

تحديد معاملات المرونة باستخدام طرائق القياس السيزمية البئرية (DownHole) للأغراض الجيوهندسية - دراسة حالة -

د. رفیق جبر*

الملخص

يتناول البحث تطبيق طريقة المسح السيزمي في الآبار الاختبارية Seismic DownHole لدراسة وتحديد معاملات المرونة للطبقات القريبة من سطح الأرض للأغراض الجيوهندسية، فقد تم تسجيل زمن الوصولات الأولية للأمواج الطولية (P) والعرضية (S) في ثلاثة آبار حتى عمق 30م، وتم حساب السرعة الطولية (Vp) والسرعة العرضية (Vs)، وباستخدام السرعات المحسوبة، والكثافة المقاسة في الآبار، وبالاعتماد على البرمجية Win_DownHole، تم تحديد معاملات المرونة في الموقع المختار، متضمنة معامل يونغ، ونسبة بواسون، ومعامل القص الديناميكي، ومعامل الحجم. ومن تحليل النتائج وربطها مع الوضع الليثولوجي تبين فاعلية الطريقة المستخدمة في دراسة خواص الطبقات السطحية للأغراض الجيوهندسية، وأكدت الدراسة أن الطبقات السطحية في منطقة الدراسة تحتوي على انهدامات وتجاويف، يجب أخذها بعين الاعتبار عند عملية الحفر والتأسيس للمنشآت الهندسية.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الدينامية - الطريقة السيزمية في الآبار - زمن الوصولات الأولية - الأغراض الجيوهندسية.

* أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا - جامعة دمشق.

Determination of elastic Coefficients by using seismic down-hole methods for geotechnical purposes – Case Study

Dr. Rafiqe Jaber*

Abstract

Seismic down-hole method was applied to investigate dynamic characteristics of subsurface geological structure for geotechnical purposes, by analyzing recorded first arrivals of P waves and S waves, which was used to determine the seismic velocity (V_p , V_s) up to 30m depth. The calculated seismic velocities, measured densities in the boreholes and Win_DownHole software was used to obtain the young Modulus, poison ratio, shear modulus, bulk modulus. Analysis of the results and correlate it with litho-logical situation appear the benefits of used method to represent the elastic characteristics of subsurface structures and insure that the study area is affected by collapses or cavities at various depths of the bore holes.

Key Words: Dynamic characteristics – Seismic Down-Hole method
–First arrivals time – Geotechnical purposes.

* Associate Prof., Department of Geology, Damascus University Address: Syria, Damascus, Damascus University, Science Faculty, Department of Geology

1. مقدمة:

يوجد العديد من الطرائق المخبرية والحقلية المستخدمة في دراسة وتحديد معاملات المرونة للأغراض الجيوهندسية، ومنها الطرائق السيزمية السطحية، ومن بينها الطرائق الانكسارية وطرائق القياس في الآبار (Cross-Hole) و(Down-Hole/Up-Hole)، والتي تفيد في حساب السرعة السيزمية الطولية والعرضية، ومنها استنتاج معاملات المرونة للطبقات الجيولوجية.

لكل من الطرائق السيزمية المذكورة محاسن ومساوئ، ومن فوائد الطريقة الانكسارية أنها لا تحتاج إلى حفر آبار اختبارية، ويكتفى بالقياس اعتباراً من السطح ثم تحليل النتائج والحصول على المطلوب، لكن يفترض بهذه الطريقة أن السرعة السيزمية تزداد مع العمق، ويصعب كشف الطبقات ذات السرعات المنخفضة إذا وقعت تحت طبقات ذات سرعات أكبر، بالإضافة إلى تناقص دقة القياس ودرجة التمييز مع ازدياد العمق. بينما طرائق القياس في الآبار بشكل عام، تُمكن من تحديد السرعة الطبقيّة بغض النظر عن عمق توضع الطبقة وسرعتها، لذلك تفيد هذه الطرائق في التركيز على الحالات الخاصة من التطبيق والتكهف والانقطاعات في التركيب الليثولوجي، ولكن أيضاً لها بعض المحدودية. عند القياس في طريقة Cross-Hole وفي حال وقعت طبقة رقيقة ذات سرعة منخفضة بين طبقات ذات سرعات أكبر، فإن الموجة العرضية قد تسلك المسار الأسرع بين المنبع واللاقط، أي قد تسلك مسار ضمن إحدى الطبقات المحيطة ذات السرعة الأكبر، وبهذه الحال يتم تسجيل سرعة عرضية غير حقيقية للطبقة المطلوبة، بالإضافة إلى أنها تحتاج إلى حفر بئرين على الأقل لتنفيذ القياسات. وعند القياس في طريقة Down-Hole/Up-Hole يزداد الضجيج المسجل مع الموجة المفيدة كلما ازداد العمق، لذلك يستحسن أن يؤخذ ميل منحنى زمن انتشار الموجة لتقدير السرعة بشكل أفضل، وذلك ضمن مجال عمقي محدد (أي عند كل تغير بميل هذا المنحنى)، علماً أن هذه الطريقة تحتاج إلى حفر

بئر واحد لانجاز القياسات، أي أنها أكثر اقتصادية من طريقة Cross-Hole . يتم القياس بطريقة Down-Hole بتوليد الإشارة على السطح، وتسجيلها على أعماق متتالية في البئر، أما في طريقة Up-Hole فيتم توليد الإشارة ضمن البئر، والنقاطها بالجيوفون المتوضع على السطح. والجدير بالذكر أن الطريقتين Up-Hole و Down-Hole، متشابهتين من حيث النتيجة، ولكن تثبيت المنابع على جدار البئر، وتوليد الإشارة العرضية، والتحكم بها في حالة Up-Hole، يكون أصعب من توليدها على السطح، والنقاطها ضمن البئر، كما في حالة Down-Hole، [9].

تُستخدم طريقة Down-Hole في العديد من التطبيقات الجيوهندسية الحديثة، مثل دراسة وتحليل الأساسات للمنشآت كالجسور، والأنفاق، والسدود، والمباني، واختبار المواد، وتحديد معاملات المرونة حقلياً، وفي ميكانيكا الصخور، وهندسة الزلازل، وتحليل لدونة المواد والسوائل، وغيرها، [10].

يهدف البحث إلى تطبيق تقنية Down-Hole لتحديد معاملات المرونة اعتباراً من السرعة السيزمية الطولية، والسرعة العرضية، والأخذ بعين الاعتبار قيمة الكثافة المقاسة في الآبار، وذلك بغرض دراسة خصائص الطبقات السطحية، لزوم إنشاء نفق طرقي بطول 200م، وعمق حتى 30م تحت سطح الأرض، وذلك ضمن سلسلة من مشاريع البنى التحتية، في المناطق الحضرية، في المملكة العربية السعودية. تقع منطقة الدراسة إلى الشرق من مدينة الرياض، وتعود معظم صخورها إلى الجوراسي الأعلى، والتي تغلب عليها سحنة الصخور الكلسية، متضمنة طبقات من صخور كلسية دقيقة، إلى متوسطة البلورات، ذات مظهر عقدي، تغطيها رواسب نهريّة قليلة العمق، مؤلفة من طبقات متتالية من الطمي والطيني الرملي، المتداخلة مع طبقات من الحصى، الشكل (1)، [8].



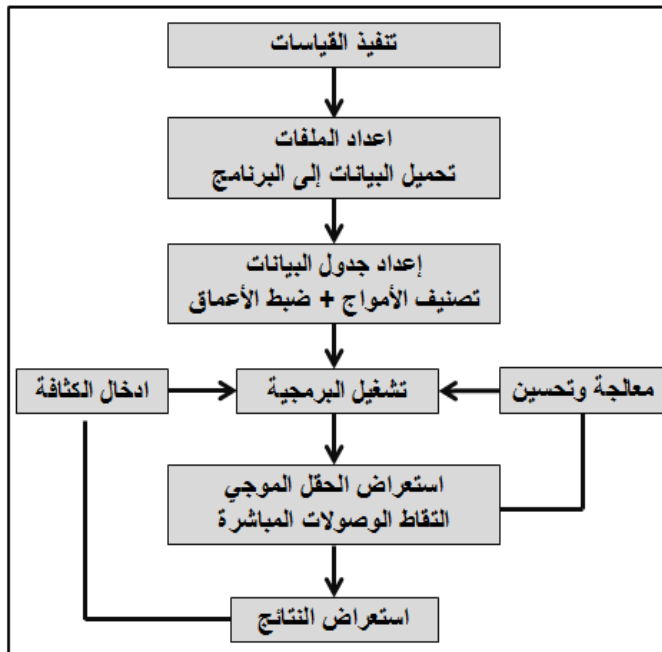
الشكل (1) (a): منطقة الدراسة، و(b): العمود الليثولوجي معدل عن المرجع [8].

بالاعتماد على وصف العينات الصخرية (الكور) في منطقة الدراسة

لتحقيق هدف الدراسة، تم حفر ثلاث آبار اختبارية، على استقامة واحدة، على طول النفق المزمع انشاؤه، تراوحت أعماقها من 30 - 40 م بقطر 5 انش، وتجهيزها مع المعايير المعتمدة عالمياً، وفقاً للكود ASTM، من حيث العزل، والحقن، والاكساء، بما يتلائم مع متطلبات القياس بالطريقة المعتمدة [3]. وتم أخذ العينات الصخرية (الكور) وتوصيفها ليثولوجياً، وتنفيذ قياسات بئرية متنوعة منها الكثافة، بالإضافة إلى قياسات السرعة السيزمية للأمواج الطولية، والأمواج العرضية بطريقة الـ Down-Hole. ومن نتائج تحليل العينات الصخرية في الآبار الثلاث، تبين أن سماكة طبقة التجوية حوالي ستة أمتار، تليها طبقة من الحجر الكلسي دقيق البلورات، تعرضت لدرجات متفاوتة من التجوية والتكهن بفعل ذوبان الانهيدريت، وذلك حتى العمق الأقصى للآبار، تتخلل هذه الطبقة نطاقات البريشيا المؤلفة من شطايا زاوية متلاحمة، كما وتظهر المياه الجوفية في الآبار المحفورة عند العمق أربعة عشر متراً تقريباً من سطح الأرض.

2. مواد البحث وطرائقه:

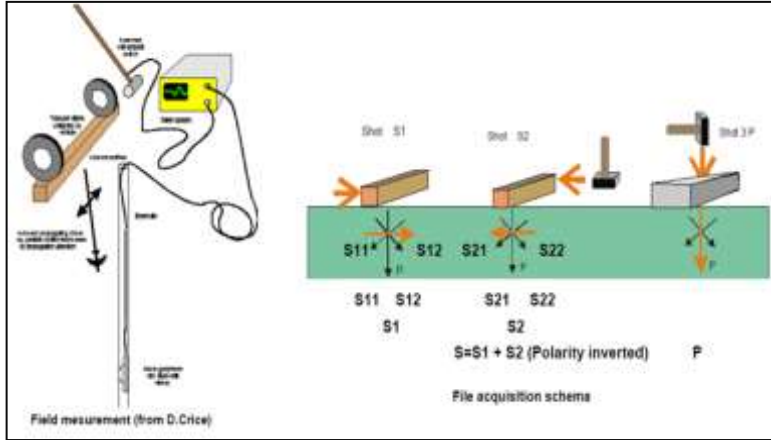
تتلخص منهجية الدراسة (الشكل 2) بجمع البيانات من القياسات الحقلية، وتجهيزها كملفات دخل للبرمجية المستخدمة، ثم التقاط زمن الوصولات الأولية للأمواج الطولية والعرضية، وتشغيل البرمجية للحصول على السرعة الطبقيّة الطولية، والعرضية، ومعاملات المرونة، والتي يتم تمثيلها كمخططات بيانية، أو تصديرها إلى جداول الكترونية وخرائط وغيرها. وهنا استخدم الباحث جهاز P.A.S.I. seismograph (Model: 16S24N) في القياسات الحقلية، وجمع البيانات، واستخدم نظام Win_Downhole V4.9 من شركة W-Geosoft [6] لمعالجة البيانات، ونظام Matlab R2013a لتوليد المخططات البيانية، ونظام المعلومات الجغرافي ArcGIS V10.3 لتوليد المقاطع العرضية.



الشكل (2) منهجية العمل بطريقة الـ Down-Hole الجيوفيزيائية

• آلية جمع البيانات الحقلية:

يتم الحصول على البيانات في طريقة Down-Hole المستخدمة في البحث، بتسجيل الأمواج السيزمية عند الأعماق المتتالية، اعتباراً من السطح، وحتى أسفل البئر، بفواصل عمقي يختاره المستخدم، حيث في كل تسجيل يتم توليد الموجة عند السطح وتسجيلها بلاقط ثلاثي المحاور مثبت عند العمق المطلوب، وموصول بجهاز التسجيل (السيسموغراف). يحتوي اللاقط على محورين أفقيين لاستقبال وتسجيل الموجة العرضية، وثالث شاقولي لاستقبال وتسجيل الموجة الطولية. يتم توليد الموجة العرضية بالضرب جانبياً بشكل أفقي على طرفي عارضة خشبية (wooden plank) مثبتة بإحكام عند فوهة البئر (عادة يتم تثبيت العارضة تحت إطار العربة المستخدمة لدى فريق العمل وعلى مسافة 1 م تقريباً من فوهة البئر وبشكل متعامد مع محور البئر). عند الضرب على العارضة من أحد الجوانب يتم توليد الموجة العرضية وتنتشر من المنبع إلى اللاقط، ويتم تسجيل مركبتين أفقيتين لها، مثلاً (S11,S12) لانتاج موجة عرضية (S1)، ولتعزيز القياس يتم الضرب على الطرف المقابل للعارضة ويتم تسجيل (S21,S22) لانتاج (S2)، ومن جمع (S1,S2) بعد عكس القطبية لاحدهما يتم انتاج الموجة العرضية الكلية (S). أما الموجة الطولية (P)، فيتم توليدها بالضرب شاقولياً على صفيحة فولاذية (steel plate)، مثبتة عند فوهة البئر، ويتم تسجيلها من المركبة الشاقولية للاقط (الشكل 3). وتتم هذه العملية عند كل عمق محدد، لينتج لدينا حقل موجي لكامل البئر المطلوب، [5].



الشكل (3) آلية القياس الحقلية للحصول على الموجة الطولية (p)، والموجة العرضية (s)، [5]

• تحميل البيانات الخام ومعالجتها:

لقد تم استخدام نظام Win_Downhole لمعالجة البيانات وفقاً للخطوات التالية:

أ. يتم قراءة الملفات الناتجة من القياس الحقلية وتحميلها إلى البرنامج، وعادة يكون لدينا ثلاثة ملفات لكل عمق، ملف للموجة الطولية (P)، وملفين للموجة العرضية (S1,S2)، ودراستنا هذه تم تنفيذ 30 قياس في كل بئر (كل 1 متر عمقي) فحصلنا على 90 ملف لكل بئر، تعطى هذه الملفات تسمية تصاعديّة أثناء التسجيل الحقلية، تعبر عن التسجيل وعدد الآثار بكل قياس (Rec/Trace)، تتناسب هذه التسمية مع العمق لسهولة ادارتها وقرائتها، تُحْمَل هذه الملفات إلى البرنامج، ويتم اعداد جدول البيانات الخاص بها لتحديد العمق (Depth)، ودليل لنوع الأمواج الطولية، والعرضية في الحقل Channel، وفي الشكل (4) مثال على عملية تحميل البيانات للبئر BH_01.

Channel	Rec./Trace	Depth	Channel
1	S161	1	null
2	S162	1	null
3	S163	1	p
4	S261	1	s11
5	S262	1	s12
6	S263	1	null
7	S361	1	s21
8	S362	1	s22
9	S363	1	null
10	S461	2	null
11	S462	2	null
12	S463	2	p



الشكل (4) تحميل البيانات الخام وضبط الأعماق وأنواع الأمواج المسجلة للبيئر (BH_01).
 ب. يتم تشغيل البرمجية ويتم الحصول على الحقل الموجي للأمواج الطولية، والأمواج العرضية، وحفظها بملفات منفصلة، ويتم فحص جودة الحقل الموجي، وتنفيذ معالجة إضافية لتحسين البيانات مثل الفلترة، وتصحيح القطبية، وحذف الآثار السيئة، ومعايرة الآثار، وتكبير وتصغير السعات، وفحص الطيف الترددي، وغير ذلك من التحسينات الإضافية. وفي الشكلين (5،6)، أمثلة على معالجة البيانات والحصول على الحقل الموجي للبيئر BH_01.



الشكل (5) الحقل الموجي للأمواج الطولية والتقاط أزمنة الوصول الأولية للبيئر (BH_01).



الشكل (6) الحقل الموجي للأمواج العرضية والتقاط أزمنة الوصول الأولية للبيئر (BH_01).
 ت. يتم التقاط وتحديد أزمنة الوصول الأولية للأمواج الطولية، والأمواج العرضية (الشكل 5،6)، مع الحذر، وتوخي الدقة، أثناء ذلك، ويمكن استخدام الوظيفة

الخاصة برسم منحنى تغير السرعة للاستثناس، وحالما تنتجز عملية التقاط أزمنا الوصلات الأولية، يتم الحصول وبشكل آلي على بيانات السرعة، ومعاملات المرونة المطلوبة.

علماً أنه يتم حساب السرعة الطولية والعرضية بطريقة الانحدار الخطي Linear Regression [6]، واعتباراً من السرعة الطولية (Vp) والسرعة العرضية (Vs) الناتجة من تحليل البيانات، بالإضافة إلى الكثافة، يتم حساب معاملات المرونة وفقاً للعلاقات الرياضية المعروفة والخاصة بكل منها والمبرمجة سلفاً في برنامج Win_Downhole المستخدم في الدراسة [6] ، وتتضمن مايلي:

• نسبة بواسون Poisson modulus:

$$V_x = (V_p / V_s) \wedge 2 \text{ Poisson} = \text{Integer} ((V_x - 2) / (2 * V_x - 1) * 100) / 100$$

• معامل القص الديناميكي Shear modulus:

$$\text{Shear} = \text{Integer} (\text{Density} * (V_s \wedge 2) / 100)$$

• معامل يونغ Young modulus:

$$\text{Young} = \text{Integer} (2 * \text{Shear} * (1 + \text{Poisson}))$$

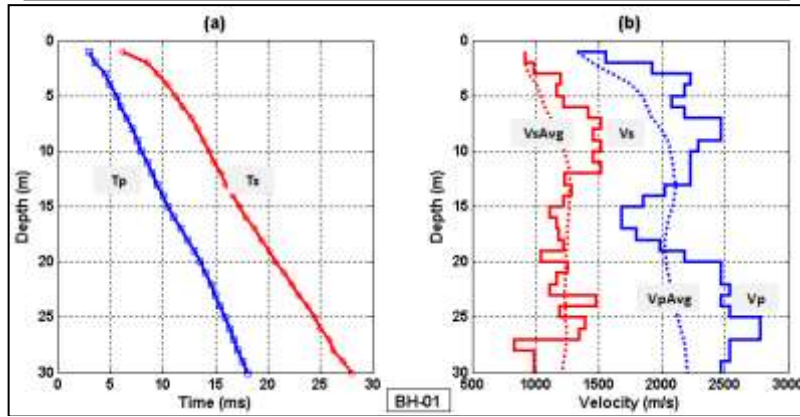
• معامل الحجم Bulk modulus:

$$\text{Bulk} = (1/3) * \text{Young} / (1 - 2 * \text{Poisson})$$

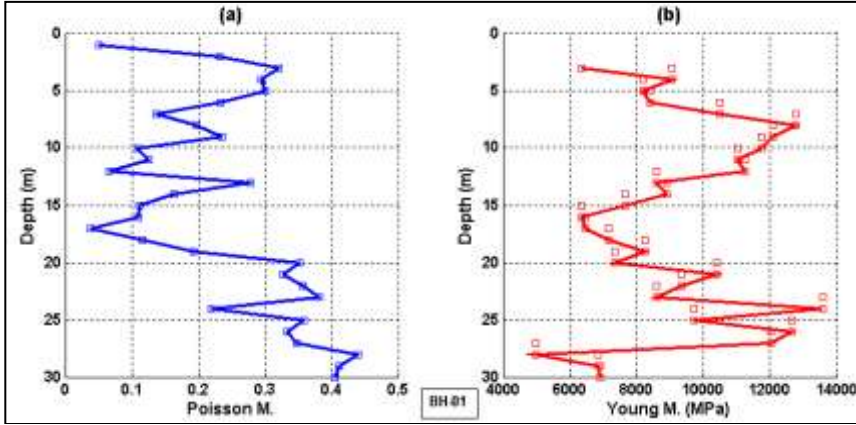
3. مناقشة النتائج:

لقد قمت بتطبيق المنهجية المذكورة أعلاه للآبار الثلاثة (BH_01, BH_02, BH_03)، حيث تم ادخال الكثافة المقاسة في الآبار، وتم الحصول على النتائج كما في الجداول (1،2،3)، والأشكال (7-15).
الجدول (1): بيانات البئر رقم (BH_01).

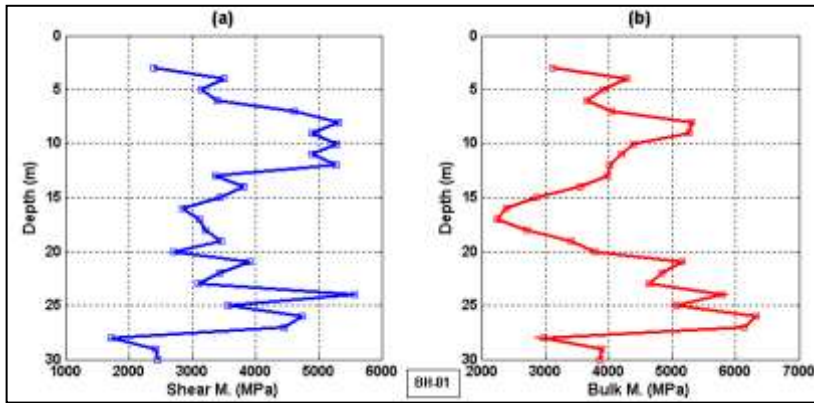
Depth (m)	Layer	Tp (ms)	Ts (ms)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Density (g/cm ³)	Poisson	Shear M. (Mpa)	Young (Mpa)	Bulk M. (Mpa)	VpAvg (m/s)	VsAvg (m/s)
1	1	2.95	6.1	1,333	919	-	0.05	-	-	-	1,333	919
2	2	3.55	8.5	1,568	920	-	0.23	-	-	-	1,445	920
3	3	4.45	9.4	1,925	987	2.46	0.32	2,400	6,343	3,116	1,605	942
4	4	4.95	10.4	2,222	1,199	2.44	0.29	3,500	9,062	4,282	1,759	1,006
5	5	5.55	11.2	2,182	1,166	2.32	0.30	3,155	8,203	3,906	1,843	1,038
6	6	5.95	11.9	2,078	1,224	2.27	0.23	3,402	8,397	3,655	1,882	1,069
7	7	6.55	12.7	2,182	1,415	2.31	0.14	4615	10494	4053	1,925	1,119
8	8	7.05	13.3	2,469	1,515	2.32	0.20	5,327	12,763	5,304	1,993	1,168
9	9	7.55	13.8	2,469	1,454	2.32	0.23	4,894	12,083	5,261	2,046	1,200
10	10	7.95	14.4	2,286	1,515	2.31	0.11	5,292	11,729	4,384	2,070	1,231
11	11	8.45	14.9	2,222	1,454	2.32	0.13	4,904	11,040	4,209	2,084	1,252
12	12	8.95	15.5	2,222	1,515	2.30	0.07	5,281	11,256	4,016	2,095	1,274
13	13	9.45	16	2,222	1,230	2.22	0.28	3,364	8,606	3,979	2,105	1,270
14	14	9.95	16.6	2,020	1,281	2.33	0.16	3,826	8,904	3,548	2,099	1,271
15	15	10.45	17.3	1,851	1,224	2.30	0.11	3,441	7,649	2,869	2,082	1,268
16	16	11.05	17.9	1,678	1,110	2.32	0.11	2,858	6,349	2,380	2,057	1,258
17	17	11.65	18.7	1,678	1,163	2.31	0.04	3,117	6,468	2,240	2,035	1,252
18	18	12.35	19.4	1,794	1,182	2.30	0.12	3,207	7,161	2,701	2,021	1,249
19	19	12.95	20.1	1,983	1,224	2.31	0.19	3,462	8,256	3,407	2,019	1,247
20	20	13.55	20.7	2,181	1,041	2.51	0.35	2,715	7,343	3,779	2,027	1,237
21	21	14.05	21.5	2,469	1,249	2.51	0.33	3,917	10,403	5,160	2,048	1,237
22	22	14.55	22.3	2,469	1,166	2.53	0.36	3,442	9,337	4,836	2,067	1,234
23	23	14.95	22.9	2,539	1,110	2.52	0.38	3,109	8,592	4,633	2,088	1,229
24	24	15.45	23.8	2,469	1,480	2.54	0.22	5,565	13,573	5,797	2,104	1,239
25	25	15.85	24.4	2,539	1,190	2.53	0.36	3,578	9,727	5,060	2,121	1,237
26	26	16.35	25	2,778	1,388	2.46	0.33	4,737	12,634	6,319	2,146	1,243
27	27	16.76	25.8	2,778	1,345	2.47	0.35	4,466	12,030	6,139	2,170	1,247
28	28	17.15	26.2	2,539	833	2.50	0.44	1,733	4,990	2,968	2,183	1,232
29	29	17.55	27.1	2,539	987	2.50	0.41	2,433	6,866	3,885	2,195	1,224
30	30	18.05	28	2,469	987	2.52	0.40	2,455	6,898	3,863	2,204	1,216



الشكل (7) (a) أزمنة الوصولات الأولية للموجة الطولية (T_p) والموجة العرضية (T_s)، و (b) قيم السرعة الطولية (V_p) والسرعة الطولية الوسطية (V_{pAvg})، والسرعة العرضية (V_s) والسرعة العرضية الوسطية (V_{sAvg})، للبئر (BH_01)



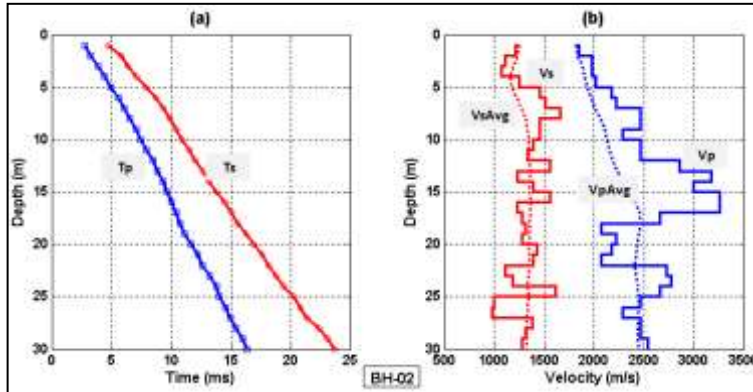
الشكل (8) (a) نسبة بواسون (Poisson M.)، و (b) معامل يونغ (Young M.)،
للبيئر (BH_01)



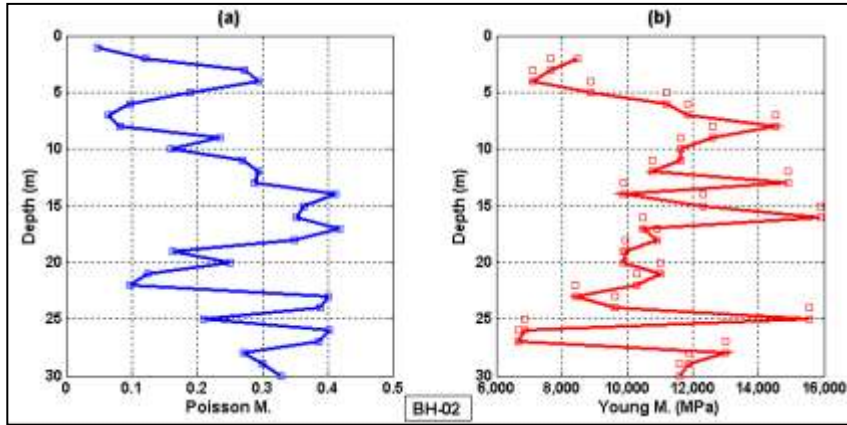
الشكل (9) (a) معامل القص الديناميكي (Shear M.)، و (b) معامل الحجم (Bulk M.)،
للبيئر (BH_01)

الجدول (2) بيانات البئر رقم (BH_02)

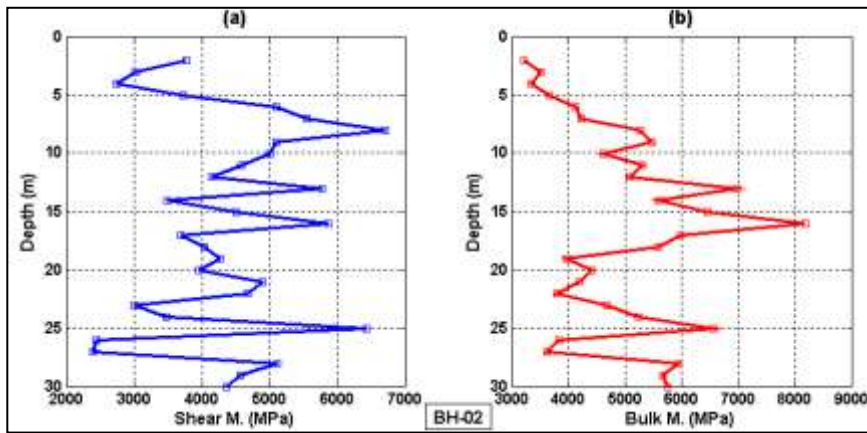
Depth (m)	Layer	Tp (ms)	Ts (ms)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Density (g/cm ³)	Poisson	Shear M. (Mpa)	Young M. (Mpa)	Bulk M. (Mpa)	VpAvg (m/s)	VsAvg (m/s)
1	1	2.75	4.7	1818	1253	-	0.05	-	-	-	1,818	1,253
2	2	3.25	5.8	1851	1215	2.56	0.12	3,779	8,476	3,216	1,834	1,234
3	3	3.85	6.4	1983	1110	2.45	0.27	3,018	7,677	3,514	1,884	1,193
4	4	4.45	7.1	1983	1071	2.39	0.29	2,741	7,094	3,350	1,908	1,162
5	5	4.95	7.9	2020	1249	2.39	0.19	3,728	8,876	3,656	1,931	1,180
6	6	5.55	8.7	2162	1457	2.4	0.10	5,094	11,181	4,129	1,972	1,226
7	7	6.05	9.3	2221	1515	2.42	0.06	5,554	11,829	4,217	2,008	1,267
8	8	6.65	9.9	2469	1666	2.42	0.08	6,716	14,533	5,276	2,065	1,317
9	9	7.05	10.4	2469	1454	2.41	0.23	5,095	12,579	5,477	2,110	1,332
10	10	7.45	10.9	2285	1454	2.37	0.16	5,010	11,624	4,613	2,128	1,344
11	11	7.95	11.5	2469	1388	2.38	0.27	4,585	11,636	5,305	2,159	1,348
12	12	8.45	12	2469	1332	2.34	0.29	4,151	10,748	5,079	2,184	1,347
13	13	8.85	12.7	2856	1558	2.38	0.29	5,777	14,883	6,969	2,236	1,363
14	14	9.35	13.2	3174	1230	2.31	0.41	3,494	9,864	5,588	2,303	1,354
15	15	9.65	13.8	2999	1388	2.34	0.36	4,508	12,294	6,440	2,349	1,356
16	16	10.05	14.5	3265	1558	2.42	0.35	5,874	15,890	8,181	2,407	1,369
17	17	10.45	15	3265	1230	2.44	0.42	3,691	10,462	5,984	2,457	1,360
18	18	10.75	15.6	2666	1281	2.46	0.35	4,036	10,896	5,587	2,469	1,356
19	19	11.15	16.3	2078	1318	2.46	0.16	4,273	9,941	3,960	2,448	1,364
20	20	11.65	16.9	2222	1281	2.41	0.25	3,954	9,894	4,404	2,437	1,350
21	21	12.25	17.6	2181	1428	2.4	0.12	4,894	11,008	4,191	2,425	1,364
22	22	12.65	18.2	2078	1388	2.43	0.10	4,681	10,270	3,791	2,409	1,356
23	23	13.25	18.8	2726	1110	2.44	0.40	3,006	8,420	4,682	2,423	1,345
24	24	13.75	19.4	2778	1190	2.45	0.39	3,469	9,627	5,240	2,437	1,339
25	25	14.05	20.3	2666	1616	2.46	0.21	6,424	15,542	6,555	2,446	1,350
26	26	14.55	20.8	2469	1000	2.45	0.40	2,450	6,869	3,828	2,447	1,336
27	27	14.95	21.4	2285	980	2.5	0.39	2,401	6,662	3,624	2,441	1,323
28	28	15.45	22.4	2469	1384	2.67	0.27	6,114	12,998	6,942	2,442	1,325
29	29	15.95	23.1	2469	1318	2.63	0.30	4,568	11,883	5,664	2,443	1,325
30	30	16.35	23.7	2539	1281	2.66	0.33	4,364	11,602	5,766	2,446	1,323



الشكل (10) (a) أزمنة الوصولات الأولية للموجة الطولية (T_p) والموجة العرضية (T_s)، و (b) قيم السرعة الطولية (V_p) والسرعة الطولية الوسطية (V_{pAvg})، والسرعة العرضية (V_s) والسرعة العرضية الوسطية (V_{sAvg})، للبئر (BH_02)



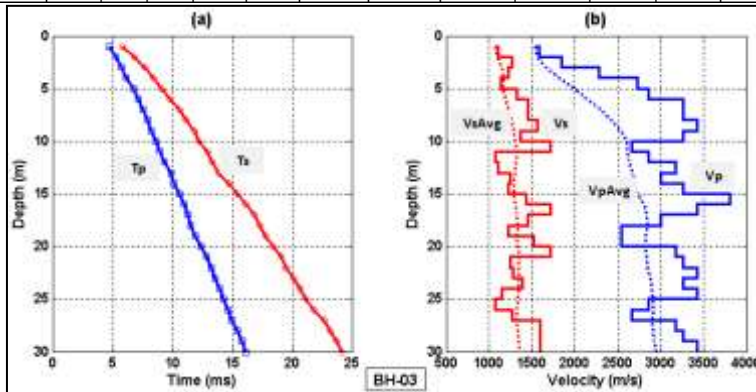
الشكل (11) (a) نسبة بواسون (Poisson M.)، و (b) معامل يونغ (Young M.)،
للبنر (BH_02).



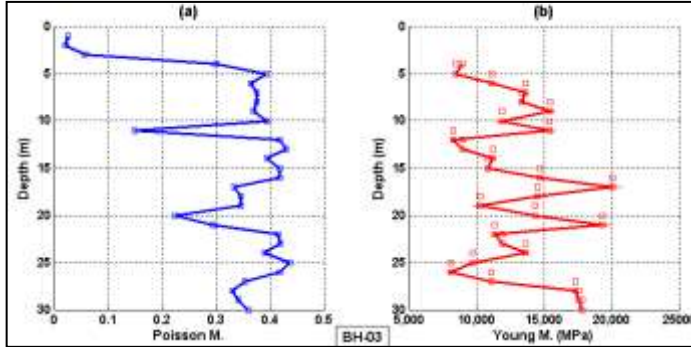
الشكل (12) (a) معامل القص الديناميكي (Shear M.)، و (b) معامل الحجم (Bulk M.)
للبنر (BH_02).

الجدول (3) بيانات البئر رقم (BH_03)

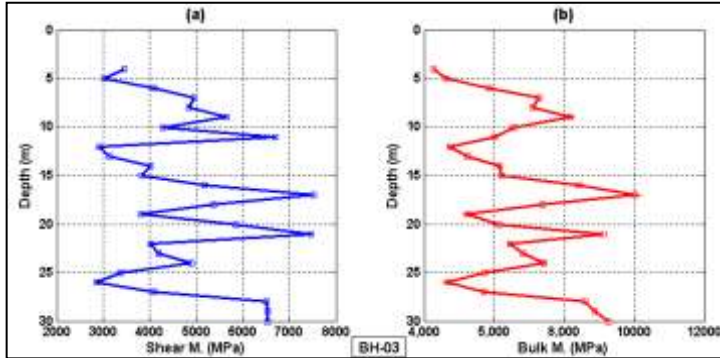
Depth (m)	Layer	Tp (ms)	Ts (ms)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Density (g/cm3)	Poisson	Shear M. (Mpa)	Young M. (Mpa)	Bulk M. (Mpa)	VpAvg (m/s)	VsAvg (m/s)
1	1	4.75	5.8	1538	1073	-	0.03	-	-	-	1,538	1073
2	2	5.25	6.8	1587	1110	-	0.02	-	-	-	1562	1092
3	3	5.75	7.7	1851	1269	-	0.06	-	-	-	1658	1151
4	4	6.15	8.4	2286	1224	2.305	0.30	3453	8970	4265	1815	1169
5	5	6.75	9.1	2726	1142	2.319	0.39	3024	8428	4632	1997	1164
6	6	7.15	9.8	2856	1318	2.354	0.36	4089	11160	5855	2140	1189
7	7	7.55	11	3265	1457	2.332	0.38	4950	13619	7271	2301	1228
8	8	7.95	11	3265	1454	2.287	0.38	4834	13306	7111	2421	1256
9	9	8.25	12	3428	1558	2.323	0.37	5638	15446	8170	2533	1289
10	10	8.65	12	3265	1363	2.298	0.39	4269	11906	6554	2606	1297
11	11	8.95	13	2666	1713	2.28	0.15	6690	15368	6016	2612	1335
12	12	9.35	13	2856	1071	2.542	0.42	2915	8268	4736	2632	1313
13	13	9.85	14	3174	1110	2.542	0.43	3131	8956	5240	2674	1297
14	14	10.2	15	2999	1249	2.57	0.40	4009	11185	6163	2697	1294
15	15	10.6	15	3265	1224	2.553	0.42	3824	10846	6214	2735	1289
16	16	11	16	3809	1428	2.542	0.42	5183	14701	8423	2802	1298
17	17	11.3	17	3428	1714	2.659	0.33	7517	20046	10023	2839	1322
18	18	11.6	17	3000	1454	2.542	0.35	5374	14472	7381	2848	1330
19	19	12	18	2539	1230	2.523	0.35	3817	10281	5246	2831	1324
20	20	12.4	18	2539	1515	2.647	0.22	5845	14305	6142	2817	1334
21	21	12.9	19	3174	1714	2.541	0.29	7464	19320	9125	2834	1352
22	22	13.3	20	3265	1249	2.57	0.41	4009	11339	6453	2853	1347
23	23	13.6	20	3428	1281	2.655	0.42	4192	11895	6822	2878	1344
24	24	14	21	3265	1388	2.542	0.39	4897	13610	7433	2894	1346
25	25	14.3	21	3428	1153	2.638	0.44	3374	9691	5729	2916	1338
26	26	14.7	22	2857	1071	2.495	0.42	2861	8115	4649	2913	1328
27	27	15	23	2666	1269	2.538	0.35	4087	11064	5705	2904	1326
28	28	15.5	23	3174	1600	2.541	0.33	6504	17297	8601	2914	1336
29	29	15.9	24	3265	1600	2.551	0.34	6530	17526	8878	2926	1345
30	30	16.2	24	3428	1600	2.552	0.36	6533	17779	9271	2943	1353



الشكل (13) (a) أزمنة الوصولات الأولية للموجة الطولية (Tp) والموجة العرضية (Ts)، و (b) قيم السرعة الطولية (Vp) والسرعة الطولية الوسطية (VpAvg)، والسرعة العرضية (Vs) والسرعة العرضية الوسطية (VsAvg)، للبئر (BH_03)



الشكل (14) (a) نسبة بواسون (Poisson M.)، و (b) معامل يونغ (Young M.)،
للبيئر (BH_03)



الشكل (15) (a) معامل القص الديناميكي (Shear M.)، و (b) معامل الحجم (Bulk M.)
للبيئر (BH_03)

تلخص الجداول (1 و 2 و 3) القيم التفصيلية الناتجة من تطبيق التقنية المذكورة وتتضمن: رقم الطبقة وعمقها، والكثافة الموافقة لكل طبقة والمقاسة في الآبار، وزمن انتشار الموجة الطولية وزمن انتشار الموجة العرضية، والسرعة الطبقيّة الطولية، والسرعة الطبقيّة العرضية، عند كل واحد متر عمقي، ومعاملات المرنة الموافقة لها، بالإضافة إلى السرعة الوسطية الطولية والعرضية لكل عمق والتي تم حسابها وفق المعادلتين التاليتين:

$$VpAvg = (\sum_{i=1}^n Vp(i))/n$$

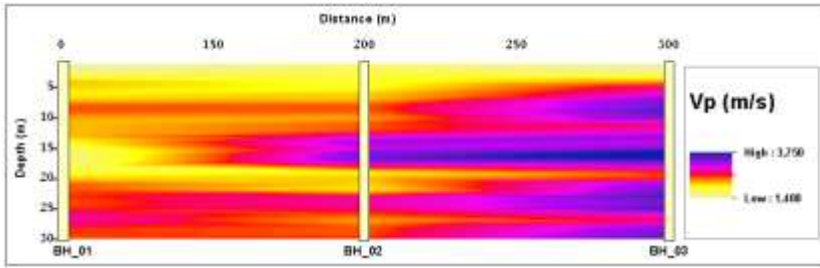
$$VsAvg = (\sum_{i=1}^n Vs(i))/n$$

حيث: $VpAvg$: السرعة الوسطية الطولية، و $VsAvg$: السرعة الوسطية العرضية، و n, i : رقم الطبقة.

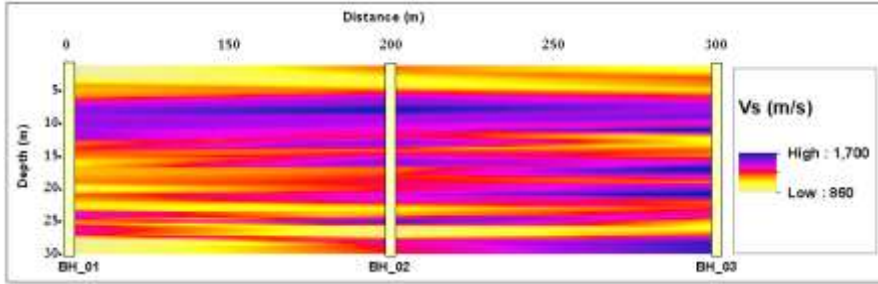
من دراسة وتحليل النتائج التفصيلية المدرجة في الأشكال (6-14) والجداول (1-3) تبين أنه يوجد تفاوت في قيم السرعة الطولية والعرضية، وقيم معاملات المرونة الناتجة، وكان سبب ذلك على الأغلب وجود بعض الانهدامات والتجاويف في جدران الآبار، الأمر الذي أكدته القياسات البثرية الأخرى، وعدم التمكن من أخذ عينات الكور في بعض الأماكن. هذا ويمكن بشكل عام، تصنيف الطبقات تحت السطحية إلى طبقتين رئيسيتين الطبقة العليا تمثل طبقة التجوية المؤلفة من الحصى والطيني والرمال، والذي يبلغ عمقها حوالي ستة أمتار، وقد سجلت لها أقل قيم للسرعة الطولية والعرضية، تليها طبقة الأساس المؤلفة من الحجر الكلسي المعرضة بشدة لأعمال التجوية، والتكهف، وتأخذ قيم سرعة طولية، وعرضية متفاوتة، من أدنى سرعة إلى أقصاها، وذلك تبعاً لدرجة التجوية والتكهف، وهذا يتوافق مع تحاليل العينات الصخرية المذكورة في المقدمة. أما معاملات المرونة، فيلاحظ بشكل عام، أن قيم نسبة بواسون أخذت قيماً عظمى عند التطبقات الهشة على عكس المعاملات الأخرى (معامل يونغ ومعامل القص الديناميكي ومعامل الحجم)، والتي أخذت قيماً عظمى عند التطبقات الصلبة، وهذا يتوافق مع نتائج الدراسات العالمية المشابهة، [1,2].

إن الحصول على معاملات المرونة بالطريقة المذكورة تبقى نقطية تعبر عن موقع القياس بشكل فعلي، ومن الناحية العملية يصعب حفر آبار وتكثيفها للحصول على نتائج تفصيلية تغطي كامل المنطقة، ومن هنا ويهدف الحصول على تصور شامل

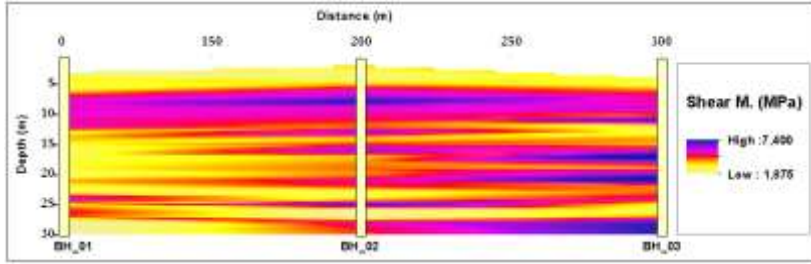
عن الوضع الجيوهندسي، تم تحويل نتائج القياسات من الآبار الثلاث إلى ملفات متوافقة مع نظم المعلومات الجغرافية، على اعتبار ان محور X يمثل المسافة ما بين الآبار، ومحور Y يمثل العمق، والبعد الثالث يأخذ قيمة القياس المنفذ عند كل 1 م، وذلك لكل من السرعة العرضية والطولية ومعاملات المرونة التفصيلية الناتجة، وتم توليد شرائح رقمية خطية (Vector Layers) لتلك النتائج، تم تحويلها إلى صور رقمية (Raster data) باستخدام طريقة شبكة المتلثات غير النظامية Irregular Triangulated Network المستخدمة في تحاليل السطوح [4]، واستنباط القيم البينية لتلك البيانات، مما أعطى صورة تقريبية شاملة عن معاملات المرونة، والوضع الجيوهندسي لمنطقة الدراسة، كما في الأشكال (16-21).



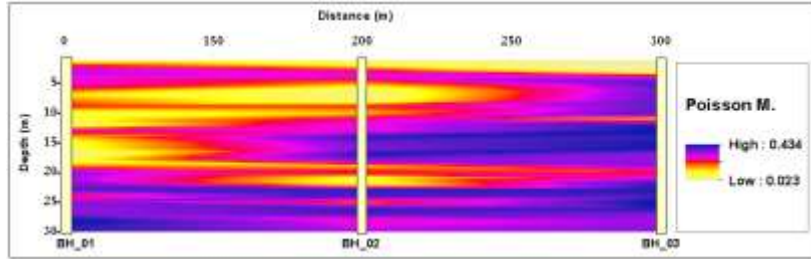
الشكل (16) مقطع عرضي لتغير السرعة الطولية مقابل العمق



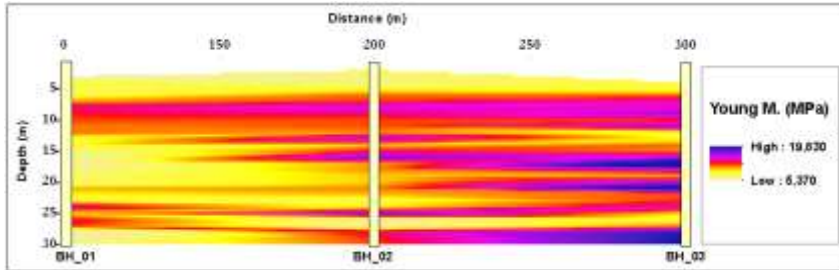
الشكل (17) مقطع عرضي لتغير السرعة العرضية مقابل العمق



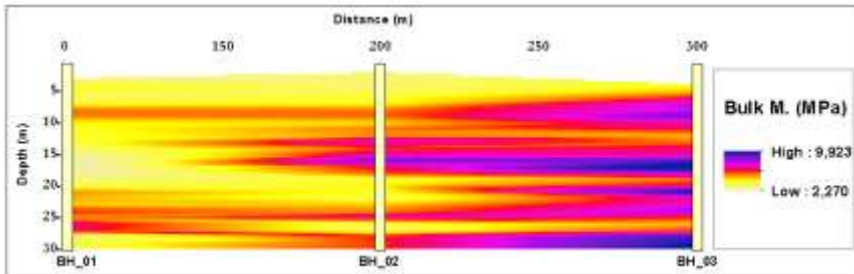
الشكل (18) مقطع عرضي لتغير معامل القص الديناميكي مقابل العمق



الشكل (19) مقطع عرضي لتغير نسبة بواسون مقابل العمق



الشكل (20) مقطع عرضي لتغير معامل يونغ مقابل العمق



الشكل (21) مقطع عرضي لتغير معامل الحجم مقابل العمق

ووفقاً للوضع الليثولوجي، والكثافة، والسرعات المحسوبة، يمكن دمج أكثر من طبقة بطبقة واحدة، أو حساب متوسط السرعة في مجموعة طبقات، أو المتوسط لكامل العمق المطلوب، وبهذا السياق تم تلخيص القيم العظمى والصغرى والوسطى لكل المعاملات المحسوبة، وكانت النتائج كما في الجدول (4).

الجدول (4) ملخص القيم العظمى والصغرى والوسطى للسرعة ومعاملات المرونة للآبار الثلاث

BH #	Value	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Density (g/cm ³)	Poisson	Shear M. (Mpa)	Young (Mpa)	Bulk M. (Mpa)
BH_01	Min	1,333	833	2.22	0.04	1,733	4,990	2,240
	Max	2,778	1,515	2.54	0.44	5,565	13,573	6,319
	Avg	2,205	1,216	2.39	0.25	3,721	9,184	4,134
BH_02	Min	1,818	980	2.31	0.05	2,401	6,662	3,216
	Max	3,265	1,666	2.67	0.42	6,716	15,890	8,181
	Avg	2,447	1,323	2.44	0.25	4,360	10,871	4,973
BH_03	Min	1,538	1,071	2.28	0.02	2,861	8,115	4,265
	Max	3,809	1,714	2.57	0.44	7,517	20,046	10,023
	Avg	2,943	1,353	2.48	0.33	4,778	12,922	6,745

من دراسة وتحليل المقاطع العرضية (16-21) وملخص السرعات ومعاملات المرونة في الجدول (4)، تبين أنه تزداد السرعة الطولية والسرعة العرضية بشكل عام، من الأعلى إلى الأسفل ومن اليسار إلى اليمين (من البئر واحد إلى ثلاثة)، مع بعض الاستثناءات، خاصة في مقطع السرعة العرضية وعلى أعماق متفاوتة، مما أثر بشكل مباشر على حساب معاملات المرونة، فقد توافقت تغيرات نسبة بواسون ومعامل يونغ ومعامل الحجم مع تغيرات السرعة الطولية والعرضية، أما معامل القص الديناميكي فقد تأثر بشكل مباشر بالسرعة العرضية، وهذا يتوافق مع حساب المعادلات الموافقة لكل من هذه المعاملات.

وفي النتيجة، إن التباين في قيم السرعة ومعاملات المرونة وعلى أعماق متفاوتة هو دليل على عدم التجانس، وعلى التباين في البنية الجيولوجية، ما بين بنية متراسة وأخرى هشة أو متكهفة، وكان السبب الرئيس في ذلك ذوبان الانهيدريت بفعل المياه

الجوفية، وهذا ما أكدته الدراسات الأخرى في المنطقة [7]، وتحليل العينات الصخرية المأخوذة من الآبار، لذلك لا بد من الأخذ بعين الاعتبار أن المنطقة وعلى أعماق مختلفة معرضة للانهييار بسبب التجاويرف أو التطبقات الهشة، مما يستوجب مراعاة ذلك أثناء حفر النفق واستخدام التدعيم المناسب عند وضع الأساسات.

4. المراجع:

- 1) Abd El-Rahman, M. (1989). "Evaluation of the Kinetic Elastic Moduli of the Surface Materials and Application to Engineering Geologic Maps at Maba-Risabah Area (Dhamar Province), Northern Yemen", Egypt. Journal of Geology. Vol. 33, No. 1-2, pp. 229-250.
- 2) Adams, L.H. (1951). "Elastic Properties of Materials of the Earth's Crust. Internal Construction of the Earth (edited by Gutenberg)", Dover Publications, Inc., New York.
- 3) ASTM D 7400 , 2008, "Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing", Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- 4) Bob Booth, 2000, Using ArcGIS 3D Analyst, GIS by ESRI, Copyright © 2000 Environmental Systems Research Institute, Inc. United States of America.
- 5) Doug Crice, 2002, Borehole Shear-Wave Surveys for Engineering Site Investigations, Geostuff, 19623 Via Escuela Drive, Saratoga, CA 95070 USA.
- 6) Jacques JENNY Ph.D., and others 2015, Win_Downhole 4.2 User manual, Seismic Downhole Processing Software for Windows® Instruction Manual, GeoSoft - La Repas 10 CH-1042, Bioley-Orjulaz, Switzerland.
- 7) Mohammed S. Fnais, 2009, Geophysical characteristics of Wadi Hanifah water Riyadh, system, Saudi Arabia.
- 8) Powers R. W., and Others., 1986. Geology of the Arabian Peninsula Sedimentary Geology of Saudi Arabia. P66-70.
- 9) Ronaldo Luna and Houda Jadi, 2000, Determination of dynamic soil properties using geophysical methods, Department of Civil Engineering, University of Missouri-Rolla.
- 10) Soupios P. and others, 2006, In Situ Geophysical Investigation to Evaluate Dynamic Soil Properties at the Ilarionas Dam, Northern Greece.