

دراسة تحليلية لإنشاء مغلفات الانهيار للأساسات الإزارية الشريطية على تربة غير مصرفة

جنان الفواز ، جميل جبل

قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب، سوريا

jenanalfawaz2@gmail.com

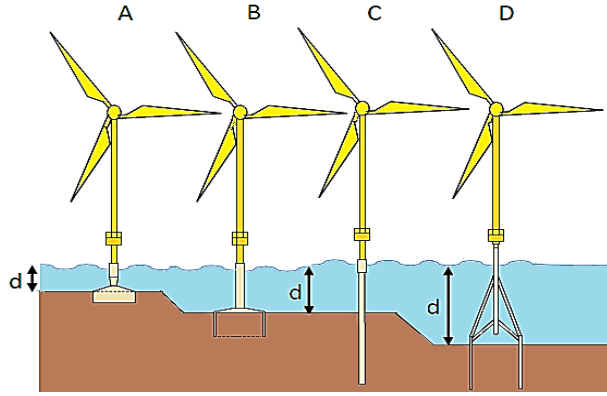
Received: 05/04/2020

Accepted: 25/04/2020

المستخلص - تتكون الأساسات الإزارية skirted foundation من قاعدة سطحية أفقية تسطح بإضافة صفائح شاقوليه رقيقة (إزارات) أسفل هذه القاعدة، وقد انتشر استخدامها خاصة في منشآت الغاز والبتروال البحرية وأساسات العنقات الريحية. تخضع هذه الأساسات لحمولات مركبة شاقولية وأفقية وعزوم، لذلك يجب دراستها تحت مختلف أنواع الحمولات من أجل ضمان ثباتها. يهدف هذا البحث ومن خلال اجراء سلسلة من تحليلات العناصر المحدودة إلى دراسة قدرة التحمل المركب للأساس الإزاري الشريطي على غضار ذو مقاومة قص موحدة من أجل نسب انطمار مختلفة باعتماد طريقة مغلفات الانهيار، ومقارنة النتائج مع الأبحاث السابقة. تم حساب الحمولة المحورية الحدية الشاقولية من أجل نسب انطمار مختلفة. تم بناء مغلف الانهيار في الفراغ بإنشاء شرائح مغلفات الانهيار ضمن مغلف الانهيار ثلاثي الأبعاد وعند مستويات محددة من الحمولة المحورية الحدية الشاقولية وذلك من أجل نسب انطمار مختلفة. أظهرت النتائج دور الإزارات في زيادة قدرة التحمل المحوري والمركب، كما أظهرت أن شكل مغلفات الانهيار مرتبط بشكل ملحوظ بنسب الانطمار حيث أن عدم تناظر مغلفات الانهيار وانحرافها يزداد مع ازدياد نسبة الانطمار. يتأثر حجم مغلفات الانهيار بنسب الانطمار وبمستوى التحميل الشاقولي، حيث أن قدرة التحمل المركب تتناقص بنقصان عمق الإزارات وزيادة مستوى التحميل الشاقولي.

الكلمات المفتاحية: الأساسات الإزارية الشريطية، غضار ذو مقاومة قص موحدة، الحمولة الحدية المحورية الشاقولية، قدرة التحمل المركب، مغلفات الانهيار، نسب الانطمار.

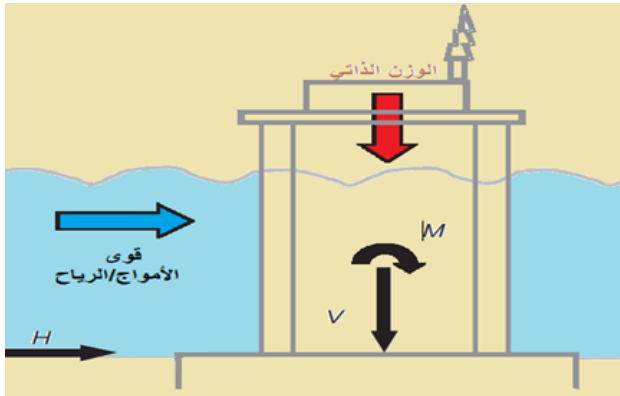
ABSTRACT -Skirted foundation consists of a surface horizontal base reinforced by thin vertical plates or "skirts" below it. The use of these foundations has spread, especially in offshore oil and gas installations and for wind turbines foundations. These foundations are subject to combined vertical -horizontal -moment loads, therefore they must be studied under different types of loads in order to ensure their stability. This research aims, and through a series of finite element analyses, to study the combined bearing capacity of strip skirted foundations for uniform strength clay for different embedment ratio by adopting failure envelopes method, and to compare the results with previous research. The uniaxial ultimate vertical load was calculated for different embedment ratio. The failure envelope was built in space by creating slices of failure envelopes within the three-dimensional failure envelope at specified levels of uniaxial ultimate vertical load and for different embedment ratio. The Results showed the role of the skirt in increasing the uniaxial and combined bearing capacity, and that the shape of the failure envelope is significantly associated with foundation embedment ratio as the obliqueness and the asymmetry of the failure envelope increases with the increase in the embedment ratio. The size of the failure envelopes is affected by the embedment ratio and the level of vertical load, where the combined capacity diminishes with a decrease in the embedment ratio and an increase in the level of vertical load.



شكل 3: أنواع أساسات عتفات الرياح: (A) أساسات Gravity (B) أساسات إزارية (C) وتد مفرد (D) مجموعة أوتاد

ويعتبر استخدام الإزارات من تقنيات الحصر الجانبي Lateral Confinement والتي يمكن أن تستخدم من أجل تقليل الأثر الديناميكي عند حدوث الزلازل وللتحكم بالهبوط وضغط ماء المسام الزائد ولزيادة مقاومة القص ضمن المنطقة المحصورة، أي أن استخدام الإزارات الانشائية سيكون أفضل من الأوتاد البيوتونية المسلحة التي تستخدم لمقاومة القوى الجانبية [4].

ينشأ التحميل العام للأساسات الإزارية من أفعال مركبة ناتجة عن الوزن الذاتي، الحمولات الميتة المائلة أو المنحرفة، حمولات التشغيل والحمولات من البيئة المحيطة Environmental Forces مثل الرياح، الأمواج والحمولات الدورية كما يوضح الشكل 4 [5].

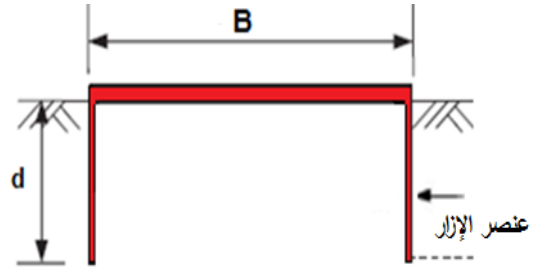


شكل 4: القوى المطبقة على الأساسات الإزارية

تعتبر قدرة تحمل الأساسات الإزارية تحت الحمولات العامة مشكلة أساسية في الهندسة الجيو تكنولوجية [5]، كما أن تطبيق حسابات قدرة التحمل التقليدية على حالة الأساسات الإزارية يواجه العديد من المشاكل حيث أنها:

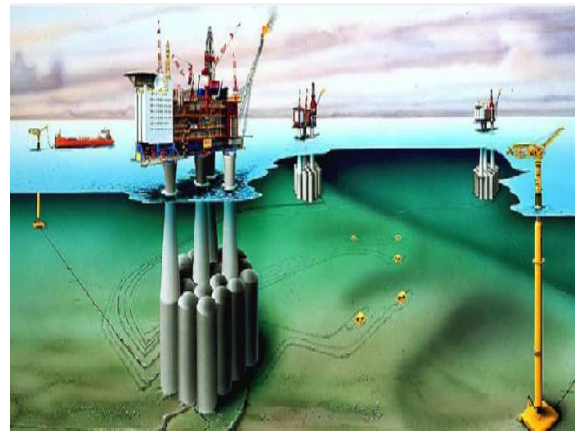
1. مقدمة

تتكون الأساسات الإزارية skirted foundation كما يبين الشكل 1 من قاعدة سطحية أفقية تسليح بإضافة صفائح شاقوليه رقيقة (إزارات) أسفل هذه القاعدة، وقد أصبحت هذه الأساسات الأكثر استخداماً في المنشآت البحرية خاصة في التربة اللينة [1]، وبالمقارنة مع الأساسات السطحية فإن الإزارات تنقل الحمولات إلى تربة أعمق وأكثر قوة وهذا يؤدي إلى قدرة تحمل أكبر. كما أن السهولة في الإنشاء هي إحدى فوائد هذه الأساسات [3].



شكل 1: الأساس الإزاري

يبين الشكل 2 المنشأة النفطية Gulfaks C التي تم انشاؤها عام 1989 في موقع غضار لين في القطر النرويجي من بحر الشمال، وتعتبر أول قاعدة إزارية عميقة حيث أن مساحة قاعدة الأساس تصل إلى 16000m²، وتخرق الإزارات حتى عمق 22m أسفل قاع البحر [3].



شكل 2: منشأة النفطية Gulfaks C

كما تم استخدام الأساسات الإزارية كأساسات لعنفات الرياح Offshore Wind Turbines كما يوضح الشكل 3 حيث أثبتت فعاليتها كخيار بديل للوتد المفرد Monopiles وذلك بسبب سهولة التركيب والجودى الاقتصادية [1].

من أجل أساسات إزارية دائرية واستناداً على علاقة قدرة التحمل التقليدية بحسب تراكبي [12]، أما باستخدام طريقة العناصر المحدودة فقد ركزت أغلب الدراسات على الأساس الإزاري الدائري حيث درست قدرة التحمل للأساسات الإزارية الدائرية تحت حمولات مركبة [3] [11]. كما درس بعضها [13] أساس هجين Hybrid يتكون من حصرية إزارية دائرية في مركزها قيسون يخضع لحمولات مركبة.

أما حالة أساس ازاري شريطي تحت حمولات مركبة تمت دراستها بشكل محدود لكن يفرض أن التربة داخل حجرة الإزارات تسلك سلوك جسم صلب بالتالي تم تمثيلها كأساسات صلبة مطمورة [14]، بينما في هذه الدراسة سيتم تمثيل الإزارات فيزيائياً، ومقارنة النتائج.

3. هدف البحث

يهدف هذا البحث اعتماداً على تحليل العناصر المحدودة باستخدام برنامج Abaqus إلى دراسة قدرة التحمل المركب للأساس الإزاري الشريطي على غضار ذو مقاومة قص موحدة من أجل نسب انطمار مختلفة، وبناء مغلفات الانهيار التي تستخدم كمرجع لتصميم الأساسات الإزارية الشريطية. مقارنة النتائج مع الأبحاث السابقة.

4. طريقة البحث

تمت نمذجة الأساس باعتباره أساس صلب غير قابل للتشوه مع نقطة مرجعية RP تقع عند مستوي أسفل الإزار على خط مركز الأساس كما يوضح الشكل 5، ومن أجل نسب انطمار مختلفة $d/B=0,0.2,0.5,1$ حيث: d عمق الإزار. $B=10m$ عرض الأساس.

تم تمثيل مقطع التربة الغضارية المشبعة بوصفها مادة مرنة خطياً - مثالية اللدونة تتبع معيار Tersca في تعريف الانهيار في الشروط غير المصرفة [11]، ومن أجل نسبة بواسون $\nu=0.49$ ، $S_{u0}=S_{u0}=25kpa$ مقاومة قص غير مصرفة عند مستوي أسفل الإزار وذلك باعتبار التربة غضارية مشبعة ذات مقاومة قص غير مصرفة موحدة ثابتة بالعمق كما يوضح الشكل 5 $E_u=7000kpa$ ، معامل يونغ. وتعرف جوانب تربة -إزار الخارجية باعتبارها خشنة تامة التلاحم (fully bonded rough) ولا تسمح بأي انفصال بين الأساس والتربة.

- لا تحتسب التطور في مقاومة العزوم في هذه الأساسات، فهي لا تمثل مقاومة الرفع Uplift Capacity [6].
- الانطمار الذي تؤمنه الإزارات في الواقع سيؤدي إلى اقتران بين درجتي الحرية للقوة الأفقية والعزوم ويطور من قدرة التحمل لهما وهذا الاقتران ليس محسوباً في نظرية قدرة التحمل التقليدية [3].

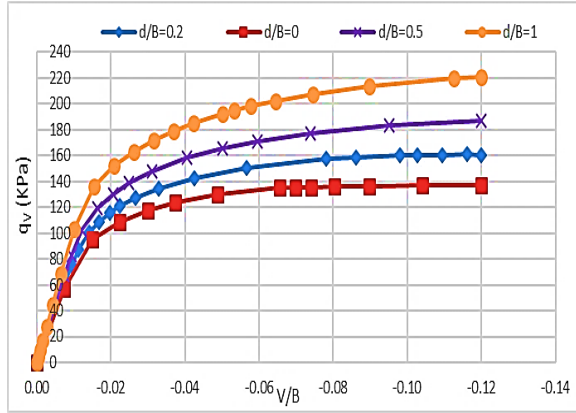
ولذلك تم الاعتماد على طريقة مغلف الانهيار لحساب قدرة التحمل المركب وهي طريقة ليست جديدة فقد تم تطبيقها بشكل واسع في مشاكل قدرة التحمل [5]. عند تصميم الأساس يتم مقارنة الحمولات المطبقة المعايير مع مغلف الانهيار في فضاء التحميل فإذا كانت الحمولات المطبقة تقع داخل مغلف الانهيار فيكون عندها الأساس المصمم آمن وإذا لم يتحقق ذلك فيجب زيادة قدرة تحمل الأساس بزيادة المساحة السطحية أو نسبة الانطمار أو يجب تخفيض الحمولات التصميمية [3].

لإنشاء مغلفات الانهيار يمكن استخدام تحليل The displacement probe الذي تم اقتراحه من قبل Bransby & Randolph 1997 كطريقة لحساب حالة التحميل وآلية الانهيار عند نقطة على مغلف الانهيار، حيث يبدأ المسار عند حمولة صفر ثم يستمر عند نسب ثابتة من الانتقالات $v/B:\theta:h/B$ حتى قيمة للحمولة لا تتغير مع زيادة الانتقال، وعندما يتم الوصول إلى مغلف الانهيار فإن كل مسار تحميل يدور حول مغلف الانهيار حتى يصل إلى النقطة النهائية [7].

2. الدراسات السابقة

تم تعيين قدرة التحمل الحدية المحورية الشاقولية للأساسات الإزارية على تربة غضارية غير مصرفة في عدد من الدراسات السابقة حيث تم تمثيل الأساس الإزاري الشريطي باعتباره أساس صلب مطمور embedded foundation [8]، أو كأساس سطحي عند مستوى الإزار (أساس مدفون) [9]. كما تم تمثيل الإزارات فيزيائياً [7] وحساب قدرة التحمل الحدية المحورية الشاقولية لأساسات إزارية شريطية لحالة مقاومة قص غير مصرفة موحدة ومن أجل سطح تداخل خارجي خشن بين الإزار والتربة لنسب انطمار مختلفة $d/B=0,0.2,0.3,0.5,0.75,1,1.2$.

في حالة الحمولات المركبة فقد تم اعداد دليل لتصميم أساسات المنشآت البحرية من قبل المنظمة الدولية للمعايير The International Standards Organization ISO2000 [11]



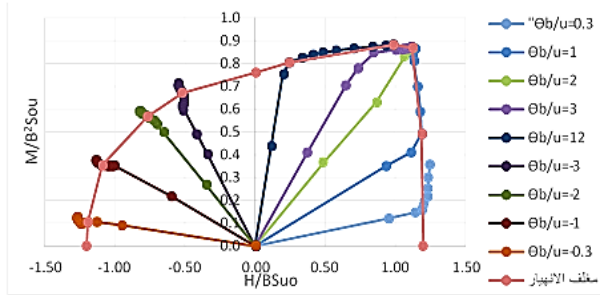
شكل 6: اجهاد شاقولي - انتقال نسبي من أجل $d/B=0,0.2, 0.5,1$

نلاحظ أن الحمولة الحدية المحورية الشاقولية للأساسات الإزارية تزداد بازدياد نسب الإنطمار d/B أي بازدياد عمق الإزارات، فمن أجل $d/B=0.2$ تزداد بنسبة 17%، وبنسبة 38% من أجل $d/B=0.5$ ، وبنسبة 65% من أجل $d/B=1$ مقارنة مع الأساس السطحي بدون إزارات.

2.5 قدرة التحمل المركبة

- مغلف الانهيار في المستوي HM ($V=0$): Failure Envelope in HM Plane

يبين الشكل 7 مغلف الانهيار في مستوي الحمولات المعيارية



شكل 7: مغلف الانهيار ($d/B=0, v=0$)

حيث: (N_{CH}, N_{CM})

$$N_{CH} = H/BS_{u0}, N_{CM} = M/B^2S_{u0}$$

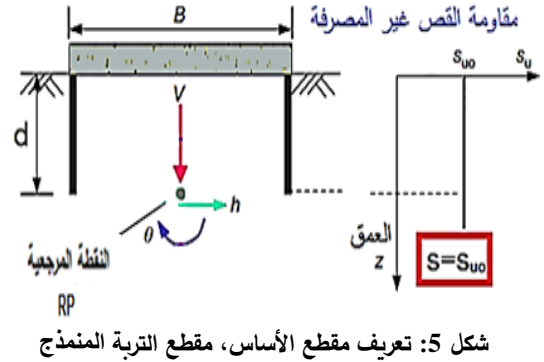
من أجل $v=V/V_{ult}=0$ (عدم تطبيق حمولة شاقولية)، $d/B=0$ ، حيث تم تطبيق انتقالات أفقية u ودورانات θ بالنسبة للنقطة المرجعية (RP) وبنسب $\theta B/u=0.3, 1, 2, 3, 12, -3, -2, -1, -0.3$ وتكرر الخطوات السابقة بتطبيق نسب مختلفة $\theta B/u$ للحصول على مغلفات الانهيار من أجل $d/B=0.2, 0.5, 1$ ، كما هو موضح في الشكل 8، الشكل 9، الشكل 10.

التحميل العام المركب VHM: تم انجازه بنمذجة مرحلتين متتاليتين كما يوضح الشكل 5:

- المرحلة الأولى: تطبق قوة شاقولية مباشرة عند النقطة المرجعية (RP) reference point، وتعرف قيمتها كجزء من الحمولة المحورية الحدية الشاقولية V_{ult} ، أي $v = V/V_{ult}$ حيث v تأخذ النسب التالية: 0.9, 0.75, 0.5, 0.

ولحساب الحمولة المحورية الحدية الشاقولية V_{ult} تم تطبيق انتقالات شاقولية v بالنسبة للنقطة المرجعية RP وحساب رد الفعل الشاقولي المقابل حيث: $V_{ult} = q_{uv} * B$ ثم تم حساب النسب التالية: $v=0, 0.5, 0.75, 0.9$

- المرحلة الثانية: تمت باستخدام تحليل The displacement probe حيث تطبق نسب ثابتة من الانتقالات الأفقية u والدورانات θ عند النقطة المرجعية (RP) reference point ينتج عنها قوى أفقية H وعزوم M .



شكل 5: تعريف مقطع الأساس، مقطع التربة المنمذج

5. النتائج والمناقشة

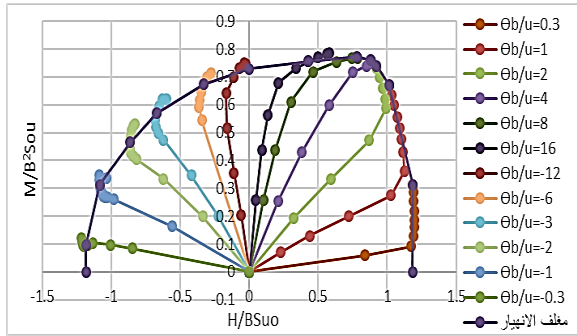
1.5 الحمولة الحدية المحورية الشاقولية

يبين الشكل 6 قدرة التحمل الحدي الشاقولي q_{uv} ويبين الجدول 1 قيم الحمولة المحورية الحدية الشاقولية من أجل الأساس المدروس ولنسب انطمار مختلفة $d/B=0, 0.2, 0.5, 1$.

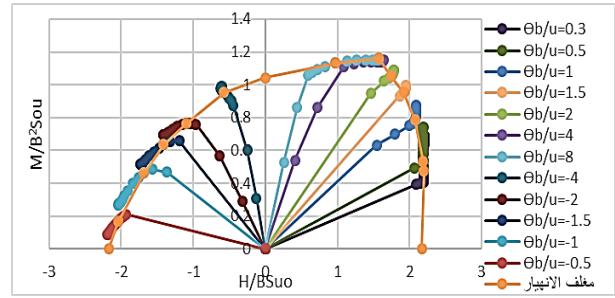
جدول 1: الحمولة المحورية الحدية الشاقولية V_{ult} بدلالة نسب

انطمار d/B

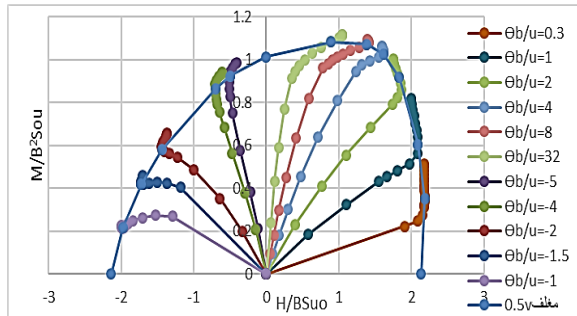
d/B	V_{ult} (kN)
0	1320
0.2	1550
0.5	1820
1	2180



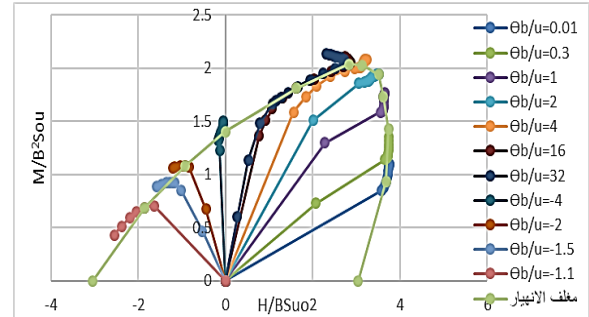
شكل 11 : مغلف الانهيار ($d/B=0, v=0.5$)



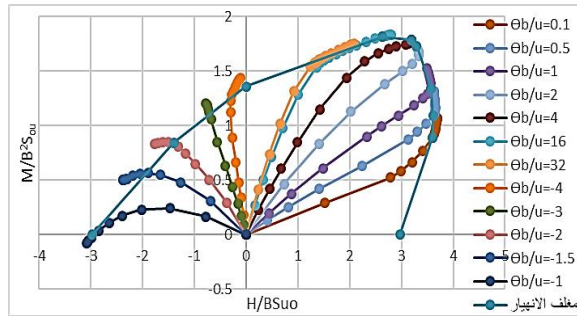
شكل 8 : مغلف الانهيار ($d/B=0.2, v=0$)



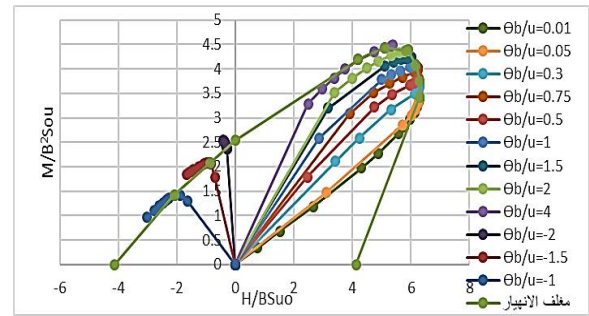
شكل 12 : مغلف الانهيار ($d/B=0.2, v=0.5$)



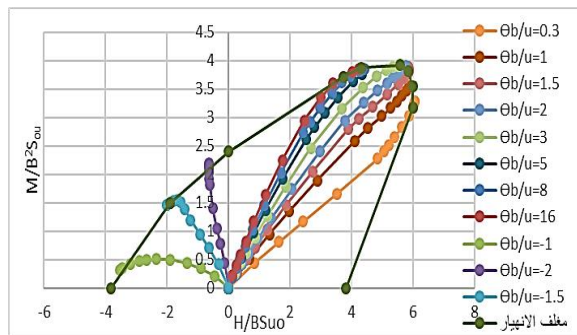
شكل 9 : مغلف الانهيار ($d/B=0.5, v=0$)



شكل 13 : مغلف الانهيار ($d/B=0.5, v=0.5$)



شكل 10 : مغلف الانهيار ($d/B=1, v=0$)



شكل 14 : مغلف الانهيار ($d/B=1, v=0.5$)

شرائح مغلف الانهيار في فضاء VHM

Slices of Failure Envelope in VHM Space

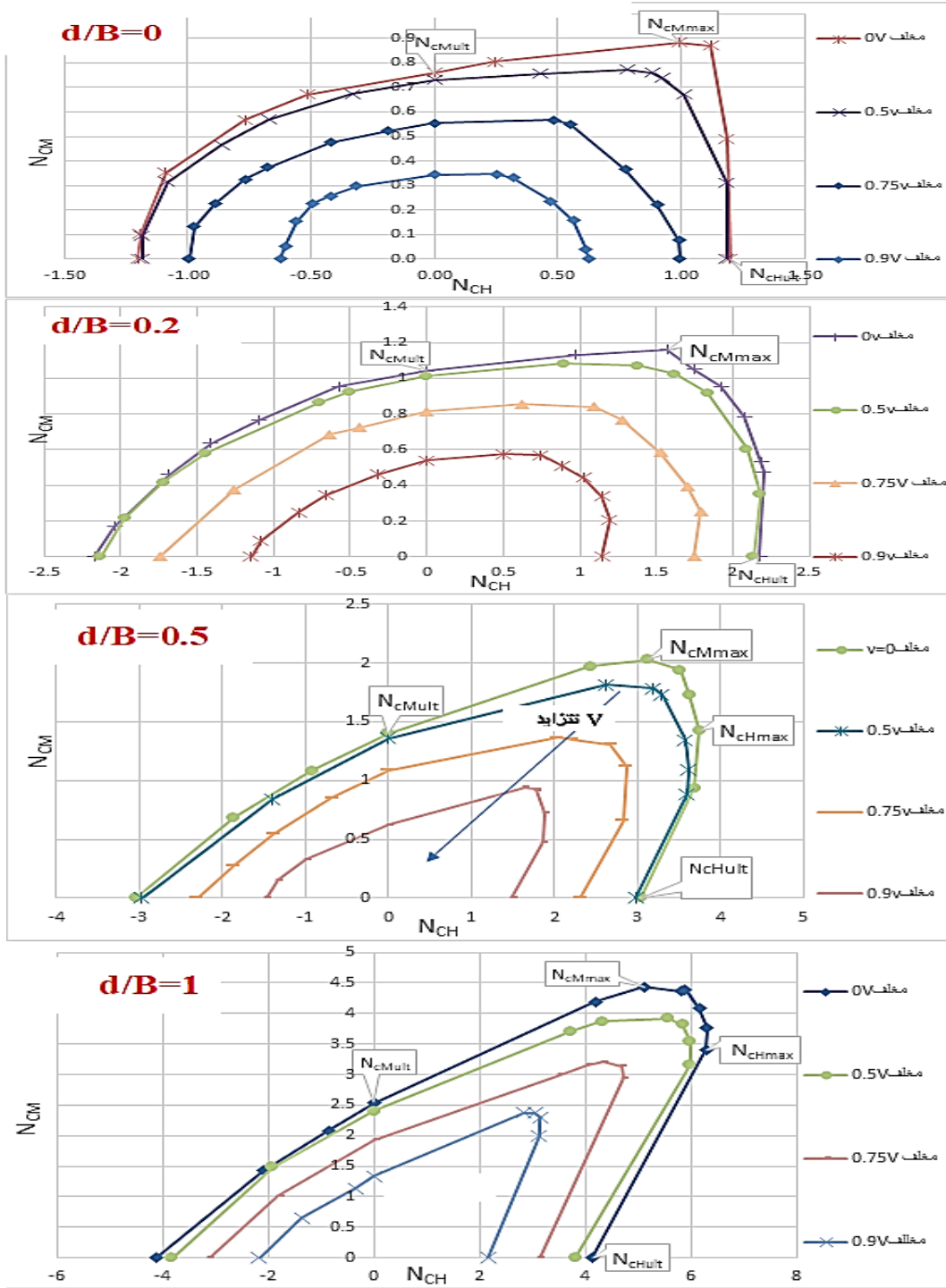
يظهر في الشكل 11 إلى الشكل 14 شرائح ثنائية الأبعاد لمغلف الانهيار في مستوى HM خلال فضاء VHM ثلاثي الأبعاد عند مستوي الحمولة الحدية الشاقولية $v=V/V_{ult}=0.5$ من أجل $d/B=0,0.2,0.5,1$.

يبين الشكل 15 مغلفات الانهيار لنسب انطمار $v=V/V_{ult}=0,0.5,0.75,0.9$ ، ومن أجل مستويات التحميل المختلفة $d/B=0,0.2,0.5,1$.

نلاحظ في الشكل 15 ومن أجل $d/B=0,0.2,0.5,1$ ما يلي:

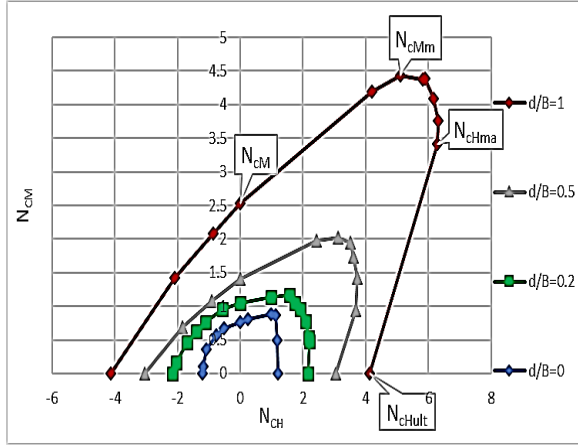
تأثير مستويات التحميل الشاقولي على مغلفات الانهيار

- يتناقص حجم مغلغات الانهيار بزيادة قيمة القوة الشاقولية المطبقة، أي تتناقص قدرة التحمل المركبة بزيادة التحميل الشاقولي.
- أكبر قدرة تحمل تتحقق للأساس الإزاري عند تحميل شاقولي يساوي الصفر، وبالتالي فإن طريقة مغلغات الانهيار مثلت مقاومة الرفع Uplift Capacity في الأساس الإزاري.
- شكل مغلغ الانهيار مستقل عن مستوى التحميل الشاقولي.



شكل 15: مغلغات الانهيار من أجل ($d/B=0, d/B=0.2, d/B=0.5, d/B=1$)

يبين الشكل 18 ازدياد حجم مغلفات الانهيار، أي ازدياد قدرة التحمل المركب، والتحمل الحدي المحوري الأفقي (تقاطع المغلفات مع المحور الأفقي) والتحمل الحدي المحوري للعزم (تقاطع المغلفات مع المحور الشاقولي) بزيادة نسب الانطمار d/B .

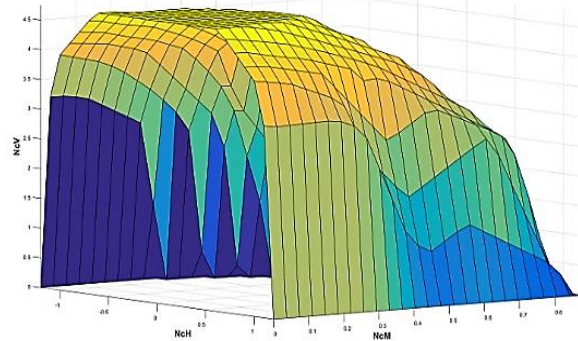


شكل 18: مغلفات الانهيار من أجل $v=0$ بدلالة نسب انطمار d/B

- مغلف الانهيار في فضاء VHM

Failure Envelope in VHM Space

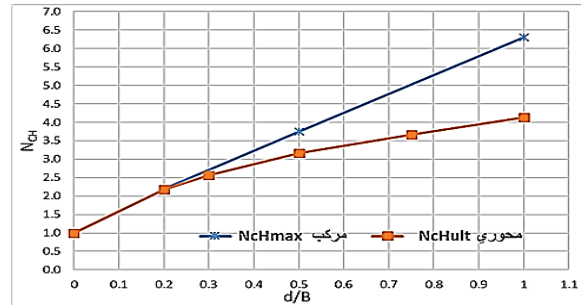
تم استخدام برنامج MATLAB من أجل رسم مغلفات الانهيار في فضاء ثلاثي الأبعاد لتوضيحها بشكل كامل، حيث تبين الأشكال: الشكل 19، الشكل 20، الشكل 21، الشكل 22 مغلفات الانهيار في فضاء ثلاثي الأبعاد $3d$ من أجل $d/B=0,0.2,0.5,1$ ولعدة مستويات من الحمل الشاقولي $v = V/V_{ult} = 0,0.5,0.75,0.9$ الحدية



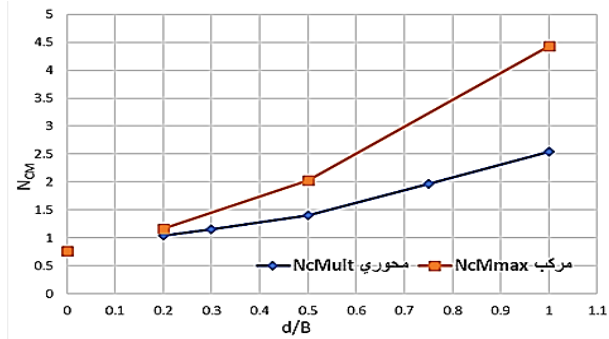
شكل 19: مغلف الانهيار الفراغي $d/B=0$

تأثير عمق الانطمار على مغلفات الانهيار

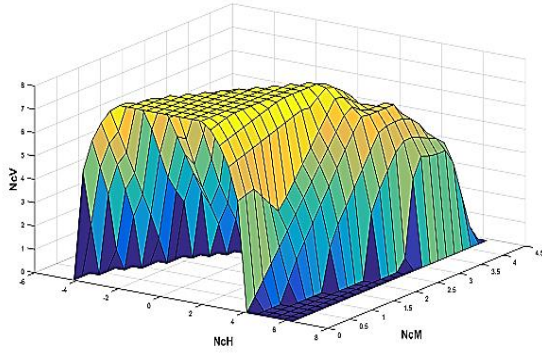
نلاحظ أن مغلفات الانهيار في فضاء الحملات HM لا مركزية، كما أنها تبدي انحراف عن المحور الشاقولي N_{cm} حيث أن أكبر قدرة تحمل مركب للعزم والتي يعبر عنها بعامل قدرة التحمل المركب الأعظمي $N_{cMmax} = M_{max}/B^2 S_{uo}$ لا تتوافق مع قدرة التحمل الحدي المحوري للعزم (نقطة تقاطع المغلف مع المحور الشاقولي N_{cM} حيث $V=H=0$) والتي يعبر عنها بعامل قدرة التحمل المحوري الحدي للعزم $N_{cMult} = M_{ult}/B^2 S_{uo}$ ، وكذلك بالنسبة لقدرة التحمل للقوى الأفقية حيث لا تتوافق القيمة المركبة الأعظمية لعامل قدرة التحمل N_{cHmax} مع القيمة المحورية الحدية N_{cHult} (نقطة تقاطع المغلف مع المحور الأفقي N_{cH} حيث $V=M=0$). يبين الشكل 16، الشكل 17 مقارنة بين القيم الأعظمية لعوامل قدرة التحمل المركب N_{cMmax} ، N_{cHmax} والقيم الحدية المحورية N_{cMult} ، N_{cHult} ويفسر هذا الاختلاف في القيم بوجود اقتران متبادل بين درجتي الحرية للقوى الأفقية والعزوم يؤدي إلى تطور في قدرة التحمل لهما عن القيم الحدية المحورية، ويزداد هذا الاختلاف في القيم بازدياد عمق الانطمار الذي تؤمنه الإزارات.



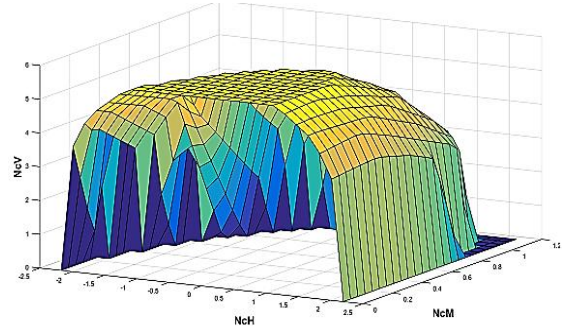
شكل 16: مقارنة عامل قدرة التحمل N_{cHult} ، N_{cHmax} بدلالة نسب انطمار d/B



شكل 17: مقارنة عامل قدرة التحمل N_{cMmax} ، N_{cMult} بدلالة نسب انطمار d/B



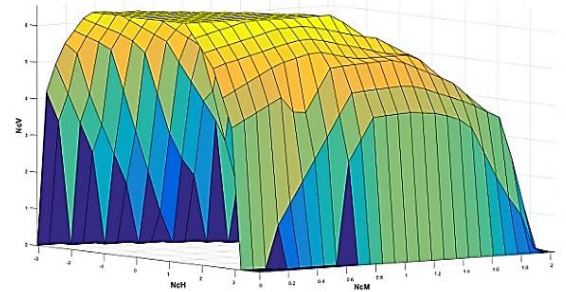
شكل 22: مغلف الانهيار الفراغي $d/B=1$



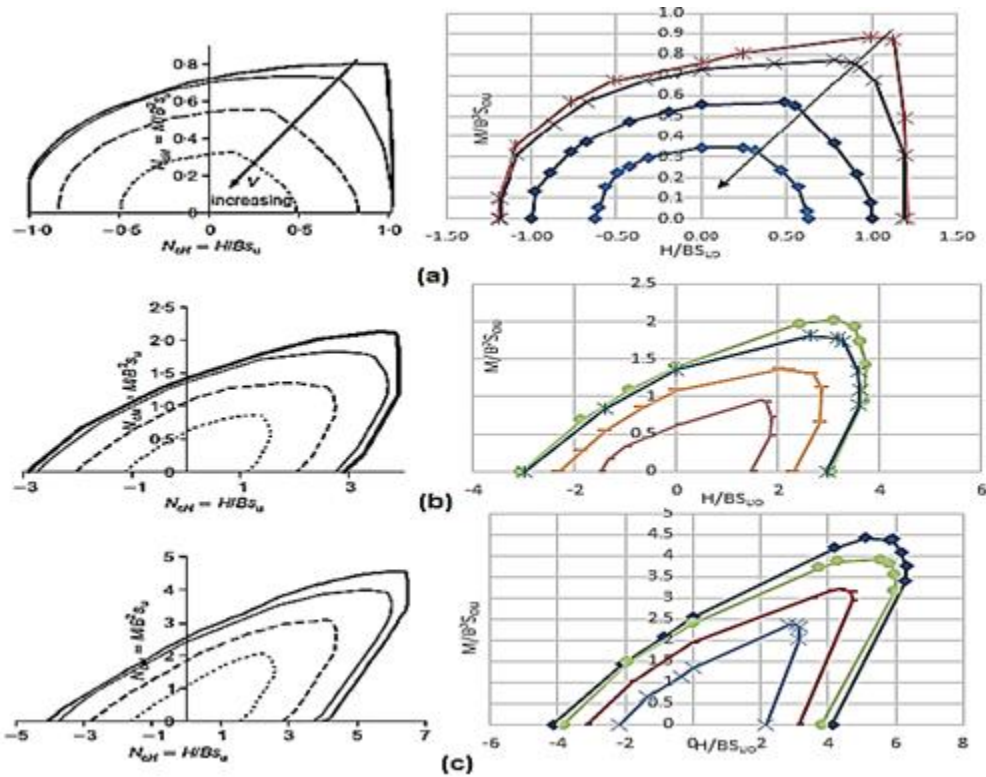
شكل 20: مغلف الانهيار الفراغي $d/B=0.2$

6. المقارنة مع الأبحاث والدراسات السابقة

يبين الشكل 23 مقارنة مغلفات الانهيار لأساس صلب مطمور شريطي والتي تم التوصل إليها في دراسة سابقة [14] مع مغلفات الانهيار التي تم التوصل إليها في هذا البحث لأساس ازاري شريطي، وذلك من أجل تربة ذات مقاومة قص غير مصرفة موحدة، ولنسب انطمار $d/B=0,0.5,1$ ومن أجل مستويات من الحمولة الشاقولية $v=0.5,0.75,0.9$ ، حيث نلاحظ تقارب في حجم وشكل مغلفات الانهيار.



شكل 21: مغلف الانهيار الفراغي $d/B=0.5$



شكل 23: مقارنة مغلفات الانهيار (A) دراسات سابقة (B) هذه الدراسة: (a) $d/B=0$ ، (b) $d/B=0.5$ ، (c) $d/B=1$ ، من أجل مستويات تحميل شاقولي $v=0,0.5,0.75,0.9$

7. الاستنتاجات والتوصيات

بينت النتائج أن للإزارات دور في زيادة قدرة التحمل الحدي المحوري للقوى الشاقولية والأفقية وللعزوم، حيث تزداد قدرة التحمل المحوري بازدياد نسب الانطمار d/B الذي تؤمنه الإزارات، كما أن للإزارات دور في زيادة قدرة التحمل المركب حيث يزداد حجم مغلفات الانهيار بزيادة نسب الانطمار d/B .

يتغير حجم مغلفات الانهيار بتغير مستويات التحميل الشاقولي أيضاً، وأكبر قدرة تحمل تتحقق للأساس الإزاري الشريطي عند تحميل شاقولي يساوي الصفر أو عند مستوي منخفض من التحميل الشاقولي ومع ازدياد التحميل الشاقولي فإن قدرة التحمل المركب تتناقص.

تؤثر نسبة الانطمار على شكل مغلفات الانهيار الفراغية، أما مستويات التحميل الشاقولي يكون تأثيرها على شكل مغلف الانهيار محدوداً من أجل نسب الانطمار المطبقة.

بينت مغلفات الانهيار وجود تطور في قدرة التحمل المركب للقوى الأفقية والعزوم عن القيم الحدية المحورية لهما يزداد بازدياد عمق الانطمار الذي تؤمنه الإزارات.

يؤكد تقارب حجم وشكل مغلفات الانهيار للأساسات الإزارية الشريطية الذي تم التوصل إليها في هذا البحث مع حجم وشكل مغلفات الانهيار للأساسات الشريطية الصلبة المظورة في أبحاث سابقة على إمكانية تمثيل الأساسات الإزارية الشريطية باعتبارها أساسات صلبة مظورة من أجل حالة تربة غضارية مشبعة ذات مقاومة قص غير مصرفة موحدة.

نوصي بالعمل على استخدام الأساسات الإزارية بشكل أوسع في المشاريع الهندسية ووضع أنظمة خاصة بها لدورها في زيادة قدرة التحمل الحدي المحوري والتحمل المركب، خاصة في المنشآت التي تتعرض لحمولات جانبية كبيرة وعزوم مثل الأبنية العالية، وفي المواقع التي يشكل فيها وجود الماء مشكلة، كما نوصي بالاستفادة من مغلفات الانهيار التي تم التوصل إليها في هذا البحث في تصميم الأساس الإزاري الشريطي على تربة غضارية مشبعة ذات مقاومة قص موحدة فإذا كانت الحمولات المطبقة المعايير تقع داخل مغلف الانهيار الموافق بحسب النسبة d/B فيكون عندها الأساس المصمم آمناً، إضافة إلى ذلك يجب العمل على وضع دراسات جديدة تأخذ بعين الاعتبار دور العناصر الإزارية في مقاومة القوى الديناميكية.

8. الخلاصة

يقدم البحث دراسة لقدرة التحمل المركبة للأساس الإزاري الشريطي على غضار ذو مقاومة قص موحدة من أجل نسب انطمار مختلفة باعتماد طريقة مغلفات الانهيار. حيث بينت النتائج دور الإزارات في زيادة قدرة التحمل المحوري والمركب وبالتالي أهمية الأساسات الإزارية في مقاومة القوى الأفقية والعزوم كما بينت أهمية اعتماد مغلفات الانهيار عند تصميم هذه الأساسات لما توفره من تمثيل حقيقي لقدرة التحمل المركب إضافة إلى سهولة تصميم الأساس الإزاري اعتماداً عليها.

المراجع

- [1] VULPE C., (2015). Design method for the undrained capacity of skirted circular foundations under combined loading: effect of deformable soil plug. *Géotechnique* 65, No. 8, 669–683.
- [2] Efthymiou, G. (2017). Static and Dynamic Analysis of Circular Skirted Foundations. Master Thesis, National Technical University, Athens.
- [3] Randolph, M. & Gourvenec, S. (2011). *Offshore geotechnical engineering*. Abingdon, UK: Spon Press.
- [4] Azzam, W. R, (2011) Numerical modeling of skirted foundation subjected to earthquake loading. *Proceedings of the 15th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Mozambique Maputo*, 113-118.
- [5] Vulpe, C., Gourvenec, S. & Power, M. (2014). A generalised Failure Envelope for Undrained Capacity of Circular Shallow Foundations under General Loading. *Géotechnique Lett.* 4, No. 3, 187–196.
- [6] Gourvenec, S. (2003). Alternative design approach for skirted footings under general combined loading. *BGA International Conference on Foundations (ICOF)*, 341-349.
- [7] Yun, G. & Bransby, M. F. (2007). The horizontal-moment capacity of embedded foundations in undrained soil. *Can. Geotech. J.* 44, No. 4, 409–427.
- [8] Gourvenec, S. & Mana, D. K. S. (2011). Undrained Vertical Bearing Capacity Factors for Shallow Foundations. *Géotechnique Lett.* 1, No. 4, 101–108.
- [9] Gourvenec, S. & Randolph, M. F. (2003). Effect of Strength Non-Homogeneity on The Shape and Failure Envelopes for Combined Loading of Strip and Circular Foundations on Clay. *Géotechnique* 53, No. 6, 575–586.
- [10] Yun, G., and M. F. Bransby. (2007a). The undrained vertical bearing capacity of skirted foundations. *Soil and Foundations, Japanese Geotechnical Society*, vol. 47, No. 3, 493–505.

- Mechanics and Arctic Engineering, pp. 413-416; 4 pages.
- [13] Bienen, B., Gaudin, C., Cassidy, M. J., Rausch, L., Purwana, O. A. & Krisdani, H. (2012). Numerical modelling of a hybrid skirted foundation under combined loading. *Comput. Geotech* 45, 127–139.
- [14] Gourvenec, S. (2008). Effect of Embedment on The Undrained Capacity of Shallow Foundations Under General Loading. *Geotechnique* 58, No. 3, 177–185.
- [11] ISO (International Standardisation Organisation) (2003). ISO 19901-4: Petroleum and natural gas industries – specific requirements for offshore structures – Part 4: Geotechnical and foundation design considerations, 1st edn. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation.
- [12] Gourvenec, S. & Randolph, M. F. (2003). Bearing Capacity of a Skirted Foundation Under VMH Loading. 22nd International Conference on Offshore