

الاداء الانشائي للأساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة (تحليل عددي باستخدام برنامج Abaqus)

* هدى حسين احمد،^١ احمد جبار محسن

^١ وزارة الاعمار والاسكان والبلديات العامة، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق.

المستخلص

استخدمت الركائز الدقيقة لأول مرة كأسلوب فعال من حيث التكلفة لتحقيق الاستقرار في المنشآت التاريخية وفي الأونة الأخيرة، ازداد استخدام الركائز الدقيقة في جميع أنحاء العالم، حيث استخدمت في الجسور وأبراج الهوائي ولاستقرار المنحدرات والمباني السكنية. في هذا البحث، تم دراسة سلوك الأساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة في التربة الرملية الجافة عددياً. يهدف هذا البحث للتحقق من صحة نموذج العناصر المحدودة المقترح اعتماده في تقدير الهطول وإجهادات التربة لأسس الركائز الدقيقة الحصييرية. يعتمد النموذج المقترح على العنصر الصلب لمحاكاة الأساس الحصييري والركيزة وكتلة التربة. تم استخدام مخطط التكامل الصريح لمحاكاة الجوانب الساكنة اللاخطية لأساسات الركائز الحصييرية وذلك لتجنب الصعوبات الحسابية المرتبطة بالتحليل الضمني بالعناصر المحددة.

تعتمد عملية التحقق من صحة البرنامج على مقارنة نتائج نموذج العناصر المحددة المقترح مع تلك الخاصة بالعمل التجريبي المصغر الذي تم اجراءه سابقاً وتشير المقارنة بين النتائج العددية والتجريبية إلى أن النموذج المقترح للعناصر المحددة دقيق وكاف ويمكن استخدامه في العمل المستقبلي لمحاكاة المشاكل العملية الأكثر تعقيداً لأسس الركائز الحصييرية.

بعد التحقق من صحته، يمكن استخدام هذا النموذج في دراسة معيارية لفعالية استخدام الركائز مع مجموعة أسس حصييره ودراسة عدة عوامل على الاسس مثل العدد والطول والقطر للركيزة. أشارت النتائج العددية إلى أن هناك انخفاض ملموس في الازاحة للأساس الحصييري المستند على الركائز مقارنة بالأساس حصييري غير المستند على الركائز لنفس الحمل المطبق وذلك بزيادة اعداد او اقطار او اطوال الركائز الدقيقة وبهذا يمكن استغلال نتائج النموذج ليكون مؤشراً لتحقيق تصميم اقتصادي للأسس ذات الركائز الدقيقة.

الكلمات الرئيسية: الركائز الدقيقة، اساس حصييري، تربة رملية، نموذج العناصر المحددة.

١- المقدمة

الركائز الدقيقة هي ركائز صغيرة قطرها أقل من ٣٠٠ ملم. وقد تم ابتكارها في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي كوسيلة اصلاح الهياكل التاريخية والحساسة المتضررة مع مرور الوقت خاصة اثناء الحرب العالمية الثانية ويرجع الفضل في بدء تقنية الركائز الدقيقة في إيطاليا من قبل العالم فرناندو ليزي خلال الخمسينيات من القرن الماضي، بينما لم تشاهد الركائز الدقيقة في الولايات المتحدة حتى الثمانينيات.

ومع تقدم التكنولوجيا تحسنت المعرفة بالركائز الدقيقة في السنوات الاخيرة وزادت شعبيتها أيضا وهي الان تستخدم بشكل روتيني للعديد من المشاريع والعمل كنظام أساسي رئيسي للتحميل الثابت والديناميكي. وقد تم استخدامها في الغالب في ظروف الحفر الصعبة، والمساحات المحدودة منذ أن أصبح استخدامها أكثر شيوعا في الثمانينيات، يمكن رؤيتها الان في العديد من مشاريع البناء المختلفة مثل الجسور والهياكل السكنية والمباني التجارية والحواجز وأبراج الهوائي وتوربينات الرياح والابنية القائمة التي تعاني من الهبوط بسبب زيادة الاحمال او وجود مشاكل في قابلية تحمل التربة. ولقد أدى الاهتمام بحماية الهياكل التاريخية الحساسة من الاحداث الزلزالية الخطيرة إلى تطور هذه الركائز فأصبح بالإمكان وضعها في زوايا مختلفة، حيث يتم انشاؤها عند الحاجة إلى الحد الأدنى من الاهتزاز. تم استخدام العديد من الطرق الفيزيائية والعديدية والتحليلية لمعرفة أداء أسس الركائز الحصىرية من قبل العديد من الباحثين مثل:

[2], [3], [4], [7], [8], [9], [15], [17], [18], and [13]

قدم تحليل رقمي لدراسات قدرة التحمل للتربة الرملية باستخدام برنامج ANSYS 10 للعناصر المحدودة. تمت محاكاة التربة الرملية ذات الكثافات المختلفة من الرخوة إلى الكثيفة باستخدام نموذج Drucker-Prager. بينما تم تصميم الركائز والأساس كمواد مرنة. أشارت النتائج إلى زيادة في قدرة التحمل تصل إلى ١١٠٪ باستخدام الركائز الدقيقة وبميل ٣٠ عن المحور العمودي.

[19] قدم نتائج محاكاة عديدة باستخدام FLAC3D لدراسة التأثير المشترك لكثافة الرمال ومستوى الإجهاد على أداء نظام الركائز الدقيقة المائلة والعمودية وتم اختبار طول وقطر الركيزة لتكون ٦ م و ٢٠٠ ملم على التوالي. وقد وجدت النتائج بأن مقاومة الركائز المائلة اعلى من مقاومة الركائز العمودية. [20] قدم نموذجاً ثلاثي الأبعاد للعناصر المحدودة لمحاكاة أساس مستند على الركائز. تتضمن هذه الدراسة عوامل مختلفة مثل المسافة بين الركائز وطول الركيزة وشكلها وقطرها وسمك الأساس وتأثير نوع التربة.

[16] قام بفحص العوامل المؤثرة للركائز الدقيقة بما في ذلك الطول والقطر والانحدار والتباعد باستخدام نموذج العناصر المحدودة PLAXIS 3D. تم افتراض التربة المستخدمة تتكون من طبقتين ؛ تربة رملية رخوة واخرى كثيفة. تم تصميم الركائز الدقيقة على أنها مرنة خطية بينما تم تصميم التربة الرملية بواسطة لدونة Mohr-Coulomb. بلغت أبعاد الأساس الخرساني ٢,٥ م × ٢ م وقد تم تركيب الركائز في أربعة جوانب حول محيط الأساس ويزاوية ميل تتغير من ٧٢-٨٥ درجة وقد أشارت النتائج إلى أن قطر وطول الركائز لهما تأثير طفيف على قدرة تحمل الأساس مقارنة بالعوامل الاخرى. من ناحية أخرى، فإن المسافة بين الركائز كانت ذات تأثير أكبر على قوة التحمل للأساس عندما كان التباعد أصغر من ٢٠ سم بينما كان التباعد أكبر من ٢٠ سم تقريباً يصبح ذات تأثير أقل. ووجد أن ميل الركائز

الصغيرة في التربة كان من أكثر العوامل تأثيراً على قدرة تحمل الأساس حيث توجد زيادة بنسبة ٢٠٪ في قدرة التحمل للأساس عند زيادة ميل الركائز من ٧٢ إلى ٨٥ درجة. تهدف هذه الدراسة الى اعتماد نموذج مقترح للعناصر المحدودة باستخدام برنامج (Abaqus) لدراسة تأثير مختلف العوامل مثل القطر والطول والعدد على الهطول لأساس حصييري مستند على الركائز الدقيقة.

٢- الجانب العملي

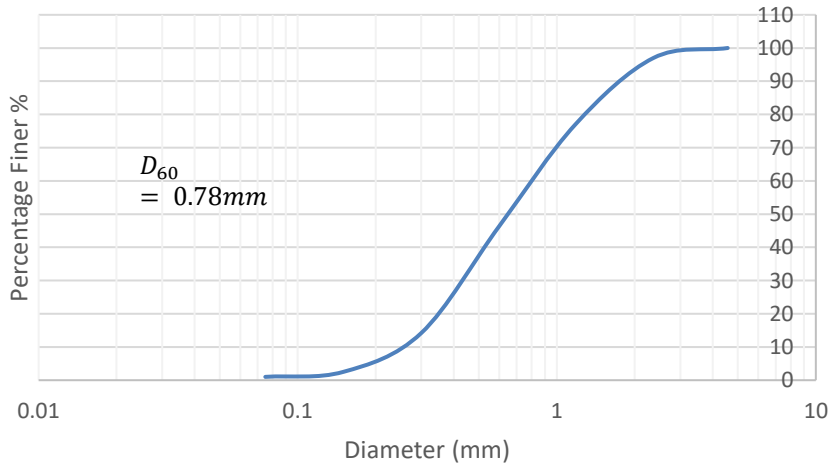
تم اعتماد العمل التجريبي [10] للتحقق من صحة استخدام البرنامج ومناقشة نتائج نموذج العناصر المحدودة (Abaqus). يتكون هذا العمل التجريبي من خمسة نماذج للأساس الحصييري المستند على التربة الرملية، يشتمل الاختبار المرجعي الأول على أساس حصييري مربع الشكل طول ضلعه ١١٧ ملم وسمكه ١٥ ملم. أما الاختبار الثاني والثالث والرابع عبارة عن اساس حصييري مربع الشكل بسمك (١٥, ١٠, ٨) ملم على التوالي ومستند على خمسة ركائز دقيقة. وأخيراً، تم التعامل في الاختبار الخامس مع ركيزة واحدة للتحقق من السلوك المرجعي لركيزة واحدة علما انه جميع الركائز كانت بطول ١٧٨ ملم وقطر ٦ ملم. تم تصغير النماذج اعلاه بنسبة ٤٥/١ وذلك حتى يسهل التعامل معها مختبرياً. التربة المستخدمة في التجارب العملية هي رمل الكوارتز (كربلاء) النظيف والمجفف. تم تحديد The maximum and minimum dry unit weights للرمل طبقاً لمواصفات ASTM D4253 و D4254 على التوالي، وتم إجراء اختبار الوزن النوعي طبقاً لمواصفة ASTM D854، وتم تحليل التدرج الحبيبي طبقاً لمواصفة ASTM D422 واختبار القص المباشر طبقاً للمواصفة ASTM D3080. ويمكن ملاحظة الخواص الفيزيائية للرمل المفحوص من خلال جدول رقم (١).

أما التدرج الحبيبي للرمل فيمكن ملاحظته من خلال شكل رقم (١).

تم صناعة النماذج المختبرية اعلاه باستخدام مادة ال PVC والتي لها معامل مرونة مقداره $E = 2900$ MPa ونسبة بواسون $\nu = 0.4$. كل اجزاء العمل التجريبي قد تم ربطها كما مبين في الشكل (٢).

جدول (١): الخواص الفيزيائية للرمل.

| Grain size analysis | |
|---|-------------------------|
| Property | Value |
| Effective size, D_{10} | 0.27 |
| Coefficient of uniformity, C_u | 2.89 |
| Coefficient of curvature, C_c | 0.96 |
| Classification (USCS) | SP |
| Specific gravity, G_s | 2.64 |
| Dry unit weights | |
| Maximum dry unit weight, γd_{max} | 17.5 kN/m ³ |
| Minimum dry unit weight, γd_{min} | 14.3 kN/m ³ |
| Test unit weight, γd_{test} | 16.06 kN/m ³ |
| Relative density, D_r | 60% |
| Void ratio | |
| Maximum void ratio, e_{max} | 0.846 |
| Minimum void ratio, e_{min} | 0.508 |
| Test void ratio, e_{test} | 0.644 |
| Angle of friction ϕ | 40 |

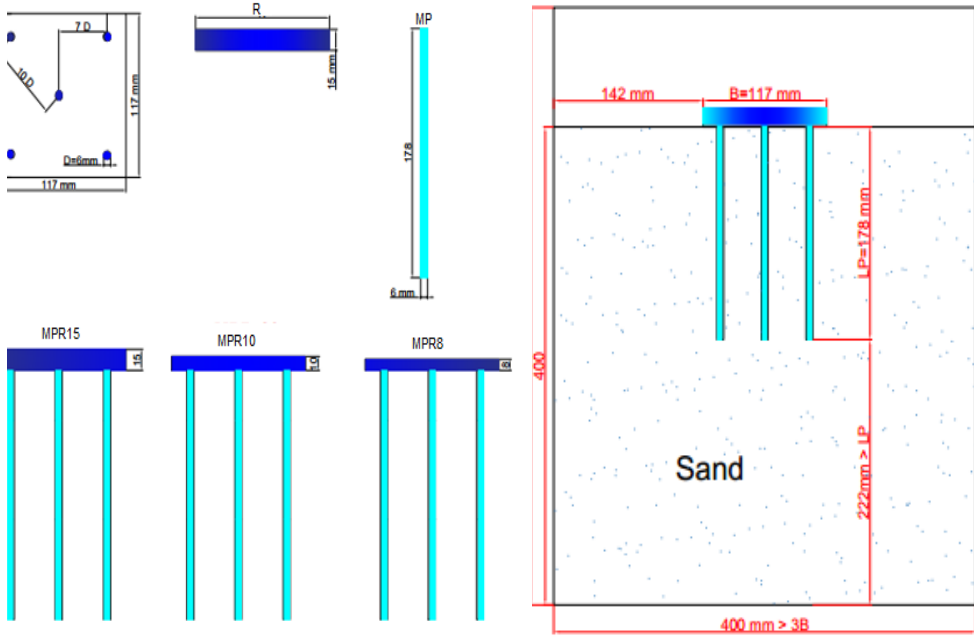


شكل (١): التدرج الحبيبي للرمل.



شكل (٢): نظام جهاز الفحص.

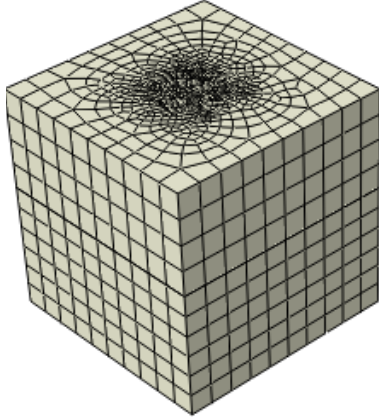
وقد تم تسليط قوة عمودية اثناء الاختبارات باستخدام hydraulic compression handle jack (10 ton 10 ton) وايضا تم قياس القوة العمودية المسلطة بواسطة خلية تحميل كفاءتها خمسة طن "Sewha, Korea" وتم استخدام LVDT عدد اثنان لقياس الازاحة الحاصلة في النموذج اثناء الفحص وايضا تم اىصال اربع مقاييس للانفعال strain gauges بالركائز وثلاثة من مقاييس الانفعال تم اىصالها بالأساس الحصري وكل هذه الاجهزة المذكورة اعلاه تم ربطها مع مسجل البيانات (data logger) والذي بدوره تم اىصاله بجهاز كمبيوتر ليتم بواسطته قراءة وحفظ جميع نتائج الاختبارات. تم استخدام خزان التربة بأبعاد داخلية بطول ٤٠ سم وعرض ٤٠ سم وارتفاع ٥٠ سم وتم اختيار هذه الابعاد لتتوافق مع ابعاد النموذج المفحوص وكما مبين في الشكل (٣) ادناه.



شكل (٣): خزان التربة مع ابعاد نماذج الفحص.

٣- نموذج العناصر المحدودة

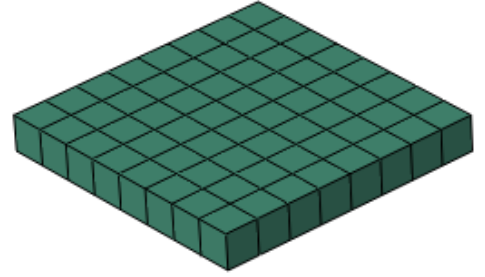
هنا تم الاخذ بنظر الاعتبار النظريات الخاصة بالباحثين: [11], [14], [23] حيث تم استخدام عناصر ثلاثية الأبعاد لمحاكاة كتلة التربة، والركائز الدقيقة، والاسس الحصىرية كما هو موضح في الشكل (٤). وقد تم استخدام التقييد لضمان التوافق بين الاساس والركائز وكتلة التربة. تم استخدام (Radial roller) و (hinge supports) لنمذجة صلابة جدران الحاوية وقاعدتها على التوالي. تم استخدام تقنية التحكم في الإزاحة لتطبيق الضغط على الاساس الحصري. توجد في برنامج (Abaqus) عدة نماذج لمحاكاة التربة وقد تم اختيار نموذج (Mohr coulomb model) لمحاكاة المواد الحبيبية للتربة تحت تأثير الحمل الاحادي الثابت [4].



كتلة التربة



الركيزة

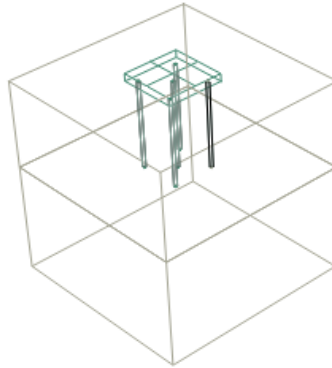


الاساس الحصيروي

شكل (٤): شبكة العناصر المحدودة.

٤- نموذج العناصر المحدودة

سيتم هنا التحقق من صحة نموذج العناصر المحدودة بالاعتماد على النتائج العملية للبحث المذكور اعلاه. تم افتراض ان الترابط مقيد بين الاساس والركائز وكتلة التربة اثناء تجميع العناصر مع بعضها عند الاختبار العددي كما مبين في الشكل (٥) ادناه.



شكل (٥): تجميع الاساس والركيزة وكتلة التربة بالربط المقيد

تم محاكاة الاساس والركائز على انها مرنة وتم استخدام نموذج (Mohr coulomb model) لمحاكاة السلوك المطاطي البلاستيكي لكتلة لتربة وقد تم اختيار خصائص التربة كالتالي وهذا بالاعتماد على جدول رقم (٢) وجدول رقم (٣)

ϕ , of 40° and, c , of 1 N/m^2 the dilation angle, Ψ , of 0 , the Poisson ratio, ν_s , of 0.2 and soil elastic modulus, E_s , of 50 MPa

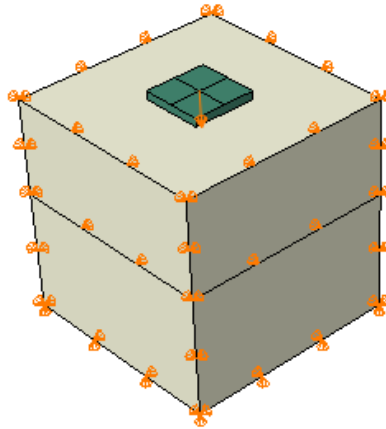
جدول (٢): العلاقة التقريبية بين الكثافة النسبية للرمل وزاوية الكسر الداخلي (Murthy, 2007).

| State of sand | D_r | ϕ° |
|---------------|---------|--------------|
| Very loose | < 0.2 | < 30 |
| Loose | 0.2–0.4 | 30–35 |
| Medium dense | 0.4–0.6 | 35–40 |
| Dense | 0.6–0.8 | 40–45 |
| Very dense | 0.8–1.0 | 45 |

جدول (٣): القيم المسموحة لمعامل مرونة التربة (Bowles, 1997).

| Soil | E_s , MPa |
|-----------------|-------------|
| Clay | |
| Very soft | 2–15 |
| Soft | 5–25 |
| Medium | 15–50 |
| Hard | 50–100 |
| Sandy | 25–250 |
| Glacial till | |
| Loose | 10–150 |
| Dense | 150–720 |
| Very dense | 500–1440 |
| Loess | 15–60 |
| Sand | |
| Silty | 5–20 |
| Loose | 10–25 |
| Dense | 50–81 |
| Sand and gravel | |
| Loose | 50–150 |
| Dense | 100–200 |
| Shale | 150–5000 |
| Silt | 2–20 |

عند اعتماد المحلل الديناميكي الصريح (Dynamic Explicit)، تم تطبيق الحمل المركز بمقدار ١٥٠٠ نيوتن ببطء، في غضون ١٠ ثوانٍ، لتجنب إثارة الجانب بالقصور الذاتي لنموذج العناصر المحدودة.



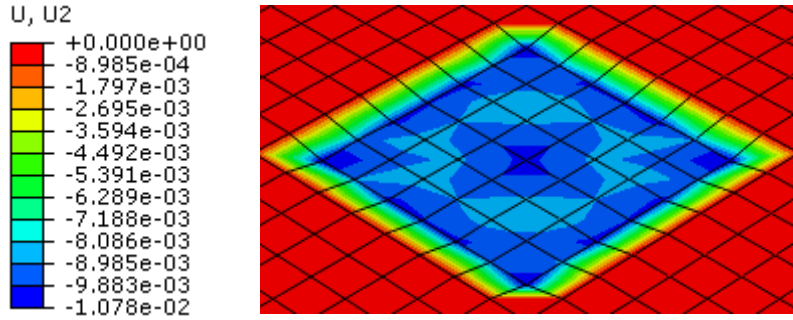
شكل (٦): الأساس الحصري المستند على الركائز مع شروط الحدود وتبسيط الحمل.

٥- النتائج العددية

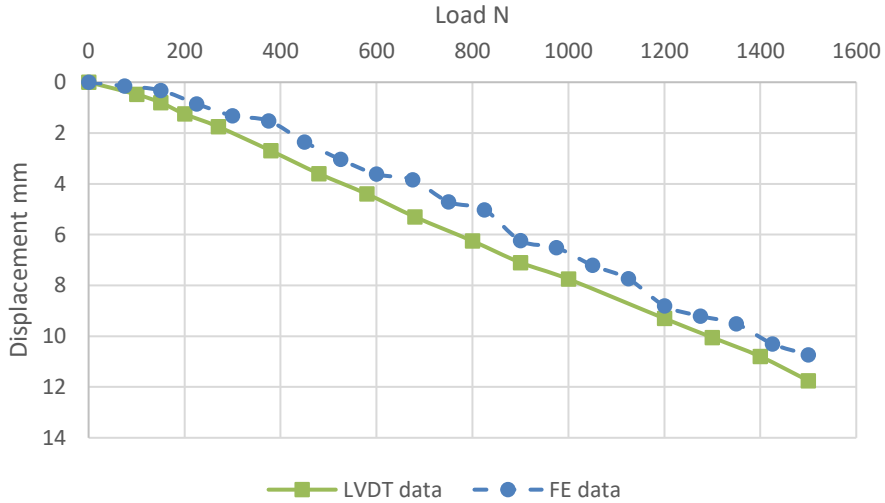
سيتم مناقشة النتائج العددية لبرنامج (Abaqus) في هذا القسم وكما يلي:

٥-١ الأساس الحصري المنفرد

الازاحة للتربة والاساس المنفرد بوحدات المتر يمكن ملاحظتها في الشكل (٧) اما المقارنة بين النتائج العملية والعددية فيمكن ملاحظتها في الشكل (٨).



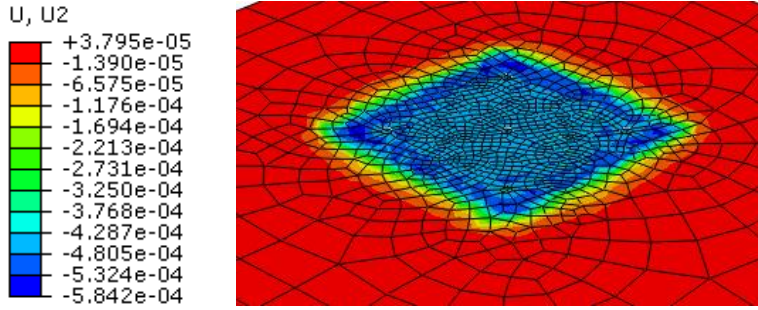
شكل (٧): الازاحة بوحدات المتر في التربة والاساس الحصري المنفرد.



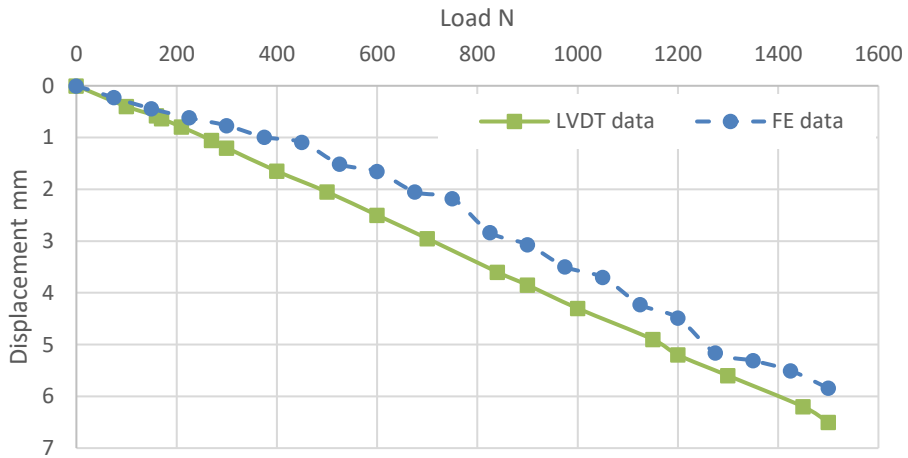
شكل (٨): المقارنة بين النتائج العددية FE وبين النتائج العملية LVDT للأساس المنفرد.

٥-٢ الأساس الحصري المستند على الركائز وبسمك ١٥ ملم

الازاحة للتربة والاساس الحصري المستند على الركائز بسمك ١٥ ملم بوحدات المتر يمكن ملاحظتها في الشكل (٩) اما المقارنة بين النتائج العملية والعددية فيمكن ملاحظتها في الشكل (١٠).



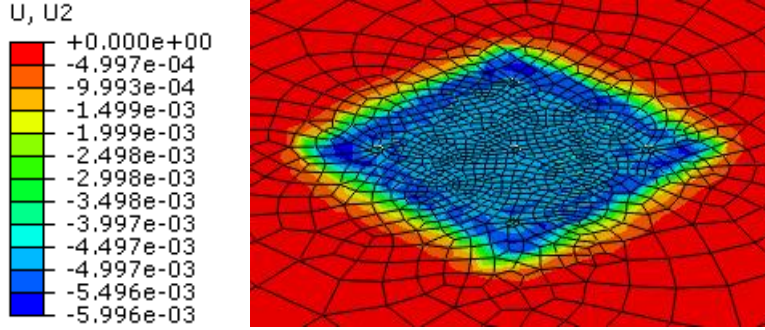
شكل (٩): الازاحة بوحدات المتر للتربة والاساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة وبسمك ١٥ ملم.



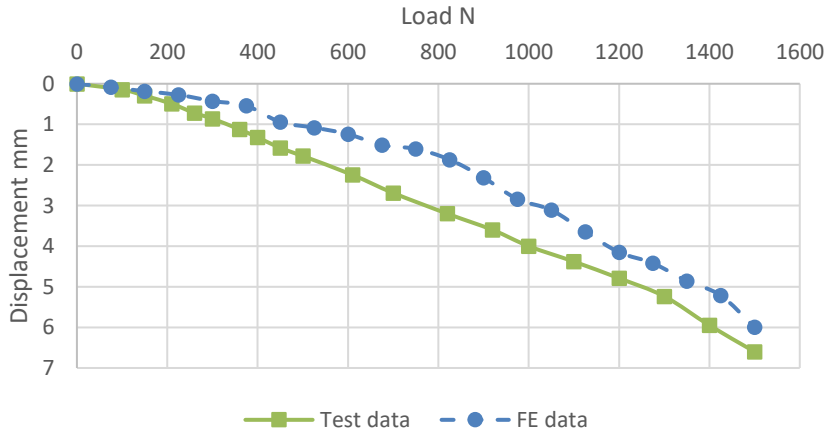
شكل (١٠): المقارنة بين النتائج العددية FE وبين النتائج العملية LVDT للأساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة وبسمك ١٥ ملم.

٣-٥ الاساس الحصييري المستند على الركائز وبسمك ١٠ ملم

الازاحة للتربة والاساس الحصييري المستند على الركائز بسمك ١٠ ملم بوحدات المتر يمكن ملاحظتها في الشكل (١١) اما المقارنة بين النتائج العملية والعددية فيمكن ملاحظتها في الشكل (١٢).



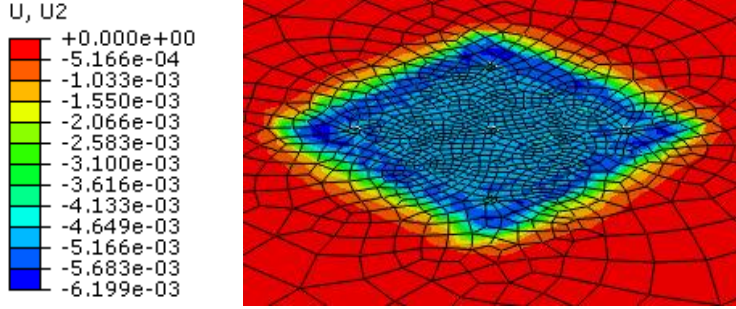
شكل (١١): الازاحة بوحدات المتر للتربة والاساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة وبسمك ١٠ ملم.



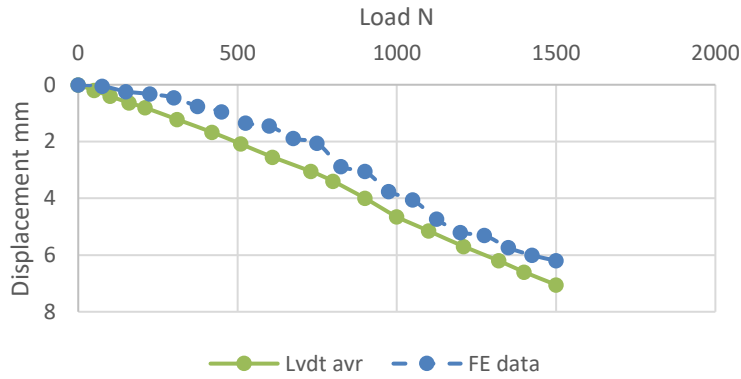
شكل (١٢): المقارنة بين النتائج العددية FE وبين النتائج العملية LVDT للأساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة بسمك ١٠ ملم.

٤-٥ الاساس الحصييري المستند على الركائز بسمك ٨ ملم

الازاحة للتربة والاساس الحصييري المستند على الركائز بسمك ٨ ملم بوحدات المتر يمكن ملاحظتها في الشكل (١٣) اما المقارنة بين النتائج العملية والعددية فيمكن ملاحظتها في الشكل (١٤).



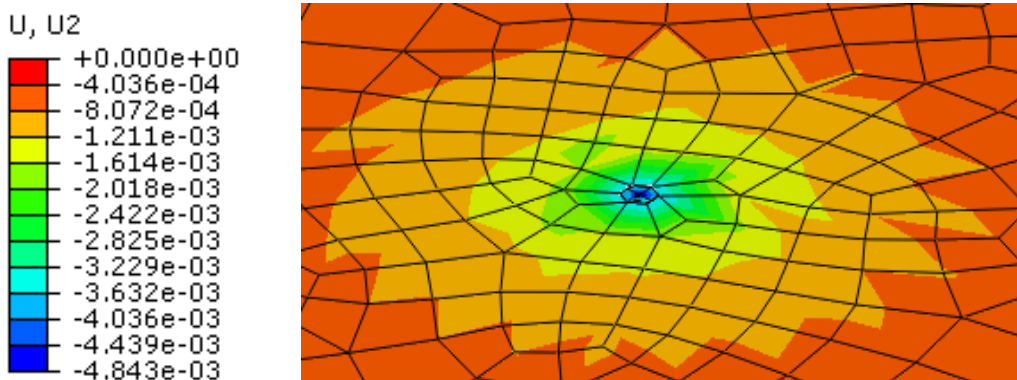
شكل (١٣): الازاحة بوحدات المتر للتربة والاساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة وبسمك ٨ ملم.



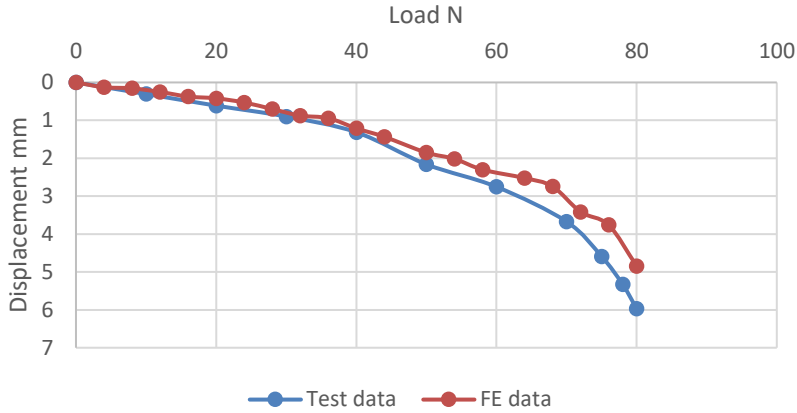
شكل (١٤): المقارنة بين النتائج العددية FE وبين النتائج العملية LVDT للأساس الحصييري المستند على الركائز الدقيقة وبسمك ٨ ملم.

٥-٥ الركيزة المنفردة

الازاحة للتربة والركيزة المنفردة يمكن ملاحظتها في الشكل (١٥) اما المقارنة بين النتائج العملية والعددية فيمكن ملاحظتها في الشكل (١٦).



شكل (١٥): الازاحة بوحدات المتر للتربة والركيزة المنفردة.



شكل (١٦): المقارنة بين النتائج العددية FE وبين النتائج العملية LVDT للركيزة المنفردة.

تشير النتائج العملية الى وجود انخفاض ملحوظ بالإزاحة مقداره ٤٥٪ بالنسبة للأساس الحصريي بسمك ١٥ سم مقارنة بالأساس المنفرد ولا يوجد اختلاف ملحوظ بالإزاحات بين الاساسات بسمك (١٥ - ١٠ - ٨) سم حيث أن الاختلاف بنسبة ١,٥٪ بين الاساس بسمك ١٥ سم والاساس بسمك ١٠ سم وبنسبة ٧,٥٪ بين الاساس بسمك ١٥ سم والاساس بسمك ٨ سم وهذا يعني أن اختلاف سمك الاساس ليس له تأثير كبير على تقليل الإزاحة.

بعد معاينة الاشكال اعلاه يمكن ملاحظة ان النتائج العددية لنماذج العناصر المحدودة الديناميكية تعطي نتائج توافق جيدة مع الاختبارات التجريبية. وتشير المقارنة بين النتائج العددية والتجريبية إلى أن نموذج العنصر المحدد المقترح دقيق وكاف ويمكن استخدامه في العمل المستقبلي لمحاكاة المشكلات العملية الأكثر تعقيداً لأسس الحصريية.

٦- النمذجة (case study)

سنتم اعتماد كتلة تربة بأبعاد (١٨) متر طول و(١٨) متر عرض ويعتمد عمق التربة على طول الركيزة ويكون مساوي لضعف طول الركيزة وعرض مقطع التربة يكون أكبر من ثلاثة اضعاف عرض الاساس اما خصائص التربة فهي كما مبين في الجدول رقم (٤) ادناه:

جدول (٤): القيم المفروضة للخصائص التربة المختلفة.

| القيم المفروضة | خصائص كتلة التربة |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 16.06 kN/m ³ | Density, $\gamma_{d_{test}}$ |
| 35° | angle of shearing resistance, ϕ |
| 60% | relative density, D_r |
| 40 MPa | modulus of elasticity, E_s |
| 0.3 | Poisson ratio, ν_s |
| 1 N/m ² | Cohesion, c |
| 0 | dilation angle, ψ |

تم افتراض أن الاساس كونكريت مربع الشكل أحد أبعاده (٥,٢٥) متر وسمكه (٠,٦) متر ومعامل المرونة الخاص به (٢٩٠٠) ميكا باسكال ونسبة بواسون (٠,٢).
اما الركيزة فهي من الخرسانة وغير مسلحة وشكل مقطعها دائري ولدراسة تأثير طولها فتم افتراض أن قطرها ثابت (٢٠٠) ملم أما الطول فله أربع حالات (٥) متر و(٨) متر و(١٠) متر و(١٥) متر ولدراسة تأثير قطر الركيزة قمنا بتثبيت الطول (٨) متر وتغيير القطر الى أربع حالات (١٥٠) ملم (٢٠٠) ملم و(٢٥٠) ملم و(٣٠٠) ملم. اما العمود المستخدم لتسليط الحمل فتم افتراض أن شكل مقطعه مربع وبأبعاد (١) متر بالطول والعرض والارتفاع.

٧- قابلية تحمل التربة

واحدة من أقدم المعادلات لاحتساب قابلية تحمل التربة وضعت من قبل العالم (Terzaghi (1943)، وبعده قام كلا العالمين Hansen and Meyerhof بتعديلها بإضافة معاملات الشكل والعمق والميل هذه المعادلة أصبحت تستخدم بشكل واسع وهي كالتالي:

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c + q' N_q s_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma W' \quad (1) \text{ معادلة}$$

حيث أن:

is unit cohesion, c

is effective overburden pressure at the base level of the foundation = $\bar{\gamma} D_f$, q'

is effective unit weight above the base level of foundation base, $\bar{\gamma}$

is effective unit weight of soil below the foundation base, γ

is the depth of the foundation, D_f

is the width of the foundation, B

is a factor for effect of water table W'

are shape factors, $s_c s_q s_\gamma$

are depth factors, $d_c d_q d_\gamma$

are load inclination factors, $i_c i_q i_\gamma$

are bearing capacity factors (Varghese, 2012). $N_c N_q N_\gamma$

بالنسبة للتربة الرملية وحالتنا الدراسية حيث ان (C=0) و(D=0) وبهذا يمكن كتابة المعادلة على النحو التالي:

$$q_u = 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma W' \quad (2) \text{ معادلة}$$

بالنسبة للحمل العمودي فإن $i_\gamma = 1$ وبالنسبة للتربة الجافة فإن $W' = 1$ وبالنسبة للاساس المربع فإن

$$s_\gamma = 1, \lambda = 0$$

$$d_\gamma = 1 + 0.1 \left(\tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) \frac{D}{B} \Rightarrow d_\gamma = 1$$

وبالاعتماد على جدول رقم (٥) يمكن ايجاد قيمة N_γ وكما مبين في المعادلة ادناه.

$$N_\gamma = \frac{N_\gamma \text{ for } \phi=34 + N_\gamma \text{ for } \phi=36}{2} = \frac{31.1 + 44.4}{2} = 37.75$$

جدول رقم (٥): عوامل قدرة التحمل ل Meyerhof, Hansen (Bowles, 1997).

| ϕ | N_c | N_q | $N_{\gamma(H)}$ | $N_{\gamma(M)}$ |
|--------|--------|-------|-----------------|-----------------|
| 0 | 5.14* | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 6.49 | 1.6 | 0.1 | 0.1 |
| 10 | 8.34 | 2.5 | 0.4 | 0.4 |
| 15 | 10.97 | 3.9 | 1.2 | 1.1 |
| 20 | 14.83 | 6.4 | 2.9 | 2.9 |
| 25 | 20.71 | 10.7 | 6.8 | 6.8 |
| 26 | 22.25 | 11.8 | 7.9 | 8.0 |
| 28 | 25.79 | 14.7 | 10.9 | 11.2 |
| 30 | 30.13 | 18.4 | 15.1 | 15.7 |
| 32 | 35.47 | 23.2 | 20.8 | 22.0 |
| 34 | 42.14 | 29.4 | 28.7 | 31.1 |
| 36 | 50.55 | 37.7 | 40.0 | 44.4 |
| 38 | 61.31 | 48.9 | 56.1 | 64.0 |
| 40 | 75.25 | 64.1 | 79.4 | 93.6 |
| 45 | 133.73 | 134.7 | 200.5 | 262.3 |
| 50 | 266.50 | 318.5 | 567.4 | 871.7 |

وبالتعويض في معادلة ٢

$$\therefore q_u = 0.5 \times 16.06 \times 5.25 \times 37.75 \times 0.8 \times 1 \times 1 \times 1 = 1273 \text{ kN/m}^2$$

وباعتماد عامل امان FS مقداره ٣ تصبح قابلية تحمل المسموحة كالتالي

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} = \frac{1273}{3} = 424 \text{ kN/m}^2 \quad \text{معادلة (٣)}$$

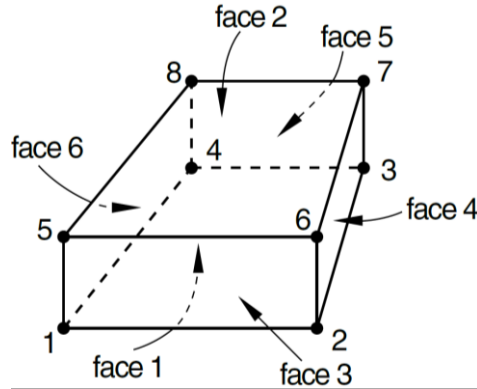
قابلية تحمل التربة المسموحة تعادل حمل مركزي Q يمكن حسابه كالتالي:

$$Q_{\text{Allowable}} = 424 \times 5.25 \times 5.25 = 11686 \text{ kN}$$

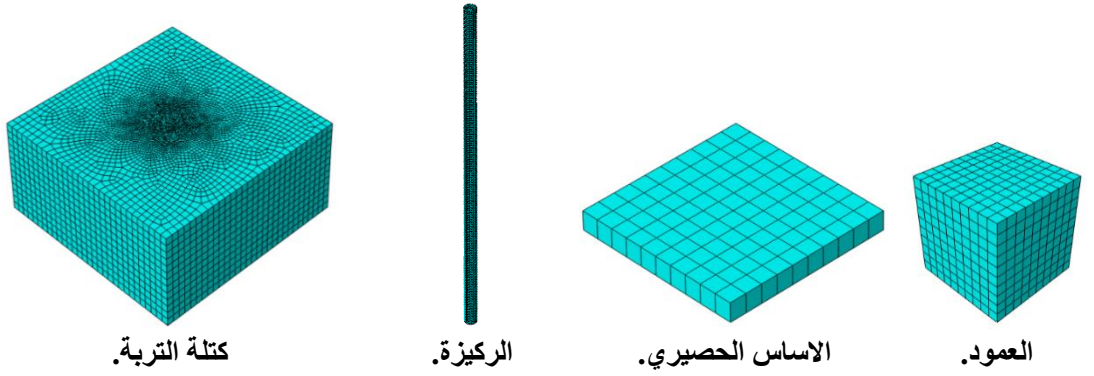
في هذا البحث سوف نستخدم $Q_{\text{Allowable}}$ لاجاد مقدار الازاحة.

٨- النتائج

نموذج العناصر المحدود الذي تمت معايرته في بداية البحث سوف يتم اعتماده في جميع الحالات التي سوف نقوم بدراستها حيث أن الشريحة المعتمدة ثلاثية الابعاد حاوية على ثمانية نقاط وهي من نوع (C3D8R) كما مبين في الشكل (١٧) وسوف تعتمد لتمثيل التربة والاساس والركيزة والعمود كما مبين في الشكل (١٨).

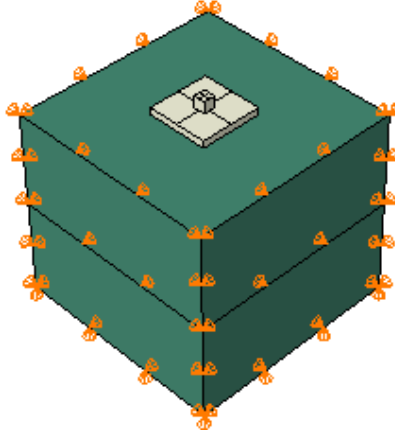


شكل (١٧): الشريحة الثلاثية الابعاد والحاوية على ثمانية نقاط.



شكل (١٨): نماذج العناصر ثلاثية الابعاد.

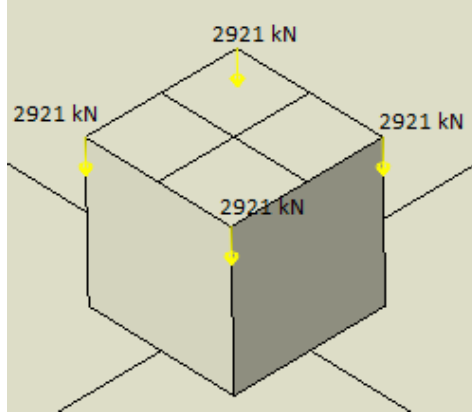
وكما تم سابقاً باعتماد التقييد التام بين نماذج العناصر هنا ايضا سوف يتم اعتماده للتأكد من التوافق بين جميع اجزاء النموذج المعتمد اما بالنسبة للتربة فسوف يتم تقيد حدودها كما موضح في شكل رقم (١٩).



شكل (١٩): الاساس الحصري مع الركائز الدقيقة وشروط التقييد.

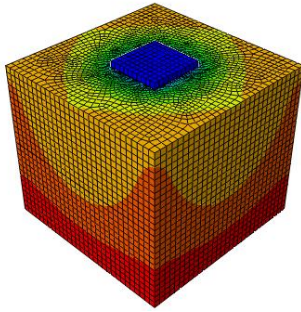
في هذا البحث افترضنا ان كتلة التربة مرنة وخطية لدراسة فعالية استخدام الركائز الدقيقة مع الاساس الحصري لتقليل الازاحة تحت حمل مقداره (11686 KN) في بداية التحميل يتم تطبيق حمل الجاذبية الارضية على كتلة التربة الرملية. هذا الحمل مهم للغاية لأنه سيحدد الضغوط الاولية في جميع عناصر التربة.

٨-١ اساس حصري بدون ركائز واساس حصري مستند على خمسة ركائز بقطر ثابت وطول متغير الحمل المركز للأساس الحصري الخالي من الركائز والاساس الحصري المستند على الركائز ميبين في الشكل رقم (٢٠) ادناه.

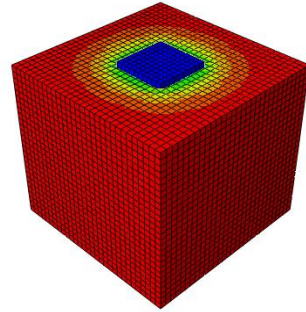


شكل رقم (٢٠): يبين الحمل المركز للأساس الحصييري.

أما شكل الاجهادات بعد تسليط الاحمال على الاسس الحصييرية المستخدمة في هذا الاختبار فمبين في الشكل رقم (٢١) ادناه.



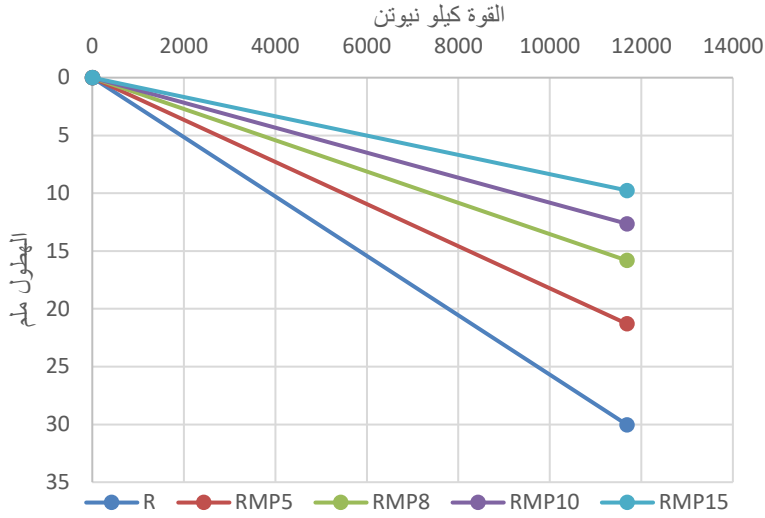
اساس حصييري مستند على خمسة ركائز



اساس حصييري غير مستند على الركائز

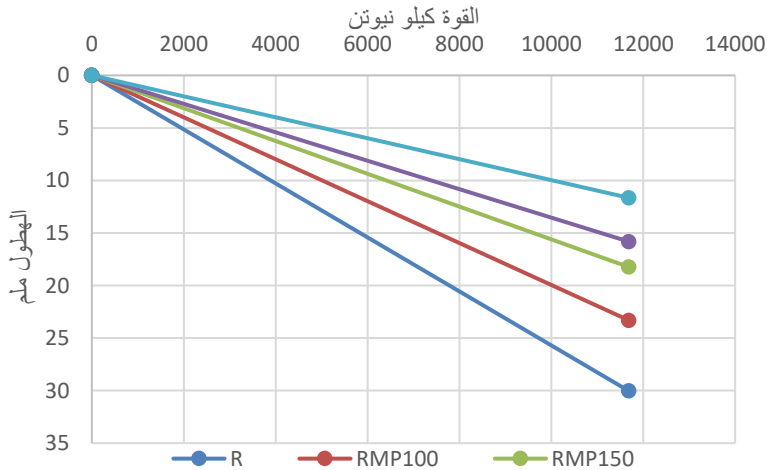
شكل رقم (٢١): الاجهادات والهبوط بعد تسليط الاحمال.

الشكل رقم (٢٢) يبين مقارنة الهطول بين النماذج المقترحة للأسس الحصييرية المستندة والغير مستندة على الركائز وتم اعتماد رموز في المخطط كالتالي: (R: اساس حصييري)، (RMP5: اساس حصييري مستند على ركائز بطول خمسة متر)، (RMP8: اساس حصييري مستند على ركائز بطول ثمانية متر)، (RMP10: اساس حصييري مستند على ركائز بطول عشرة متر)، (RMP15: اساس حصييري مستند على ركائز بطول خمسة عشر متر).



شكل رقم (٢٢): منحنى يبين تأثير تغيير طول الركائز على مقدار الهطول للأساس الحصييري المستند على ركائز بأطوال مختلفة.

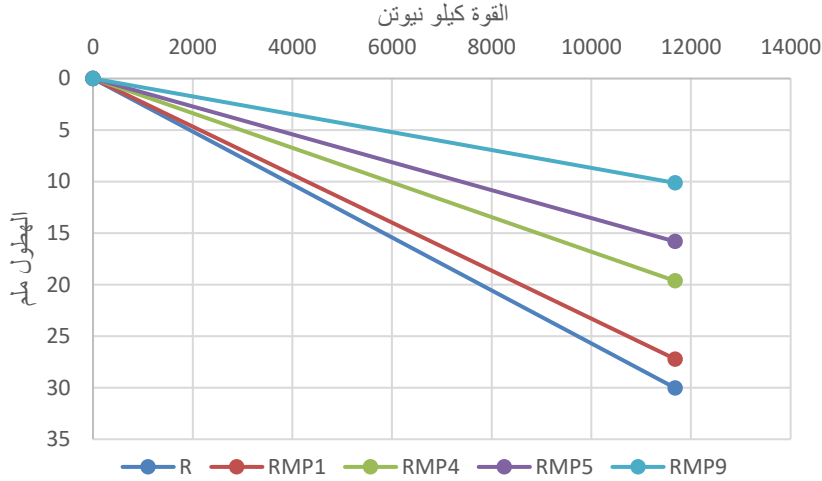
٢-٨ أساس حصييري بدون ركائز واسس حصييرية مستندة على خمسة ركائز بطول ثابت وقطر متغير تم تسليط الاحمال المركزة كما مبين سابقا في شكل رقم (٢٠)، الشكل رقم (٢٣) يبين مقارنة الهطول بين النماذج المقترحة للأساس الحصييرية المستندة والغير مستندة على الركائز وتم اعتماد رموز في المخطط كالتالي: (R: اساس حصييري)، (RMP100: اساس حصييري مستند على ركائز بقطر ١٠٠ ملم)، (RMP150: اساس حصييري مستند على ركائز بقطر ١٥٠ ملم)، (RMP250: اساس حصييري مستند على ركائز بقطر ٢٥٠ ملم)، (RMP300: اساس حصييري مستند على ركائز بقطر ٣٠٠ ملم).



شكل رقم (٢٣): منحنى يبين تأثير تغيير قطر الركائز على مقدار الهطول للأساس الحصييري المستند على ركائز بأقطار مختلفة.

٨-٣ أساس حصيري بدون ركائز واسس حصيرية مستندة على ركائز بأعداد مختلفة

تم تسليط الاحمال المركزة كما مبين سابقا في شكل رقم (٢٠)، الشكل رقم (٢٤) يبين مقارنة الهطول بين النماذج المقترحة للأسس الحصيرية المستندة والغير مستندة على الركائز وتم اعتماد رموز في المخطط كالتالي: (R: اساس حصيري)، (RMP1: اساس حصيري مستند على ركيزة واحدة)، (RMP4: اساس حصيري مستند على اربعة ركائز)، (RMP5: اساس حصيري مستند على خمسة ركائز)، (RMP9: اساس حصيري مستند على تسعة ركائز) جميع الركائز اعلاه بقطر ٢٥٠ ملم وطول ٨ متر.



شكل رقم (٢٤): منحنى يبين تأثير تغيير عدد الركائز على مقدار الهطول للأسس الحصيرية المستندة على ركائز بأعداد مختلفة.

٩- الاستنتاجات

بعد دراسة نتائج الاشكال والمنحنيات الخاصة بالتحقق من صحة نموذج العناصر المحدودة والذي يتمتع بالخواص التالية:

- ١- اعتماد عناصر صلابة للأساس وكتلة التربة والركائز.
 - ٢- اعتماد نموذج (Mohr coulomb model) للسلوك اللدن-المرن لكتلة التربة.
 - ٣- الاعتماد على المحلل الديناميكي السريع Explicit dynamic لمحاكاة الازاحات الكبيرة.
- تشير النتائج الى أن الطريقة اعلاه مناسبة لمحاكاة الاسس الحصيرية المرتكزة والغير مرتكزة على الركائز حيث تم تقييم دقة وكفاءة النموذج بناء على مقارنة نتائجه مع النتائج التي تم الحصول عليها من العمل التجريبي ل (Ahmed and Al-Zaidee, 2019) وبعد التحقق من صحته تبين أنه يمكن استخدامه في البحوث المستقبلية التي تخص مشاكل التصميم التي يصعب تحليلها نسبيا بناء على العمل التجريبي.

في هذا البحث تم اعتماد نموذج العناصر المحدودة والمصادق عليه في دراسة عوامل اخرى مثل تأثير طول الركائز واقطارها على الازاحة في الاسس الحصيرية. وتشير النتائج الى وجود انخفاض في الازاحة كلما زادت الاطوال وكالتالي (٣٠٪، ٤٧٪، ٥٧٪، ٦٦٪) للأسس الحصيرية المستندة على

ركائز بطول (٥, ٨, ١٠, ١٥) متر على التوالي مقارنة بالأساس الحصييري الغير مستند على ركائز. كذلك تشير النتائج الى وجود انخفاض في الازاحة كلما زادت الاقطار وكالتالي (٢٢٪, ٣٩٪, ٤٧٪, ٦١٪) للأسس الحصييرية المستندة على ركائز بأقطار (١٠٠, ١٥٠, ٢٥٠, ٣٠٠) ملم على التوالي مقارنة بالأساس الحصييري الغير مستند على ركائز. كذلك تشير النتائج الى وجود انخفاض في الازاحة كلما زادت اعداد الركائز وكالتالي (١٠٪, ٣٥٪, ٣٩٪, ٦٦٪) للأسس الحصييرية المستندة على ركائز بأعداد (١, ٤, ٥, ٩) على التوالي مقارنة بالأساس الحصييري الغير مستند على ركائز.

المصادر

- [1] Abaqus Analysis User's Manual Volume II (2009).
- [2] Albusoda, N. and Alsaddi, A. (2017) 'Experimental study on performance of laterally loaded plumb and battered piles in layered sand', Journal of Engineering (Eng.J.), vol. 23.
- [3] Al-Jorany, A. and Al-Qaisee, G. (2016) 'Experimental investigation of unsupported excavation considering its effect on a nearby axially loaded pile', Journal of Engineering (Eng.J.), vol. 22.
- [4] Alnuiam, A., El Naggar, H., and El Naggar, M. (2013) 'performance of piled-raft system under axial load', Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 77 2013 91-105.
- [5] Bowles, J. (1997) 'Foundation analysis and design', United States, Mcgraw-hill companies.
- [6] Chen, W. (1975) 'Limit analysis and soil plasticity', Amsterdam, Elsevier.
- [7] Clancy, P., and Randolph, M. (1993) 'An approximate analysis procedure for piled raft foundations', International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, vol.17, pp. 849-869.
- [8] Fioravante, V., and Giretti, D. (2010) 'Contact versus noncontact piled raft foundations', Can. Geotech. J., vol. 47, pp. 1271-1287.
- [9] Horikoshi, K. and Randolph, M. (1996) 'Centrifuge modelling of piled raft foundations on clay', Geotechnique, vol. 46, pp. 741-752.
- [10] Ahmed, H. and Al-Zaidee S. (2019) 'Experimental investigation for effects of mini-piles on the structural response of raft foundations', Civil Engineering Journal, vol. 5.
- [11] Menetrey, P. and Willam, K. (1995) 'Triaxial failure criterion for concrete and its generalization', ACI Structural Journal, vol. 92, pp. 311-318.
- [12] Murthy, V. (2007) 'Advanced foundation engineering', India: CBS.

- [13] Naeini, A. and Fathololumi, N. (2007) 'Effects of the inclination and length variation of micropiles on bearing capacity of sandy soil', 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
- [14] Oden, J. and KiKuchi, N. (1980) 'Finite element methods for constrained problems in elasticity', Texas: TICOM, University of Texas, Austin.
- [15] Poulos, H. and Davis (1980) 'Piled raft foundations: design and applications', Géotechnique, vol. 51, pp. 95-113.
- [16] Pourya, H. (2017) 'Improving the bearing capacity of foundations using micropiles', International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering.
- [17] Randolph, M. (1994) 'Design methods for piled groups and piled rafts', In proceedings of the 13th international conference on soil mechanics and foundation engineering, Issue New Delhi, India, pp. 61-82.
- [18] Salman, D. and Hamoudi, A. (2015) 'Analytical approach for load capacity of large diameter bored piles using field data', Journal of Engineering (Eng.), vol. 21.
- [19] Shanzhi, S. and Balasingam, M. (2010) 'influence of sand state on network effect of micropiles', USA: Submitted to International Journal.
- [20] Sinha, A. and Hanna, A. (2016) '3D numerical model for piled raft foundation', International Journal of Geomechanics, vol. 17.
- [22] Terzaghi, K. (1943) 'Theoretical Soil Mechanics', Wiley, New York.
- [23] Zienkiewicz, O. and Naylor, D. (1972) 'The adaptation of critical state soil mechanics theory for use in finite elements', London.



Structural Performance of Mini-piled Raft Foundation: Numerical Analysis using Abaqus Software

*¹ Huda H. Ahmed, ¹ Ahmed J. Mohsin

¹ Ministry of Construction, Housing, Municipalities and Public Works / Building Research
Directorate, Baghdad, Iraq.

ABSTRACT

Micro piles were first used as a cost-effective method for stabilizing historic structures and more recently, micro piles have increased in use around the world, being used in bridges, antenna towers, slope stabilization and residential buildings. In this paper, the behavior of micro piled raft foundations in dry sandy soils has been studied numerically. This research aims to verify the validity of the proposed finite element model to be adopted in estimating the precipitation and soil stresses of micro piled raft foundations. The proposed model is based on the solid element to simulate the raft foundation, the pile and the soil mass. An explicit dynamic method was used to simulate the nonlinear static aspects of the piled-raft foundations in order to avoid the computational difficulties associated with the implicit finite element analysis. The validation of the program is based on the comparison of the results of the proposed finite element model with those of the previously conducted mini-experimental work. The comparison of the numerical and experimental results indicates that the proposed finite element model is accurate and sufficient and can be used in future work to simulate more complex practical problems for piled-raft foundations. The validation of the model used can be utilized to perform a parametric study to evaluate the effect of different factors on the foundations such as the number, the length and the diameter of the piles. The numerical results indicated that there is a significant decrease in the displacement of the Piled- Raft foundation compared to the Raft foundation for the same applied load, by increasing the numbers, diameters or lengths of the micro piles. The result of study could be utilized as guidelines for achieving economical design for micropiles raft foundation.

Keywords: Micropiles, Raft foundation, Sandy soil, Finite element model.

*Corresponding Author: Huda H. Ahmed - eng.huda81@gmail.com