

تأثير المسافة الأفقية لموقع النفق على هبوط الأبنية السطحية

د. معنز عبد الجبار العبيدي ، استاذ مساعد
قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة الموصل
علي عبد الامير حسين ، طالب ماجستير

الخلاصة

حفر الانفاق في المدن وتحت المنشآت السطحية المستندة على أنواع مختلفة من الاساسات وفي تكوينات جيولوجية مختلفة يؤدي الى ظهور مشاكل مصاحبة لحفر تلك الانفاق ومنها الهبوط السطحي للأبنية والخدمات العامة. يهدف البحث الى دراسة تأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الابنية السطحية باستخدام طريقة العناصر المحددة (3D-FEM) وباعتماد برنامج جاهز (PLAXIS 3D Tunnel). شملت الدراسة عدد من المتغيرات وفي مقدمتها تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الابنية السطحية حيث تم اخذ خمسة مسافات افقية وهي ($X/D=0, 1, 3, 7$ and 10) كنسبة المسافة الى قطر النفق، كما تم اختيار ثلاث تكوينات جيولوجية هي (تربة طينية و رملية وصخور) واستخدمت ثلاث حالات من التحميل على سطح الارض وهي (ارض طبيعية بدون احمال، احمال منتظمة، واحمال الركائز). اظهرت النتائج انه بزيادة المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز المساحة تحت الدراسة يقل معها الهبوط السطحي وخصوصاً في حالة وجود احمال سطحية. إن أقصى هبوط سطحي يكون عندما يكون مركز النفق تحت حافة المنشآت (أحمال منتظمة واحمال الركائز) أي عند المسافة ($X/D = 1$) ويقل بعد ذلك ليتلاشى تأثيره عندما يكون مركز النفق على مسافة (3D) من مركز المنشآت، يكون اكبر تأثير في حالة الركائز بتربة رملية وبزيادة قدرها (52%) في الهبوط السطحي عن حالة بدون احمال. يكون الهبوط السطحي منتظماً عند تطابق مركز النفق مع مركز المنشآت السطحية ($X/D=0$)، ويظهر هبوط متباين عند زيادة المسافة الأفقية عندما تكون قيمة X/D اكبر من صفر.

Effect of Horizontal Distance of Tunnel on the Subsidence of the Surface Building

Dr. Moataz A. Al-Obaydi , Assist. Professor Ali A. Hussien, M.Sc. Student
Civil Engineering Department – College of Engineering - Mosul University

Abstract

In urban areas, tunneling may induce ground movements which distort and damage overlying buildings and services founded on different geological formations. The objective of this study is to examine the effect of horizontal distance between the center of tunnel and the surface buildings. The study has been achieved using 3D-FEM with the aid of PLAXIS 3D Tunnel code. The parametric studies including the horizontal distance between center line of tunnel and the center of loaded area by taking five different distances that as ratios of distance to tunnel diameter ($X/D= 0, 1, 3, 7$ and 10). Three different geological formations have been selected that clay, sand and rock. In addition, three type of surface loadings have been adopted that greenfield, uniform pressure and piles. The results show that the surface subsidence decreasing with the increasing in the horizontal distance between the centerline of tunnel and the center of surface load. The maximum subsidence occurs when the center of tunnel sited under the edge of building (uniform pressure or piles), i.e. when ($X/D=1$). Then, the effect of tunnel vanished when it is at a distance of ($3 \times D$) from the building. The greatest effect of the distance observed in case of pile group in sandy soil by increasing of (52%) in settlement over the unloaded one. The subsidence being uniform when the centerline of tunnel coincides with the center of building ($X/D=0$), while a differential subsidence has been obtained when the distance increases, i.e. $X/D > 0$.

Keywords: Tunnel, Settlement, PLAXIS, Finite Element

1- المقدمة

ان حفر الأنفاق قريبا من سطح الارض في المناطق الحضرية يحتاج إلى حساب الهبوط الحاصل في التربة السطحية [1]. هبوط مماثل قد يؤدي إلى تأثيرات سلبية على الأبنية المقامة على سطح الأرض والقريبة من مركز النفق. يعرف الـ (Subsidence) على أنه هبوط سطح الأرض بسبب طبيعي أو ناتج عن تدخل الانسان بإحداث تغيير في حالة التربة والبنية الهيكلية لها. حيث أصبح الهبوط السطحي الناتج عن عمليات حفر الأنفاق موضوع دراسة من قبل العديد من الباحثين وتم الحصول على العديد من النتائج في هذا المجال [2, 3].

من الدراسات التي اجريت في هذا المجال دراسة أجراها (Burd) وجماعته [4] عام 1994 على تأثير حفر انفاق في مدينة لندن على هبوط الابنية السطحية وخصوصاً تلك المبنية من الطابوق باستخدام طريقة العناصر المحددة وبرنامج I-DEAS ، حيث لاحظ أن منحنى الهبوط يتأثر الى مسافة تساوي عشرة مرات قطر النفق (10D) بعدها يبقى التغير قليل وغير مؤثر. كما درس (Liao) وجماعته [5] عام 2006 تأثير المسافة الأفقية بين النفق ومركز الأبنية السطحية على هبوط سطح الأرض باستخدام برنامج (GeoFBA) واستخدم أنموذجاً ثنائي الأبعاد عرضه يساوي (200m) وارتفاعه (80m) واعتمد مقطع النفق على شكل (Horseshoe) في تربة من نوع الطفل (Loess). وجد أن تأثير النفق على هبوط البناية السطحية أكبر عندما تكون المسافة الأفقية قليلة وكان أعلى هبوط فوق مركز النفق يساوي (200mm) عند المسافة الأفقية (5m) ولنصف عمقه (6m) ويقال إلى أن يصبح بقيمة (165mm) عند المسافة الأفقية (15m). وجد كذلك أن قيمة الهبوط تصبح ثابتة بعد المسافة (15m). درس (Liu) وجماعته [6] عام 2012 تأثير حفر نفق نوع (Shield) على الهبوط السطحي لمetro الانفاق في الصين (Dong Shankau metro) باستخدام برنامج $FLAC^{3D}$ وذلك بتطبيقه على انموذج بأبعاد (98mx50mx35m). تم اختيار نسبة المسافة الأفقية الى قطر النفق () $X/D=0.78, 2.34, 3.9$ and (5.47). لاحظ ان المسافة الأفقية لها اكبر تأثير على هبوط سطح الارض عندما يكون $(X/D < 2)$ ، ويقال التأثير بعد ذلك $(X/D > 3.1)$. اجري (Katebi) وجماعته [7] عام 2013 تحليل ثنائي الابعاد 2D-FEM باستخدام برنامج ABAQUS لبيان تأثير انشاء الانفاق على الابنية السطحية في مدينة تبريز حيث كانت التربة من نوع (SM و SL) وذلك بأخذ مسافات افقية بين النفق والبناية (0, 10, 20, 30, 40m). وجد انه كلما زادت المسافة الأفقية فأن تأثير الابنية على الانفاق يقل وهذا يعتمد على ابعاد البناية وعمق النفق. في حالة الانفاق القريبة من السطح وبناية بعرض قليل فأن التداخل بين النفق والابنية يقل عند مسافة قليلة (30m).

في الدراسة الحالية تم استخدام برنامج PLAXIS 3D Tunnel لدراسة تأثير المسافة الأفقية لموقع نفق دائري وبعمق ثابت على هبوط الابنية السطحية المستندة على عدة انواع من الاسس وفي تكوينات جيولوجية مختلفة.

2- طريقة العمل

1-2 التكوينات الجيولوجية والعناصر الإنشائية Geographical Composition and Structural Elements

شملت التكوينات الجيولوجية على تربة طينية ضعيفة وترتبة مفككة رملية وصخور. خصائص التكوينات الجيولوجية المستخدمة في هذه الدراسة موضحة في الجدول (1). بينما شملت العناصر الإنشائية على الأساس الحصييري والركائز ومادة تبطين جدران النفق Lining وخصائص هذه العناصر الإنشائية موضحة في الجدول (2) والجدول (3). تم إفتراض الخصائص الهندسية بالاعتماد على دراسات سابقة. السلوك اللاخطي للتكوينات الجيولوجية المستخدمة تمثل باستخدام محدد مور-كولومب (Mohr-Coulomb) والذي يعتبر سلوكها (elastic perfect-plastic). بينما تم اعتبار العناصر الإنشائية عناصر خطية بسلوك خطي-مرن (Linear-Elastic). تم استخدام عناصر التداخل لتمثيل مناطق التماس بين عناصر تبطين النفق وعناصر التكوين الجيولوجي المحيط بالنفق.

الجدول (1): خصائص التكوينات الجيولوجية

Properties	Units	Materials		
		رمل-Sand	طين-Clay	صخور-Rock
Model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
γ_{unsat}	kN/m ³	16	17	24
γ_{sat}	kN/m ³	19	19	25
Elasticity Modulus, E	kN//m ²	10000	5000	5 x 10 ⁶
Poisson ratio, v	---	0.35	0.35	0.2
Cohesion, c	kN/m ²	1	20	2500
Angle of internal friction, ϕ	degree	30	22	34
Dilatancy angle, ψ	degree	0	0	10
R _{interface}		0.85	0.85	Rigid

الجدول (2): خصائص العناصر الإنشائية

Properties	Units	Materials	
		Raft Foundation الاساس الحصييري	Tunnel Lining مادة التبتين
Material Type		Elastic	Elastic
EA	kN/m	2.25×10^6	3×10^6
EI	$\text{kN/m}^2 \cdot \text{m}$	1.055×10^6	2.2×10^4
d	m	0.75	0.3
w	kN/m/m	0	8.4
v		0.2	0.15

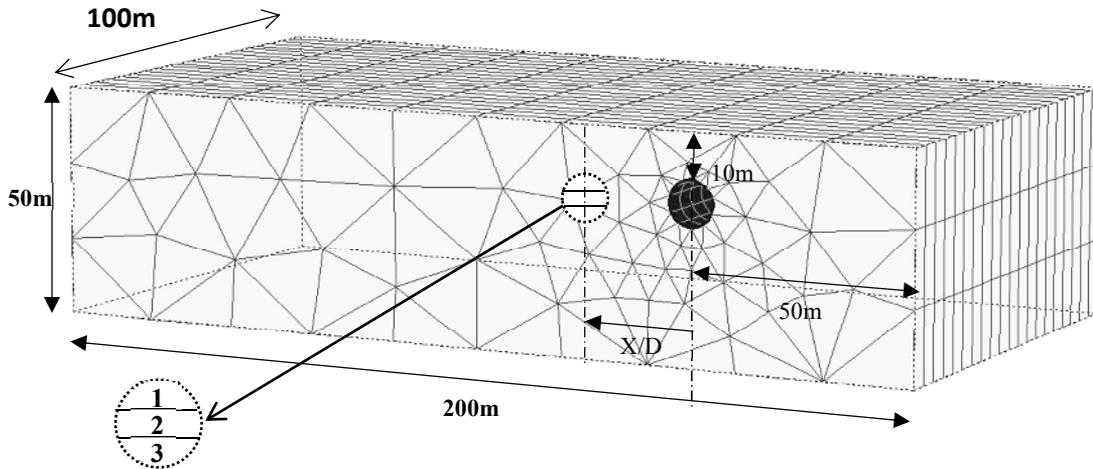
الجدول (3): خصائص العناصر الممثلة للركائز

Material	Model	Material Type	γ_{unsat} kN/m^3	γ_{sat} kN/m^3	E kN/m^2	v
Pile Concrete	Linear Elastic	Non-Porous	24	24	30×10^6	0.2

2-2 خصائص الأنموذج المستخدم في البحث Properties of the Model Used in Study

الأنموذج المستخدم لدراسة تأثير تغير المسافة الأفقية بين مركز المسافة المفترضة ومركز النفق على هبوط سطح الأرض موضح في الشكل (1). عرض الأنموذج يساوي (200m) وارتفاعه (50m) وامتداده باتجاه طول النفق يساوي (100m). بعد مركز النفق عن الحافة اليمنى للأنموذج يساوي (50m) ويتغير مع تغيير موقع النفق إلى أن يصبح على مسافة (50m) من الحافة اليسرى للأنموذج لذا فإن اختيار عرض الأنموذج بقيمة (200m) يسمح بإمكانية تغيير موقع النفق مع إلغاء تأثير الشروط الحدودية للأنموذج على النتائج. عمق النفق ثابت يساوي (10m) من سطح الأرض إلى أعلى نقطة في النفق (Crown) وقطر فتحة النفق يساوي (10m). تم تغيير المسافات الأفقية بين مركز المساحة المفترضة ومركز النفق حسب المسافات المستخدمة في هذه الدراسة وهي خمس مسافات ابتداءً من مركز المساحة المفترضة (X/D = 0, 1, 3, 7 and 10) مثلت عملية حفر النفق بثلاث مقاطع عرضية.

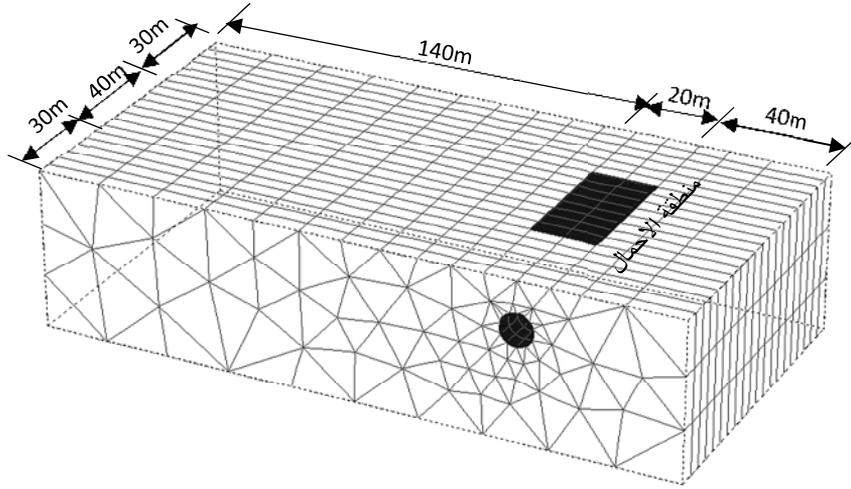
استخدم برنامج PLAXIS 3D Tunnel بأعتماد الشروط الحدودية (Boundary conditions) لجميع النماذج هي اعتبار أن الحد السفلي للأنموذج مثبت (Fixed) في الاتجاهين العمودي والأفقي، في حين أن الحدود الجانبية للأنموذج تتحرك بالاتجاه العمودي فقط وممنوعة في الاتجاه الأفقي (Vertical roller).



الشكل (1): الأنموذج المستخدم لدراسة تأثير المسافة الأفقية

3-2 Type of Loading المستخدمة

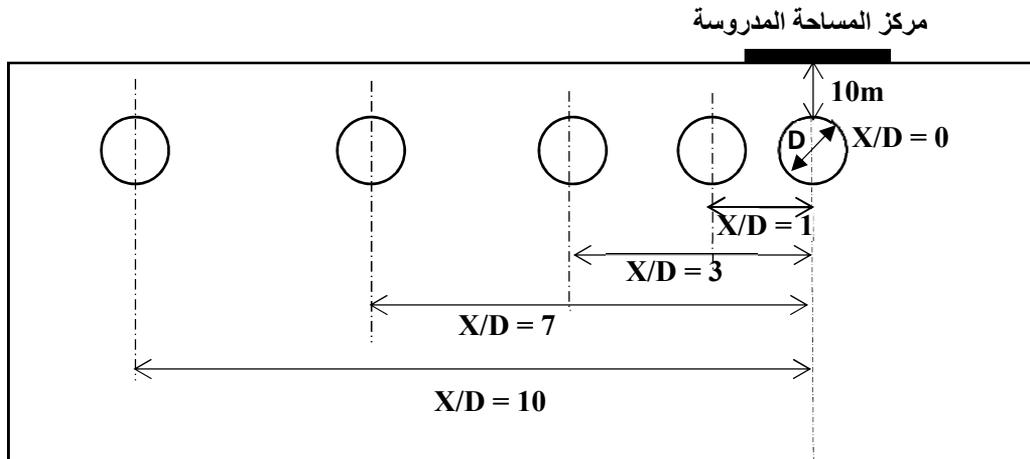
تم دراسة ثلاث حالات للتحميل السطحي، في الحالة الاولى تمت دراسة تأثير حفر الأنفاق على هبوط سطح الأرض في حالة عدم وجود منشأ مقام على سطح الأرض (أي بدون أحمال) وتستخدم كمقياس للمقارنة مع حالة الأحمال الأخرى المستخدمة في الدراسة. في حالة الأساس الحصييري، تم تمثيل الأساس بعناصر خطية (Beam Element) ذات خمس عقد باستخدام حمل سطحي منتظم موزع على الأساس الحصييري ومقداره (150kN/m^2) ، أبعاد الأساس الحصييري $(40 \times 20\text{m})$ بينما سمك صبة الأساس الحصييري يساوي (0.75m) . اما في الحالة الثالثة اعتمد تمثيل مجموعة الركائز على استخدام 45 ركيزة بطول (15m) وبأبعاد $(0.5 \times 0.5\text{m})$ والمسافة الصافية بين كل ركيزة تساوي (5m) ، سمك غطاء الركائز يساوي (0.75m) والحمل السطحي المنتظم الموزع على مجموعة الركائز مقداره (150kN/m^2) . موقع مجموعة الركائز بالنسبة للنماذج المستخدمة مماثل لموقع الأساس الحصييري السابق ذكره. ويبين الشكل (2) الانموذج المستخدم وموقع الاحمال السطحية.



الشكل (2): الأنموذج المستخدم وموقع الاحمال السطحية.

3- النتائج والمناقشة

دُرس تأثير تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الأبنية السطحية على الهبوط على السطح حيث تم تقسيم المسافة إلى خمس مسافات كنسبة المسافة الأفقية إلى قطر النفق $(X/D=0, 1, 3, 7 \text{ and } 10)$ ابتداءً من تطابق مركز النفق مع مركز المنشأ السطحي $(X/D = 0)$ وكما موضح في الشكل (3). تم أخذ قيم الهبوط السطحي عند مركز المساحة المفترضة في حالة الأرض الطبيعية (بدون أحمال) وعند مركز الأساس الحصييري ومركز مجموعة الركائز. قيم الهبوط السطحي تم أخذها للمرحلة النهائية من الحفر (انتهاء حفر النفق).

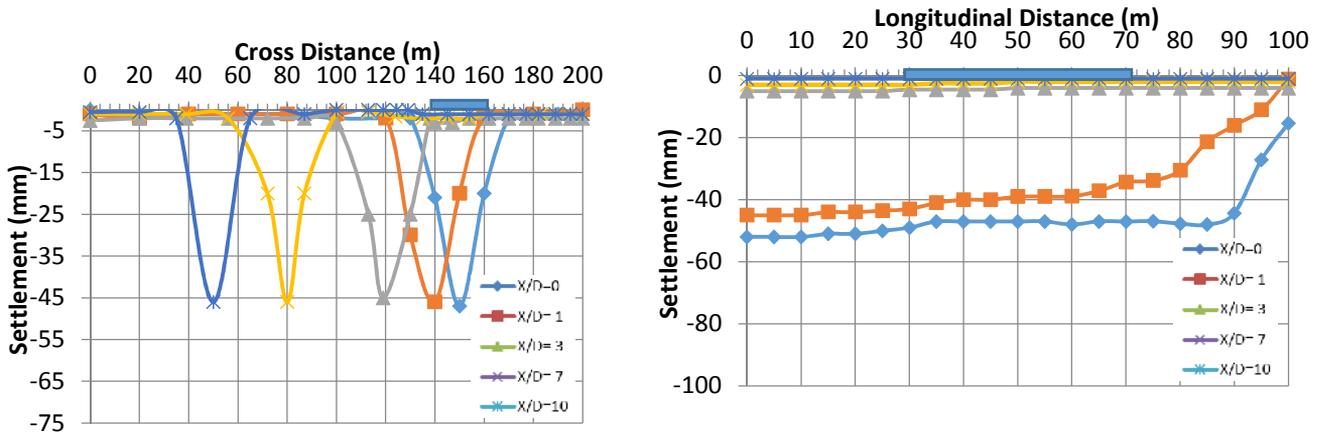


الشكل (3): المسافات الأفقية بين مركز النفق ومركز الابنية السطحية

1.3 الهبوط السطحي في الارض الطبيعية (بدون أحمال)

1.1.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة طينية

النتائج الموضحة في الشكل (4-أ) تمثل منحنى الهبوط لمقطع طولي للمسافات (10 & 7 & 3 & 1 & 0) في حالة عدم وجود أحمال سطحية (أرض طبيعية) في التربة الطينية. يلاحظ أن أعلى هبوط يحدث عندما يكون مركز النفق عند المسافة (X/D=0) أي عندما يكون النفق تحت مركز المساحة المفترضة للقياس وقيمة الهبوط تساوي (49mm) وتقل إلى (43mm) عند ابتعاد النفق بمسافة (X/D=1) عن مركز المساحة المفترضة. عندما تكون المسافة الأفقية بين مركز المساحة المفترضة ومركز النفق (X/D=3) يلاحظ انخفاض كبير في الهبوط إلى (4mm) ويتلاشى تأثير النفق بعد ذلك. الشكل (4-ب) يبين المقطع العرضي للهبوط السطحي مع تغير المسافة الأفقية. يلاحظ تشابه في منحنيات الهبوط مع زيادة المسافة الأفقية. الجدول (4) يبين أن أعلى هبوط سطحي عند وقوع مركز النفق مباشرة تحت مركز المساحة المفترضة وكانت قيمته (47mm). أما عند زيادة المسافة إلى (X/D = 3) فيقل الهبوط بشكل واضح إلى (4mm) ويصبح شكل منحنى الهبوط خطياً تقريباً تحت المساحة المفترضة وعند ابتعاد النفق إلى المسافات (10, 7) فإن تأثير الهبوط يتلاشى عند مركز المساحة المفترضة إلى (1mm, 3mm) على التوالي.



الشكل (4): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الطينية - بدون أحمال
(أ): مقطع طولي (ب): مقطع عرضي

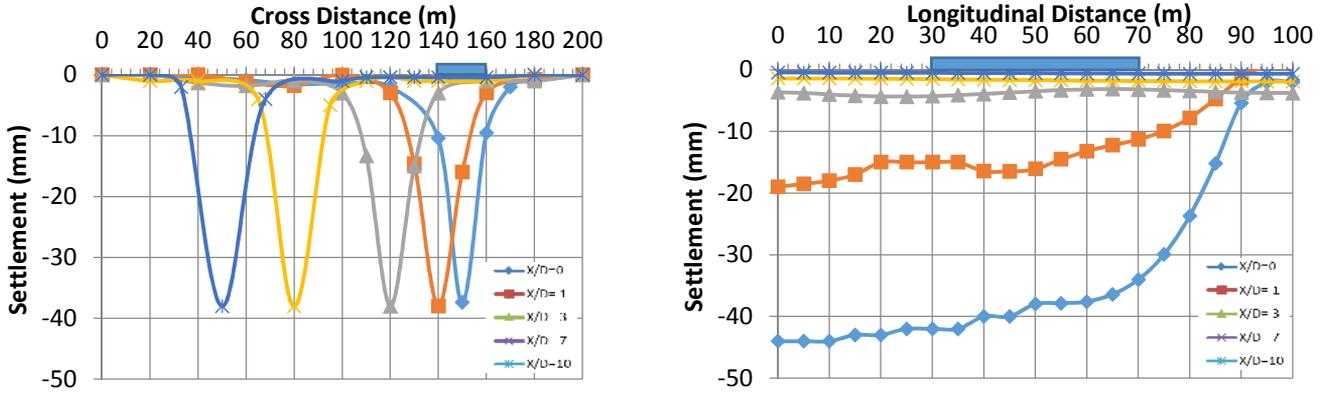
الجدول (4): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية للتربة الطينية- بدون أحمال

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	1	21	47	20	0	0
1	0	2	46	20	1	0	0
3	3	46	25	1	1	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

2.1.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة رملية

الشكل (5-أ) يوضح تأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز المساحة المفترضة على هبوط سطح الأرض عند مركز المساحة المفترضة في تربة رملية. إن أكبر تأثير يكون عند تطابق مركز النفق مع مركز المساحة المفترضة أي عند المسافة (X/D=0) ويساوي (42mm) ويكون تحت الحافة الأمامية للمساحة المفترضة. عند ابتعاد النفق بمسافة (X/D=1) عن مركز المساحة المفترضة ينخفض الهبوط بشكل كبير وتكون قيمته (16mm) تحت مركز المساحة المفترضة للدراسة. ينعقد تأثير حفر النفق على هبوط سطح الأرض مع زيادة المسافة الأفقية إلى (30m) أي (X/D=3) أو أكثر ويصبح شكل الهبوط خطياً وتكون قيمة الهبوط (4mm) تحت الحافة الأمامية للمساحة المفترضة. الشكل (5-ب) والجدول (5) يبين المقطع العرضي وقيم الهبوط السطحي مع تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز المساحة المفترضة. كما في حالة التربة الطينية فإن أعلى هبوط يكون فوق مركز النفق مباشرة ومع تغير موقع النفق فإن موقع النقطة ذات أعلى هبوط تتغير مع موقع النفق. يلاحظ أيضاً تشابه في شكل منحنى الهبوط في كل المسافات

الأفقية بسبب عدم وجود أي أحمال سطحية. يكون قيم الهبوط (38, 16, 3mm) عند المسافات (X/D= 0, 1, 3) على التوالي ويتلاشى تقريباً عند المسافات (X/D= 7, 10) وكما مبين في الجدول (5).



(أ): مقطع طولي
(ب): مقطع عرضي
الشكل (5): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الرملية - بدون أحمال

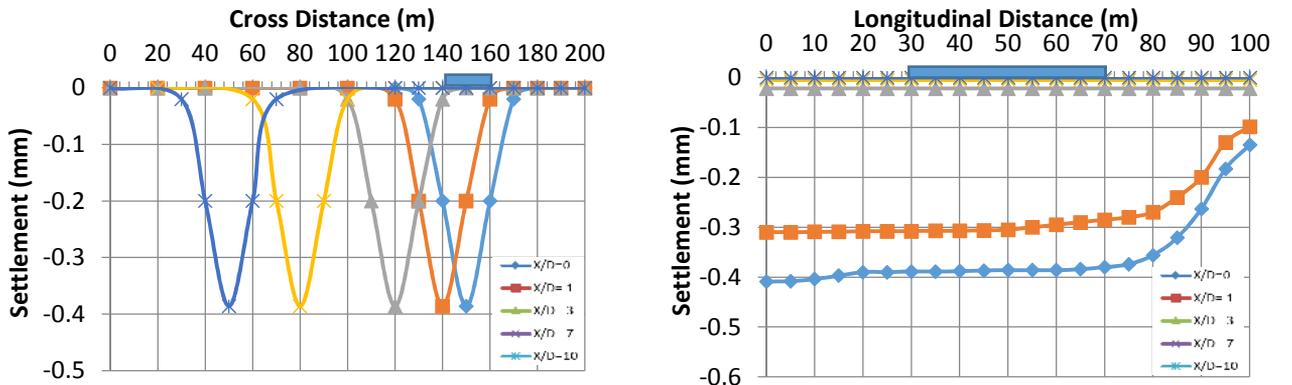
الجدول (5): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية للتربة الرملية - بدون أحمال

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	2	10	38	10	0	0
1	1	3	37	16	1	0	0
3	3	37	4	3	0	0	0
7	2	1	1	0.5	0	0	0
10	0	0	0	0.1	0	0	0

3.1.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - صخور

الشكل (6-أ) يبين أن قيم الهبوط في حالة الصخور أقل من قيم الهبوط للتربة الطينية والرملية. أعلى هبوط عند المسافة (X/D = 0) ويساوي (0.386mm) ويقل مع زيادة المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز المساحة المفترضة. ينعدم تأثير النفق على الهبوط عند المسافة الأفقية (X/D=3).

الشكل (6-ب) يبين منحنيات الهبوط لمقطع عرضي للمستوي الوسطي (Z=50m). يتضح من الشكل أن المنحني ثابت في الشكل وقيمة الهبوط ثابتة فوق مركز النفق مع تغيير موقع النفق في الأنموذج لعدم وجود منشآت أو أحمال سطحية على سطح الأرض. الجدول (6) يبين أن أعلى هبوط يساوي (0.386mm) فوق مركز النفق مباشرة ولجميع المسافات الأفقية (X/D = 0, 1, 3, 7, 10) وعرض منحنى الهبوط ثابت بعرض (4D).



(أ): مقطع طولي
(ب): مقطع عرضي
الشكل (6): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للصخور بدون أحمال

الجدول (6): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية في الصخور – بدون أحمال

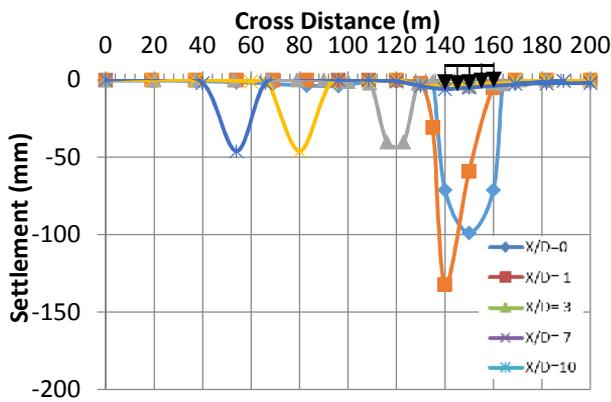
X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	0	0.2	0.386	0.2	0	0
1	0	0.02	0.386	0.2	0.02	0	0
3	0.02	0.386	0.02	0.018	0	0	0
7	0.02	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

2.3 الهبوط السطحي تحت الاحمال المنتظمة (أساس حصيري)

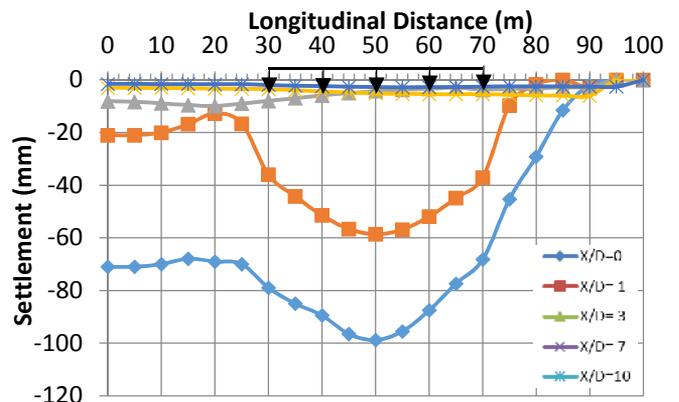
1.2.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة طينية

الشكل (7-أ) يوضح منحنى الهبوط لمقطع طولي للمسافات ($X/D = 0, 1, 3, 7, 10$) في حالة وجود أحمال منتظمة (الأساس الحصيري) على التربة الطينية. من المقطع الطولي للهبوط وجد ان أعلى هبوط كان تحت مركز الأساس الحصيري وعند المسافة الأفقية ($X/D = 0$) وقيمه (98mm) وبقل إلى (59mm) عند النقطة نفسها مع زيادة المسافة الأفقية إلى ($X/D = 1$) أي يقل بمقدار (40%). مع زيادة المسافة الأفقية إلى ($X/D = 3, 7, 10$) فإن قيمة الهبوط تقل إلى (5mm, 2mm, 1mm) على التوالي. من الواضح أن أكبر تأثير للنفق عندما يكون تحت مركز الأحمال المنتظمة ويلاحظ أن تأثير الانفاق على هبوط سطح الأرض يمتد إلى حد ($X/D=1$). عند المسافة ($X/D=3$) وما بعدها فإن تأثير النفق على هبوط سطح الأرض يندمج ويصبح منحنى الهبوط بشكل خطي وتقل قيم الهبوط بشكل كبير.

الشكل (7-ب) يوضح المقطع العرضي لمنحنى الهبوط عند المستوي الوسطي ($Z=50$) بعض قيم الهبوط السطحي مدونة في الجدول (7). عند المسافة ($X/D=0$) فإن أعلى هبوط يكون في مركز الأساس الحصيري (98mm)، بينما يكون الهبوط متساوي عند حافتي الأساس بقيمة (71mm)، مع زيادة المسافة الأفقية إلى ($X/D = 1$) يحدث هبوط تفاضلي بين حافتي الأساس وبقيمه أكبر (132mm) عند الحافة اليسرى من الأساس وفوق مركز النفق، بينما الهبوط عند مركز الأساس لنفس المسافة يكون (59mm) وهذا بسبب تركيز الإجهادات فوق مركز النفق وكذلك وجود النفق مباشرة تحت الحافة اليسرى للأساس مما يعني وقوعها فوق منطقة تركيز الهبوط لمنحنى الهبوط. مع زيادة المسافة الأفقية إلى ($X/D = 3, 7, 10$) يصبح شكل منحنى الهبوط العرضي مشابهاً لمنحنيات الهبوط في حالة عدم وجود أحمال وسجل أعلى هبوط فوق مركز النفق بمقدار (46mm) ويتلاشى تحت الأساس ويرجع سبب هذا إلى عدم وقوع الأساس الحصيري في حيز منحنى الهبوط فوق النفق.



(ب): مقطع عرضي



(أ): مقطع طولي

الشكل (7): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الطينية - الأساس الحصيري

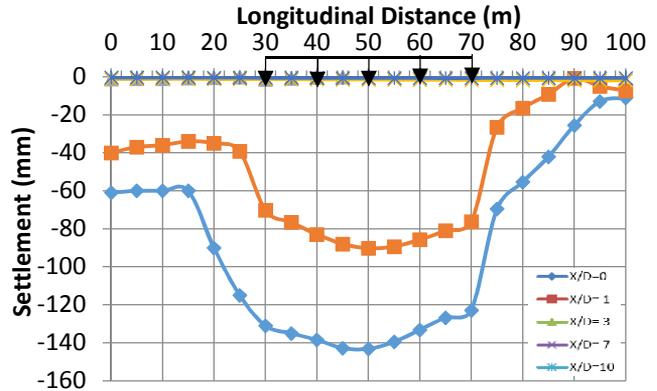
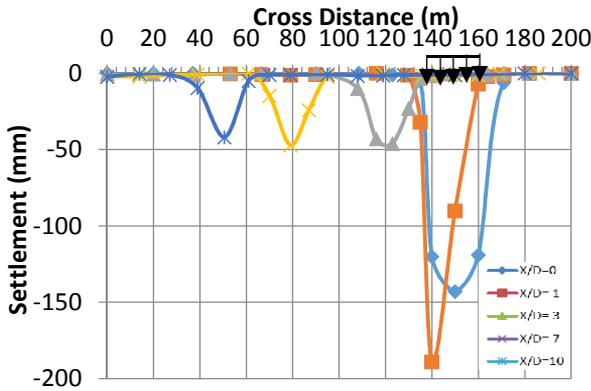
الجدول (7): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية في التربة الطينية- أحمال منتظمة

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	1	1	71	98	71	2	0
1	0	2	132	59	1	0	0
3	1	46	5	5	0	0	0
7	1	1	2	2	0	0	0
10	1	1	1	1	0	0	0

2.2.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة رملية

الشكل (8-أ) يوضح تأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الأساس الحصييري على هبوط سطح الأرض في التربة الرملية. يتبين أن أعلى هبوط يكون عند تطابق مركز النفق مع مركز الأساس الحصييري أي عند المسافة الأفقية $(X/D=0)$ ويساوي (143mm) ثم ينخفض إلى (91mm) عند المسافة $(X/D=1)$ حيث يبين الشكل تأثيراً واضحاً للأحمال على الهبوط. يكاد ينعدم تأثير الانفاق على الهبوط عند المسافة $(X/D=3)$.

الشكل (8-ب) يوضح المقطع العرضي لمنحني الهبوط عند المستوي الوسطي $(Z=50)$ في حالة وجود أحمال منتظمة في تربة رملية. عند المسافة الأفقية $(X/D=0)$ فإن منحنى الهبوط يكون منتظماً فوق النفق ويكون أعلى هبوط في هذه الحالة فوق مركز النفق وتحت مركز الأساس الحصييري بقيمة (143mm) كما مدرج في الجدول (8). عند المسافة الأفقية $(X/D=1)$ فإن الهبوط يصبح غير منتظم تحت الأساس ويكون عند الحافة اليسرى فوق النفق ضعف قيمته عند مركز الأساس. أما عند الحافة اليمنى فيكون قليلاً جداً ويتلاشى بعد المسافة $(1.5D)$ من مركز النفق. لا يكون للنفق تأثير بعد المسافة $(X/D=3)$ من مركز الأساس.



(أ): مقطع طولي
(ب): مقطع عرضي
الشكل (8): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الرملية - الأساس الحصييري

الجدول (8): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية للتربة الرملية - أحمال منتظمة

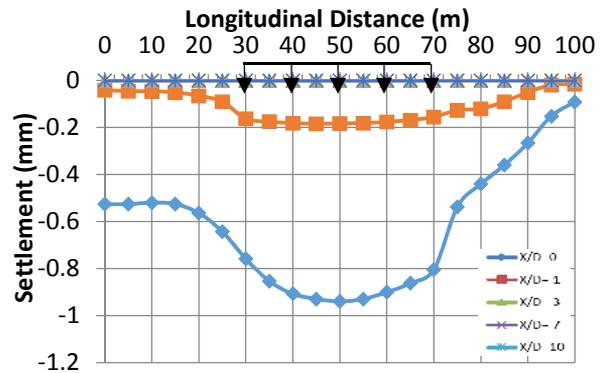
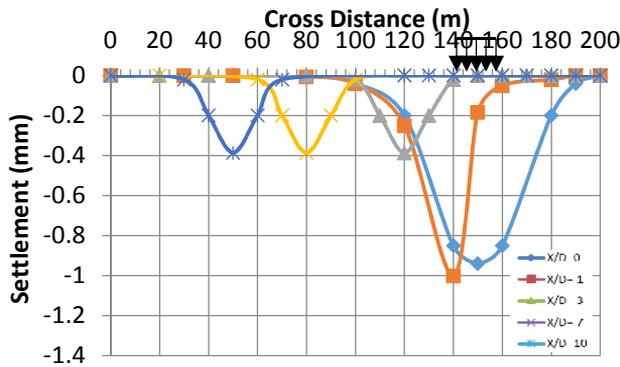
X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	1	119	143	119	6	0
1	0	2	189	90	2	0	0
3	5	46	1	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

العبيدي: تأثير المسافة الأفقية لموقع النفق على هبوط الأبنية السطحية

2.2.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - صخور

يوضح الشكل (9-أ) تأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الأساس الحصييري على هبوط سطح الأرض في حالة وجود أحمال منتظمة مستندة على صخور. حيث يظهر تأثير كبير للنفق على هبوط سطح الأرض الخاضعة لأحمال منتظمة عند تطابق مركز النفق مع مركز الأساس الحصييري أي عند المسافة الأفقية (X/D=0) حيث يعطي أعلى هبوط ومقداره (0.939mm) في مركز الأساس الحصييري، مع زيادة المسافة الأفقية إلى (X/D=3) يقل الهبوط ويتلاشى بعد هذه المسافة ويقترب من الصفر عند المسافة الأفقية (10, 7) (X/D=).

الشكل (9-ب) يبين مقطعاً عرضياً لتأثير تغيير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز الأساس الحصييري. يلاحظ من الجدول (9) ان أعظم هبوط يكون عند الحافة اليسرى من الأساس الحصييري وفوق مركز النفق عند المسافة الأفقية (X/D=1) ويساوي (1mm) وعند مركز الأساس الحصييري تساوي (0.183mm)، يتلاشى تأثير النفق بعد المسافة (X/D=3).



الشكل (9): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للصخور - الأساس الحصييري
(أ): مقطع طولي (ب): مقطع عرضي

الجدول (9): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية في الصخور - أساس حصييري

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	0.2	0.85	0.939	0.85	0.2	0
1	0.02	0.25	1	0.183	0.05	0	0
3	0.02	0.386	0	0	0	0	0
7	0.01	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

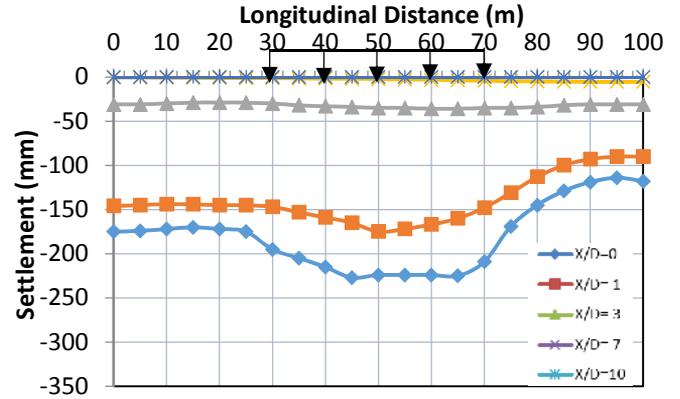
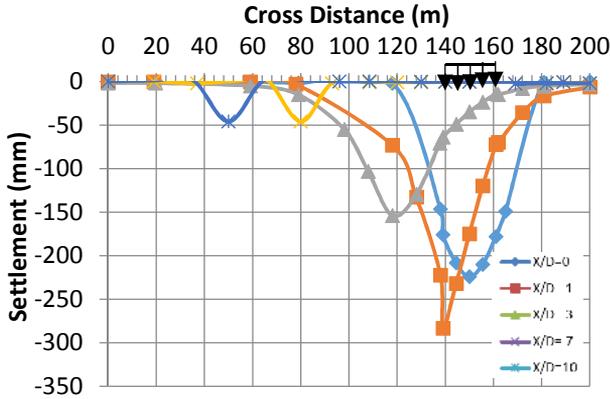
3.3 الهبوط السطحي تحت أحمال الركائز (مجموعة ركائز)

1.3.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة طينية

إن تغير الهبوط مع تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز مجموعة الركائز مبين في الشكل (10-أ) ويمثل منحنى الهبوط لمقطع طولي للمسافات (0, 1, 3, 7, 10) (X/D) في حالة وجود أحمال الركائز في التربة الطينية. أعلى هبوط يتحقق عندما يكون موقع النفق تحت مركز مجموعة الركائز ويساوي (224mm) يتحقق تحت المركز. أما عند المسافة (X/D=1) فإن الهبوط يصبح (175mm) في مركز مجموعة الركائز. بعد المسافة (X/D=1) يلاحظ تأثير قليل للنفق ليكون الهبوط (30mm) عند المسافة (X/D=3).

الشكل (10-ب) يبين المقطع العرضي للهبوط السطحي، بعض قيم الهبوط السطحي مدونة في الجدول (10) حيث كان أعلى هبوط عند المسافة الأفقية (X/D=0) ويساوي (224mm) عند مركز مجموعة الركائز ويتلاشى الهبوط عند مسافة (70m). في حالة المسافة (X/D=1) فإن أعلى هبوط يكون بمقدار (284mm) وعند حافة مجموعة الركائز اليسرى وفوق مركز النفق مباشرة. مع زيادة المسافة الأفقية إلى (X/D=3) فإن الهبوط فوق مركز النفق يقل بمقدار قليل ويصل إلى (154mm) بينما كان الهبوط عند مركز مجموعة الركائز يساوي (35mm) وهذا يعني وجود تأثير قوي لمجموعة الركائز حتى مع زيادة المسافة الأفقية. بينما يظهر من المقطع العرضي أن الهبوط فوق مركز النفق للمسافات (X/D=7, 10) لا يتأثر بوجود أحمال مجموعة الركائز أي لا يوجد تداخل بين النفق والاحمال السطحية عند هذه

المسافات ويتخذ شكل منحنى الهبوط شكلاً مشابهاً لحالة عدم وجود أحمال (أرض طبيعية). يتبين أن أعظم هبوط سطحي يحدث عند وقوع النفق تحت حافة مجموعة الركائز.



(أ): مقطع طولي
الشكل (10): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الطينية - مجموعة الركائز

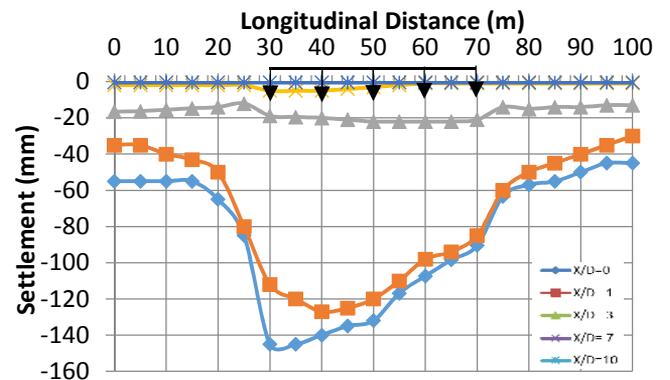
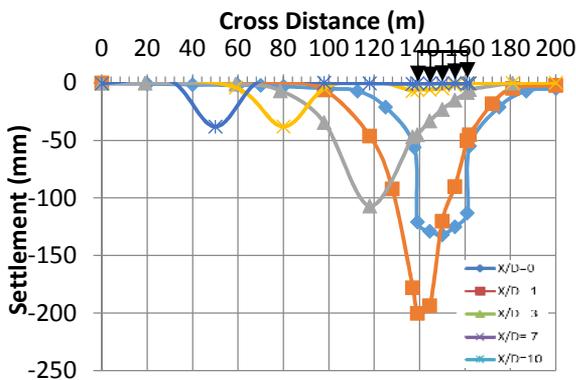
الجدول (10): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية في التربة الطينية - مجموعة الركائز

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	2	176	224	176	2	0
1	41	75	284	175	70	17	0
3	58	154	71	35	1	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

2.3.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - تربة رملية

الشكل (11-أ) يبين المقطع الطولي لمنحنيات الهبوط لتأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز مجموعة الركائز على هبوط سطح الأرض في تربة رملية. أعلى هبوط يحصل عندما يكون النفق على (X/D=0) وتكون قيمته (145mm) عند الحافة الأمامية لمجموعة الركائز بينما يقل الهبوط عند المركز والحافة الخلفية. عند تغير المسافة الأفقية إلى (X/D=3) فإن الهبوط ينخفض إلى (22mm) ويظهر تأثير قليل لمجموعة الركائز على منحنى الهبوط. ينعدم تأثير النفق على مسافة أكبر من ذلك.

الشكل (11-ب) يبين المقطع العرضي للهبوط السطحي مع تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز مجموعة الركائز عند مستوي وسطي (Z=50). الجدول (11) يبين بعض قيم الهبوط السطحي للمسافات الأفقية. أكبر هبوط يظهر عند المسافة الأفقية (X/D=1) وبمقدار (201mm) وعند حافة مجموعة الركائز وفوق مركز النفق ويتلاشى الهبوط على مسافة أفقية (4D) من مركز النفق.



(أ): مقطع طولي
الشكل (11): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض للتربة الرملية - مجموعة الركائز

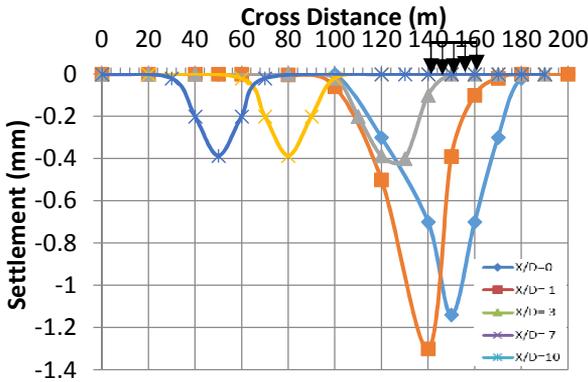
الجدول (11): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية للتربة الرملية - مجموعة الركائز

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	18	121	132	113	21	0
1	1	46	201	120	45	0.5	0
3	35	107	45	22	8	0	0
7	1	0	0	1	1	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0

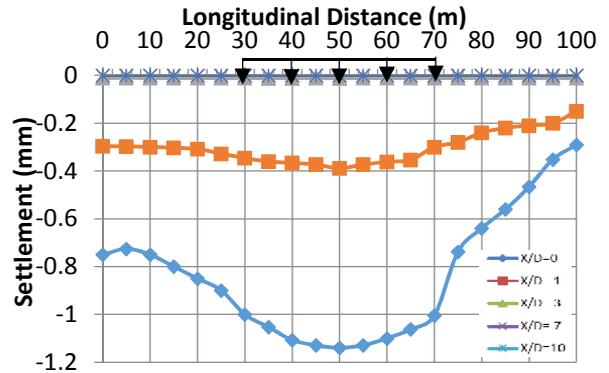
3.3.3 الهبوط في التكوين الجيولوجي - صخور

يبين الشكل (12-أ) تأثير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز مجموعة الركائز على هبوط سطح الأرض في الصخور. ان المسافة الأفقية ($X/D=0$) أي عند تطابق مركز النفق مع مركز مجموعة الركائز تظهر أعلى هبوط سطحي في مركز مجموعة الركائز وتكون قيمته (1.12mm) ثم يقل عند ابتعاد النفق لمسافة ($X/D=1$) ليكون الهبوط بحدود (0.39mm). يقل تأثير النفق بعد هذه المسافة بشكل كبير وتصبح قيمته أقرب للصفر.

المقطع العرضي في الشكل (12-ب) والجدول (12) يبين منحنيات وقيم الهبوط مع تغير المسافة الأفقية بين مركز النفق ومركز مجموعة الركائز. حيث ان أعلى هبوط كان عند الحافة اليسرى لمجموعة الركائز وقيمته (1.3mm) وفوق مركز النفق في حالة وقوع النفق عند المسافة الأفقية ($X/D = 1$)، يقل الهبوط مع تغير موقع النفق إلى المسافة ($X/D = 3$) إلى القيمة (0.39mm) فوق مركز النفق. لا يوجد تأثير للنفق على هبوط مجموعة الركائز عند المسافات الأفقية ($X/D = 7, 10$)



(ب): مقطع عرضي



(أ): مقطع طولي

الشكل (12): تأثير المسافة الأفقية على هبوط سطح الأرض في الصخور - مجموعة الركائز

الجدول (12): قيم الهبوط لمقطع عرضي مع تغير المسافة الأفقية في الصخور - مجموعة الركائز

X/D	Settlement values (mm) at Mid plane (Z=50m)						
	Cross Distance (m)						
	100	120	140	150	160	180	200
0	0	0.3	0.7	1.12	0.7	0	0
1	0.05	0.5	1.3	0.39	0.1	0	0
3	0.05	0.386	0.1	0.035	0	0	0
7	0.13	0.126	0.1	0.1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

4- الاستنتاجات Conclusion

- 1- في حالة الارض الطبيعية (بدون احمال) فإن الهبوط السطحي لا يتأثر مع تغير المسافة الافقية ويكون اعظم هبوط فوق مركز النفق.
- 2- في حالة الاحمال السطحية (أحمال منتظمة وأحمال مجموعة الركائز) فإن الهبوط السطحي يكون اكبر عندما يكون مركز النفق تحت حافة الاحمال ($X/D=1$).
- 3- يكون الهبوط السطحي منتظماً عند تطابق مركز النفق مع الاحمال السطحية ($X/D=0$) بينما يسبب انحراف مركز النفق عن مركز الاحمال السطحية ($X/D>0$) هبوط متباين.
- 4- اعظم تأثير لانحراف مركز النفق على الهبوط السطحي عندما يكون تحت حافة الاحمال السطحية ويكون أكبر تأثير في حالة الركائز بترربة رملية حيث يسجل هبوط متفاضل قدره (60mm) اي بزيادة (52%) عن الهبوط المنتظم.
- 5- يقل الهبوط السطحي في كافة التكوينات الجيولوجية (طين - رمل - صخور) عندما يبتعد مركز النفق عن مركز الاحمال السطحية ليتلاشى تأثيره بمسافة (3D) في حالة الاحمال المنتظمة وبمسافة (5D) في حالة احمال الركائز.
- 6- ان تقدم حفر النفق باتجاه المنشآت السطحية يسبب زيادة في الهبوط السطحي تحت تلك المنشآت، ويحدث هبوط اكبر (هبوط متباين) تحت حافة مجموعة الركائز في تربة رملية خصوصاً عند المسافات الافقية ($X/D=0, 1$).
- 7- يظهر هبوط اكبر وتأثير واضح للمسافة الافقية في حالة حفر نفق في تربة رملية.

5- المصادر References

1. Svoboda, T. and Mašín, D., "3D simulations of a NATM tunnel in stiff clays with soil parameters optimised using monitoring data from exploratory adit". In Proc. 7th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Roma, Italy. Viggiani, G. (Ed.); 2011, pp. 829-834.
2. Oraee K., Rahimi E. and Zargar A., "Analysis of the effects of excavation speed, ground condition and tunnel dimension variations on urban tunnel subsidence in Tehran tunnel dimension variations on urban tunnel subsidence in Tehran Niyayesh tunnel". ITA-AITES World Tunnel Congress 2012, Bangkok, Thailand.
3. Moller S. C. and Vermeer P. A., "On numerical simulation of tunnel installation". Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 23, 2008, pp. 461-475.
4. Burd H.J., Houlsby G.T., Chow L., Augarde, C.E. and Liu G., "Analysis of Settlement Damage to Masonry Structures", Proceedings of the 3rd European Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Manchester, 7-9 September, ISBN 90-5410-510-0, 1994, pp 203-208.
5. Liao H., Qing W., Zhang Z. and Mochizuki A., "Research on the effect of underground tunnelling on the settlement of the building and the ground surfaces". Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 21, No. 3-4, 2006, pp. 290-296.
6. Liu J., Qi T. and Wu Z., "Analysis of ground movement due to metro station driven with enlarging shield tunnels under building and its parameter sensitivity analysis". Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 28(10), 2012, pp. 287-296, Elsevier B.V.
7. Katebi H, Rezaei A. H. and Hajjalilue-Bonab M. H., "The Influence of Surface Buildings and Ground Stratification on Lining Loads Applying the Finite Element Method". EJGE, vol. 18, Bund I, 2013, pp. 1845-1861.