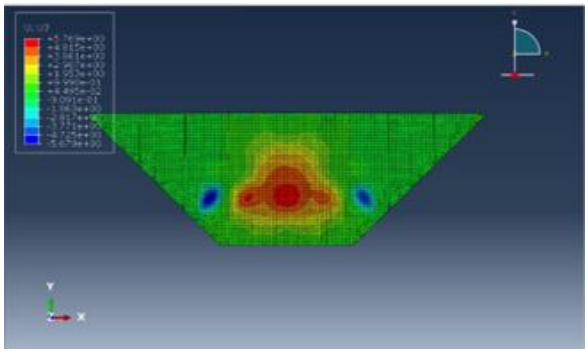
الشكل (16) شكل التشوه للديافرام العددي عند الانهيار (جهة المدعمات الأفقية) مقياس مضخم للتشوه باتجاه Z لإبراز التشوه



الشكل (17) صورة فوتوغرافية للديافرام المركزي بعد انتهاء الاختبار[1]

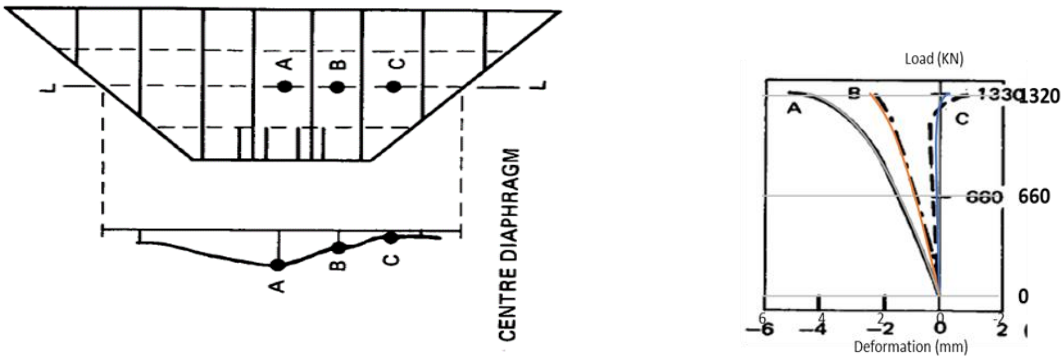


الشكل (18) أماكن و أشكال التشوهات مع قيم الأحمال التي ظهرت عندها للديافرام المركزي في التجربة[1]



الشكل (19) شكل التشوه عند الانهيار للديافرام في النموذج العددي

فيما يتعلق بحمل الانهيار فقد انهار الديافرام العددي عند حمل 1337kN للمسند أي بفارق 0.52% عن حمل الانهيار في التجربة المخبرية والبالغ 1330kN للمسند.



الشكل (20) انتقال النقاط (A,B,C) خارج المستوي وصولاً للانهيار

4-الدراسة الباورمترية لحالة مسند وحيد في مركز الجائز الصندوقي:

1. نسبة عرض الديافرام إلى ارتفاعه (B/D) (Aspect Ratio): تم اختبار 3 نسب وهي: B/D=1,2,3
2. أبعاد عناصر التقوية: يشترط الكود البريطاني[8] ألا تتجاوز نسبة L_s/t_s (سمك المدعمة:t_s،عمق المدعمة:L_s) القيمة 10 لتجنب حصول تحنيب محلي للمدعمة حيث تم اختبار 4 نسب: L_s/t_s=2.5,5,7.5,10 .
3. ترتيبات المدعمات: تم اختبار خمس حالات للتدعيم:
1. مدعمة حاملة للأحمال (LBS) (الشكل 21).
2. مدعمتين حاملتين للأحمال(2LBS) (الشكل 22).
3. مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمتين شاقوليتين قصيرتين(1LBS+2STUB) (الشكل 23).
4. مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية (1LBS+1HOR) (الشكل 24).
5. مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة شاقولية (1LBS+1VER) (الشكل 25).

تم إجراء دراسة بارومترية لتحديد تأثير تغيير ترتيب وأبعاد عناصر التقوية على حمل الانهيار ونمطه للديافرامات المركزية شبه المنحرفة. تم نسب جميع الأبعاد لارتفاع الديافرام الذي بقي ثابتاً خلال الدراسة البارومترية ومساوياً لارتفاع الديافرام في التجربة المخبرية (D=1200mm) بالإضافة إلى تثبيت البارومترات التالية:

-نسبة نحالة الديافرام (D/t_d): تم اعتماد النسبة 100 وتمثل حالة ديافرام نحيل حيث عند هذه النسبة كان حمل الانهيار متقارب للديافرامات غير المدعمة ذو نسبة B/D=1,2,3.

-سماكة عناصر التقوية للديافرام t_s=0.01×D

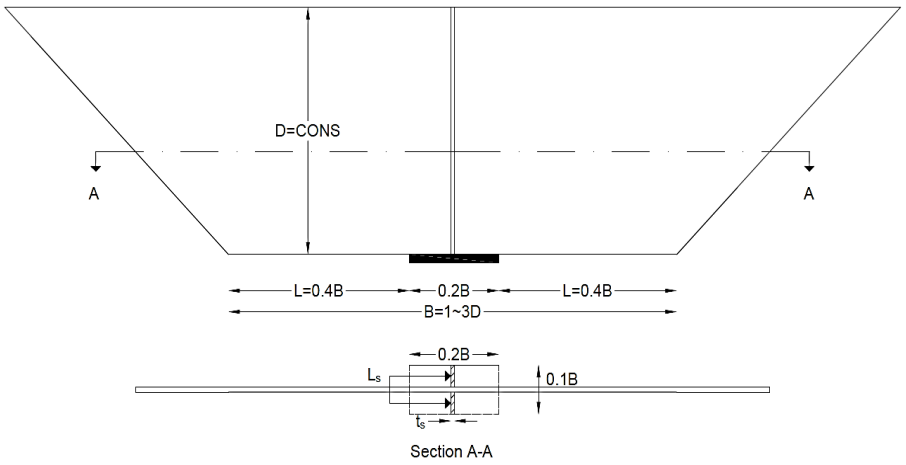
-سماكة الأجساد والأجنحة

-أبعاد وسماكة مدعمات الجسد والأجنحة

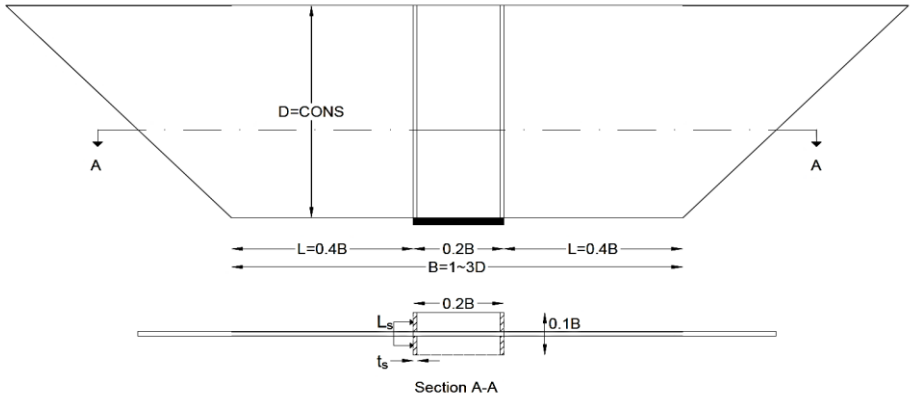
-خواص الفولاذ المستخدم: E=205000MPa, Fy=355MPa, μ=0.3

-أبعاد المسند J=(0.1×0.1)B

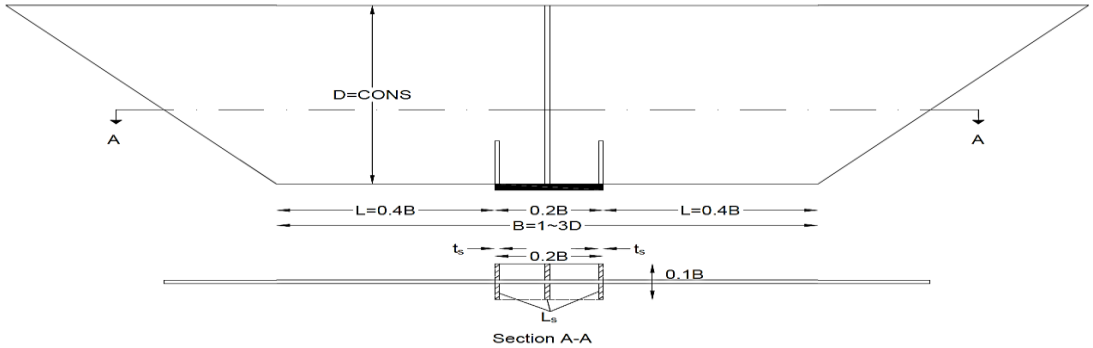
أما متغيرات الدراسة البارامترية:



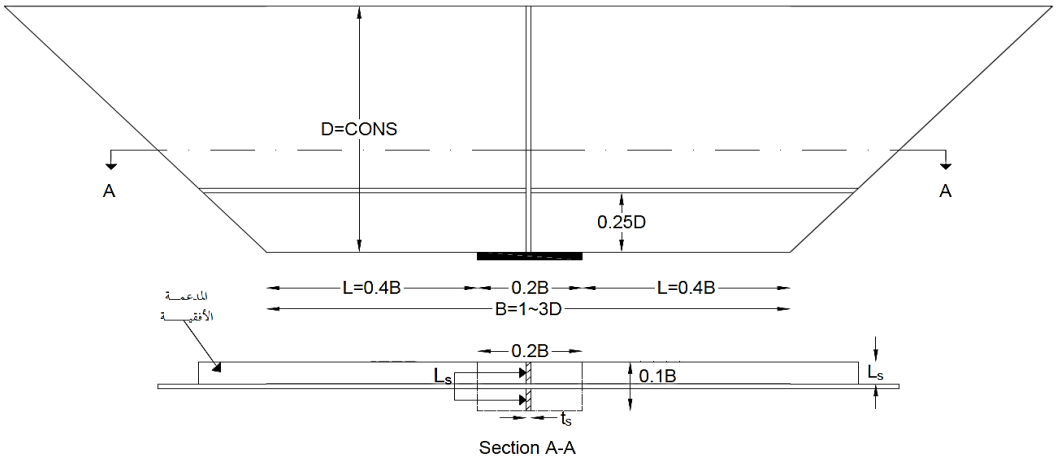
الشكل (21) حالة ديافرام مدعم بمدعمة واحدة حاملة للأحمال (LBS)



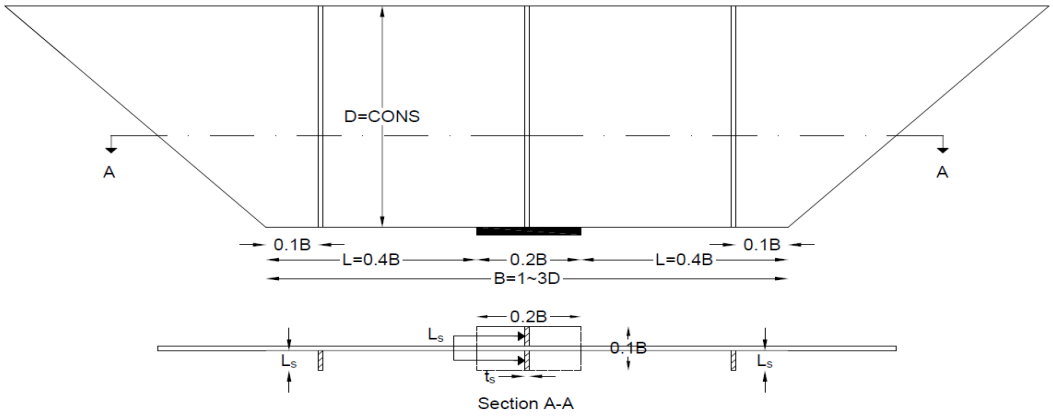
الشكل (22) حالة ديافرام مدعم بمدعمتين حاملتين للأحمال (2LBS)



الشكل (23) حالة ديافرام مدعم بمدعمة حاملة للأحمال مع مدعمات شاقولية قصيرة(1LBS+2STUB)



الشكل (24) حالة ديافرام مدعم بمدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية(1LBS+1HORIZ)



الشكل (25) حالة ديافرام مدعم بمدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة شاقولية(1LBS+1VER)

4-1: الديافرام ذو نسبة B/D=1:

3. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمتين شاقوليتين قصيرتين (1LBS+2STUB): حصلت زيادة في حمل الانهيار بمقدار 32.3% عند قياس 30mm (L_s/t_s =2.5) للمدعمات ونمط الانهيار هو التحنيب العام مع وجود للتلدن أسفل المدعمات وأسفل جزء الديافرام بين المدعمة الشاقولية القصيرة والجسد المجاور. عند زيادة أبعاد المدعمات ازدادت نسبة الزيادة في حمل الانهيار لتصل إلى 82.85% للمدعمات قياس 120mm(L_s/t_s=10)(الشكل26)، وحصل الانهيار بسبب تلدن المدعمة الحاملة للأحمال وجزء الديافرام المحصور بين المدعمة الشاقولية القصيرة والجسد المجاور وظهور للتحنيب القصي في الديافرام (الشكل29).

4. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية(1LBS+1HORIZ): لم يعطِ إضافة مدعمة أفقية إلى جانب المدعمة الحاملة للأحمال أي زيادة عن تلك المحققة باستخدام المدعمة الحاملة لوحدها (الشكل26،30).

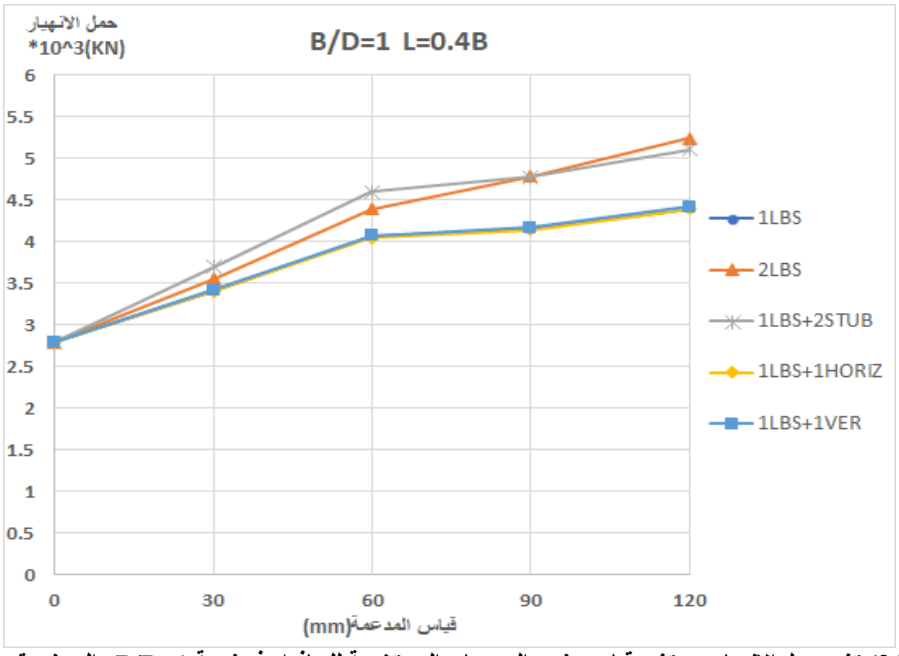
5. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة شاقولية (1LBS+1VER): لم يعطِ إضافة مدعمة شاقولية على بعد 0.1B من نقطة التقاء الجسد مع الجناح السفلي أي تأثير

1. استخدام مدعمة حاملة للأحمال (LBS): ازداد حمل الانهيار عند إضافة مدعمة قياس 30mm (L_s/t_s=2.5) بمقدار 22.1% وحصل الانهيار نتيجة للتحنيب العام (الديافرام مع المدعمة) مع وجود للتلدن أسفل المدعمة وأسفل الديافرام بين المدعمة والجسد المجاور، وبازدياد قياس المدعمة ازداد حمل الانهيار لتصل نسبة الزيادة إلى57.14% عند قياس 120mm(L_s/t_s=10) للمدعمة (الشكل 26) وحدث الانهيار كنتيجة لانهيار المدعمة الحاملة للأحمال على التلدن مع وجود تلدن في الديافرام بين الجسد والمدعمة (الشكل 27).

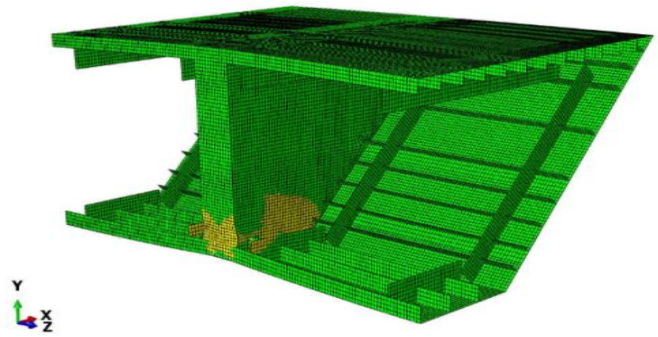
2. استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال(2LBS): أعطى إضافة مدعمتين حاملتين للأحمال قياس 30mm(L_s/t_s=2.5)زيادة في حمل الانهيار بمقدار 27.3% ونمط الانهيار هو التحنيب العام مع حصول تلدن أسفل المدعمتين وأسفل جزء الديافرام بين المدعمة والجسد المجاور، وبلغت الزيادة 87.6% عند استخدام مدعمتين بقياس 120mm(L_s/t_s=10)(الشكل 26) حيث أدى تلدن المدعمتين وجزء الديافرام بين المدعمة والجسد المجاور إلى الانهيار (الشكل 28).

التصميم الأمثل لعناصر التقوية في الديافرامات المسندية شبه المنحرفة في الجسور ..... كلش، حلاق

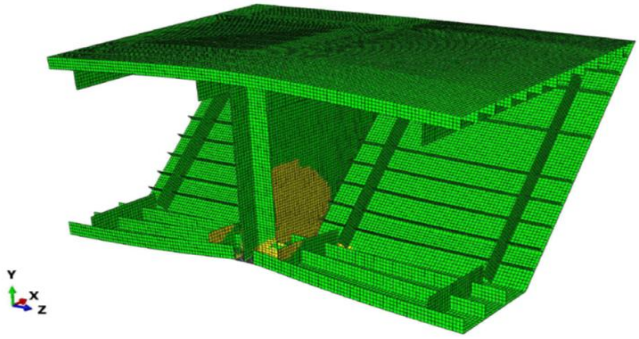
(اللون الأصفر في النماذج العددية يشير إلى التلدن). إضافي مقارنة مع استخدام مدعمة حاملة للأحمال لوحدها (الشكل26،31).



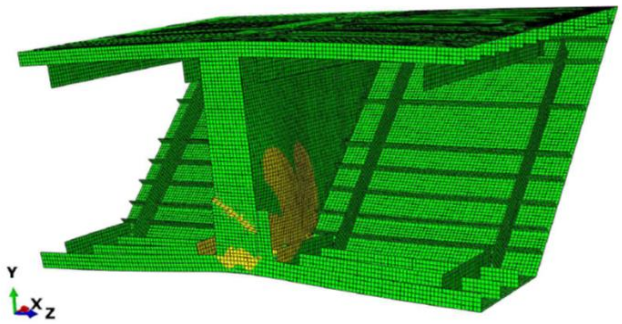
الشكل (26) تغير حمل الانهيار مع تغير قياس ونوع المدعمات المستخدمة للديافرام ذو نسبة B/D=1 والمسند يقع على بعد (L=0.4B)



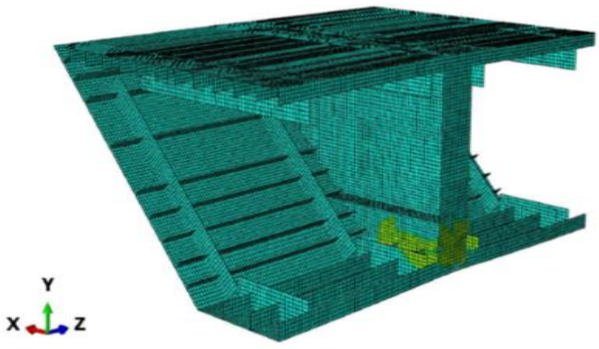
الشكل (27) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن) للديافرام ذو نسبة B/D=1 و المدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) قياس 120mm



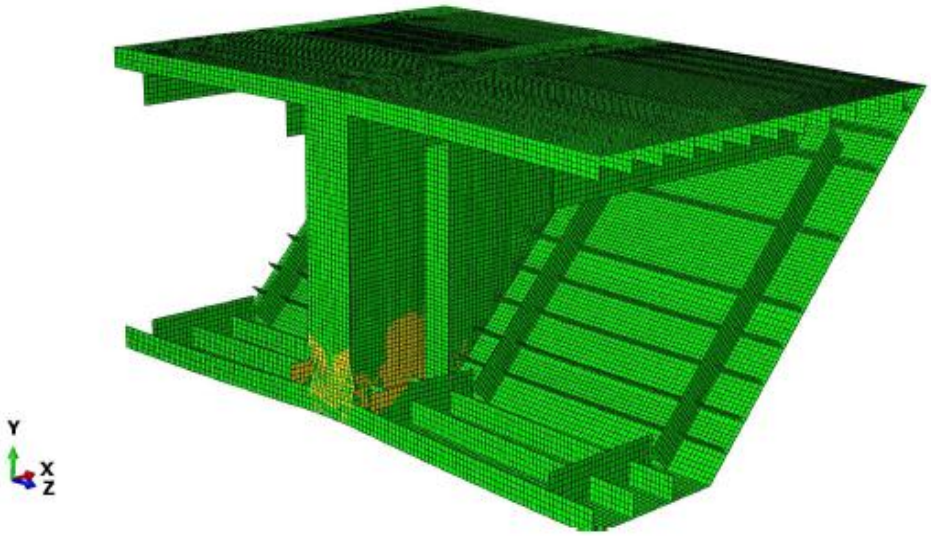
الشكل (28) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن) للديافرام ذو نسبة B/D=1 والمدعم بمدعمتين حاملتين للأحمال (2LBS) قياس 120mm



الشكل (29) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=1 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمتين شاقولتين قصيرتين (Stub Stiffeners) قياس 120mm.



الشكل (30) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن) للديافرام ذو نسبة B/D=1 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال(LBS) ومدعمة أفقية (Horizontal Stiffeners) قياس 120mm



الشكل (31) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن) للديافرام ذو نسبة B/D=1 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) و مدعمة شاقولية (Vertical stiffener) قياس 120mm

4-2: الديافرام ذو نسبة B/D=2:

الزيادة 71.61% بفارق بسيط عن الزيادة المحققة عند قياس60mm (L_s/t_s=5) والتي بلغت 69.3% (الشكل32). ونمط الانهيار عند قياس (60,90,120mm) هو التحنيب القصي لجزء الديافرام بين المدعمة والجسد حيث ظهرت نصفي موجة مترافقاً مع تلدن في الديافرام بين المدعمة والجسد المجاور كما لوحظ وجود تلدن محدود أسفل المدعمة (الشكل34).

3. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمتين شاقوليتين قصيرتين (1LBS+2STUB): حصلت زيادة في حمل الانهيار بمقدار 43.78% عند قياس 30mm (L_s/t_s=2.5) للمدعمات ونمط الانهيار هو التحنيب العام مع وجود تلدن في الديافرام بمحاذاة المدعمة الشاقولية القصيرة و بالقرب من زاوية الديافرام/الجسد/الجناح ، وبلغت الزيادة 62% عند قياس 60mm (L_s/t_s=5) للمدعمات (الشكل32) أي بزيادة

1. استخدام مدعمة حاملة للأحمال (LBS): ازداد حمل الانهيار بمقدار 33.58% عند إضافة مدعمة قياس(L_s/t_s=2.5) 30mm ونمط الانهيار هو التحنيب العام مع حصول تلدن في جزء الديافرام فوق المسند، وأصبحت هذه الزيادة 62.6% عند قياس 90mm (L_s/t_s=7.5) و 63.5% لقياس (L_s/t_s=10) 120mm(الشكل32) حيث حصل الانهيار بسبب انتشار التلدن أسفل الديافرام بين المدعمة والجسد وجزء محدود من المدعمة مترافقاً مع تحنيب قصي للديافرام (الشكل33).

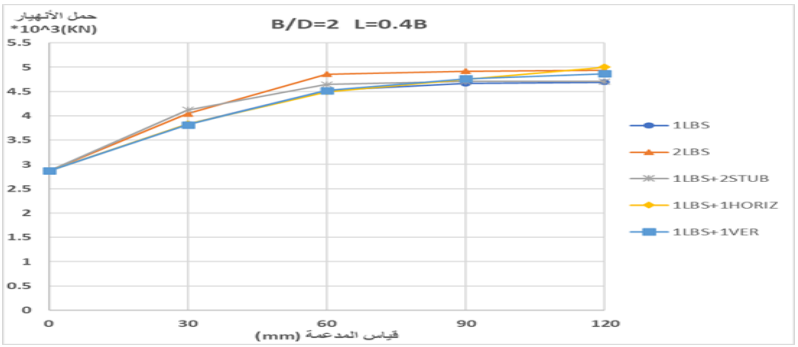
2. استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال(2LBS): حصلت زيادة في حمل الانهيار بمقدار 41% عند قياس 30mm للمدعمتين (Ls/ts=2.5) ونمط الانهيار هو التحنيب العام (الديافرام مع المدعمتين) مع تلدن محدود في الديافرام جانب المسند وبالقرب من زاوية الديافرام/الجسد/الجناح وأسفل المدعمتين، وعند قياس 90mm (L_s/t_s=7.5) أصبحت

الانهيار كنتيجة لانتشار التلدن في الديافرام بالإضافة إلى أسفل المدعمة الحاملة للأحمال وحصول التحنيب في مراحل متقدمة من التحميل (الشكل36).

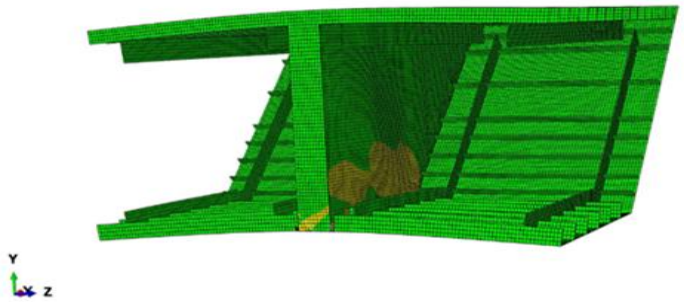
5. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة شاقولية (1LBS+1VER): لم يعطِ استخدام مدعمة شاقولية إلى جانب المدعمة الحاملة للأحمال بقياس (L_s/t_s=2.5,5) (30,60mm) أي زيادة إضافية مقارنة مع استخدام مدعمة حاملة لوحدها. وعند استخدام المدعمتين قياس 120mm (L_s/t_s=10) حصلت زيادة 69.5% في حمل الانهيار أي بزيادة 6% عن تلك المحققة عند استخدام مدعمة حاملة قياس 120mm لوحدها ونمط الانهيار هو التحنيب القصي لجزء الديافرام بين المدعمتين وتلدن في الديافرام (الشكل37).

وقدرها 4% عن تلك المحققة باستخدام مدعمة حاملة لوحدها قياس 60mm وحصل الانهيار كنتيجة لانتشار التلدن في الديافرام بين المدعمة الشاقولية القصيرة والجسد المجاور وظهور للتحنيب للقصي بشكل نصفي موجة متعاكستين في النصف العلوي للديافرام (الشكل35)، إن استخدام مدعمات قياس 90mm أعطى زيادة على حمل الانهيار 64.2%، أي بزيادة 1.6% عن تلك المحققة باستخدام مدعمة حاملة لوحدها قياس 90mm.

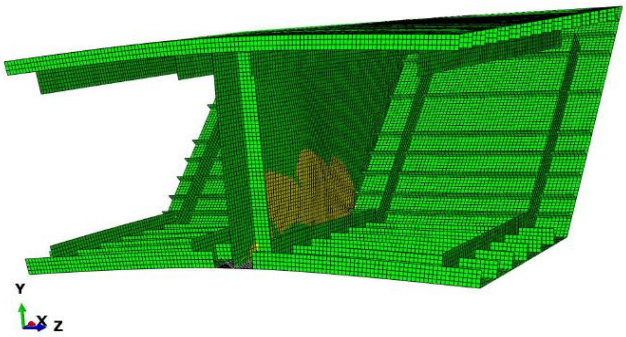
4. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية (1LBS+1HORIZ): ازداد حمل الانهيار بمقدار 33.58% عند قياس 30mm للمدعمات وهي نفس الزيادة الحاصلة عند استخدام مدعمة حاملة للأحمال فقط، وبلغت الزيادة 74.4% عند استخدام المدعمات قياس 120mm (الشكل32)، وحصل



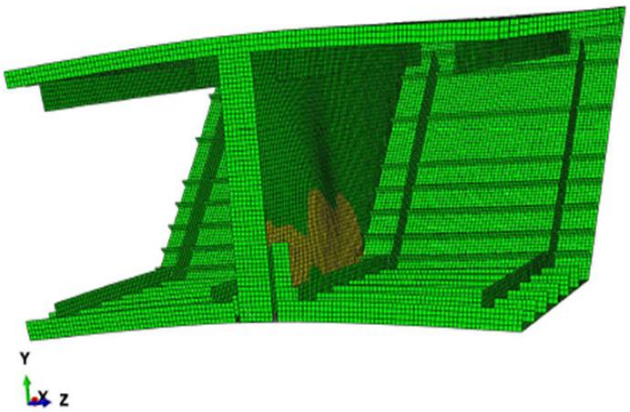
الشكل (32) تغير حمل الانهيار مع تغير قياس ونوع المدعمات المستخدمة للديافرام ذو نسبة B/D=2 والمسند يقع على بعد (L=0.4B)



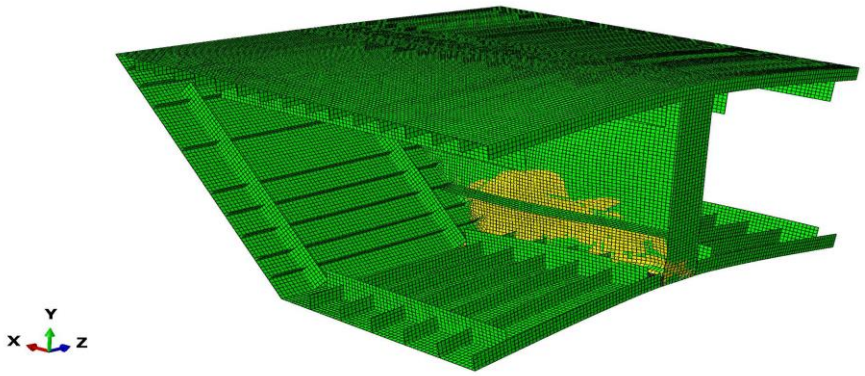
الشكل (33) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=2 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) قياس 90mm



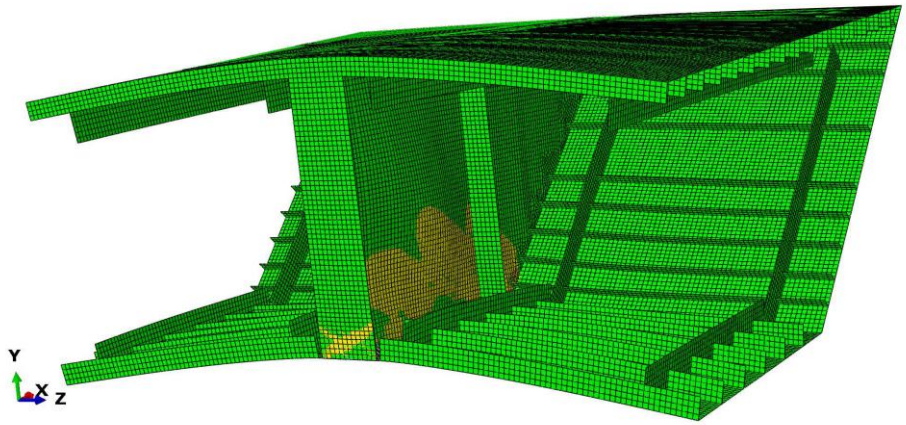
الشكل (34) شكل التشوه عند الانهيار(انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=2 والمدعم بمدعمتين حاملتين للأحمال (LBS) قياس 90mm



الشكل (35) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=2 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمتين شاقولتين قصيرتين (Stub Stiffeners) قياس 90mm.



الشكل (36) شكل التشوه عند الانهيار(انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام العددي ذو نسبة B/D=2 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمة أفقية (Horizontal Stiffeners) قياس 120mm



الشكل (37) شكل التشوه عند الانهيار(انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=2 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمة شاقولية (Vertical Stiffener) قياس 120mm

4-3: الديافرام ذو نسبة B/D=3:

3. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمتين شاقوليتين قصيرتين (1LBS+2STUB): أعطى استخدام مدعمات قياس 30mm (L_s/t_s=2.5) زيادة على حمل الانهيار وقدرها 38.82% أي بزيادة 11.32% عن تلك المقابلة لاستخدام مدعمة حاملة لوحدها، في حين لم يعطِ استخدام مدعمات بقياس أكبر من 30mm أي زيادة مقارنة مع استخدام مدعمة حاملة لوحدها (الشكل38) ونمط الانهيار هو التحنيب القصي للديافرام مع تلدن في الديافرام بين المدعمة الشاقولية القصيرة والجسد المجاور (الشكل 41).

4. استخدام حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية (1LBS+1HORIZ): حصلت زيادة في حمل الانهيار قدرها 27.52% عند استخدام مدعمات قياس 30mm وهي نفس الزيادة المحققة باستخدام المدعمة الحاملة للأحمال لوحدها ونمط الانهيار هو التحنيب العام مع وجود للتلدن في جزء الديافرم عند زاوية الجسد/الجناح السفلي/الديافرام و بجوار المسند. بلغت الزيادة 65.77% عند استخدام مدعمات قياس 120mm (الشكل 38)، أي بفارق 21.27% عن الزيادة المحققة عند استخدام مدعمة حاملة للأحمال لوحدها. حصل الانهيار

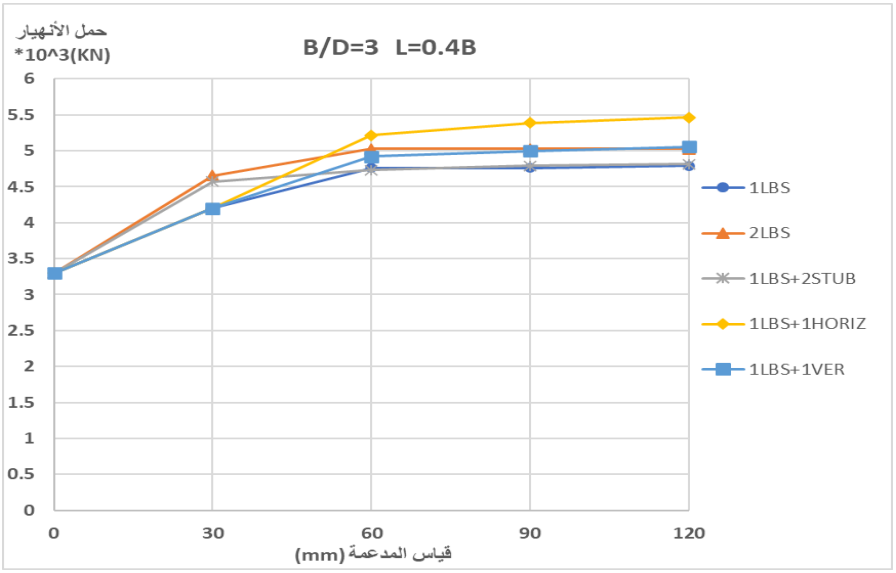
1. استخدام مدعمة حاملة للأحمال (LBS): ازداد حمل الانهيار بمقدار 27.5% عند استخدام مدعمة قياس 30mm (L_s/t_s=2.5) وحصل الانهيار عند هذا القياس نتيجة للتحنيب العام مع تلدن محدود للديافرام بالقرب من المسند وعند زاوية الجسد/الجناح السفلي/الديافرام. بلغت الزيادة مقدار 44.5% عند استخدام قياس 60mm (الشكل38) ونمط الانهيار هو التحنيب القصي للديافرام حيث ظهرت ثلاث أنصاف أمواج مع انتشار للتلدن في الديافرام (الشكل39). إن استخدام مدعمة بقياس أكبر من 60mm(L_S/t_s=5 تكافئ نسبة) لم يعط أي إضافة على حمل الانهيار.

2. استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال(2LBS): ازداد حمل الانهيار بمقدار 41.24% عند استخدام المدعمتين بقياس 30mm (L_s/t_s=2.5) ونمط الانهيار هو التحنيب العام وحصول تلدن محدود للديافرام في المناطق المجاورة للمسند وعند زاوية الجناح السفلي/الجسد/الديافرام ، وبلغت الزيادة حد أعلى 52.54% عند قياس 60mm للمدعمتين (الشكل38) ونمط الانهيار مشابه لحالة مدعمة حاملة لوحدها (الشكل40). إن استخدام مدعمتين بقياس أكبر من 60mm لم يعطِ إضافة لحمل الانهيار مقارنة مع قياس 60mm.

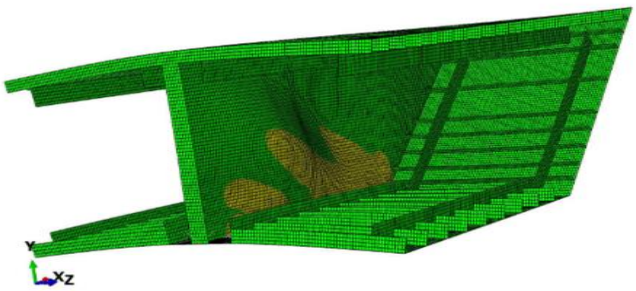
بزيادة 4.81% عن الزيادة المحققة باستخدام مدعمة حاملة لوحدها. بلغت نسبة الزيادة 53.34% عند استخدام مدعمتين قياس (L_s/t_s=10) 120mm(الشكل 38) أي بزيادة وقدرها 8.84% عن الزيادة المحققة باستخدام مدعمة حاملة قياس 120mm لوحدها ونمط الانهيار هو التحنيب القصي مع تلدن للديافرام بين المدعمة الحاملة والجسد (الشكل43).

نتيجة لانتشار التلدن في جزء واسع من الديافرام مترافقاً مع تحنيب قصي للديافرام والمدعمة الأفقية (الشكل 42).

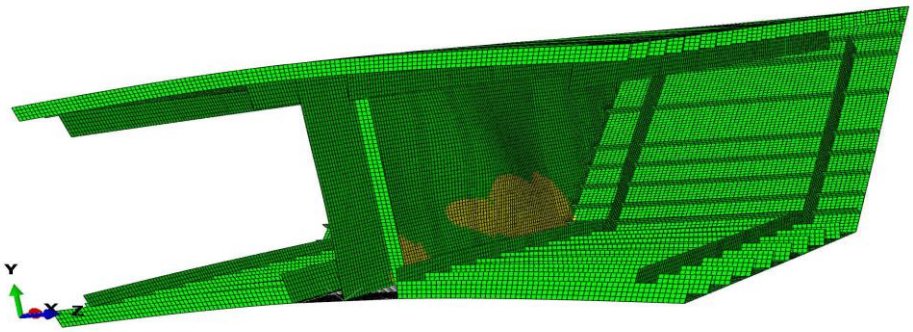
5. استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة شاقولية (1LBS+1VER): لم يعطِ استخدام المدعمتين قياس30mm (L_s/t_s=2.5) أي زيادة مقارنة مع استخدام مدعمة حاملة لوحدها، في حين زاد حمل الانهيار عند استخدام مدعمتين بقياس 60mm (L_s/t_s=5) بمقدار 49.31% أي



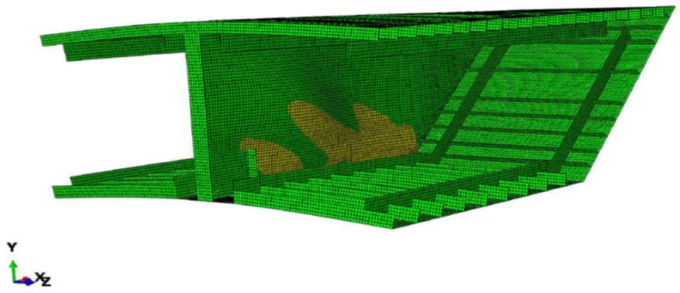
الشكل (38) تغير حمل الانهيار مع تغير قياس ونوع المدعمات المستخدمة للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمسند يقع على بعد (L=0.4B)



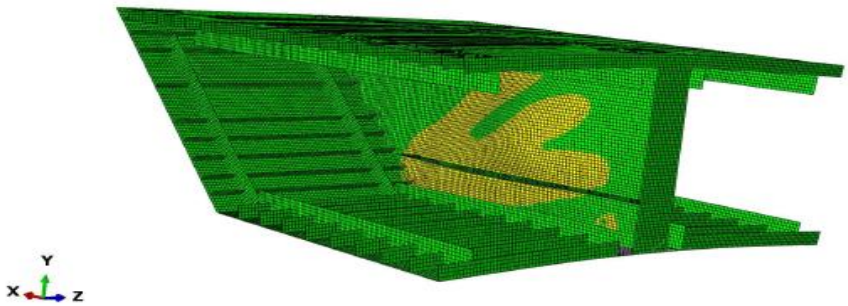
الشكل (39) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال قياس 60mm



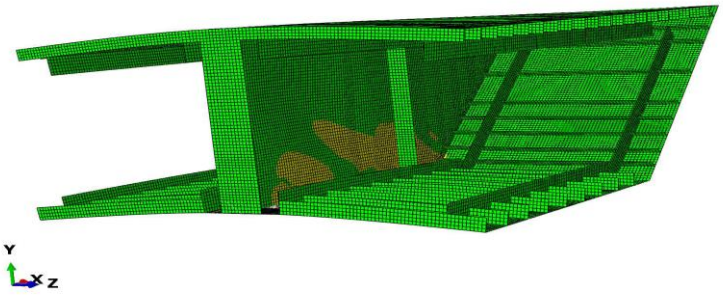
الشكل (40) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمدعم بمدعمتين حاملتين للأحمال (LBS) قياس 60mm



الشكل (41) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمتين شاقولتين قصيرتين (Stub Stiffeners) قياس 90mm



الشكل (42) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال(LBS) ومدعمة أفقية (Horizontal Stiffeners) قياس 120mm



الشكل (43) شكل التشوه عند الانهيار (انهيار على التلدن مع التحنيب) للديافرام ذو نسبة B/D=3 والمدعم بمدعمة حاملة للأحمال (LBS) ومدعمة شاقولية (Vertical Stiffener) قياس 120mm

5-النتائج:

عند استخدام مسند وحيد في المنتصف (L=0.4B) فإن أكبر زيادة في حمل الانهيار للديافرام ذو نسبة B/D=1 كانت عند استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال قياس ($10\times t_s$) بنسبة بلغت 87.6%، أما الديافرام ذو نسبة B/D=2&3 فإن أكبر زيادة في حمل الانهيار حصلت عند استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية قياس ($10\times t_s$) متوضعة على ارتفاع 0.25×D من الجناح السفلي حيث بلغت نسبة الزيادة 74.4% للديافرام ذو نسبة B/D=2 و 65.77% للديافرام ذو نسبة B/D=3، و بذلك يكون استخدام مدعمتين حاملتين للأحمال قياس ($10\times t_s$) هي القيمة المثلى لتقوية الديافرام ذو نسبة B/D=1 و استخدام مدعمة حاملة للأحمال مع مدعمة أفقية قياس ($10\times t_s$) متوضعة على ارتفاع 0.25×D هي القيمة المثلى لتقوية الديافرام ذو نسبة (B/D=2&3) عند استخدام مسند وحيد في المنتصف (L=0.4B).

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

:References

1. Irwin, C. A. K. and Loe, J. A., "Loading Tests on the Stiffened Diaphragms of a Trapezoidal Steel Box Girder", TRRL Report LR 824, Crowthorne, 1978.

2. Hallak, Ghayath. "Optimum Design of Box Girder Diaphragms", Scholar's press, 2016.

3. O.A. Kerensky, "Conception". Paper 1, Steel Box Girder Bridges. Proc of the Int Conf organized by the inst. Of Civ.Engrs.in London ,13-14 Feb 1973, Thomas Telford Ltd, London 1973.

4. P.J. Dowling, J.A. Loe and J. A. Dean, "The behavior up to collapse of load bearing Diaphragms in rectangular and trapezoidal stiffened steel box girders", Paper 7, Steel Box Girder Bridges. Proc of the Int Conf organized by the inst. Of Civ.Engrs.in London ,13-14 Feb 1973, Thomas Telford Ltd, London 1973.

5. Megson, T. H. G. & Hallak, G., "Optimum Design of Load-Bearing Box Girder Diaphragms Having Supports at a Distance From the Flange/Web Junctions", Thin-Walled Structures, 22 (1995) 275-289.

6. Megson, T. H. G. & Hallak, G., "Optimum Design of Load-Bearing Box Girder Diaphragms Having a Central Support", Thin-Walled Structures, 22 (1995) 205-215.

7. Megson, T. H. G. & Hallak, G., "Optimum Design of Load-Bearing Box Girder Diaphragms Having Supports at the Flange/Web Junctions", Thin-Walled Structures, 22 (1995) 49-59.

8. BS5400:Part3: 2000. Code of practice for the design of steel bridges.