



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل  
كلية العلوم  
قسم علم الارض التطبيقي

دراسة جيوفيزيائية لموقع مجمع

الحلة – وسط العراق

رسالة مقدمة

الى كلية العلوم – جامعة بابل  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير في  
العلوم علم الأرض التطبيقي

من قبل

علي فالح محسن نجيب الخيكاني

بكالوريوس علم الأرض (2015 - 2016)

اشراف

B د. عامر عطية لفتة الخالدي

2022م

1443هـ

**Ministry of Higher Education and Scientific Research**

**University of Babylon**

**College of Science**

**Applied geology**



***Geophysical study to Dar Al Salam block in Al Hilla  
city, Central of Iraq***

***A Thesis***

***Submitted to the Council of the College of Science, University  
of Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Applied Geology***

***By***

***Ali Falih Muhsin Najib***

***(2015-2016)***

***UNDER SUPERVISION OF***

***Professor Dr. Amer Atyah Lafta Al-Khalidy***

**2022 A.D**

**1443 A.H**

## الشكر والتقدير

### بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على اشرف المرسلين , محمد صلى الله عليه واله وسلم وبعد ..... .

فاني بعد ان انتهيت من اعداد متطلبات هذه الدراسة , اشكر الله جل علاه من الشكر الكبير والثناء الكثير لما افاض علي من مننه التي لاتعد ونعمائه التي لاتحصى , واشكر احبته والوسيلة اليه سادتي محمد وآل بيته وابواب الحوائج اليه ام البنين وبنيتها وبالخصوص صاحب الكرامات ابا الفضل العباس ( ع ) .

واتقدم بالشكر لسبب الله في حفظ الارض والعرض المرجعية الرشيدة والمتمثلة باية الله العظمى السيد علي السيستاني ( دام ضله )

واتوجه بالشكر والتقدير والامتنان الى استاذي الفاضل المشرف على دراستي , الدكتور عامر عطية الخالدي , كما واقدم شكري وامتناني الى عمادة كلية العلوم ورئاسة قسم علم الارض التطبيقي .

كما ابدي شكري وتقديري الى كافة منتسبي قسم علم الارض واذكر منهم السيد ريس قسم علم الارض التطبيقي المحترم الدكتور جعفر حسين الزبيدي والدكتور جواد كاظم مانع والدكتور والدكتور احمد مسلم الخواجة والاستاذ احمد قاسم والاستاذ زهير جابر والاستاذ محسن عبيد خلف, كما اشكر الدكتور وائل نايف النافعي مجلس محافظة بابل لما ابده لي من المساعدة والمشورة العلمية والمعلومات القيمة . واخيرا شكري وتقديري الى والدي ووالدتي واخوتي لمؤازرتي طول فترة الدراسة والى كل من فائني ذكره .

ومن الله التوفيق

الباحث



## الاهداء

الى رسول البشرية ومعلم الانسانية سيدنا محمد ( صلى الله عليه و اله وسلم ) والى  
آل بيته الطيبين الطاهرين .

الى من سيملاًها قسطاً وعدلاً بعدما ملئت ظلماً وجوراً سيدي ومولاي صاحب  
العصر والزمان (عجل الله فرجه الشريف) .

الى من الجنة تحت قدميها امي الحبيبة

الى قدوتي ومصدر فخري ابي العزيز

الى من بذل لي من وقته وجهده الكثير المشرف الفاضل ( أ. د عامر عطية لفتة  
الخالدي )

الى كل من احب ...

علي فالح الخيكاني

## اقرار المشرف

اقر ان اعداد هذه الرسالة الموسومة "استخدام طريقة الانكسار السيزمي والمسح الجيوكهربائي وتقنية التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية في التقييم الجيوتكنيكي لمجمع دار السلام في الحلة – بابل " جرى تحت اشرافي في قسم علم الارض التطبيقي / كلية العلوم/ جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في تخصص الجيولوجيا.

التوقيع:-

اسم المشرف:- د. عامر عطية لفته الخالدي  
المرتبة العلمية:- استاذ

## اقرار رئيس قسم علم الارض التطبيقي

بناء على التوصيات المقدمة من المشرف ارشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:-

الاسم:- د. جعفر حسين علي الزبيدي  
المرتبة العلمية :- أستاذ  
العنوان: قسم علم الارض التطبيقي/ كلية العلوم/ جامعة بابل  
التاريخ:- / / 2021

## الخلاصة

تم استخدام طريقة المسح الزلزالي الانكساري كطريقة جيوفيزيائية لحساب الخصائص الجيوتقنية للتربة عن طريق إيجاد موجات (P- wave) وموجات (S- wave). تم استخدام أربعة خطوط زلزالية يبلغ طول كل خط (115)م واخذ نقاط عكسية ومركزية وأمامية لكل مسار ، تمت معالجة البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام Reflex 2D Quick وتفسيرها على أن الطبقة الأولى (VP)(212) م / ث والطبقة الثانية (370) م / ث والعمق عند الطبقة الأولى (3.6) م وبلغت سرعة (VS) للطبقة الأولى (114) وللطبقة الثانية (212.3) م / ث ، ثم حسب معاملات المرونة الديناميكية مثل نسبة بوزان ، معامل يونك ، معامل القص ( $\mu$ ) ، وثابت لامبي ( $\lambda$ ) و معامل المادة ومعامل التركيز ومعامل نسبة الضغط او الاجهاد و الأنحدار (الميل) الكثافي وزاوية الاحتكاك الداخلية الفعالة ( $\emptyset$ ) .

اما بخصوص الجزء الكهربائي فقد تم إجراء المسوحات الكهربائية باستخدام تقنية VES حسب ترتيب شلمبرجر في محطة الدراسة .اجريت عملية النشر وبواقع 4 نقاط جس كهربائي موزعة بالتساوي على مسارين متعامدين اثنيين بشكل افقي وواثنين بشكل عامودي بلغ طول كل مسار من المسارات المنجزة 120مترا، وتعذر علينا زيادة طول المسار بسبب وجود العوائق التي تمنع نشر المسارات بشكل اوسع، كما بلغ عدد القياسات في كل نقطة جس 24 قراءة، إذ بلغ الحد الأعلى للمسافة الفاصلة بين قطبي الجهد 10 متر والمسافة بين قطبي ال تيار 60 مترا .

## Summary :-

The refractive seismic survey method was used as a geophysical method to calculate the geotechnical properties of the soil by measuring (P) waves and (S) waves. Four seismic lines have been used with a length of (115) m and taking reverse, central and forward points for each path. The data has been processed by using Reflex 2D Quick and its interpretation shown that the first layer (VP) is (212 m / s and the second layer is (370) m / s and the depth at the first layer is 3.6)) m, and the speed (VS) for the first layer (114) and the second layer (212.3) m/s, then according to dynamic elasticity parameters such as Poisson's ratio, Yunck's modulus, shear modulus ( $\mu$ ), and Lamy's constant ( $\lambda$ ), (Index Material) and(Concentration Index) and( Stress Ratio ) and (Density Gradient) and ( Interna Friction angles) ( $\emptyset$ ) . The deployment process was conducted in 2007, the deployment process began with a horizontal position, in general, generally and clearly, in general, the completed path is 120 meters, and we were unable to increase the length of the path because of the area that prevents the signals from being propagated in the direction of the caps, and measuring the size of the measurements at each reading point , 24 readings, and the distance between the two values in the direction and pole of the current value is 60 metres .

## المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	التسلسل
الفصل الأول		
1	تمهيد	1-1
1	الهدف من الدراسة	2-1
1	منطقة الدراسة	3-1
2	جيولوجية وتكتونية منطقة الدراسة	4-1
5	طبوغرافية وجيومورفولوجيا منطقة الدراسة	5-1
6	هيدرولوجيا منطقة الدراسة	6-1
7	الدراسات السابقة	7-1
7	الدراسات السابقة في العراق	1-7-1
8	الدراسات العالمية	2-7-1
الفصل الثاني		
10	الطريقة الزلزالية الانكسارية	1-2
10	نظرية المرونة	1-1-2
11	الأجهاد	1-1-1-2
12	المطاوعة	2-1-1-2
13	قانون هوك	2-1-2
14	قانون سنيل	3-1-2
16	انواع الموجات	4-1-2
16	الموجات الجسمية	1-4-1-2
19	الموجات السطحية	2-4-1-2
20	اننشار الموجات الزلزالية	5-1-2

21	العوامل المؤثرة في انتقال الموجات الزلزالية	6-1-2
23	توهين الموجات الزلزالية	7-1-2
24	سرعة الموجات الزلزالية للصخور	8-1-2
25	حساب السمك والسرعة للطبقات تحت السطحية	9-1-2
25	في حال وجود طبقتين أفقيتين	1-9-1-2
26	في حال وجود ثلاث طبقات أفقية	2-9-1-2
27	الغموض في الطبقات الانكسارية	10-1-2
28	قياس معاملات المرونة	11-1-2
34	قياس معاملات الجيوتكنيكية	12-1-2
36	تأثير قياسات الكثافة في ثوابت في ثوابت ومعاملات المرونة	13-1-2
36	النسبة $(V_p/V_s)$ أو النسبة $(V_s/V_p)$	14-1-2
38	طريقة المقاومة الكهربائية	2-2
38	نظرية تدفق التيار	1-2-2
42	العوامل المسيطرة على المقاومة الكهربائية للصخور	2-2-2
47	المعاملات الجيوكهربائية (Goelectrical Parameters)	3-2-2
49	ترتيبات الأقطاب المستخدمة لأخذ القياسات	4-2-2
49	ترتيب ثنائي القطبين القطبي	1-4-2-2
50	ترتيب فنر للأقطاب	2-4-2-2
51	ترتيب شلمبرجر للأقطاب	3-4-2-2
51	أساليب أخذ القياسات	5-2-2
51	الجس الكهربائي العودي	1-5-2-2
53	الجس باستعمال ترتيب شلمبرجر	2-5-2-2
54	الجس باستعمال ترتيب شلمبرجر الخطي	3-5-2-2

54	المسارات الكهربائية	6-2-2
55	الخرائط الكهربائية	7-2-2
55	الجس المتقاطع	8-2-2
55	المقاطع الزائفة غير الحقيقية	9-2-2
56	اختيار الاسلوب والترتيب المناسبين لأخذ القياسات	10-2-2
57	تشوه المنحنيات الحلقية	11-2-2
57	التشوه بسبب الازاحة بين افرع المنحني الحلقي	1-11-2-2
57	التشوه بسبب الازاحة النظرية	2-11-2-2
58	التشوه بسبب الازاحة الناتجة عن عدم التجانس السطحي	3-11-2-2
59	التشوه بسبب الاختلاف الجانبي للخواص الكهربائية	4-11-2-2
الفصل الثالث		
الأجهزة المستخدمة والعمل الحقلي والمختبري		
61	التمهيد	1-3
61	الأجهزة المستخدمة	2-3
62	ملحقات جهاز المسح	1-2-3
63	المواصفات التقنية لجهاز المسح	2-2-3
65	اللاقطات الارضية	3-2-3
65	العمل الحقلي	3-3
68	مصادر توليد الموجات الزلزالية	4-3
68	مصادر توليد الموجات الزلزالية الطولية	1-4-3
68	مصادر توليد الموجات الزلزالية المستعرضة	2-4-3
69	تقنية الجس الكهربائي العمودي	5-3
69	الأجهزة المستخدمة	1-5-3

70	ملحقات الجهاز	2-5-3
71	المميزات والموتصفات التقنية للجهاز ABEM TERRAMETER LS2	3-5-3
73	العمل الحقل	6-3
74	كيفية اخذ القياسات	1-6-3
75	جدول القياسات	2-6-3
77	مشاكل العمل الحقل	3-6-3
77	حفر الابار	7-3
الفصل الرابع		
79	تمهيد	1-4
79	معالجة البيانات الزلزالية	2-4
79	تفسير البيانات الزلزالية	3-4
80	التقاط ازمة الوصول الاولي	4-4
82	التفسير لنتائج المسح الزلزالي الانكساري	5-4
85	التقييم للحصائص الجيوتكنيكية وحساب معاملات المرونة	6-4
89	تفسير نتائج الجس الكهربائي العمودي	7-4
89	نوعية المنحنيات الكهربائية الحقلية	8-4
93	المقاطع البيئية للمقاومة النوعية والمقاطع الجيوكهربائية	9-4
96	حساب المعاملات الجيوكهربائية	10-4
97	نتائج حفر الابار	11-4
الفصل الخامس		
99	الاستنتاجات	1-5
100	التوصيات	2-5
المصادر		
الملحق		

### قائمة الاشكال

2	خريطة العراق موضحاً عليها موقع منطقة الدراسة	1-1
4	خريطة جيولوجية لمنطقة الدراسة	2-1
5	خريطة العراق التكتونية	3-1
6	خريطة تمثل تضاريس منطقة الدراسة بأستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية	4-1
13	تحليل المطاوعة في بعدين (Telford, et al., 1976)	1-2
14	العلاقة ما بين الاجهاد والمطاوعة	2-2
15	(أ) أشعة الموجة P و S المنعكسة والمنكسرة الناتجة عن شعاع الموجة P بشكل غير مباشر على واجهة تباين فيها الممانعة الصوتية ، و (ب) أشعة الموجة المنعكسة والمنكسرة المرتبطة بأشعة الموجة P حادث غير مباشر على واجهة تباين الممانعة الصوتية ( Kearey et al. , 2002).	3-3
16	الشعاع المنكسر الحرج (Kearey et al., 2002)	4-2
17	حركة الجزيئات للموجة الطولية عن (Moony,1973)	5-2
18	انتشار الموجات الزلزالية (Jolly,1956)	6-2
19	الحركة للجزيئات في الموجة المستعرضة (Dobrin,1976) (Mooney,1973)	7-2
20	انعكاس وانكسار الموجات الزلزالية (Sharma, 1986)	8-2
24	انتشار الطاقة الزلزالية من مصدر النقط (P) بالقرب من السطح ضمن وسط متجانس ؛ ينتقل الاضطراب كموجة جسم (body waves) عبر الوسط كموجة سطحية على طول السطح الحر (Lowrie, 2007)	9-2
26	طريقة والمسافة الحرجة والزمن المقطوع في حال وجود طبقتين أفقيتين (Grant and West,1965)	10-2
27	منحنى المسافة – زمن في حال ثلاث طبقات أفقية : ( Sjogren, 1984)	11-2
28	( أ، النطاق الأعمى ذو السرعة الواطئة) (ب، الطبقة المخفية ذات الطبقة النحيفة) (Palmer,1991)	13-2

37	العلاقة بين النسبة $V_p/V_s$ و $V_p$ (Paterson&Meidav,1965)	14-2
39	تعريف المقاومة، حيث يوضح موصل مساحة مقطعه (A) وطوله (L) ويمر خلاله تيار (I)	15-2
40	انتشار التيار داخل الأرض وحساب الجهد عند القطب (M)	16-2
41	يوضح الترتيب العام للأقطاب	17-2
47	مجسم ذو شكل هندسي يستخدم في حساب المعاملات الجيوكهربائية	18-2
50	بعض أنواع الترتيبات الأكثر استعمالاً (Rao, et.al, 2003)	19-2
52	يوضح خطوط تدفق التيار الكهربائي عند انتقالها بين وسطين مختلفين بقيم المقاومة النوعية مع زيادة عمق اختراقها لزيادة المسافة بين قطبي التيار (A) و (B) ((Kunetz, 1968))	20-2
53	انتشار التيار داخل الأرض مع زيادة مسافة النشر بين الأقطاب يؤدي إلى تغير قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة على سطح الأرض	21-2
58	الإزاحة النظرية بين أجزاء المنحني الحقلي كما ورد في ( Al-Ane, 1998)	22-2
60	تشوه المنحنيات الحقلية بتكون القفزات بسبب اختلاف الخواص الجاني، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)	23-2
60	منحني حقلي مشوه نتيجة وجود انقطاع عن جسم ناري (Dike)، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)	24-2
60	أفرع لمنحني حقلي مشوه، وكيفية ربط هذه الأفرع، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)	25-2
62	جهاز التسجيل الزلزالي الانكساري ( ABEM Terraloc Mk-6 )	1-3
64	يوضح مناطق ربط اللاقطات والطابعة وغيرها في جهاز الزلزالية الانكسارية ((Terraloc Mark-6) عن: (ABEM, 2009 B)	2-3
65	اللاقطات الارضية الافقية والعمودية	3-3
66	صورة فضائية مسقط عليها المسارات الكهربائية والزلزالية ونقاط حفر الابار في منطقة الدراسة	4-3
67	صورة من عملية المسح في منطقة الدراسة	5-3

68	الجيوفونات في منطقة الدراسة يبين مخطط نشر	6-2
69	يمثل اتجاه طرق اللوح المطاطي لغرض الحصول على الموجات القصية	7-3
70	جهاز قياس جهاز قياس المقاومة النوعية الكهربائية ( ABEM ) (Terrameter LS 2 / IP	8-3
71	يوضح مكونات وملحقات جهاز قياس جهاز قياس المقاومة النوعية الكهربائية ( ABEM Terrameter LS 2 / IP	9-3
78	يوضح طريقة حفر الابار في منطقة الدراسة بواسطة البريمة	10-3
81	نموذجي من البيانات الزلزالية الاولية (Raw data) في منطقة الدراسة	1-4
82	يمثل منحنيات الزمن - المسافة للموجات الطولية لمحطات موقع الدراسة	2-4
83	يمثل منحنيات الزمن - المسافة للموجات المستعرضة للمحطات موقع الدراسة	3-4
84	يمثل مقطع عميق لطبقات منطقة الدراسة	4-4
91	يمثل طبيعة منحنيات المقاومة النوعية الظاهرية في نقاط الجس الكهربائي (Ves-1, 2,3, 4) في منطقة الدراسة	5-4
94	يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الأول	6-4
94	يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الثاني	7-4
95	يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الثالث	8-4
95	يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الرابع	9-4
98	تظهر نتائج حفر الابار في منطقة الدراسة	10-4

## قائمة الجداول

الصفحة	الجدول	التسلسل
19	حساب سرعة الموجة (p) في بعض المواد ( keary, 2002 )	1-2
29	العلاقات الرياضية المستخدمة في حساب معاملات المرونة	2-2
30	نوع التربة اعتماداً على نسبة بوزان ومُعامل المادة ( Sheriff & Gelbert,1986 )	3-2
31	قيم معامل يونك ونسبة بوزان لانواع مختلفة من المواد (After Humt , 1986)	4-2
34	العلاقات الرياضية المستخدمة في حساب المعاملات الجيوتكنيكية	5-2
35	درجة صلابة التربة بالاعتماد على قيم الاجخاد وقيم التركيز للمادة ( Abd EL-Rahman,1989 )	6-2
46	مديات المقاومة النوعية لانواع مختلفة من الصخور والمياه (Mars,1984)	7-2
76	المسافات بين الاقطاب لكل قياس من قياسات المقاومة النوعية (AL-Ane,1998)	1-3
83	قيم وسرعة الموجات الزلزالية الطولية والمستعرضة ومعدل سماكات الطبقات للمسارات الزلزالية في موقع الدراسة	1-4
88	نتائج لقيم معاملات المرونة المقاسة لمنطقة الدراسة	2-4
89	نتائج لقيم معاملات المرونة المقاسة لمنطقة الدراسة	3-4
92	قيم المقاومة النوعية الظاهرية وسماكات الطبقات فضلا عن نوعية المنحنيات الكهربائية في منطقة الدراسة	4-4
97	قيم المعاملات الجيوكهربائية في منطقة الدراسة	5-4

## قائمة الرموز والمصطلحات

الوصف	الرموز
المسامية	$n$
الأجهاد	$S$
المطاوعة	$\varepsilon$
معامل يونك الحركي	$E_d(E)$
الموجات التضاغطية	$V_p$
الموجات القصية	$V_s$
نسبة بوسان	$\sigma$
الكثافة	$\rho$
معامل القص	$\mu$
معامل يونك الساكن	$E_s$
المعامل الحجمي	$K$
الانضغاطية	$\beta$
الثابت اللامي	$\lambda$
مكافئ لمعامل القص	$\eta$
حجم الفراغات أو الفجوات	$V_{pv}$
الحجم الكلي للصخرة	$V_b$
سرعة الموجة في المواد الصلبة	$V_m$
سرعة الموجة في الماء	$V_w$
المقاومة النوعية	$\rho$
سمك الطبقة	$h$
الممانعة الزلزالية	$I$
التعجيل الأرضي	$g$
ميكاباسكال	MPa
معامل المادة	$I_m$
معامل ضغط الارض الجانبي	$K_0$
الأجهاد الأفقي الفعال	$\delta_h$

الأجهاد العمودي الفعال	$\delta_v$
العمق	h
زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة	$\emptyset$
التماسك	c
المقاومة النوعية الكلية	$R_T$
المقاومة النوعية المستعرضة	$\rho_T$
لمقاومة النوعية الطولية	$\rho_L$
التوصيل الكهربائي الطولي	$S_L$

# الفصل الأول

## المقدمة

*(Introduction)*

# الفصل الثاني

## الخلفية النظرية

*(Background Theory)*

# الفصل الثالث

## الأجهزة المستخدمة

## والعمل الحقلّي والمختبري

*(Instruments, Field and  
Laboratory Work)*

# الفصل الرابع

## تفسير المعطيات الجيوفيزيائية

*(Geophysical Data  
Interpretation)*

# الفصل الخامس

## الاستنتاجات والتوصيات

*(Conclusions and  
Recommendations)*

المصادر

*(References)*

## الفصل الثاني

### الخلفية النظرية (Background Theory)

تم في الدراسة الحالية استخدام تقنيتي الجس الكهربي العمودي والمسح الزلزالي الأنكساري في منطقة الدراسة ، لذا أقتضت الحاجة لأعطاء وصف دقيق للمبدأ النظري لكل طريقة من هذه الطرائق وكما يلي

#### 1-2 الطريقة الزلزالية الأنكسارية (Seismic Refraction Method)

الإنكسار الزلزالي هي إحدى أقدم الطرق الجيوفيزيائية المطبقة والمستخدممة بشكل شائع لرسم خرائط توضح الشكل الهندسي للسطوح الجيولوجية الضحلة (Pelton, 2005). في المسح الزلزالي ، يتم إنشاء الموجات الزلزالية بواسطة مصدر خاضع للرقابة وتنتشر عبر باطن الأرض تعود بعض الموجات إلى السطح بعد الإنكسار أو الإنعكاس عند الحدود الجيولوجية للطبقات تحت سطح الأرض إذ تكتشف الأجهزة الموزعة (اللاقطات) على طول السطح حركة الأرض التي تسببها هذه الموجات العائدة ، وبالتالي تقيس زمن وصول الموجات في نطاقات مختلفة من المصدر وبما إن سرعة الموجات ثابتة ومن خلال تسجيل زمن الوصول يمكن استخراج قيم العمق وتحديد الحدود الفاصلة بين الطبقات تحت السطحية بشكل دقيق بالاعتماد على التعابير الليثولوجي للطبقات (Dobrin, 1976).

المسح باستخدام الطريقة الإنكسارية الزلزالية يتكون من نشر خط من اللاقطات (Geophone) على سطح الأرض ، وإطلاق مصدر الطاقة الزلزالي ؛ تنشر اللاقطات عادة في المواقع وبأشكال متعددة حسب نوع الهدف ونوع الطريقة المستخدمة في البحث. تعمل طريقة الإنكسار الزلزالي عندما تكون هنالك طبقتان صخرية مختلفة تحت سطح الأرض ، ويكون للطبقة العليا  $V_p$  أصغر من الطبقة السفلية (Refractor) (Senthil, 2019) عندما تكون زاوية سقوط الموجة الزلزالية هي الزاوية الحرجة ، تنتقل الموجة الزلزالية عبر السطح (interface) مع  $V_p$  للطبقة السفلية ، ثم تنكسر مرة أخرى إلى السطح. يتم قياس الوقت الذي تستغرقه الموجة الأولية للانتقال من المصدر الزلزالي إلى كل لاقط ، وباستخدام زمن الوصول وطرق الإنعكاس هذه ، يمكننا تصميم مخطط رسم بياني للزلازل للجس تحت السطحي. تساعدنا نماذج السرعة هذه في تحديد وجود التراكيب أو الشذوذ في باطن الأرض بشكل أفضل (kearey, 2002)

## 1-1-2 نظرية المرونة (Theory of Elasticity) :

إن التحريات الزلزالية تعتمد أساساً على إنتقال الموجات في وسط مرن، ولغرض الفهم الدقيق فمن الضروري أولاً إن نعرف الكميات التي تصف خصائص المرونة للمادة التي يعتمد عليها تقدم هذه الموجات (Nettleton,1940).

عند عد الصفات المرنة للصخور فإننا نفترض إن جسم الصخرة متجانس (Homogeneous) ومتساوي الخصائص في الاتجاهات جميعاً (Isotropic) ، وإلا فإن تقدم الموجة الزلزالية سيصبح معقداً (Sharma, 1986).

إن المرونة (Elasticity) هي خاصية المادة لمقاومة التغير بالشكل والحجم عند تعرضها لقوى خارجية ومحاولة أرجاع الجسم الى حالته الطبيعية بعد زوال المؤثر ، ويوصف الجسم إنه مرن إذا استعاد حالته الطبيعية، وغير مرن إذا لم يستعد حالته الطبيعية بعد زوال المؤثر (Jose,2003). لذلك تخضع الاوساط المرنة لقانون هوك والذي سوف يتم ذكره لاحقاً .

### 1-1-1-2 الإجهاد (Stress)

تتولد الاجهادات (S) (Stresses) عند مصدر الطاقة على شكل موجات مرنة ، يعرف الاجهاد إنه القوة المسلطة على وحدة المساحة ( Telford et al.,1976 )

$$S = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

F : القوة وتقاس بالنيوتن.

A: المساحة وتقاس بالمتر المربع.

S: الاجهاد يقاس بوحدات نيوتن\متر مربع = باسكال.

ويكون الاجهاد بنوعين:-

أ- الاجهاد العمودي (Normal Stress)

نحصل على هذا النوع عندما تكون القوة المسلطة عمودية على وحدة المساحة ويكون تضاعطياً (Compressive) ويؤدي الى قصر (Shortening) في الجسم. أو إن يكون شديداً (Tensile) ويؤدي الى إطالة (Elongation) في الجسم إن الاجهاد العمودي يغير من حجم الجسم دون إن يغير من شكله (Robinson and Clark. 2017)

ب- الاجهاد القصي (Shear Stress)

وتكون القوة المسلطة على الجسم بشكل موازٍ لمساحة مقطع الجسم المعرض للاجهاد . إن الاجهاد القصي يغير شكل الجسم دون تغيير الحجم .

### 2-1-1-2 المطاوعة (Strain)

عندما تؤثر الاجهادات في سطح جسم معين تؤدي الى تغيير في الحجم أو الشكل للجسم أو كلاهما، وإن مقدار التشويه أو التغيير الحاصل في الاجسام المعرضة لهذه الاجهادات يعرف بالمطاوعة ( $\epsilon$ ) (Strain) ، شكل (1-2) ، علماً إن المطاوعة هي كمية مجردة من الوحدات. وتكون المطاوعة بثلاث أنواع هي (kearey, 2002) :

#### أ- المطاوعة الطولية ( $\epsilon_1$ ) (Longitudinal Strain)

التي تعرف بإنها نسبة الاطالة او القصر ( $\Delta L$ ) الناتجة من الاجهادات العمودية الى الطول الاصلي (L) للجسم، وتسمى أيضاً بالمطاوعة العمودية (Normal Strain) .

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2-2)$$

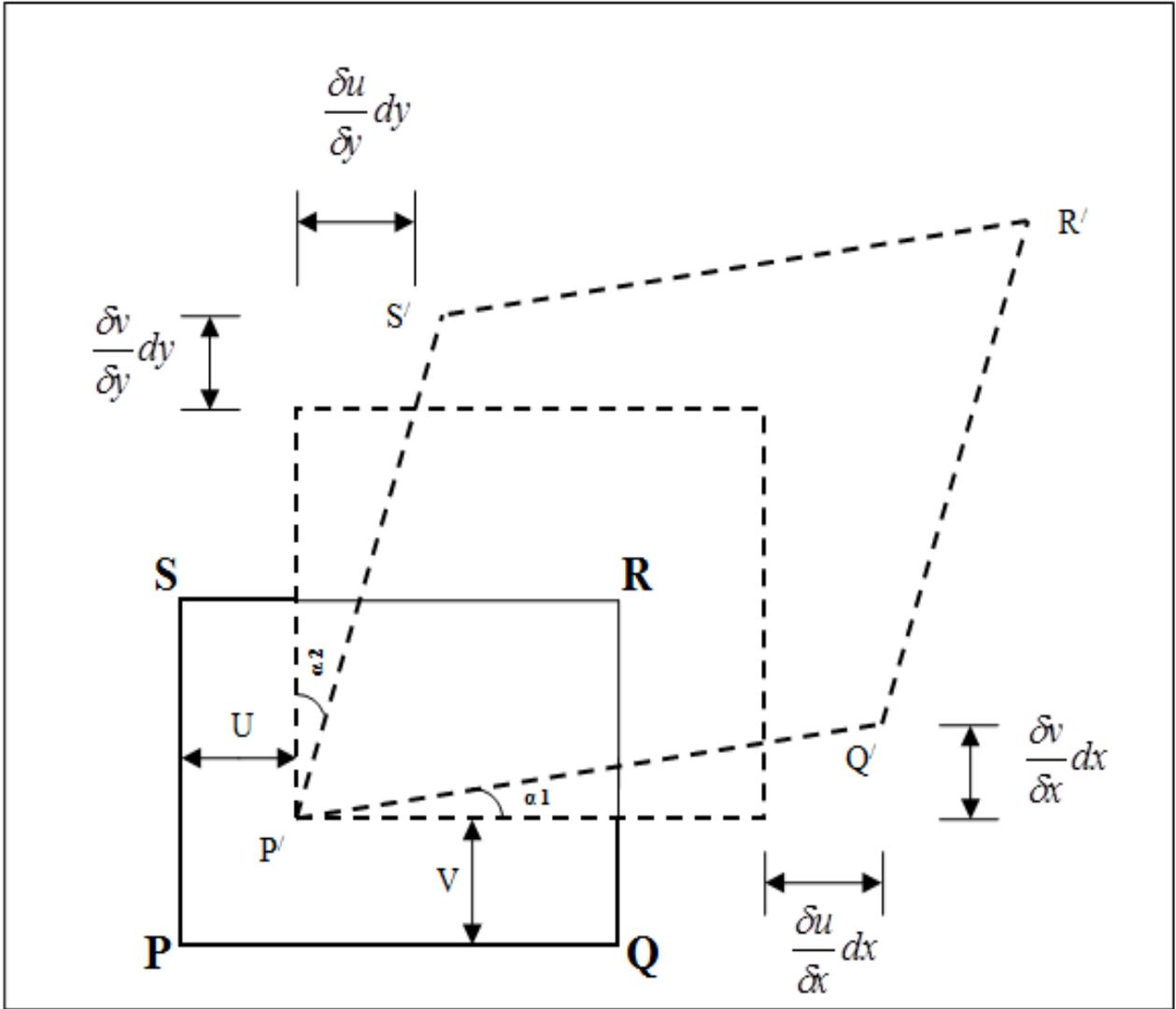
#### ب- المطاوعة العرضية ( $\epsilon_w$ ) (Transversal Strain)

وهي نسبة التمدد (Dilatation)، أو التوسع (Expansion)، أو التقلص (Contraction) ( $\Delta W$ ) عمودياً على اتجاه الاجهاد الى العرض الاصلي (W) للجسم (kearey, 2002)

$$\epsilon_w = \frac{\Delta w}{w} \dots\dots\dots (3-2)$$

#### ج- المطاوعة القصية (Shear Strain)

هي المطاوعة التي تسبب تغييراً في الشكل فقط من دون اي تغيير في الحجم وتسمى ايضاً بالتشويه (Distortion) (Sharma,1986) كما في شكل (1-2) الذي تحليل المطاوعة في بعدين .



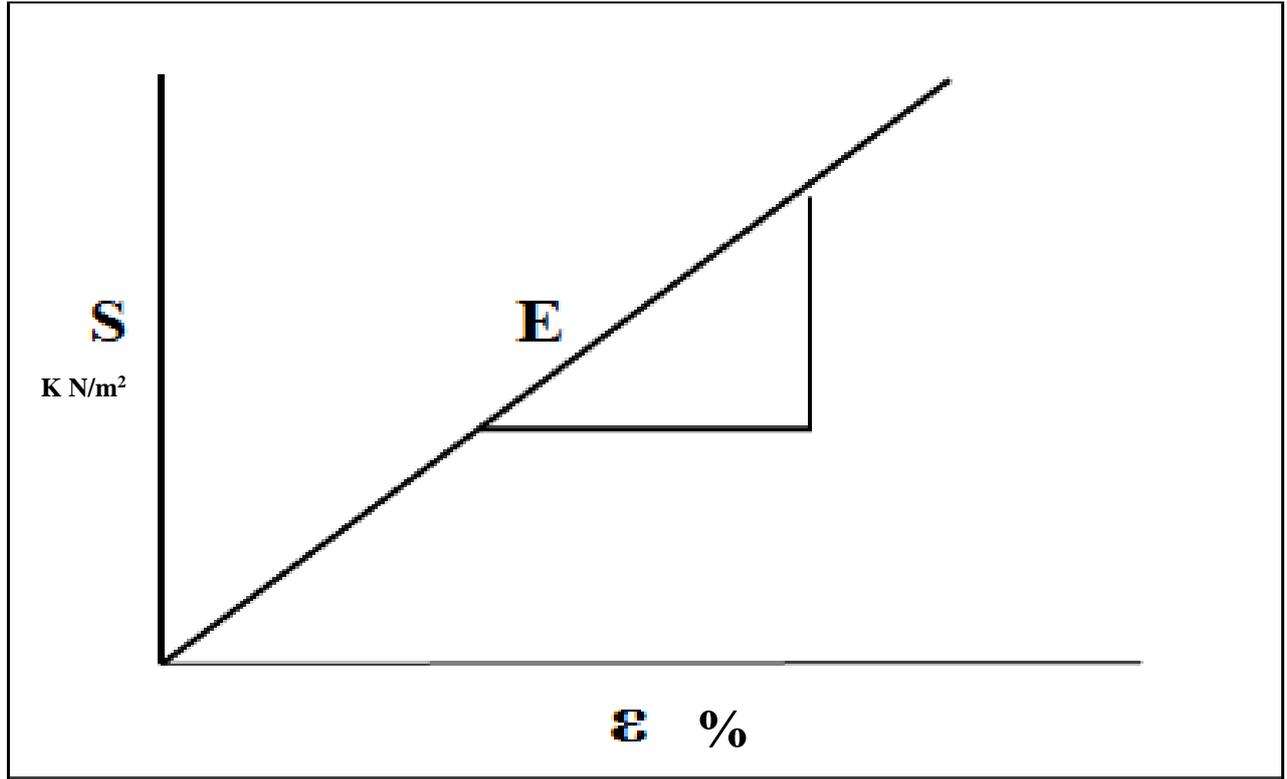
شكل (1-2) تحليل المطاوعة في بعدين (Telford, et al., 1976)

## 2-1-2 قانون هوك (Hook's Law) :

ينص قانون هوك على أن مقدار الاجهاد (Stress) المسلط على جسم ما والذي يؤدي الى تشويهه في الشكل او الحجم او كليهما يتناسب طردياً مع مقدار المطاوعة (Strain)، وإن ثابت التناسب هو معامل المرونة، (Parasnis, 1972)، كما في الشكل (2-2).

### Stress $\propto$ Strain

$$S = E\varepsilon \quad \dots\dots\dots (4-2)$$



شكل (2-2) العلاقة ما بين الاجهاد والمطاوعة (Parasnis,1972)

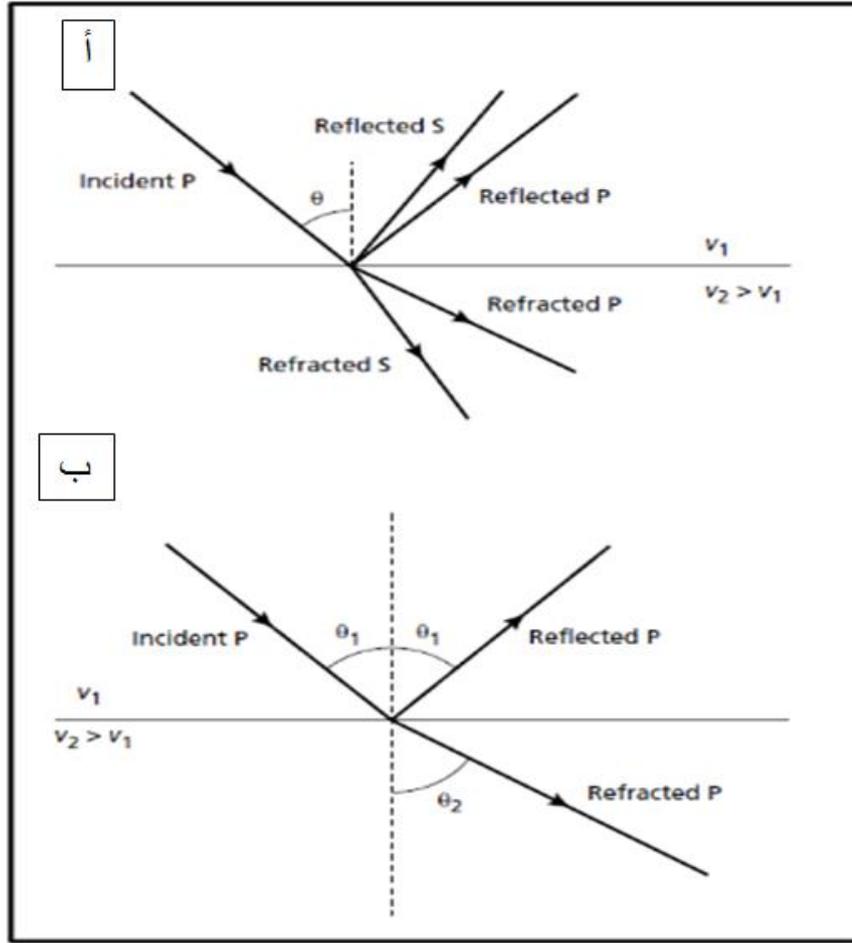
S: الاجهاد ، E: معامل المرونة ، ε: المطاوعة.

### 3-1-2 قانون سنيل (Snell's law):

ينص الشكل العام لقانون سنيل على إنه طول أي شعاع واحد ، فإن معامل الشعاع يبقى ثابتاً. بالنسبة لشعاع الموجة P المنكسر الموضح في الشكل (2-3) ، لذلك:

قانون سنيل المعروف أيضاً باسم قانون الإنكسار هو صيغة تستخدم لوصف العلاقة بين زوايا سقوط الموجة وشعاع الإنكسار. (Telford et al., 1990؛ Kearey et al., 2002؛ Lowrie، 2007) عندما يقع شعاع الموجة P بشكل غير مباشر على واجهة تباين فيه الممانعة الصوتية ، تتولد أشعة منعكسة ومرسلة P-wave كما في حالة حدوث طبيعي. فضلاً عن ، يتم تحويل بعض الطاقة الإنضغاطية الساقطة إلى أشعة منعكسة ومرسلة S-wave (الشكل 2-3أ) المستقطبة في مستوى عمودي. ينتقل شعاع الموجة P المرسل عبر الطبقة السفلية مع تغيير اتجاه الإنتشار (الشكل 2-3 ب) ويشار إليه باسم الشعاع المنكسر. (Kearey et al., 2002; Lowrie, 2007)

$$\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2} \dots\dots\dots(5-2) \dots\dots (kearey et al , 2002)$$

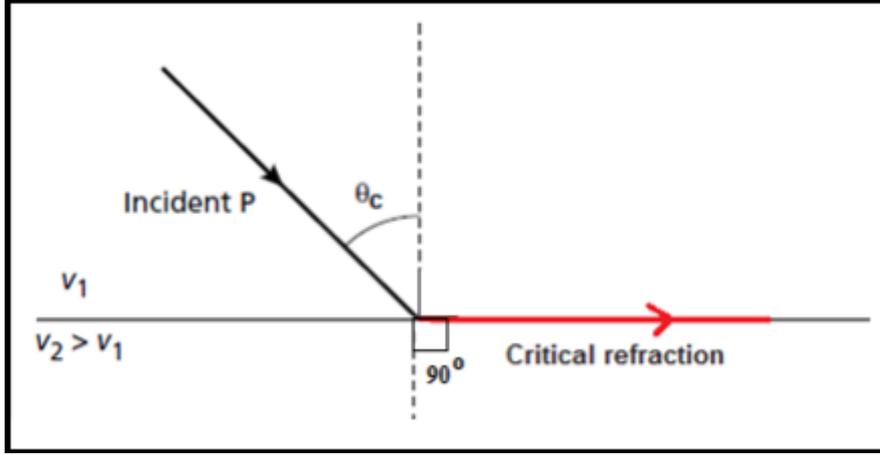


الشكل ( 2-3)، (أ) أشعة الموجة P و S المنعكسة والمنكسرة الناتجة عن شعاع الموجة P بشكل غير مباشر على واجهة تباين فيها الممانعة الصوتية ، و (ب) أشعة الموجة المنعكسة والمنكسرة المرتبطة بأشعة الموجة P حادث غير مباشر على واجهة تباين الممانعة الصوتية (kearey et al , 2002).

ينكسر الشعاع بعيداً عن الطبيعي للواجهة إذا كان  $V_2 > V_1$  ؛ وهذا هو  $\theta_2 > 1$  ( Kearey et al., 2002; Lowrie, 2007; Reynolds, 2011). عندما تكون السرعة أعلى في الطبقة الثانية ، توجد زاوية وقوع معينة ، تُعرف بالزاوية الحرجة ( $\theta_c$ ) وهي زاوية الإنكسار 90 ( Kearey et al., 2002; Lowrie, 2007; Reynolds, 2011). يؤدي هذا إلى ظهور شعاع منكسر ينتقل على طول الواجهة بسرعة أعلى  $V_2$  (الشكل 2-4). يتم حساب الزاوية الحرجة بواسطة المعادلة ادناه:

$$\frac{\sin \theta_c}{V_1} = \frac{\sin 90^\circ}{V_2} = \frac{1}{V_2}$$

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} (v_1 / v_2) \dots\dots\dots 6-2 \quad (\text{kearey et al., 2002})$$



الشكل 4-2 - الشعاع المنكسر الحرج (Kearey et al., 2002)

### 4-1-2 أنواع الموجات (Wave types) :

عند تعرض أي جسم مرن الى جهد او عند تحرر الجهد فجأة فنتقدم الازاحة المرافقة من الجسم الى الخارج بشكل موجة مرنة (Sharma,1986).  
هناك نوعان رئيسيان من الموجات المرنة هما :-

#### 1-4-1-2 الموجات الجسمية (Body waves) وتكون على نوعين :

##### أ.الموجات الطولية (Longitudinal waves)

يطلق عليها أيضا تسمية الموجات الأولية Primary waves أو P-waves وتكون فيها حركة جزيئات الوسط باتجاه حركة الموجة مما يسبب تداخل وتضاغط للوسط كما هو الحال في الموجات الصوتية , إن هذا النوع من الموجات ينتقل في كل الأوساط صلبة كانت ام سائلة وتعد أسرع الموجات إنتقالاً، ويعبر عن سرعتها ( $V_p$ ) وتكون علاقتها بمعاملات مرونة الوسط الصخري من خلال المعادلات الاتية (Dobrin1976) ، الشكل (6-2)

$$V_p = \sqrt{\frac{M}{\rho}} = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \dots\dots\dots(7-2)$$

M :- معامل المرونة الفعال Effective modulus. نت<sup>2</sup>م

$\rho$  :- الكثافة (غم / سم<sup>3</sup>) .

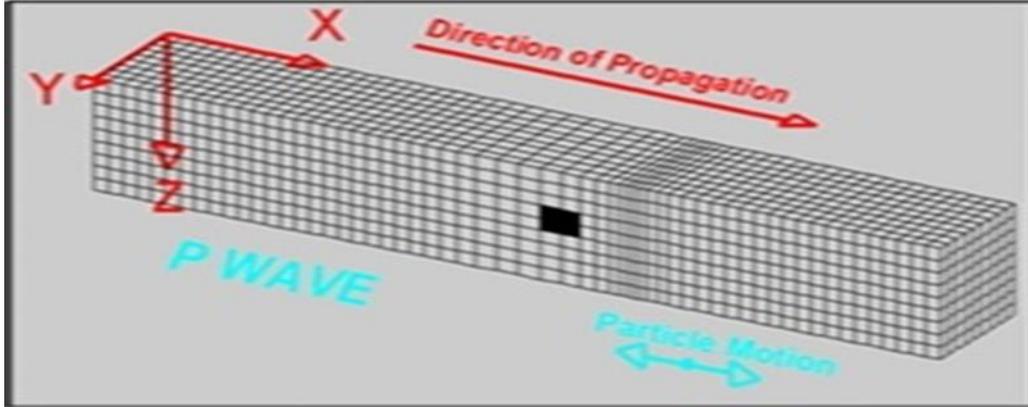
K :- المعامل الحجمي Bulk modulus. نت<sup>2</sup>م

$\mu$  :- معامل القص Shear modulus. نت<sup>2</sup>م

E :- معامل يونك Young's modulus (داين / سم<sup>2</sup>)

$\sigma$  :- نسبة بوزان Poisson's Ratio .

$\lambda$  : ثابت لامى Lamé constant نتام<sup>2</sup>



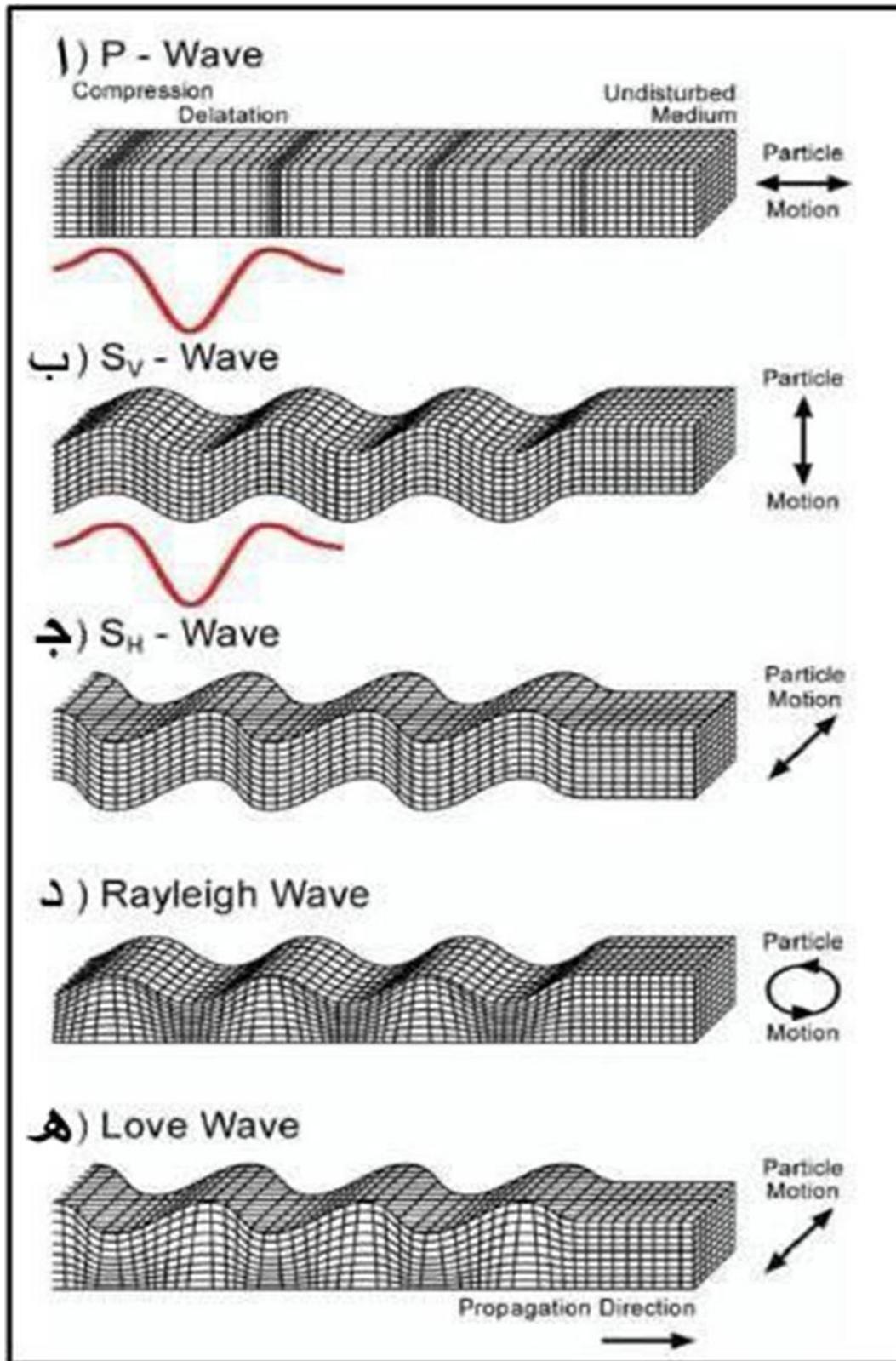
شكل 2-5 حركة الجزيئات للموجة الطولية عن (Moony,1973)

كما قام (Kearey et al., 2002) بحساب سرع الموجات الإنضغاطية في مواد مختلفة وكما مبين في الجدول (1-2) .

ب. الموجات المستعرضة (Transverse waves)

وتسمى أيضا الموجات القصية Shear waves أو الموجات الثانوية Secondary waves او S- waves ، إذ تتحرك فيها دقائق الوسط بشكل عمودي على اتجاه حركة الموجة وتتكون من مركبتين هما المركبة الأفقية Horizontal shear component-S<sub>h</sub> والتي تكون موازية لمستوى سطح الأرض , والمركبة الشاقولية Vertical shear component-S<sub>v</sub> (Jolly, 1956) ، إن هذا النوع من الموجات ينتقل في الأوساط الصلبة فقط ولا ينتقل في السوائل وتسجل ثانياً في التسجيلات الزلزالية وتكون سرعة الموجة المستعرضة V<sub>s</sub> في الموائع (صفر) لأن قيمة (μ) تساوي صفراً الشكل (2-6) ، ويمكن إن يعبر عنها رياضياً بالعلاقة الآتية :-

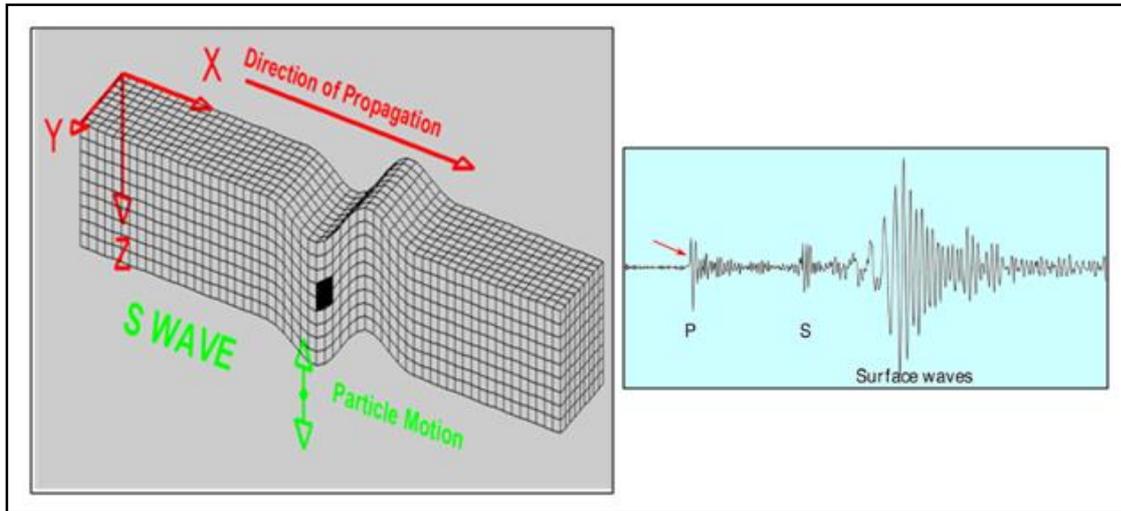
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1-\sigma)}} \dots\dots\dots(8-2)$$



الشكل 2-6 انتشار الموجات الزلزالية (Jolly, 1956)

جدول ( 1-2 ) حساب سرعة الموجة (P) في بعض المواد ( keary ,2002 )

سرعة الموجه ( كم   ثا )	المادة
1.0-0.2	Sand dry& Alluvium
1.0-00.25	Weathered layer
2.0-1.5	Sand (saturated)
2.5-1.0	Clay
2.5-1.5	Glacial till (water-saturated)
5.0-2.4	Slate & shale
6.0-2.0	Sandstone
2.5-2.0	Tertiary sandstone
6.0-2.0	Limestone
2.5-2.0	Cretaceous chalk
5.5-5.0	Carboniferous limestone
6.5-2.5	Dolomite
5.0-4.5	Salt
6.5-4.5	Anhydrite
3.5-2.0	Gypsum
1.5-1.4	Water



شكل 7-2 الحركة للجزيئات في الموجة المستعرضة (Dobrin,1976) (Mooney,1973)

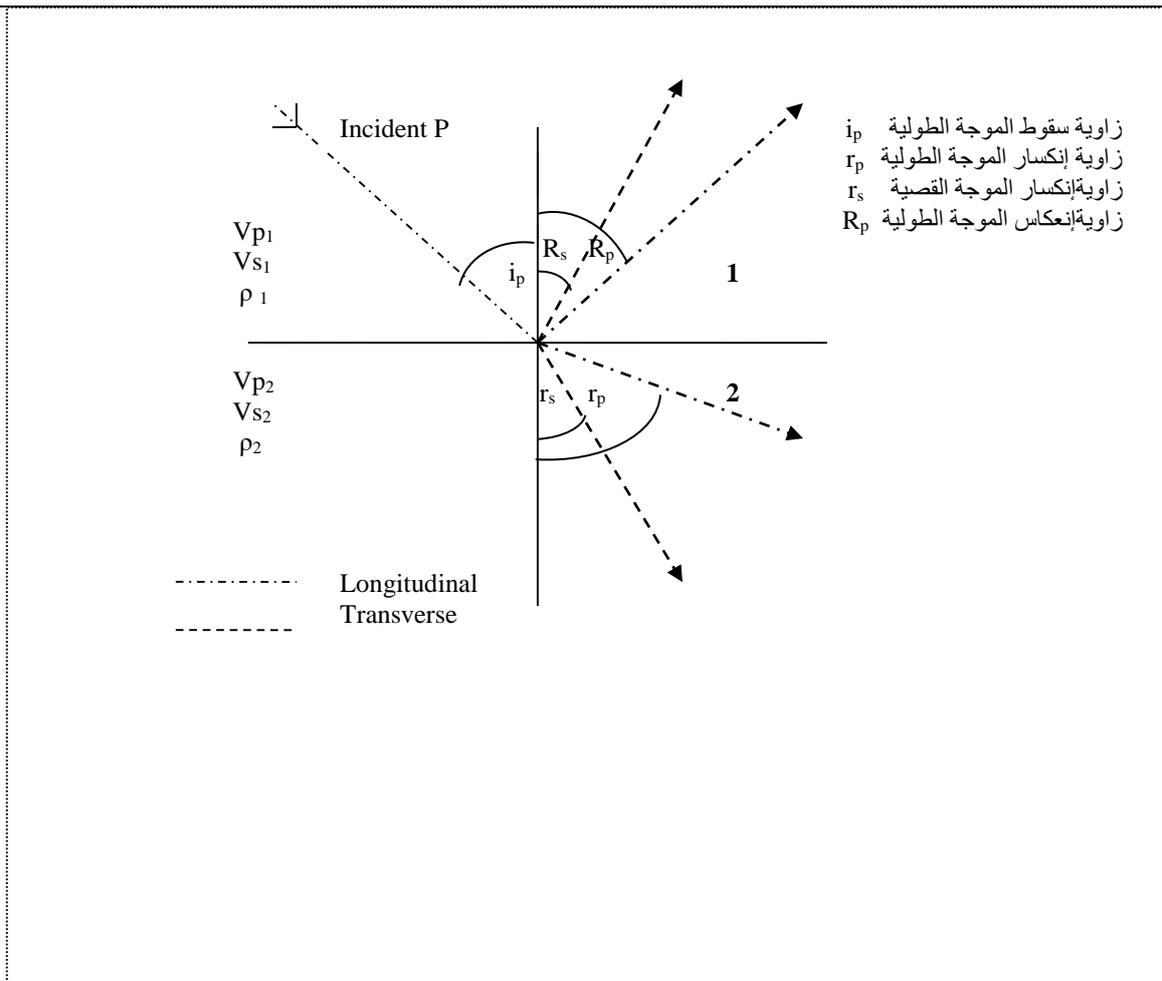
#### 2-4-1-2 الموجات السطحية surface waves

وهي الموجات الزلزالية التي تنتقل قريبا من السطح إذ يمكن إن تتميز بسرعتها وتردداتها الواطنين اما سعة الموجة فتكون كبيرة على السطح وتضمحل كلما اتجهنا نحو الاعماق (Telford et al,1990) وتعد هذه الموجات في الغالب مصدراً لما يسمى بالضوضاء المتجانسة coherent noise التي يطلق عليها

Ground Roll في عمليات المسح الزلزالي وقد تم استخدامها وبشكل متزايد في الدراسات والابحاث الهندسية في السنوات الاخيرة (Socco & Strobbia 2004) واعتمادا على حركة الدقائق فيها

### 5-1-2 إنتشار الموجات الزلزالية (propagation of seismic waves)

عند إنتقال الموجات الزلزالية ( خاصة الموجات الجسمية ) خلال الارض ابتداءً من تولدها من مصدر الطاقة وحتى اضمحلالها فإنها تتعرض للإنعكاس والإنكسار والتشتت عند الحدود الفاصلة بين وسطين مختلفين بالخواص الفيزيائية . إن عمليات إنعكاس وإنكسار الموجات الزلزالية تكون أكثر تعقيداً من الموجات الضوئية لكون إن سقوط موجة زلزالية ( $P_{wave}$ ) أو ( $S_{wave}$ ) على الحد الفاصل يؤدي الى تكوين موجتين منعكستين ( $P, S$ ) ، وموجتين منكسرتين ( $P, S$ ) أيضاً ، والشكل ( 8-2 ) يبين إنعكاس وإنكسار الموجات الزلزالية . إن هذه الموجات الزلزالية تخضع لمبادئ علم البصريات الهندسي (Geometrical Optics) مثل: مبدأ هايجن (Huygen's Principle)، ومبدأ فيرمات ( Fermat Principle)، وقانون سنيل (Snell's Law) ، (Sharma,1986) .



شكل ( 8-2 ) إنعكاس وإنكسار الموجات الزلزالية (Sharma, 1986)

## 6-1-2 العوامل المؤثرة في إنتقال الموجات الزلزالية (Factors affecting seismic wave propagation)

يتأثر إنتقال الموجات الزلزالية التي تخترق الطبقات الصخرية بمجموعة من العوامل الجيولوجية للوسط الذي تخترقه بالأخص الخواص المرنة للمعادن المكونة للمادة الصخرية نفسها ، لذلك يجب التطرق إلى العوامل التي تؤثر في إنتقال الموجات الزلزالية ومدى تأثيرها في السرعة الزلزالية لغرض الحصول على تفسير جيولوجي واضح ودقيق، من أهم هذه العوامل : (Dobrin,1976)

- **الكثافة (Density) :** إن سرعة الموجات الطولية والمستعرضة تزداد بزيادة معاملات المرونة الفعالة وتقل مع زيادة الكثافة ، أي إن العلاقة بين السرعة والكثافة عكسية ولكن هذا غير صحيح في الواقع ، فإن السرعة تزداد بزيادة الكثافة ، إذ تم تفسير هذه الحالة كما يلي :

إن أي زيادة في الكثافة سوف تؤدي الى زيادة في سرعة الموجات الزلزالية (Nafe and Drake,1957) ، وهذا يعني إن أية زيادة في الكثافة بنسبة معينة ستؤدي الى حصول زيادة في معاملات المرونة أضعاف هذه النسبة ، ومن ثم تؤدي بدورها الى زيادة السرعة بإذ تطغي العلاقة الطردية بين السرعة ومعامل المرونة الفعال على العلاقة العكسية ولهذا السبب لا تظهر العلاقة العكسية بين السرعة والكثافة . كما إن حدوث أية نسبة خطأ في قياس كثافة الوسط المرن الذي تنتقل خلاله الموجة الزلزالية سيؤدي الى حصول عدة أضعاف هذه النسبة من الخطأ في قيم معاملات المرونة .

إن قياسات الكثافة هي عبارة عن قياسات مختبرية معرضة لعوامل كثيرة منها عدم الدقة . كما إن قيمة الكثافة المقاسة لنموذج لبابي معين لطبقة تحت سطحية إذا ما عممت على مساحة معينة فإنها ستعطي نسبة من الخطأ تزداد كلما أقتربنا من سطح الارض (Bowles,1984) لا سيما للطبقات التي تتميز بالتغاير الجانبي ، لذلك ففي حالة عدم دقة قياس الكثافة في المختبر فمن الضروري التعامل مع الخصائص الهندسية التي ترتبط بعلاقات مع سرعة الموجات الزلزالية الطولية والمستعرضة لأعطاء دقة عالية خاصة في المشاريع الهندسية .

- **العمق (Depth) :** وهو من العوامل المهمة المؤثرة في إنتقال الموجات الزلزالية خلال الطبقات الصخرية . إن زيادة العمق ستؤدي إلى زيادة الأحكام (Compaction) التي تؤدي بدورها إلى تقليل المسامية وزيادة الكثافة ومن ثم زيادة السرعة . كما إن نسبة زيادة السرعة في الأعماق الضحلة تكون أكبر منها في الأعماق المتوسطة والسحيقة (Hughes and Jones, 1950) .

$$\dots\dots\dots (9-2)V_h = V_o + Kh$$

$$V_h = V_o + Kh^2 \dots\dots\dots (10 - 2)$$

$$V_h = (V_o + Kh)^n \dots\dots\dots (11 - 2)$$

$V_0$  : سرعة الموجات الزلزالية على السطح (متر/ثانية) .

$V_h$  : السرعة عند العمق (h) (متر)

$$1/17 = 0.0625 = n$$

Kh : ثابت التربة عند العمق h

- **المسامية (Porosity)** : العلاقة بين سرعة الموجات الزلزالية والمسامية هي علاقة عكسية ، إذ تزداد السرعة مع نقصان المسامية ، بينما تقل المسامية مع العمق بسبب زيادة الكثافة (Griffiths and King, 1965) .
- **الصخرية (Lithology)** : تعد الصخرية من العوامل المهمة التي تؤثر في سرعة الموجات الزلزالية ، إذ تكون سرعة الموجات الزلزالية في الصخور النارية والمتحولة بشكل عام أكبر من مثيلاتها في الصخور الرسوبية ، أما السرعة في الصخور الرسوبية فإنها تعتمد على المسامية والمحتوى المائي الموجود في الفراغات الموجودة بين حبيبات الصخرة وتكون سرعة الموجات في صخور الدولومايت والحجر الجيري أكبر من سرعتها في الصخور الرملية على سبيل المثال لا الحصر (Dobrin,1976)
- **محتوى السوائل (Fluids Content)** : تتأثر سرعة الموجات الزلزالية بكمية ونوعية السوائل المتواجدة في الصخور ، إذ تبلغ السرعة في الماء بحدود 1500-1450 متر/ ثا ، في حين تكون السرعة أقل بكثير في الصخور الحاوية على الغازات (Dobrin,1976) (Dobrin and Savit, 1988) .
- **الشقوق والكسور (Joints and Cracks)** : إن الشقوق والكسور تزيد من المسامية الثانوية في الصخور ، ومع زيادة المسامية سوف تقل سرعة الموجات الزلزالية (Griffiths and King, 1965)
- **النسيج (Texture)** : ترتبط سرعة إنتقال الموجات الزلزالية بالصخور بمركباتها المعدنية المختلفة ، كما تتأثر السرعة بحجم الحبيبات المكونة للصخور ؛ إذ تكون السرعة أكبر عندما يكون حجم الحبيبات ناعمة (Fine-grained) وتقل السرعة بالصخور التي تمتلك حجم الحبيبات خشنة (Coarse-grained) (أمين، 2006) .
- **عدم التماثل (Anisotropy)** : تختلف سرعة الموجات الزلزالية في الصخور الموجودة بشكل طبقات إذا كان اتجاه سيرها موازاً أو عمودياً على سطح الطبقات تحت السطح . إن سرعة الموجة المتقدمة بموازاة الطبقات تكون دائماً أكبر من سرعة الموجة التي تكون عمودياً على سطح الطبقة . يعرف معامل عدم التماثل (Coefficient of anisotropy) بأنه النسبة بين سرعة الموجة المنتشرة بموازاة الطبقات إلى سرعة الموجة العمودية ، كما إن قيم معاملات المرونة ستكون أكبر في حالة كون السرعة تسير باتجاه موازٍ لسطح الطبقة (Lama and Vutukuri,1978) .
- **درجة الحرارة (Temperature)** : تقل سرعة إنتقال الموجات الزلزالية مع ارتفاع درجات الحرارة وذلك بسبب حصول نقصان في معاملات المرونة مع العمق (Griffiths and King, 1965) .

- **الضغط (Pressure) :** يمكن إن تتعرض الطبقة الصخرية المتواجدة في عمق معين إلى ضغط هيدروستاتيكي أو ضغط وزن الرسوبيات (Confining Pressure) التي تعلوها ، وبذلك فإن سرعة الموجات الزلزالية في هذه الحالة ستكون أكبر عندما تسير بموازاة هذه الضغوط عما هو عليه في حالة كون السرعة عمودية . بشكل عام ، فإن قيم سرع كل من الموجتين الطولية والمستعرضة سوف تزداد مع زيادة الضغوط (Lama and Vutukuri,1978) .

## 2-1-7 توهين الموجات الزلزالية (Attenuation of seismic waves):

كلما زاد إنتقال الإشارة الزلزالية من مصدرها ، أصبحت أضعف. يشار إلى إن إنخفاض السعة مع زيادة المسافة من المصدر يسمى باسم التوهين. يرجع ذلك جزئياً إلى هندسة إنتشار الموجات الزلزالية ، وجزئياً بسبب الخصائص غير المرنة للمادة التي تنتقل من خلالها (Telford et al., 1990; Lowrie, 2007; Reynolds, 2011).

يرجع السبب الأكثر أهمية إلى التوهين الهندسي، إذ إن موجات الجسم الزلزالية (body waves) الناتجة عن مصدر زلزالي عند نقطة (P) على سطح ذات نصف مساحة موحدة إنظر الشكل (2-9) إذا لم يكن هناك فقدان للطاقة بسبب الاحتكاك ، فإن الطاقة (Eb) في مقدمة الموجة على مسافة (r) من مصدرها يتم توزيعها على سطح نصف الكرة الأرضية بمساحة (πr<sup>2</sup>).

شدة أو كثافة الطاقة (Ib) لموجات الجسم هي الطاقة لكل وحدة مساحة في واجهة الموجة ، وعلى مسافة

$$Ib(r) = \frac{Eb}{2\pi r^2} \dots\dots\dots (12-2) \text{ (Lowrie, 2007 هي } r)$$

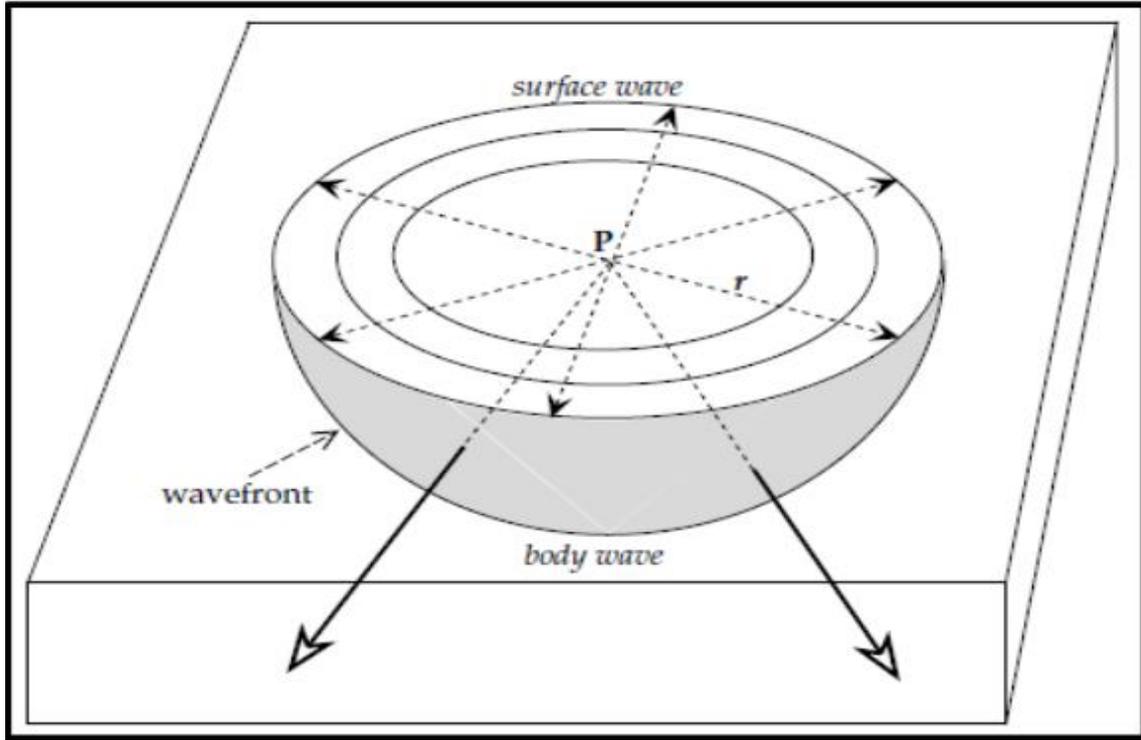
تتقلص الموجة السطحية لتنتشر بشكل جانبي. لا يؤثر الاضطراب في السطح الحر فحسب ، بل يمتد لأسفل إلى الوسط حتى عمق (d) ، والذي يمكننا عده ثابتاً لموجة معينة. عندما تصل واجهة الموجة السطحية إلى مسافة r من المصدر ، يتم توزيع الطاقة الأولية (Es) على سطح أسطواني دائري بمساحة (πrd<sup>2</sup>). على مسافة (r) من مصدرها ، تُعطى شدة الموجة السطحية من خلال

$$Is(r) = \frac{Es}{2\pi rd} \dots\dots\dots 13-2 \text{ (Lowrie, 2007)}$$

توضح هذه المعادلات إن الإنخفاض في شدة موجات الجسم يتناسب مع (r<sup>2</sup> \ 1) ، في حين إن الإنخفاض في شدة الموجة السطحية يتناسب مع (r \ 1).

سبب آخر للتوهين هو امتصاص الطاقة بسبب خصائص المرونة غير الكاملة. إذا لم تتفاعل جسيمات الوسط بشكل مرناً تماماً مع الجسيمات المجاورة لها ، فسيتم فقد جزء من الطاقة في الموجة ( على سبيل المثال ، كحرارة احتكاكية) بدلاً من نقلها عبر الوسط.

يشار إلى هذا النوع من التوهين للموجة الزلزالية يسمى باسم التخميد غير المرن (Telford et al., 1990; Kearey et al., 2002).



الشكل 2-9 إنتشار الطاقة الزلزالية من مصدر النقط (P) بالقرب من السطح ضمن وسط متجانس ؛ ينتقل الاضطراب كموجة جسم (body waves) عبر الوسط وكموجة سطحية على طول السطح الحر (Lowrie، 2007).

### 2-1-8-سرعات الموجات الزلزالية للصخور (velocities of seismic waves)

نظرًا لمكوناتها المختلفة ، ونسيجها ، ومساماتها وسوائل المسام المحتواة ، تختلف الصخور في معاملاتها المرنة وكثافتها ، وبالتالي في سرعاتها الزلزالية (Telford et al., 1990; Kearey et al., 2002; Reynolds, 2011).

تعد المعلومات المتعلقة بسرعات موجات الإنضغاط والقص ، ( $V_p$ ) و ( $V_s$ ) ، لطبقات الصخور التي تصادفها المسوحات الزلزالية مهمة لسببين رئيسيين: (أ) من الضروري تحويل زمن إنتقال الموجات الزلزالية إلى أعماق ؛ (ب) يقدم مؤشرًا عن صخارية الطبقات أو ، في بعض الحالات ، طبيعة سوائل المسام الموجودة بداخله.

تزداد السرعة في الحجر الرملي وصخور السجيل بشكل منتظم مع عمق الدفن ومع تقدم العمر ، بسبب التأثيرات المشتركة للضغط التدريجي والتدعيم (السمننة). (Telford et al., 1990; Kearey et al., 2002; Lowrie، 2007).

## 9-1-2 حساب السُمك والسرعة للطبقات تحت السطحية of the layers sup surface

يتم استخدام طرق متعددة في التفسير لمنحنيات الزمن – مسافة للتسجيل الزلزالي الإنكساري , وإن هذه الطرق تختلف عن بعضها البعض في طريقة الحساب والفرض الجيولوجي للسرع والاعماق للطبقات المختلفة (Kilty; et al,1986), وتستخدم ازمنا الوصول الاولية في حساب السرعة و السمك للطبقات تحت السطحية .

### 1-9-1-2 في حال وجود طبقتين افقيتين :- Case of two horizontal layers

يمكن حساب السرعة والاعماق بالأعتماد على طريقتين من العلاقة ما بين المسافة – زمن لوسطين ذوي سرعتين  $(V_2, V_1)$  ويفصل بينهما بصورة أفقية سطحاً بينياً او عدم توافق (Interface) عند عمق  $(Z)$  (Al-Sinawi, 1981; Dobrin,1976) كما في الشكل (10-2)

$$T_i = 2 Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1} \dots \dots \dots (14 - 2)$$

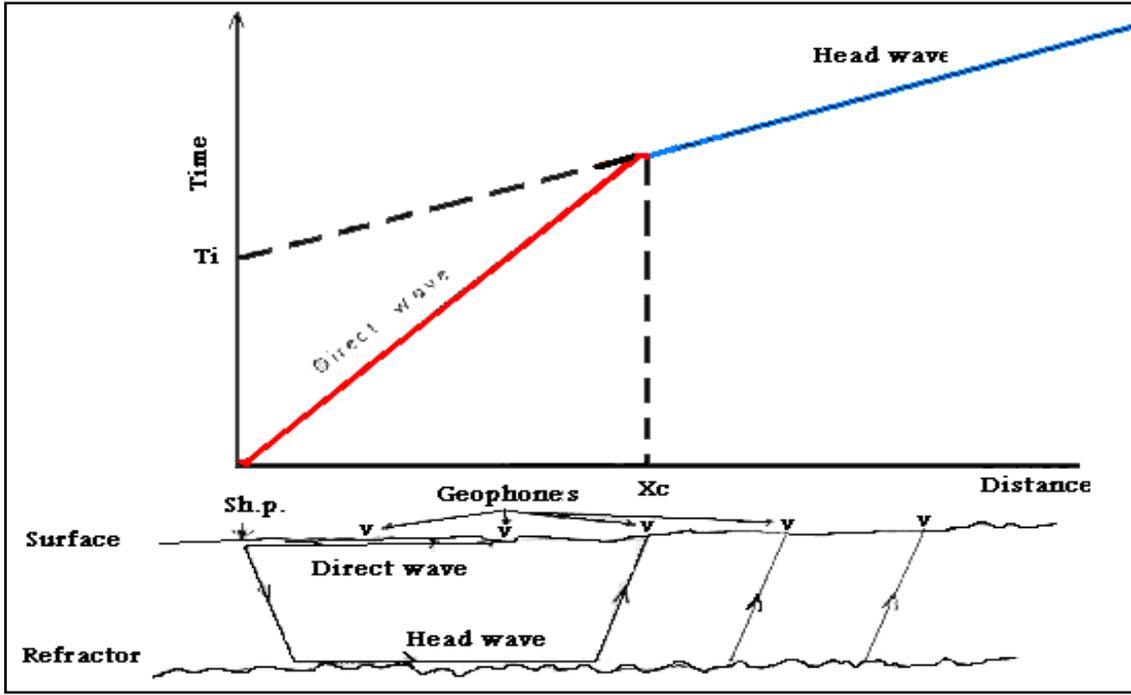
$$T_i = T - \frac{X}{V_2} \quad \text{or} \quad T_i = \frac{X_c}{V_1}$$

$T_i$  : زمن القطع (Intercept time) يمثل زمن الإنكسار الموجة بين الطبقتين الأولى والثانية

$X_c$  : يمثل المسافة الحرجة (Critical distance) , وعليه يمكننا حساب العمق  $(Z)$  للسطح البيني عن طريق معادلة المسافة الحرجة او الزمن المقطوع أو وكالاتي :-

$$Z = \frac{T_i}{2} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \dots \dots \dots (15 - 2)$$

$$Z = \frac{X_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \dots \dots \dots (16 - 2)$$



الشكل (10-2) يوضح طريقة المسافة الحرجة والزمن المقطوع في حال وجود طبقتين أفقيتين (Grant and West, 1965)

**2-9-1-2 في حالة وجود ثلاث طبقات أفقية :-**

إن المسارات للموجة في حالة وجود ثلاث طبقات أفقية تملك السرعات  $(V_3, V_2, V_1)$  بإذ يكون  $(V_3 > V_2 > V_1)$ ، ستكون هذه الحالة متشابهة تقريبا مع حالة الطبقتين مع بعض التعقيد نوعا ما . إذ إن المسار للموجة المنتقلة يكون مطابقاً لأقل زمن إنتقال الذي يكون زاوية حرجة  $(i_c)$  مع الشاقول أعلى الطبقة , وكما مبين في الشكل (11-2).

$$T_{i2} = T - \frac{X}{V_3} + \frac{2Z_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} + \frac{2Z_2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}{V_3 V_2} \dots \dots \dots (17 - 2)$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} \left( T_{i2} - 2 Z_1 \frac{\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} \right) \frac{V_3 V_2}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \dots \dots \dots (18 - 2)$$

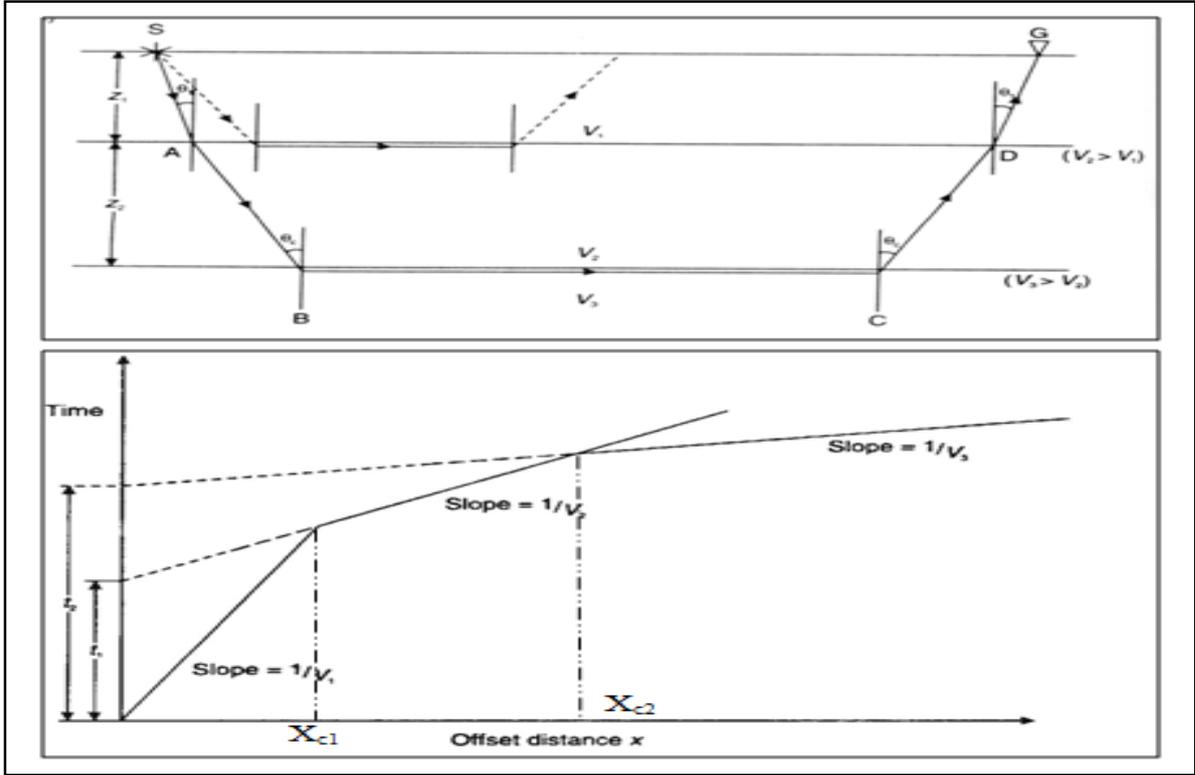
كما يمكن حساب  $Z_2$  الاعتماداً على المسافة الحرجة من خلال العلاقة التالية (SjØgren, 1984)

$$Z_2 = \frac{X_{c2}}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} - Z Q \dots \dots \dots (19 - 2)$$

Q يمثل ثابتاً تصحيحياً (Correction Factor) ويساوي:

$$Q = \frac{\sqrt{(V_1/V_3)^2 - \sqrt{(V_1/V_2)^2}}}{\sqrt{(V_1/V_2)^2 - \sqrt{(V_1/V_3)^2}} \dots \dots \dots (20 - 2)$$

إن العمق للطبقة الثالثة (Z) سيمثل مجموع العمقين Z<sub>1</sub>، Z<sub>2</sub> (يحسب Z<sub>1</sub> من المعادلة 2-19 في حالة تواجد طبقتين).

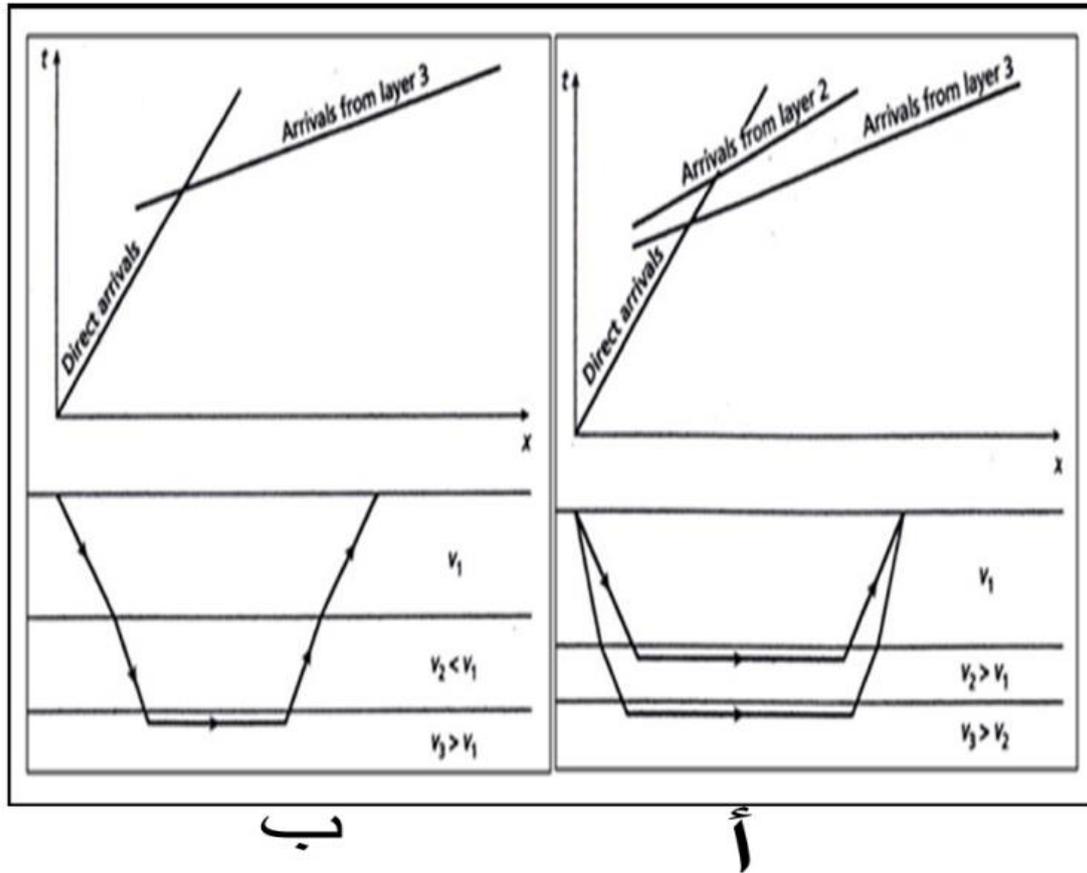


شكل (11-2) منحنى المسافة - زمن في حال ثلاث طبقات أفقية: (Sjogren, 1984)

### 10-1-2 الغموض في الطريقة الإنكسارية Ambiguity of refraction method

بالرغم من دقة نتائج التفسير للطريقة الزلزالية الإنكسارية بتحديد السماكات والاعماق والسرعة للطبقات تحت السطحية و لكن يصاحبها في بعض الأحيان غموضاً والذي يؤثر على دقة حساب العمق لهذه الطبقات وذلك بسبب وجود الطبقة المخفية Hidden layer والنطاق الأعمى Blind zone، تم نقاش حالة الطبقة المخفية وتمت معالجتها من قبل عدد من الباحثين منهم على سبيل المثال (Soske, 1959; Morgan, 1967) وغيرهم الذين بينوا إن سبب عدم ظهورها في منحنى المسافة - زمن يرجع لنحافة هذه الطبقات كذلك ووجود فارق كبير ما بين سرعتها وسرعة الطبقة الواقعة تحتها ، إذ تحصل هذه الظاهرة في حالتين ،الحالة الأولى عندما تكون السرعة للطبقة المخفية أكبر من السرعة للطبقة التي تعلوها ( V<sub>3</sub>>V<sub>2</sub> >V<sub>1</sub>) و الثانية عندما تكون سرعة الطبقة المخفية أقل من السرعة للطبقة التي تعلوها (Banerjee and Gupta,1975) (V<sub>3</sub>>V<sub>1</sub>>V<sub>2</sub>) .

وتعد نحافة هذه الطبقة هي العامل الأساس لهذه المشكلة لذا يفضل إن تسمى بمشكلة الطبقة المخفية ، إذ إن الطبقة التي سرعتها ( $V_1$ ) تظهر على منحنى المسافة - زمن واضحة وايضاً الطبقة الثالثة التي تكون سرعتها ( $V_3$ ) في حين إن الطبقة النحيفة بشكل نسبي و ذات السرعة ( $V_2$ ) لا تظهر كموجات وصول أولي وبهذا تصبح عملية تشخيصها صعبة جدا ; (Mooney,1973 ; Sharma,1986) (Griffiths and King,1981) و كما توجد ايضا ظاهرة النطاق الأعمى (Blind zone) والناجمة بسبب النطاق المتجوي ذا السرعة الواطئة ففي مثل هذه الحالة فإن الأشعة لا تتمكن من الإنكسار وبزاوية حرجة على الحد الفاصل ما بين الطبقات وبذلك فإن السطح الكاسر لا يظهر على منحنى المسافة - زمن كازمنة وصول أولية (Kearey,2002) ، مما يؤدي الى حدوث خطأ في حساب العمق للطبقة الثالثة, تحدث مشكلة النطاق الأعمى عند الأعماق الضحلة وفي مناطق الفواصل فضلاً عن وجود التغيرات الصخاري



الشكل (13-2) ( أ، النطاق الأعمى ذو السرعة الواطئة) (ب، الطبقة المخفية ذات الطبقة النحيفة)(Palmer,1991)

## 2-1-11 قياس معاملات المرونة (Elastic Moduli) :

إن خواص المرونة للمادة توصف بثوابت المرونة ، وإن هذه الثوابت تكون مثالية للأجسام المرنة بصورة تامة وللتشويه الذي يكون ضمن حدود المرونة (Nettleton,1940) . إن قياس ثوابت المرونة مهم جداً لكونه يعطي معلومات واضحة ودقيقة عن حالة الطبقات تحت السطحية ، وهذه الثوابت ترتبط بعلاقات رياضية مع سرع الموجات الزلزالية والكثافة .

إن معاملات المرونة المقاسة هنا هي معاملات حركية (Dynamic) وليست ساكنة (Static) إذ إن الفحوصات الحركية تتضمن توليد نبضة (Pulse) تسير بشكل موجة زلزالية خلال النموذج الصخري، ويتم عن طريقها قياس زمن عبور الموجة، ومنها تحسب السرع الزلزالية ومعاملات المرونة المختلفة بدون تسليط اي اجهادات او احمال على النموذج ، بينما الفحوصات الساكنة فتتضمن تسليط قوى أو إجهادات على النموذج الصخري؛ لغرض قياس المطاوعة الناتجة من ذلك مثل فحص المقاومة الإنضغاطية أحادية المحور (Uniaxial compressive strength test) إذ يتعرض النموذج خلال هذا الفحص الى حمل رأسي ويوضع النموذج المهيأ في جهاز الإنضغاط الرأسي لغرض قياس المطاوعة الناتجة عن تسليط الأجهاد وحساب معامل المرونة الساكنة ( $E_s$ ) والجدول (2-2) يوضح العلاقات الرياضية المستخدمة في حساب معاملات المرونة .

جدول (2-2) العلاقات الرياضية المستخدمة في حساب معاملات المرونة

معامل المرونة	المعادلة المستخدمة	المصدر
poisson's ratio ( $\delta$ )	$\delta = 1/2 \left[ 1 - \frac{1}{(Vp/Vs)^2} \right]$	(Adams,1951), (salem, 1990)
Yo ung's Modulus	$E = P \left[ \frac{3VP^2 - 4Vs^2}{(Vp/Vs)^2} \right]$	(Adams ,1951)
Lame's Constants ( $\lambda$ )	$\lambda = \frac{\delta E}{(1 + \delta)(1 - 2\delta)}$	(King,1966;Toksoz et al.1976)
Shear Modulus ( $\mu$ )	$M = \frac{E}{2(1 + \delta)}$	(King ,1966),( Toksoz et al. ,1976)
Bulk modulus (K)	$K = \frac{E}{3(1 - 2\delta)}$	(K. Knödel,et al ,2007)

وأهم هذه المعاملات الديناميكية هي :-

نسبة بوسان ( $\sigma$ ) (Poisson's Ratio) :-

هو قياس التغير الهندسي (Geometric) في الشكل للجسم المرن ، وتمثل النسبة بين الإنفعال العرضي الى الإنفعال الطولي عندما يعرض الجسم الى جهد تضاعطي أو شدي .

$$\sigma = \frac{\Delta W / W}{\Delta L / L} \dots\dots\dots (21-2)$$

(Sharma,1986) ، وإن نسبة بوسان هي كمية خالية من الوحدات . وتتراوح قيمة نسبة بوسان ما بين (0.25) في الصخور و (0.5) في السوائل (Nettleton, 1940). والجدول (3-2) يبين قيم نسبة بوسان لعدد من المواد.

جدول ( 3-2 ) نوع التربة اعتماداً على نسبة بوزان ومُعامل المادة (Sheriff & Gelbert,1986)

معامل التربة	صلابة واطئة المقدار	صلابة الى حد ما معتدلة المقدار	صلابة عالية المقدار	صلابة عالية جدا
( $\delta$ )نسبة بوزان	0.41-0.49	0.35-0.27	0.25-0.16	0.12-0.03
(V) مُعامل المادة	(-0.5)-(-1)	(-0.5)-(0.0)	0.0-0.5	>0.5

معامل يونك ( $E_d$ ) (Young's Modulus) :-

وهو النسبة بين الاجهاد (Stress) والمطاوعة (Strain) ويسمى أيضاً بمعامل المرونة (Elasticity Modulus) . يقاس معامل يونك بوحدات نيوتن\متر مربع=باسكال (Pascal=N/m<sup>2</sup>) . (Sharma,1986) .

$$E = \frac{S}{\epsilon} \dots\dots\dots (22-2)$$

$$E = \frac{F/A}{\Delta L/L} \dots\dots\dots (23-2)$$

ولغرض إعطاء تصور واضح عن قيم معامل يونك ونسبة بوسان فقد تم وضع جدول يوضح هذه القيم ، جدول (4-2) .

جدول(4-2) قيم معامل يونك ونسبة بوسان لأنواع مختلفة من المواد(Hunt, 1986)

<i>TYPICAL RANGES FOR ELASTIC CONSTANTS OF VARIOUS MATERIALS</i>		
المديات النموذجية لثوابت المرونة للمواد المختلفة		
Material	Young's modulus $E_s$ $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	Poisson's ratio
<b>SOILS</b>		
Clay:		
Soft sensitive	20-40	0.4-0.5 {undrained}
Firm to stiff	40-80	
Very stiff	80-200	
Loose	150-600	0.1-0.3
Silt	20-200	0.3-0.35
Fine sand:		
Loose	80-120	0.25
Medium dense	120-200	
Dense	200-300	
Sand:		
Loose	100-300	0.2-0.35
Medium dense	300-500	0.3-0.4
Dense	500-800	
Gravel:		
Loose	300-800	0.25-0.33
Medium de	800-1000	
Dense	1000-2000	
<b>ROCKS</b>		
Sound, intact igneous		0.25-0.33
And metamorphics	$6-10 \times 10^5$	0.25-0.33
Sound , intact sandstone		0.25- 0.30
And limestone	$4-8 \times 10^5$	
Sound , intact shale	$1-4 \times 10^5$	
Coal	$1-2 \times 10^5$	

### معامل القص (الصلابة) ( $\mu$ ) (Rigidity or Shear Modulus) :-

هو التشويه الحاصل في شكل الجسم دون الحجم ، ويمثل نسبة الاجهاد القصي (Shear Stress) الى

المطاوعة القصية (Shear Strain) .

### المعامل الحجمي (K) (Bulk Modulus) :-

وهو التغير في الحجم دون تغير الشكل ، وهو النسبة بين الاجهاد الإنضغاطي ( Compression

Stress) الى التغير في الحجم ، (Dobrin,1976) ، وحدات قياس K هي (نيوتن \متر مربع =باسكال).

$$K = \frac{\text{VolumeStress}}{\text{VolumeStrain}} = \frac{P}{\Delta V/V} \quad \dots\dots\dots (24-2)$$

$$K = \frac{F/A}{\Delta V/V} \quad \dots\dots\dots (25-2)$$

(Nettleton,1940) ، يسمى مقلوب المعامل الحجمي بالإنضغاطية (Compressibility) (Sjogren,1984) وحدات الإنضغاطية هي عكس وحدات المعامل الحجمي ، (مترمربع/نيوتن)

$$\beta = \frac{1}{K} \quad \dots\dots\dots (26-2)$$

إن قيمة معامل القص للسوائل والغازات تساوي صفراً ، وهذه الحقيقة لها أهمية كبرى إذ إن السرعة الزلزالية تتأثر جداً بقيمة (μ) (Sharma,1986) . يقاس معامل القص بوحدات (نيوتن /مترمربع =باسكال) .

$$\mu = \frac{F/A}{\phi} \quad \dots\dots\dots (27-2)$$

إذ إن φ هي زاوية التشويه (Deformation angle) وهي تمثل المطواعة القصية .

**الثابت اللامي ( λ ) ( Lames Constant ) :-**

هو مقياس لقوة الوسط المتجانس (Isotropic Medium) ويعبر عنها بدلالة كل من σ ، E(Sjogren,1984).

$$\lambda = \frac{\sigma E}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} \quad \dots\dots\dots (28-2)$$

اما الثابت اللامي الاخر فهو (η) والذي يكون مماثلاً (Identical) لمعامل الصلابة ( Rigidity Modulus) وأيضاً هو مقياس لقوة الوسط المتجانس . علماً إن وحدات هذين الثابتين هي (نيوتن /مترمربع =باسكال) .

$$\mu = \eta = \frac{E}{2(1 + \sigma)} \quad \dots\dots\dots (29-2)$$

(Nettleton, 1940). لمعظم الصخور فإن المعاملات E, K,  $\mu$  تقع ما بين  $(2 \times 10^{10})$  الى  $(12 \times 10^{10})$  نيوتن  $m^{-2}$ ، وقيمة (E) هي الاعلى و( $\mu$ ) هي الاقل (Telford et al., 1976).

إن معاملات المرونة ترتبط مع بعضها بعلاقات منها (Obert & Duvall, 1967)

$$E = \frac{9K\mu}{3K + \mu} = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + \mu)} \quad \dots\dots\dots (30-2)$$

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} = \frac{3K - 2\mu}{(6K + 2\mu)} \quad \dots\dots\dots (31-2)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\sigma)} \quad \dots\dots\dots (32-2)$$

كما إن هنالك علاقة مباشرة بين سرعة الموجات الزلزالية ومعاملات المرونة وإن معرفة أي اثنين من هذه المعاملات يقودنا الى معرفة بقية المعاملات الاخرى وهذه العلاقة هي:-

(Domenico, 1984)

$$\lambda = \rho [(V_p)^2 - 2(V_s)^2] = \rho (V_p)^2 - 2\mu \quad \dots\dots\dots (33-2)$$

$$\sigma = \frac{0.5 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \quad \dots\dots\dots (34-2)$$

$$K = \rho \left[ (V_p)^2 - \frac{4}{3}(V_s)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (35-2)$$

$$\mu = (V_s)^2 \rho \quad \dots\dots\dots (36-2)$$

$$E = 2(V_s)^2 \rho (1 + \sigma) \quad \dots\dots\dots (37-2)$$

## 2-1-12 قياس معاملات الجيوتكنيكية

تعد عمليات التقييم الموقعي الجيوتكنيكي من العمليات التي لها اهمية بالغة في الاعمال الهندسية مثل بناء المنشآت وإنشاء السدود والطرق السريعة والجسور وغيرها ويتم الاعتماد على الخواص الجيوتكنيكية للتربة وكذلك طبقات تحت السطح (النعيمي واخرون,2016).

جدول ( 5-2 ) العلاقات الرياضية المستخدمة في ايجاد المعاملات الجيوتكنيكية .

المعامل الديناميكي	العلاقة المستخدمة	المصدر
Stress Ratio (S <sub>i</sub> )	$S_i = 1 - 2 \left( V_s / V_p \right)^2$	( Abd El-Rahman, 1991)
Index Material(v)	$V = \frac{3 - (v_p / v_s)^2}{(v_p / v_s)^2 - 1}$	(Abd El-Rahman, 1991)
Desity Gradient (D <sub>i</sub> )	$D_i = \left[ \left( \frac{3}{v_p^2} \right) - \left( \frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right) \right]$	(Abd El-Rahman, 1991)
Concentration Index (C <sub>i</sub> )	$\left[ 3 - 4 \left( \frac{V_s^2}{V_p^2} \right) \div 1 - 2 \left( \frac{V_s^2}{V_p^2} \right) \right]$	(Abd El-Rahman, 1991)

### • معامل المادة :- Index Material (v)

يعرّف هندسياً بأنه المقدار المستخدم لتحديد نوع المادة وكذلك درجة كفاءتها للأساسات البناء, وكذلك يعرف على إنه درجة صلابة المادة بالاعتماد على المعاملات المرنة لها( Abd Al- Rahman,1989) إذ اشتقت المعادلة بدلالة السرعات للموجات الطولية (Vp) والقصية (Vs) عن (النعيمي,2016).

### • معامل التركيز :- Concentration Index (C<sub>i</sub>)

وهو من المعاملات المهمة الهندسية الدالة على درجة الرص للمادة المستخدمة لقياس الكفاءة للأسس وللعديد من الاعمال الهندسية المدنية. إن هذا العامل يعتمد بصورة أساسية على معامل المرونة للمادة وكذلك توزيع الضغوط في العمق , وقد قام (Abd El\_ Rahmman,1991) بوضع معادلة لإيجاد هذا المعامل من خلال استخدام قيمة سرعة الموجات الطولية (Vp) والقصية (Vs) عن (2016, النعيمي),

• زاوية الاحتكاك الداخلية الفعالة ( Ø ) Interna Friction angles

هو عنصر جيوتكنيكي مهم يمكن قياسه اما في المختبر من خلال دوائر موهو او من خلال الفحص الثلاثي المحاور إذ إن ( Ø ) الزاوية لميل المماس في دوائر موهو إذ إن اقطار هذه الدوائر تمثل الفارق ما بين الاجهاد الافقي والعمودي , تستخدم زاوية الاحتكاك الداخلية بشكل كبير في عملية تقييم الخصائص الهندسية للتربة والصخور. ويمكن إن تحسب الزاوية بدلالة السرعات للموجات والقصية والطولية وكما في العلاقة :- (Sheriff & Gelbert,1986).

$$\sin\phi = 2 \left( \frac{V_s}{V_p} \right)^2 \dots \dots \dots ( 38 - 2 )$$

هنالك العديد من العوامل التي تؤثر على قيمة ( Ø ) منها الشكل الحبيبي والنسيج ، والكثافة، والمحتوى المائي والتركيب المعدني إذ تزداد قيمة الزاوية بازدياد الكثافة والصلابة وتقل بازدياد المحتوى المائي.

• معامل نسبة الضغط او الاجهاد :- Stress Ratio ( Si )

يعد هذا المعامل من المعاملات المهمة الجيوتكنيكية في الجانب الهندسي وهو نسبة الاجهاد الافقي للاجهاد العمودي عند اعماقٍ معينه إذ يمثل مقياساً للضغوط الجانبيه للصخور او التربة في الظروف الطبيعية إذ يكون الضغط الهيدروستاتيكي للسوائل متساوياً في كافة الاتجاهات إن القيمة لهذا المعامل تكون عالية في التربة الناعمة مما هي عليه في التربة الخشنة وكذلك تكون كبيره في التربة غير المتماسكه والمفككة وتصبح قليلة مع ازدياد ضغط الصخور (Bowles , 1982), اي مع ازدياد كثافة التربة بفعل ضغط الطبقات مع العمق .

المديات التي حددت من قبل (Abd El- Rahmman, 1989) إن السلوك الذي ينتهجه هذا المعامل مشابهاً لسلوك نسبة بوزان إذ تزداد قيمته في التربة المفككة,

جدول (6-2) يبين درجة صلابة التربة بالاعتماد على قيم نسبة الاجهاد وقيم التركيز للمادة (Abd El -Rahman,1989)

معامل التربة	متوسط		ضعيف		معامل التركيز (C <sub>i</sub> )	
	جيد	متوسط	ضعيف	جدا		
	صلب	نوعا ما صلب	غير صلب	ناعم جدا		
	متراص	متوسط الصلابة	نوعا ما صلب	ناعم	ناعم جدا	
	6.0-5.5	5.5-5.0	5.0-4.5	4.5-4.0	4.0-3.5	معامل التركيز (C <sub>i</sub> )
	0.25-0.34	0.34-0.43	0.43-0.52	0.52-0.61	0.61-0.7	نسبة الاجهاد (Si)

### 13-1-2 تأثير قياسات الكثافة في ثوابت ومعاملات المرونة :

إن العلاقة بين السرعة الزلزالية ( $V_s$ )، والمرونة ( $\mu$ )، والكثافة ( $\rho$ ) يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية (Hunt, 1986) :-

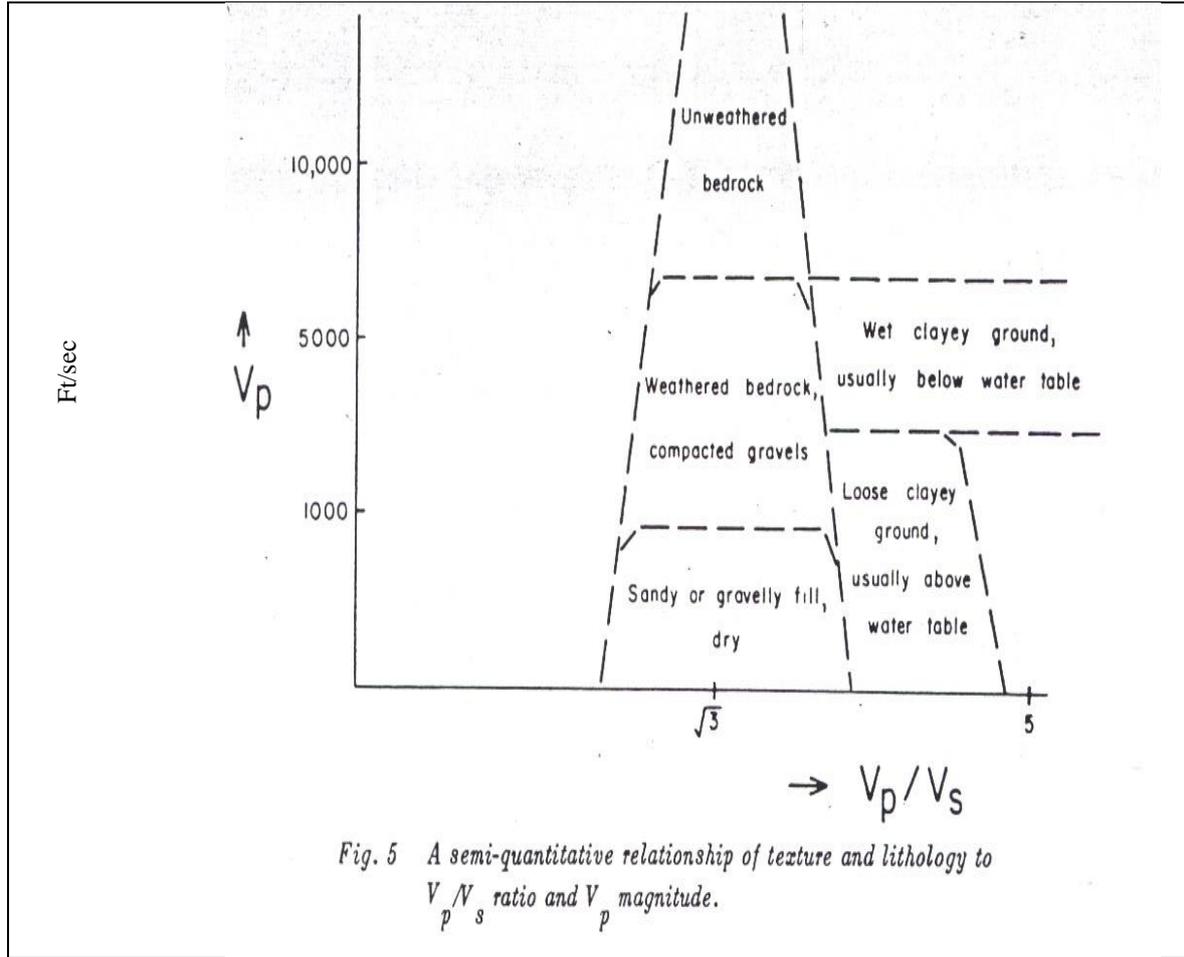
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \dots\dots\dots(39-2)$$

إذ إن كثافة الوسط المرن الذي تتقدم فيه الموجة الزلزالية تؤثر في سرعة هذه الموجة، ومن المعادلة أعلاه يلاحظ إن العلاقة بين الكثافة ( $\rho$ ) والسرعة الزلزالية ( $V_s$ ) هي علاقة عكسية، ولكن في الحقيقة إن أي زيادة في الكثافة تؤدي إلى زيادة في السرعة (Nafe&Drake, 1957)؛ وهذا يعني إن أية زيادة في الكثافة بنسبة معينة تؤدي إلى زيادة المرونة اضعاف هذه النسبة، ومن ثم تؤدي إلى زيادة السرعة . وإن حدوث أية نسبة خطأ في قياس الكثافة للوسط المرن الذي تنتقل خلاله الموجة الزلزالية يؤدي إلى عدة اضعاف هذه النسبة من الخطأ في قيم معاملات المرونة . إن قياسات الكثافة هي قياسات مختبرية معرضة لعوامل عدم الدقة . كما إن قيمة الكثافة المقاسة لنموذج لبابي معين لطبقة تحت سطحية إذا عممت على مساحة معينة تعطي نسبة من الخطأ وهذه النسبة تزداد كلما اقتربنا من سطح الأرض (Bowles, 1984) لاسيما للطبقات ذات التباير الجانبي؛ لذلك ففي حالة عدم الدقة في قياس الكثافة مختبرياً فمن الضروري التعامل مع الصفات الهندسية التي ترتبط بعلاقات مع سرع الموجات الزلزالية الطولية والمستعرضة لأعطاء دقة عالية خاصة في المشاريع الهندسية .

### 14-1-2 النسبة ( $V_p/V_s$ ) أو النسبة ( $V_s/V_p$ ) :

تعُد النسبة ( $V_p/V_s$ ) أو ( $V_s/V_p$ ) مهمة جداً في التمييز ما بين المناطق الجافة والمناطق المشبعة بالماء؛ وذلك لأن الموجات المستعرضة (S-wave) تتأثر بالاوساط المشبعة كلياً بالماء . تعطي النسبة ( $V_p/V_s$ ) معلومات إضافية عن الصخرية (Paterson&Meidav, 1965) . فضلاً عن ذلك فإن النسبة ( $V_p/V_s$ ) تتأثر بالكسور والمسامات وهندسية توزيع الحبيبات بشكل أقوى من تأثر ثوابت المرونة .

إن تمثيل العلاقة بين النسبتين ( $V_p/V_s$ ) و ( $K/\mu$ ) مهمة جداً إذ يمكن توظيفها لفصل المناطق ذات الإنطقة الضعيفة في صخور الأساس عن طريق تمثيل النسبتين ( $V_p/V_s$ ) و ( $K/\mu$ ) بمخطط بياني. كذلك فإنه تم تدوين علاقة ما بين النسبة ( $V_p/V_s$ ) وسرعة الموجة الطولية ( $V_p$ ) ومن هذه العلاقة يمكن معرفة نوعية المواد الأرضية كما سيتم توضيحها أدناه . إن العلاقات ممثلة بالشكل (14-2) :-



شكل (14-2) العلاقة بين النسبة  $V_p/V_s$  و  $V_p$  (Paterson&Meidav,1965)

يتضح من دراسة الشكل (14-2) ما يأتي (Paterson&Meidav,1965) :-

- في حالة السرعة العالية للموجة التضاغطية ( $V_p$ ) والنسبة ( $V_p/V_s$ ) تمثل قيمة ( $\sqrt{3}$ ) تقريباً فيمكن من هذه المعلومات الإشارة الى إنها تمثل صخور الأساس (Bedrock)، وكذلك فإن الصخور تكون غير مجواة (Unweathered) .
- أما في حالة سرعة الموجة التضاغطية القليلة والـ ( $V_p/V_s$ ) بحدود ( $\sqrt{3}$ ) فإن الشكل يوضح بصورة أساسية إنها تمثل حشوة رملية (Sandy) أو حصوية (Gravelly) .
- في حالة إن تكون سرعة الموجة التضاغطية قليلة والنسبة ( $V_p/V_s$ ) عالية فإن ذلك يشير الى مواد طينية (Clayey) وعادة تكون فوق مستوى المياه .
- في حالة إن تكون سرعة الموجة التضاغطية بحدود (5000) (قدم/ثا) أي تقريباً (1500) م/ثا والنسبة ( $V_p/V_s$ ) عالية فإن ذلك يشير الى أطين ناعمة (Soft clays) تكون تحت مستوى المياه.

## 2-2 الطريقة الكهربائية (Electrical Method)

المقاومة الكهربائية هي خاصية فيزيائية لمادة تصف قدرتها على مقاومة تدفق التيار الكهربائي. لذلك ، تعتمد طريقة المقاومة على مبدأ إنخفاض الجهد المرتبط بالتيار المستمر أو تيار التردد المنخفض المحقون في التربة يعتمد بشدة على مقاومة التربة. يحدث التوصيل الكهربائي في التربة والصخور بثلاث طرق: التوصيل الكهربائي والإلكتروني والعازل. في التربة والصخور ، يعتبر التوصيل الكهربائي هو الطريقة الأكثر شيوعاً إذ يتحرك التيار عبر الأيونات في مياه المسام. في التوصيل الإلكتروني ، يتم نقل التيار بواسطة الإلكترونات الحرة في المعادن. وبالتالي ، فإن المقاومة المنخفضة (الموصلية العالية) للمعادن تفسر بالعدد الكبير من الإلكترونات الحرة في بنيتها (Keller and Frischknecht, 1966).

نظراً لأن التوصيل الكهربائي يحدث نتيجة لحركة الأيونات ، فإن الخواص الكهربائية للتربة يتم التحكم فيها بشكل أساسي عن طريق محتوى الماء المسامي ومع ذلك ، فإن خصائص المرحلة الصلبة تؤثر على النسب بصورة نسبية للماء والهواء وترابط المسام (Friedman, 2005) ، علاوة على ذلك ، يتأثر توصيل التيار الكهربائي بدرجة الحرارة وملوحة المياه (Rinaldi and Cuestas, 2002).

### 1-2-2 نظرية تدفق التيار

لغرض المعرفة الكاملة للطريقة الكهربائية، لا بد من إدراك الآلية التي يتدفق بها التيار الكهربائي إلى باطن الأرض، والبداية يجب إن تكون من قانون (Ohm's Law) وهو ينص:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad \dots\dots\dots (40-2)$$

إذ إن

$$\Delta V = \text{فرق الجهد المقاس بين نقطتين}$$

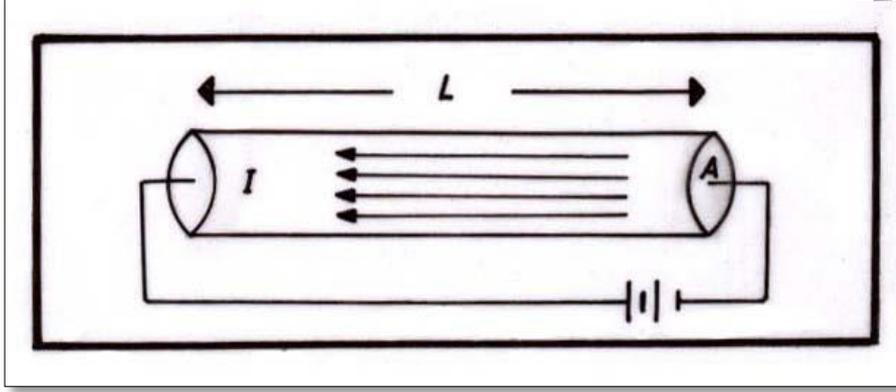
$$I = \text{التيار المار في الوسط}$$

$$R = \text{مقدار مقاومة الوسط مقاسة بالأوم}$$

وبالنسبة لموصل ما طوله (L) ومساحة مقطعه (A) والذي يمر خلاله تيار بخطوط مستقيمة ومتوازية كما في الشكل (2-15) فإن قيمة المقاومة (R) تقاس وفق المعادلة التالية:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \dots\dots\dots (41-2)$$

وتعرف ( $\rho$ ) بالمقاومة النوعية (Resistivity).



الشكل (15-2): تعريف المقاومة، إذ يوضح موصل مساحة مقطعه (A) وطوله (L) ويمر خلاله تيار (I) (Friedman, 2005)

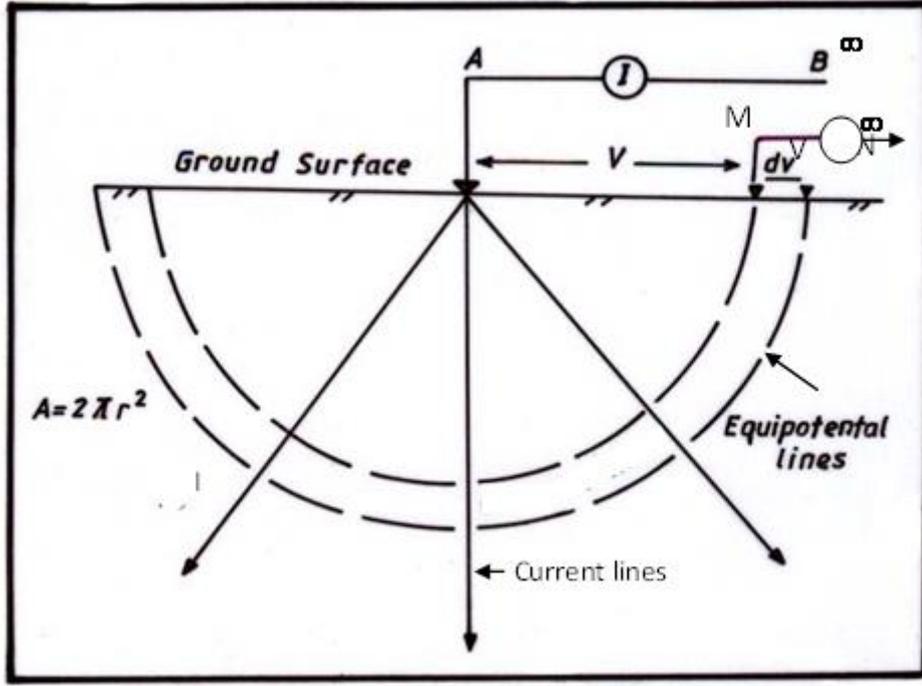
وعند تعويض المعادلة (40-2) في (41-2) نحصل على معادلة جديدة وهي:

$$I = \frac{\Delta V \cdot A}{\rho \cdot L} \dots\dots\dots (42-2)$$

ولإن التيار المار خلال الوسط يكون غير منتظم في الغالب ، لذلك يستبدل الرمز (I) بالرمز (J)، والذي يمثل كثافة التيار (Current Density) الذي يساوي التيار (I) لوحدة مساحة (A) وعندها تصبح المعادلة السابقة كالآتي:

$$J = \frac{\Delta V}{\rho \cdot L} \dots\dots\dots (43-2)$$

وعندما يثبت مصدر للتيار في وسط متجانس (Homogeneous) وذوي خواص متساوية بدلالة الاتجاه (Isotropic)، فإن التيار ينتشر على شكل إنصاف أقطار دائرية كما في الشكل (16-2).



الشكل (16-2): إنتشار التيار داخل الأرض وحساب الجهد عند القطب (M) (Friedman, 2005)

لحساب كثافة التيار في هذا الوسط وبالاتجاه (r) تستعمل المعادلة الآتية :

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial r} \quad \dots\dots\dots (44-2)$$

الإشارة السالبة تدل إن مقدار الجهد يزداد باتجاه معاكس لسريان التيار، وبما إن التيار ينتشر عبر سطح نصف كروي فإن قيمة كثافة التيار هي:

$$J = \frac{1}{2\pi r^2} \quad \dots\dots\dots (45-2)$$

وبتعويض المعادلة (46-2) في (47-2) وإعادة ترتيبها:

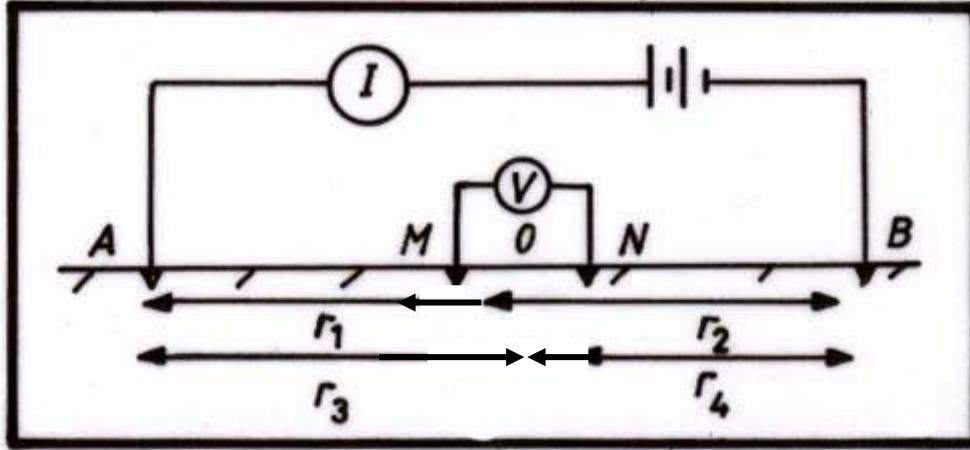
$$\partial V = -\frac{I\rho}{2\pi r^2} \partial r \quad \dots\dots\dots (46-2)$$

وبتكامل هذه المعادلة نحصل على:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad \dots\dots\dots (47-2)$$

تستعمل هذه المعادلة لحساب مقدار الجهد (V) في نقطة محددة بتعدد مسافة (r) عند مصدر التيار، وعند إمرار تيار كهربائي (I) في وسط له مقاومة نوعية (ρ).

ولحساب المقاومة النوعية للأرض، فإننا نحتاج لأربعة أقطاب قطبين لقياس فرق الجهد ويطلق عليها (M) و (N)، وقطبين لإمرار التيار الكهربائي هما (A) و (B)، وكما في الشكل (17-2).



الشكل (17-2): يوضح الترتيب العام للأقطاب (Keller and Frischnich, 1970)

والإن فإن الجهد عند القطب (M) بفعل قطب التيار (A) يكون كالآتي:

$$V_M^A = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad \dots\dots\dots (48-2)$$

كذلك قطب الجهد (M) واقع تحت تأثير قطب التيار (B)، لذلك يكون الجهد عند هذا القطب هو:

$$V_M^B = -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad \dots\dots\dots (49-2)$$

وبما إن التيار متساوي بالمقدار ومتعاكس بالاتجاه فإن الجهد عند قطب الجهد (M) هو:

$$V_M^{AB} = V_M^A + V_M^B \quad \dots\dots\dots (50-2)$$

وبتعويض (48-2) و (49-2) في (50-2) نحصل على:

$$V_M^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \dots\dots\dots (51-2)$$

وبالطريقة نفسها فإن الجهد عند القطب (N) والنتاج من قطبي التيار (A) و (B) هو كالآتي:

$$V_N^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad \dots\dots\dots (52-2)$$

إن فرق الجهد (M) و (N) والنتاج من قطبي (A) و (B) هو:

$$\Delta V_{MN}^{AB} = V_M^{AB} - V_N^{AB} \quad \dots\dots\dots (53-2)$$

وبتعويض المعادلتين (51-2) و (52-2) في (53-2) وإعادة ترتيبهما نحصل على المعادلة الأساسية لحساب قيمة المقاومة النوعية ( $\rho$ ) لأي ترتيب رباعي الأقطاب ويكون كالآتي:

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V_{MN}^{AB}}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad \dots\dots\dots (54-2)$$

ولكن:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)}$$

إذن إن ( $K$ ) هو العامل الهندسي للترتيب، والذي يتغير حسب نوع الترتيب والمسافة الفاصلة بين الأقطاب.

إذن فإن المعادلة (55-2) تصبح كالآتي:

$$\rho = R \cdot K \quad \dots\dots\dots (56-2)$$

وبما إن المقاومة المقاسة على السطح تمثل معدل المقاومات لجميع الأوساط التي يمر بها التيار لذلك تبدل المقاومة ( $\rho$ ) بالمقاومة النوعية الظاهرية ( $\rho_a$ ) وتصبح المعادلة (16-2) كما يأتي:

$$\rho_a = R \cdot K \quad \dots\dots\dots (57-2)$$

كما ورد في (Bahttcharia and Patra, 1968)، و(Keller and Frischnich, 1970).

## 2-2-2 العوامل المسيطرة على المقاومة الكهربائية للصخور

من الضروري التطرق إلى العوامل التي تسيطر على المقاومة الكهربائية للصخور، وذلك لما لها من أهمية في إعطاء تفسير القيم التي نحصل عليها من طريقة المقاومة النوعية. والبدائية هي يجب معرفة كيفية سريان التيار الكهربائي في الصخور، إذ يكون سريان التيار الكهربائي في الصخور على نوعين هما:

### أ- التوصيل الفلزي (Metallic Conductance):

ويحدث من خلال المواد ذات الايصالية العالية (المعادن) الموجودة في داخل الصخرة مثل (الكرومايت، المغناتيت، والكرافايت) وغيرها، وإن وجود هذه المعادن ذات الايصالية العالية تجعل من مقاومة الصخرة قليلة جداً.

ب- التوصيل الأليكتروليتي (Electrolyte Conductance):

ويكون من خلال المحاليل الموجودة داخل الفراغات في الصخرة، ويطلق عليه كذلك التوصيل الأيوني (Ionic Conductance)، وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الصخور إذ إن الحبيبات المكونة للصخور وخاصة الصخور من النوع الرسوبي تكون عازلة وتفصل بينها مسامات. وفي حالة وجود محاليل تملأ هذه المسامات فإنها تعمل كموصلات للتيار الكهربائي بسبب وجود الأيونات في هذه المحاليل، ومن أجل ذلك فإن مقاومة صخرة من هذا النوع تعتمد على التوصيل الكهربائي للمحلول، (Keller and Frischnich, 1970)، وباراسنز (Parasnis, 1972)، وكريفت وكنج (Griffith and King, 1982). والإِنْ لا بد من ذكر العوامل التي تؤثر في المقاومة النوعية للصخرة والتي لها علاقة بالمحتوى المائي وهي:

ج- المسامية: ونعني بالمسامية الفراغات الموجودة في الصخرة، ولقد لوحظ إن المقاومة النوعية تتناسب مع المسامية عكسياً عندما تكون الصخرة مشبعة بالماء، وهناك معادلة تربط المسامية مع المقاومة النوعية للصخرة وتعرف هذه المعادلة بقانون ارشي وهي كالاتي:

$$\rho_F = a\rho_w \Phi^{-m} \dots\dots\dots\text{Achie's Law} \quad (58-2)$$

إذ إن:

$$\rho_F = \text{المقاومة النوعية للصخرة}$$

$$\rho_w = \text{المقاومة النوعية للمحلول في فراغات الصخرة}$$

$$\Phi = \text{المسامية (نسبة حجم الفراغ المسامي من الحجم الكلي للصخرة)}$$

$$a = \text{عامل يعتمد على نوع الفراغ إذ إن:}$$

$a > 1$  عندما تكون مسامية الصخرة متمثلة بالشقوق والكسور (Joint Porosity)

$a < 1$  عندما تكون مسامية الصخرة متمثلة بالفراغات بين الحبيبات (Intergranular Porosity)

$m$  عامل له علاقة مع درجة تماسك الحبيبات إذ إن:

$m > 2$  في الصخور المتماسكة

$m < 2$  في الصخور ضعيفة التماسك

توجد قيم كثيرة إلى العاملين (a) (m) تعتمد على نوع الصخرة، إذ تختلف باختلاف الصخرة كما ورد في كيلر وفرشكنج (Keller and Frischnich, 1970)، وباراسنز (Parasnis, 1972)، وبصورة عامة في الصخور الغير متماسكة مثل الترسبات النهرية (Alluvial deposits) فإن (a=1.6) و (m=1.3) كما ورد في فرولك (Frohlich, 1974).

ويستعمل قانون أرشي بشكل واسع لقياس المسامية في صخور الخزانات عند معرفة المقاومة النوعية للخزان من الجس الكهربائي العمودي. أما المقاومة النوعية للماء ( $\rho_w$ ) الموجود في التكوين فيتم الحصول عليها من أخذ نماذج للمياه في الآبار القريبة لنقاط الجس الكهربائي ثم قياس التوصيلة الكهربائية، وإن مقلوب التوصيلة يساوي المقاومة النوعية.

ولكن هناك عدة محاذير من استعمال القانون أعلاه ومنها:

- وجود الأطيان في الصخور تزيد من التوصيلية لذلك يجب إجراء تصحيح بواسطة قانون خاص وهذا القانون هو:

$$\frac{1}{F_a} = \frac{1}{F} + \frac{\rho_w}{\rho_s} \quad \dots\dots\dots (59-2)$$

إذ إن:

$$\begin{aligned} \rho_w &= \text{مقاومة الماء الموجود في الخزان} \\ \rho_s &= \text{مقاومة الأطيان في الخزان} \\ F &= \text{معامل التكوين الأصلي} \\ F_a &= \text{معامل التكوين المصحح} \end{aligned}$$

- وعند عدم إمكانية تطبيق القانون (قانون التصحيح) (إذ نحتاج إلى نماذج من البئر) نحاول استعمال علاقات أخرى تربط المسامية مع المقاومة، أو استعمال طرق حيوفيزيائية مساعدة أخرى، كما ورد في ورثينكتون وكريفث (Worthington and Grifith, 1975).

د- **الملوحة ودرجة الحرارة:** تكون العلاقة بين المقاومة النوعية وملوحة الماء الموجودة في مسامات الصخرة عكسية، إذ إن الملوحة تزيد الايونات فتقلل المقاومة، أما الحرارة فإنها تقلل المقاومة لأنها تزيد من قدرة الايونات على الحركة كما ورد في كيلر وفرشكنج (Keller and Frischnich, 1970).

هـ- **نوع المحلول:** تختلف مقاومة المحاليل بدرجة كبيرة والسبب أما اختلاف نوعية المواد المذابة، أو نتيجة اختلاف تراكيز العناصر المذابة فيها عن كيلر وفرشكنج (Keller and Frischnich, 1970).

و- درجة تشبع الصخرة بالمحلول : إن زيادة درجة تشبع الصخرة بالمحلول (الماء) تزيد من التوصيل الكهربائي وهناك قانون يربط بين المسامية والمقاومة النوعية ودرجة التشبع للصخرة وهذا القانون:

$$\frac{\rho_F}{\rho_{100}} = S_w^{-n} \quad \dots\dots\dots (60-2)$$

إذ إن:

$$\rho_{100} = \text{المقاومة النوعية الصخرة المشبعة كلياً بالماء}$$

$$S_w = \text{درجة التشبع}$$

$$n = \text{عامل محدد مختبرياً وقيمته تساوي (2) تقريباً}$$

$$\rho_F = \text{مقاومة الصخرة عند درجة تشبع معينة}$$

ونتيجة اختلاف نسبة الرطوبة في الرواسب بين موسم وآخر لذا يجب أخذ القياسات عن طريق المقاومة النوعية في الحقل في الفترة الزمنية نفسها وذلك نتيجة اختلاف درجة التشبع عن نوبس (Nobes, 1996). والجدول (7-2) يوضح مديات المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من الصخور.

وهناك عوامل أخرى تؤثر في المقاومة النوعية مثل لزوجة المائع الموجود في فراغات الصخرة، وكذلك زيادة محتوى المواد العضوية الكلي (وخاصة في حالة التلوث النفطي). إذ تزيد من التوصيل الكهربائي كما ورد في بنسون وآخرون (Benson, et al, 2003)، إلا في حالة وجودها ككتلة غير دائبة فوق سطح المياه الجوفية فتزيد المقاومة النوعية.

ي- ومن العوامل الأخرى درجة الفرز (Sorting) للرواسب والتي بزيادتها تزيد المسامية فتقل المقاومة وكذلك حجم الرواسب من العوامل التي تؤثر في المقاومة قيمة النوعية الظاهرية.

الجدول (7-2) مدىات المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من الصخور والمياه (Mars, 1984)

Earth Material and Water	Resistivity										
	1 Ω-m			10 Ω-m			100 Ω-m		1000 Ω-m		10000 Ω-m
Clay and Marl											
Clay											
Loam											
Top Soil											
Weathered Bed Rock											
Clayey Soils											
River Sand & Water											
Sandy Soi											
Sand											
Typical Mine Water											
Ground Water											
Typical Surface											
Conglomerates											
Shale											
Gypsum											
Limestones											
Sandstone											
Coal											

### 3-2-2 المعاملات الجيوكهربائية (Geoelectrical Parameters)

وهي المعاملات التي يتضمنها المقطع الجيوكهربائي، أذ توصف الطبقة كهربائياً بمعاملين رئيسيين هما مقاومتها النوعية وسماكتها ، ولغرض دراسة هذه المعاملات سوف نفترض وجود منشور قائم الزاوية قاعدته مربعة يمتلك مساحة قدرها وحدة واحدة ويتألف من عدد من الطبقات ذات سماكات ومقاومات نوعية مختلفة كما في الشكل (2-18) ، حيث يمكن حساب المقاومة لطبقة واحدة (i) كما يلي:

$$R_i = \rho_i \times \frac{L}{A} \dots \dots \dots (2-61)$$

R = المقاومة (أوم)

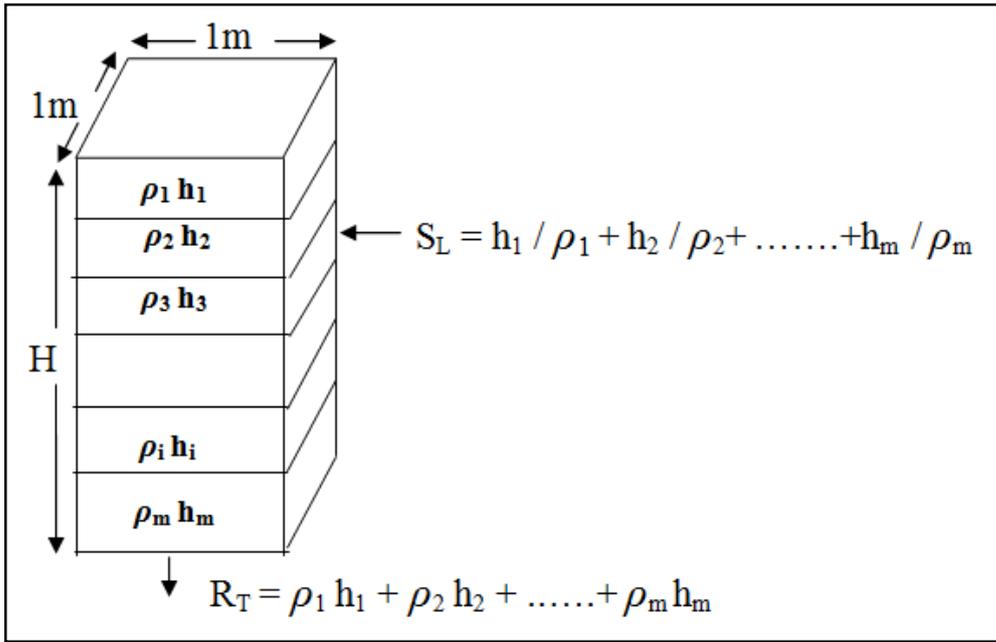
L = طول السلك المار فيه التيار في الطبقة او السمك (h<sub>i</sub>).

A = مساحة المقطع المار فيه التيار.

ρ = المقاومة النوعية (أوم.متر) .

i = موقع الطبقة في المنشور القائم.

h<sub>i</sub> = سماكة الطبقة .



الشكل  
يبين  
نوع شكل  
يستخدم

حساب المعاملات الجيوكهربائية

وبما أن : (A=1 m<sup>2</sup>) و (l = h<sub>i</sub>) من المنشور القائم ، فإن المعادلة أعلاه ستكون كما يلي :

$$R_i = \rho_i \times h_i \dots \dots \dots (2-62)$$

يتم حساب المقاومة الكلية للمنشور أو المقاومة المستعرضة (Transverse resistance-R<sub>T</sub>) التي يمكن اعتبارها المقاومة النوعية الكلية لمجموعة مقاومات مربوطة على التوالي ، وبالأعتماد على قانون المقاومات المربوطة على التوالي :

$$R_T = \sum_{i=1}^m \rho_i \times h_i \dots \dots \dots (2-63)$$

أما المقاومة النوعية المستعرضة (Transverse resistivity- $\rho_T$ ) فإنها تمثل معدل المقاومة النوعية للطبقات المكونة للشكل المنشوري باتجاه عمودي على سطح التطبيق ، وتحسب من المعادلة التالية :

$$\rho_T = \frac{R_T}{H} = \sum \frac{\rho_i \times h_i}{\sum h_i} \dots \dots \dots (64 - 2)$$

$\sum h_i$  : تمثل السمك الكلي للطبقات المكونة للمنشور الجيوكهربائي .

بنفس الطريقة يتم حساب التوصيل الكهربائي بموازاة سطوح التطبيق ولكن في هذه الحالة نستخدم قانون ربط المقاومات على التوازي وكما يلي :

$$The\ Conductance\ (S_i) = \frac{1}{R_i} = \left(\frac{1}{\rho_i}\right) \cdot \left(\frac{A}{L}\right) \dots \dots \dots (65 - 2)$$

وهو يمثل مفهوم التوصيلية (التوصيلية الكهربائية = مقلوب المقاومة النوعية) خلال الطبقات الأفقية المكونة للمنشور القائم ( $h_i$  يمثل ارتفاعه وعرضه 1 m) .

$$A = h_i \times 1\ m \quad \therefore A = h_i \quad L = 1\ m$$

$$\frac{1}{R_i} = \frac{h_i}{\rho_i} \dots \dots \dots (66 - 2)$$

$$S_L = \sum \left(\frac{h_i}{\rho_i}\right) \dots \dots \dots (67 - 2)$$

$S_L$  : التوصيل الطولي (Longitudinal Conductance).

أما المقاومة النوعية الطولية (Longitudinal resistivity- $\rho_L$ ) التي تمثل معدل المقاومة النوعية باتجاه موازي لسطوح التطبيق فيحسب كما يلي:

$$\rho_i = \frac{S}{H} \quad \frac{1}{\rho_L} = \rho_L = \frac{H}{S}$$

$$\rho_L = \frac{\sum h_i}{\sum \rho_i} \dots \dots \dots (68 - 2)$$

نلاحظ أن  $\rho_T > \rho_L$  دائما حيث أن التيار سوف يتغلب على المقاومة النوعية الطولية ( $\rho_L$ ) اذا كانت الطبقات افقية . أما المعامل الأخير فيمثل معامل عدم تساوي الخواص بدلالة الاتجاه ( $\lambda$ -Anisotropy) ويتم حسابه من المعادلة التالية : (Keller and FrischKnecht, 1970)

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}} \dots \dots \dots (69 - 2)$$

أن المعاملين ( $R_T, S_L$ ) تعرف على أنها معاملات دار زاروك (Dar Zarrouk parameters) (Zohdy,1965) .

## 2-2-4 ترتيبات الأقطاب المستخدمة لأخذ القياسات

هنالك أكثر من طريقة من الترتيبات التي تستعمل في طريقة المقاومة النوعية الكهربائية، وتكون هذه الترتيبات مختلفة فيما بينها باختلاف مواقع الأقطاب، أي مواقع قطبي التيار إلى قطبي الجهد. والشكل (2-19) يوضح بعض أنواع الترتيبات الأكثر استعمالاً وهذه الترتيبات هي:

### 2-2-4-1 ترتيب ثنائي القطبين القطبي

وهو أحد الترتيبات ثنائية القطب (Dipole-Dipole) إذ يكون قطبي التيار داخل قطبي الجهد الشكل (2-19-a)، إذ يستعمل هذا الترتيب في أغراض الجس العميق، وبالأخص في المناطق التي يتعذر فيها نشر الأقطاب لمسافات كبيرة ولأسباب متعددة وذلك لأن لهذا الترتيب له عمق دراسة أكبر من بقية الترتيبات المذكورة هنا. ولكن الترتيب ثنائي القطبين القطبي يحتاج لتيار كهربائي عالٍ نسبياً لأن قطبي التيار خارج قطبي الجهد.

ومن أهم مميزات هذا الترتيب هو كفاءته العالية للتحسس بالتغيرات الجانبية للمقاومة النوعية وإعطاء عمق تحرٍ جيد، وهو أقل تأثراً بمصادر الضوضاء الجيولوجية القليلة السمك والضحلة. واستعمل الترتيب القطبي في السنوات الأخيرة على نطاق واسع جداً في رسم المقاطع الزائفة (Pesudo Section) وذلك بسبب سهولة أخذ القياسات، أما معادلة قياس المقاومة النوعية الظاهرية فهي كالآتي:

$$\rho_a = \pi \frac{\Delta V}{I} n(n+1)(n+2)a \quad \dots\dots\dots (70-2)$$

إذ إن:

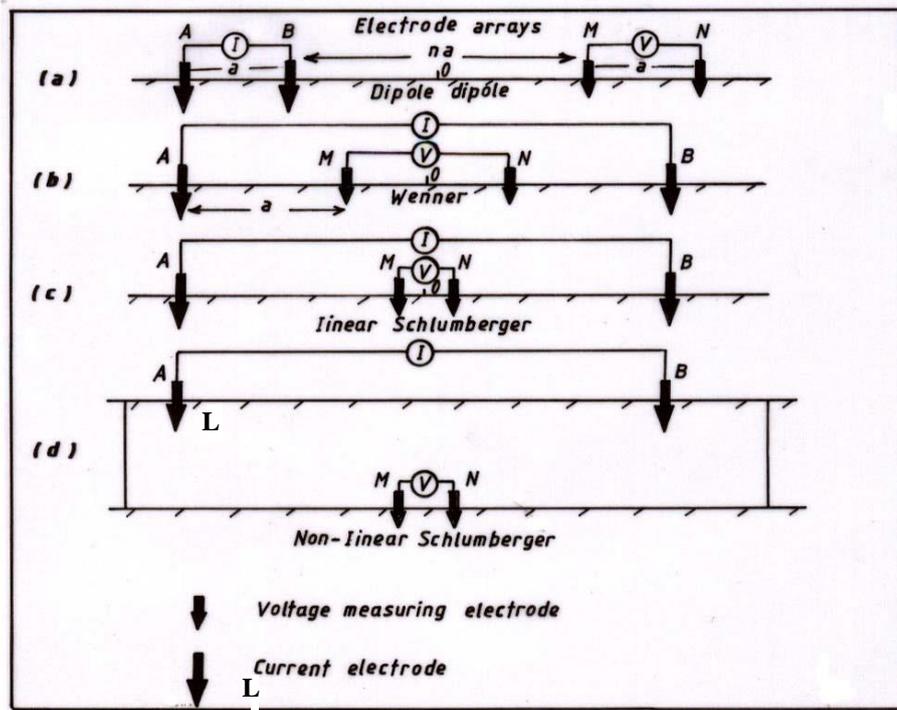
$$\rho_a = \text{المقاومة النوعية الظاهرية.}$$

$$\Delta V = \text{فرق الجهد المقاس}$$

$$I = \text{التيار المستعمل}$$

$$a = \text{المسافة بين قطبي التيار أو قطبي الجهد}$$

وكذلك يحتاج هذا الترتيب إلى أجهزة تمتلك حساسية عالية بالمقارنة مع الأجهزة التي تحتاجها بقية الترتيبات، وإن المنحنيات الخاصة لهذا التفسير غير متوفرة مثل بقية الترتيبات، وغالباً ما يتم تحويلها إلى ما يكافئها لترتيب شلمبرجر وفقاً لمعادلات خاصة. كما ورد في (Alpin, 1950)، (Zohdy, 1974)، (Keller and Frischnich, 1970).



الشكل (2-19): بعض أنواع الترتيبات الأكثر استعمالاً  
(Rao, et al. 2003)

### 2-4-2-2 ترتيب فنر للأقطاب (Wenner Array)

في هذا الترتيب تكون المسافة بين جميع الأقطاب متساوية وتكون المسافة بين قطبي الجهد مساوية للمسافة بين قطبي التيار ( $MN/AB=1/3$ ) وتكون الأقطاب متناظرة حول المركز كما في الشكل (2-19b).

من مميزات هذا الترتيب بأن العمليات الرقمية والحسابية له تكون بسيطة، ولكن مع زيادة المسافة بين الأقطاب يجب تحريك جميع الأقطاب، وهذا يعني جهد أكبر من بقية الترتيبات. ولهذا الترتيب عمق اختراق للأرض أقل من ترتيب شلمبرجر، ويزداد التأثير كلما قل التجانس السطحي، وإن إزالة تأثير عدم التجانس السطحي لترتيب فنر يكون صعباً لأنه من الصعوبة تحديده، فضلاً عن ذلك فإن القياسات في هذا الترتيب تحتاج إلى أجهزة أقل حساسية من ترتيب شلمبرجر.

وإن معادلة حساب المقاومة النوعية ( $\rho_a$ ) لهذا الترتيب؛ كالاتي:

$$\rho_a = 2\pi aR \dots\dots\dots (71-2)$$

إذ إن:

$\rho_a$  = المقاومة النوعية الظاهرية

$a$  = المسافة بين الأقطاب

كما ورد في (Alpin, 1950)، (Keller and Frischnich, 1970).

### 2-2-4-3 ترتيب شلمبرجر للأقطاب (Shlumberger Array)

يعد هذا الترتيب احد الترتيبات الشائعة الاستعمال لأغراض الجس الكهربائي وخاصة في أسلوب المسح الكهربائي العمودي، ويستعمل لهذا الترتيب زوجان من الأقطاب. وهذه الأقطاب إما تقع على استقامة واحدة لذا يدعى هذا الترتيب بترتيب شلمبرجر الخطي (Linear Shlumberger Array) كما في الشكل (C-19-2)، ولكن عندما لا تكون جميع الاقطاب على استقامة واحدة في هذه الحالة يسمى بترتيب شلمبرجر اللاخطي (Non Linear Shlumberger Array) كما في الشكل (d-19-2).

وسوف يتم التركيز على الترتيب لكونه المستخدم في هذه الدراسة. ويتميز هذا الترتيب بكونه يحتاج إلى جهد قليل بالمقارنة مع بقية الترتيبات التي ذكرت وأسرع في اداء العمل الحقلية، وذو قدرة عالية على تمييز الطبقات وله عمق تحرٍ عالٍ أكبر من ترتيب فنر كما ورد في (Zohdy, 1974)، (Zohdy and Bisdorf, 1990).

### 2-2-5 أساليب أخذ القياسات

يوجد أكثر من أسلوب لأخذ القياسات في طريقة المقاومة النوعية الظاهرية، وبالاعتماد على طريقة ترتيب الأقطاب المختلفة، إذ يفضل لكل أسلوب استخدام طريقة ترتيب معين للأقطاب، أو أكثر من ترتيب ولكن حسب الأفضلية لأن هذه الترتيبات تختلف عن بعضها البعض من ناحية الدقة لقياسات المقاومة النوعية الظاهرية و العمق.

وهذه الأساليب هي:

### 2-2-5-1 الجس الكهربائي العمودي (Vertical Electrical Sounding)

ويستعمل هذا الأسلوب لتحديد التغيرات العمودية في المقاومة النوعية الظاهرية مع العمق، وبالتالي تحديد الاسطح الفاصلة بين الطبقات، ومن ثم يتم إيجاد السمك والمقاومة النوعية للطبقات المختلفة.

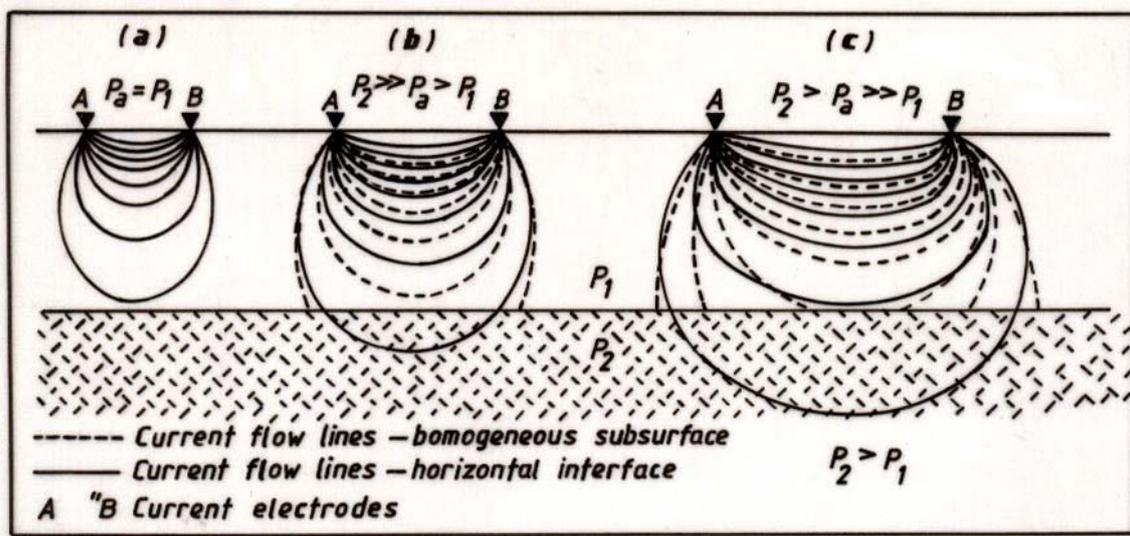
كذلك يتم استعمال هذا الأسلوب في استكشاف المياه الجوفية والدراسات الهندسية ذات الاعماق الضحلة القريبة من السطح كما ورد في (Keller and Frischnich., 1970) (Zohdy, 1974) (Sharma, 1976).

وينفذ هذا الأسلوب بعدة ترتيبات أهمها ترتيباً فنرو شلمبرجر فضلاً على ترتيبات ثنائي القطبين، إذ يبقى مركز الترتيب ثابتاً.

ويعتمد مبدأ عمل الجس الكهربائي العمودي (VES) على فكرة، أنه بزيادة المسافة بين قطبي التيار سيزداد عمق الاختراق للتيار الكهربائي داخل الأرض وبالتالي يزداد عمق الدراسة ولكن عمق الاختراق للتيار غير ثابت ويختلف من منطقة لأخرى كما ورد في كونتز (Kunetz, 1968) وكيلر وفرشكنج (Keller and Frischnich, 1970). ويمكن الحصول على المنحني الحقلي للجس الكهربائي، بأخذ القياسات للمقاومة النوعية الظاهرية بزيادة المسافة بين الأقطاب، والتي تعكس قيم المقاومة النوعية للطبقات المختلفة. إذ نلاحظ إن المقاومة النوعية الظاهرية ( $\rho_a$ ) في الشكل (a-20-2) تساوى مقاومة الطبقة الأولى ( $\rho_1$ )، لأن معظم خطوط التيار تنتقل في الطبقة الأولى،

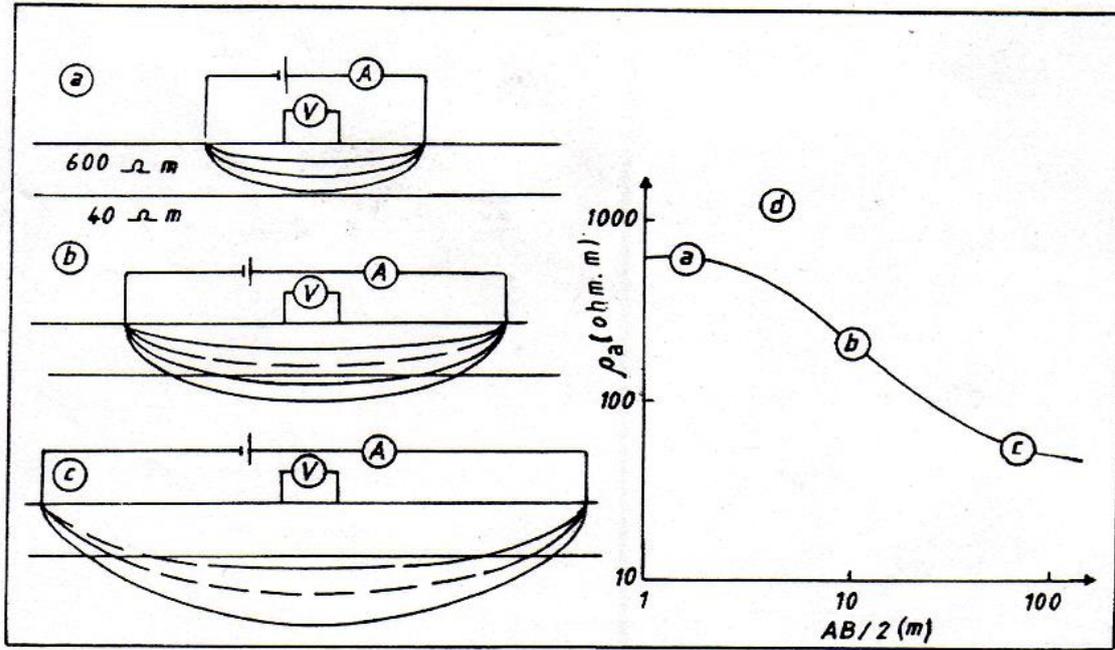
بينما في الشكل (b-20-2) فإن جزءاً من خطوط التيار تنتقل خلال الطبقة الأولى والجزء الآخر في الطبقة الثانية، لذلك تكون قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة في هذه الحالة أقل من المقاومة النوعية للطبقة الأولى وأكبر من المقاومة النوعية للطبقة الثانية.

أما في الشكل (c-20-2) فإن معظم خطوط التيار تنتقل ضمن الطبقة الثانية، لذلك تمثل قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة قيم المقاومة النوعية للطبقة الثانية ( $\rho_2$ ).



الشكل (20-2): يوضح خطوط تدفق التيار الكهربائي عند إنتقالها بين وسطين مختلفين بقيم المقاومة النوعية مع زيادة عمق اختراقها لزيادة المسافة بين قطبي التيار (A) و(B) ((Kunetz, 1968))

ويوضح الشكل (21-2) المنحني الحقلي لقيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة للحالات الثلاث المذكورة أعلاه.



الشكل (21-2): إنتشار التيار داخل الأرض مع زيادة مسافة النشر بين الأقطاب يؤدي إلى تغير قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة على سطح الأرض (Kunetz, 1968).

### 2-5-2-2 الجس باستعمال ترتيب شلمبرجر

يستعمل في الجس الكهربائي العمودي لترتيب شلمبرجر زوجان من الأقطاب قطبان للجهد وقطبان للتيار ، وتتم عملية الجس (أي أخذ القياسات) بزيادة المسافة (AB) بإذ تكون دائماً (MN/AB) أقل أو تساوي (1/5) كما إن المسافة (MN) تبقى ثابتة لعدة قياسات وعندما يصبح فرق الجهد بين القطبين (M) و (N) ضعيفاً أي لا يمكن قياسه بصورة دقيقة ، اصبح من الضروري زيادة المسافة (MN). وإن المسافات (MN) و (AB) تحدد وفق ظروف المنطقة والجهاز المستعمل، كما إن هذه المسافة تؤخذ بإذ يحدث تداخل في القياسات نتيجة تغير المسافة (MN)، وهذا التداخل مهم لأنه يسمح باكتشاف وتصحيح تأثير عدم التجانس القريب من السطح. ومن الناحية النظرية تكون المسافة (MN/2) قريبة من الصفر لذا يمكن إهمالها عند اشتقاق المعادلة لحساب قيم المقاومة النوعية الظاهرية وتصبح المعادلة كالآتي:

$$\rho_{th.}^{Shc.} = \frac{\pi(AB/2)^2}{MN} \frac{\Delta V_{MN}^{AB}}{I} \dots\dots\dots (72-2)$$

ولكن في التطبيق العملي أي عند أخذ القياسات الحقلية، لا تكون المسافة (MN) قريبة من الصفر لأنه في هذه الحالة لا يمكن أخذ القياسات. لذلك لا يمكن إهمالها عند اشتقاق المعادلة لحساب قيم المقاومة النوعية الظاهرية، لذا تكون هذه المعادلة كالآتي:

$$\rho_{Pr.}^{Shc.} = \pi \left[ \frac{\pi(AB/2)^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right] \frac{\Delta V_{MN}^{AB}}{I} \dots\dots\dots (73-2)$$

أي في هذه الحالة توجد معادلتان لحساب قيم (ρ<sub>a</sub>) لترتيب شلمبرجر. ويمكن استعمال أي منهما عندما تكون المسافات بين أقطاب التيار والجهد وفق النسبة (MN/AB ≤ 1/5) وتسمى المعادلة (72-2) المعادلة النظرية (Theoretical Equation) أما المعادلة (73-2) فتسمى بالمعادلة التطبيقية ( Particle Equation). كما ورد في العائني (Al-Ane, 1998). ويمكن استخدام ترتيب شلمبرجر الخطي والملاحظ في أخذ قياسات الجس الكهربائي العمودي (VES) وفق الآتي:

### 3-5-2-2 الجس باستعمال ترتيب شلمبرجر الخطي

تكون في هذا الجس أقطاب التيار (A) و(B) وأقطاب الجهد (M) و (N) على خط مستقيم واحد.

تؤخذ القياسات للجس الكهربائي العمودي في هذه الحالة بزيادة المسافة (AB) لمرات عديدة مع بقاء المسافة (MN) ثابتة. ولكن عندما يصبح أخذ القياسات صعباً يتم زيادة المسافة (MN)، ويتم أخذ القياسات بزيادة المسافات (AB) مع الأخذ بنظر الاعتبار عمل تداخل بالقياسات عند كل زيادة للمسافة (MN)، للافادة منها في التدقيق للقياسات الحقلية فضلاً عن تحديد تأثير عدم التجانس للرواسب على أقطاب التيار والجهد، وذلك لإزالة هذا التأثير أو التقليل منه.

ونتيجة لزيادة المسافات (MN) عدة مرات أثناء إجراء الجس الكهربائي العمودي، فسوف نحصل على منحني حقلي يتكون من عدة أجزاء أو أفرع لذا يتم ربطها وفق أسلوب معين سيتم ذكره لاحقاً للحصول على منحني حقلي متصل يمكن تفسيره، كما ورد في (Kunetz, 1968) (Zohdy, 1974).

ولا بد من التأكد هنا إن زيادة المسافات بين الأقطاب تكون وفق النسبة (MN/AB ≤ 1/5)، أما زيادة المسافة (MN) فتكون مساوية إلى ضعفين أو ثلاثة أضعاف المسافة (MN) في كل زيادة للمسافة (MN) كما ورد في (Al-Ane, 1998).

### 6-2-2 المسارات الكهربائية (Electrical Profiling)

يتم في هذا الأسلوب قياس التغيرات الأفقية في المقاومة النوعية الظاهرية للأرض، ولعمق معين يتم تحديده مسبقاً بالاعتماد على المسافة بين الأقطاب، والتي تكون ثابتة بينما مركز الترتيب متغير. وبعد كل قياس ينتقل الترتيب بالكامل إلى موقع آخر، لمسافة يتم تحديدها وفق الغرض من الدراسة، وإن الفرق بين الموقعين يدل على وجود تغير أفقي للمقاومة النوعية الظاهرية. ويستخدم هذا الأسلوب في إعطاء معلومات جيدة عن الطبقات العمودية والفوالق وسطوح التماس العمودية وشبه العمودية.

وفي الغالب يستعمل ترتيب فنر للأقطاب وذلك لأن المسافة تبقى ثابتة بين الأقطاب مما يسهل نقلها بامتداد مسار القياس، كما ورد في (Kunetz, 1966)، (Zohdy, 1974).

### 7-2-2 الخرائط الكهربائية (Electrical Mapping)

ويستعمل هذا الأسلوب لتعيين التغيرات الجانبية في المقاومة النوعية الظاهرية أسفل سطح الأرض، وذلك من خلال ربط عدد من المسارات الكهربائية التي تم ذكرها في الخطوة السابقة. ويمكن استعمال أي ترتيب للأقطاب في هذا الأسلوب ولكن يفضل استخدام الترتيبات الخطية مثل ترتيب شلمبرجر كما ورد في (Kunetz, 1968)، (Zohdy, 1974).

### 8-2-2 الجس المتقاطع (Crossed Sounding)

يستخدم هذا الأسلوب في دراسة تغير المقاومة النوعية بالاتجاهات المختلفة والكشف عن وجود ميل في الطبقات، ويتم إنجازه بأخذ القياسات الكهربائية باتجاهين حول نقطة مركزية. ويمكن إن يستعمل أي ترتيب للأقطاب ولكن أفضلها هو ترتيب شلمبرجر وفنر، بشرط إن يكون مركز النشر موحداً. فعند إجراء قياسات الجس المتقاطع فوق الأرض المتكونة من مجموعة من الطبقات الأفقية والمتجانسة فإن المنحنيات الناتجة عند نقطة الجس المتقاطع سوف لن تختلف في شكلها وتوزيعها بالاتجاهات المختلفة، كما ورد في (Matias and Habberjam, 1984)، (Watson and Barker, 1999).

وبهذا يمكن تحديد موقع عدم التجانس الجانبي باستخدام أسلوب الجس المتقاطع عن طريق نشر الأقطاب باتجاهات مختلفة حول نقطة مركزية. ويمكن إن ينتج الاختلاف إما من تأثير ظاهرة عدم التناظر بسبب التكررات أو ينتج بسبب الميل أو وجود عدم التجانس الجانبي. وقد يكون من الصعب التفريق بين الأسباب المؤدية إلى اختلاف المنحنيات، ولكن هناك بعض الأبحاث الحديثة التي تشير إلى إنه من الممكن التفريق بين أسباب الاختلاف بين المنحنيات سواء كانت بسبب الميل أو أي سبب آخر من الأسباب المذكورة سابقاً.

### 9-2-2 المقاطع الزائفة غير الحقيقية (Pseudo Section)

تؤخذ القياسات للمقطع الزائف باستعمال أسلوب الجس الكهربائي العمودي والمسارات الكهربائية في وقت واحد. ويتم تمثيل النتائج التي تبين تغير المقاومة النوعية الظاهرية تحت السطح على شكل مقاطع زائفة (غير حقيقية) بدلالة المسافة بين الأقطاب وليس الأعماق الحقيقية لهذه القيم. ويمكن استعمال أي ترتيب من ترتيبات الأقطاب في بناء هذه المقاطع. ولكن أكثر الترتيبات استعمالاً هو ترتيب ثنائي القطبين القطبي (Polar Dipole - Dipole).

وتستخدم المقاطع الكاذبة على نطاق واسع للتقيب عن المعادن، ورسم الخرائط الجيولوجية، والمسوحات التفصيلية عن التراكيب تحت السطح، كما ورد في أدواردز (Edwards, 1977).

وفي السنوات الأخيرة استعمل هذا الأسلوب في المسوحات ثنائية الأبعاد (2D-Imaging) الذي يستخدم على نطاق واسع في الدراسات الهندسية والبيئية القريبة من السطح.

## 2-2-10 اختيار الأسلوب والترتيب المناسبين لأخذ القياسات :

قبل القيام بعملية الاستكشاف الجيوفيزيائي لا بد من التفكير في اختيار الأسلوب المناسب، ولكوننا نبحث عن التغيرات العمودية في المقاومة النوعية والحصول على سمك الطبقات والمقاومات النوعية للطبقات فإننا نستخدم أسلوب الجس الكهربائي العمودي (VES).

ولإن هدف هذا البحث هو دراسة الخزان الجوفي من إذ السمك والعمق (أي دراسة التغيرات عمودية)، لذلك قررنا استعمال المسح بأسلوب الجس الكهربائي العمودي (VES). وبعد اختيار أسلوب المسح المناسب، كان لا بد من اختيار الترتيب المناسب في المسح. وهناك عدة نقاط يجب أخذها بنظر الاعتبار عند اختيار الترتيب المناسب وهذه النقاط هي:

- نوع التراكيب المراد دراستها إضافة إلى عمقها عن سطح الأرض.

- حساسية الجهاز المستخدم (حساسية الفولتميتر): والتي تؤدي دوراً كبيراً في اختيار نوع الترتيب، إذ في بعض الترتيبات مثل ترتيب فنر تكون الإشارة المقاسة كبيرة، لأن المسافة بين قطبي الجهد تكون كبيرة نسبة إلى المسافة بين قطبي التيار. أما الإشارة المقاسة في ترتيب ثنائي القطب (Dipole-Dipole) فتكون ضعيفة لأن قطبي الجهد خارج قطبي التيار، لذلك نحتاج إلى أجهزة قياس تكون أعلى حساسية من الأجهزة المستعملة لترتيب فنر. وقد نحتاج إلى أجهزة تكون أعلى حساسية من التي استعملت في البحث وخاصة للمسافات البعيدة.

- وجود عدم التجانس السطحي إذ إن بعض الترتيبات تتأثر بعدم التجانس أكثر من غيرها، وخاصة الترتيبات التي تكون فيها أقطاب التيار أو الجهد متقاربة من بعضها، لذلك عند نشر الأقطاب يتم تجنب ذلك قدر المستطاع.

- وجود المنشآت الهندسية التي تعيق أخذ القياسات، لذلك عند أخذ القياسات يتم اختيار الترتيبات التي لا تحتاج لنشر أقطابها إلى مسافات كبيرة، كذلك يؤخذ بنظر الاعتبار وجود الإنابيب والأسلاك المدفونة، وذلك لتجنبها عند القياس.

وفق النقاط أعلاه فإن اختيار ترتيب الأقطاب والأسلوب المناسبين لأخذ القياسات يكون مهماً جداً، إذ إنها تسهم في الحصول على قياسات جيدة تكون أكثر تمثيلاً للهدف وأقل تأثراً بعدم التجانس السطحي والعوامل الأخرى.

### 2-2-11 تشوه المنحنيات الحقلية

بعد رسم المنحنيات الحقلية للمقاومة النوعية الظاهرية لترتيب شلمبرجر، نلاحظ إنها تكون في الغالب مشوهة وذلك لأسباب مختلفة و هي:

#### 2-2-11-1 التشوه بسبب الإزاحة بين أفرع المنحني الحقلية

بعد فحص المنحنيات الحقلية للمقاومة النوعية الظاهرية لوحظ إنها تتكون من مجموعة من الأفرع، وهذه الأفرع تحدث بينها إزاحة ، وفي بعض الحالات تكون هذه الأفرع متقاطعة، وإن سبب هذه الإزاحة تعود لعاملين هما:

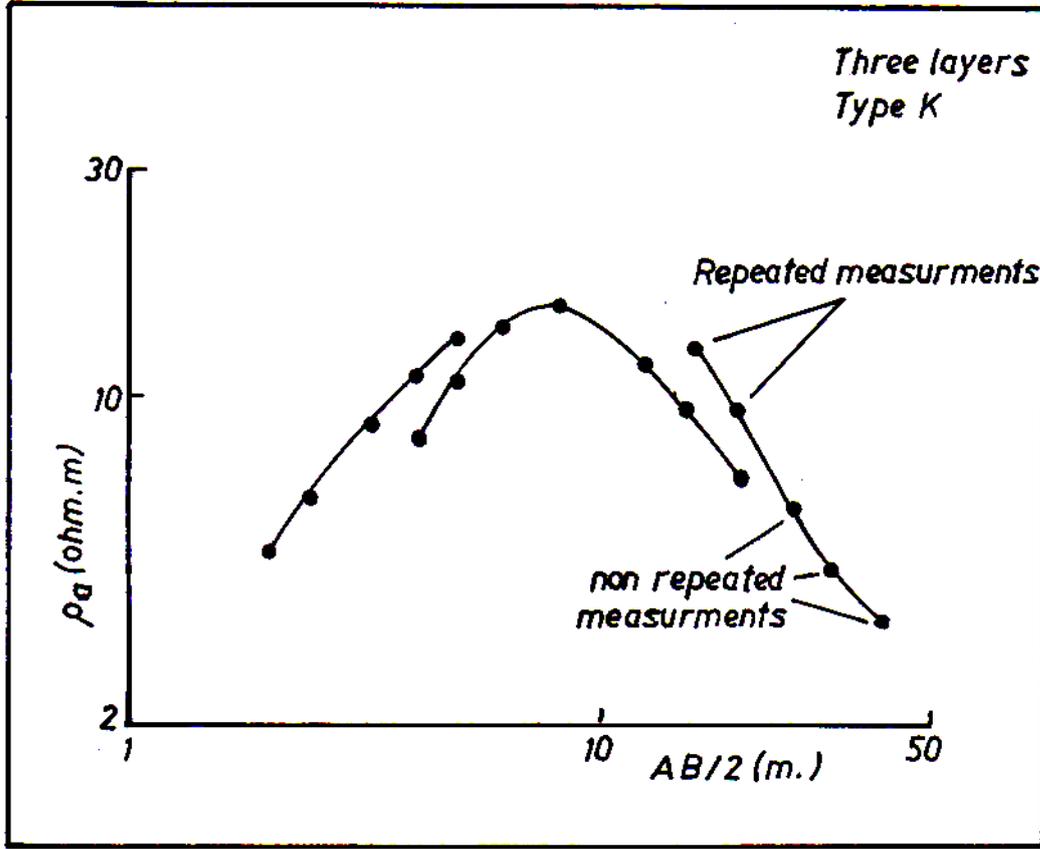
#### 2-2-11-2 التشوه بسبب الإزاحة النظرية

بعض الإزاحة بين أفرع المنحني الحقلية تعود إلى الإزاحة النظرية، والذي تتكون بسبب النسبة  $(MN/AB)$ .

عندما يتم إكمال القياسات للمنحني الحقلية وفق مبدأ الجس الكهربائي العمودي، تثبت بشكل منتظم ومدروس وفق قياسات محددة للمسافة  $(MN)$  وعندما يتم تكرار تغيير مسافة  $(AB)$  لعدد من القياسات عندها تصبح المسافة  $(MN)$  صغيرة بالمقارنة مع المسافة  $(AB)$ ، وفي هذه الحالة يصبح من الصعوبة أخذ القياس بين قطبي الجهد  $(M)$  و  $(N)$ ، لذلك يتم زيادة المسافة  $(MN)$  لكي تسهل عملية أخذ القياسات. والإزاحة النظرية تؤدي إلى إنحراف أفرع المنحني الحقلية إلى اليمين، وهذه الإزاحة ليست لها علاقة مع تأثير عدم التجانس السطحي للمقاومة النوعية، وإنما سببها هو النقصان في عمق التحري، وتحدث بامتداد المحور السيني  $(X-axis)$  ، كما ورد في  $(Depperman, 1954)$ ،  $(Kunetz, 1966)$ ،  $(Zohdy, 1989)$ ،  $(Barker, 1989)$ .

ولكن السبب الحقيقي في هذه الإزاحة النظرية هو الزيادة والنقصان في عمق التحري للقياسات لكل جزء من أجزاء المنحني الحقلية، لأن هذا الجزء يتضمن قياسات معادة وغير معادة. ففي حالة القياسات المعادة فإن عمق التحري يقل بالاعتماد على النسبة  $(MN/AB)$ ، وفي الغالب تكون هذه النسبة أكبر أو تساوي إلى  $(1/5)$ . أما الإزاحة للقياسات غير المعادة فإن سببها الرئيس للزيادة بعمق التحري، كذلك تعتمد على النسبة  $(MN/AB)$  والتي تكون في الغالب أقل من  $(1/5)$ . وهذه الإزاحة تكون أقل من الإزاحة للقياسات المعادة،

كما ورد في العائني (Al-Ane, 1998). والشكل (22-2) يوضح الإزاحة النظرية بين الأجزاء الثلاثة للمنحني وكذلك القياسات المعادة وغير المعادة.



الشكل (22-2): الإزاحة النظرية بين أجزاء المنحني الحقلي كما ورد في العائني (Al-Ane, 1998)

وبصورة عامة يمكن القول إن الإزاحة بين أجزاء المنحني الحقلي تمثل إزاحة نظرية بين المنحنيات الحقلية والحالة النظرية (أي المنحنيات النظرية)، وذلك بسبب الابتعاد عن الحالة النظرية وهي عندما تكون المسافة (MN) قريبة من الصفر، لذا تظهر هذه الإزاحة بسبب الزيادة في المسافة (MN)، والتي نحتاجها عند أخذ قياسات المنحني الحقلي، ومقدارها يعتمد على النسبة (MN/AB). ويمكن التقليل من تأثير هذه الإزاحة وذلك باعتماد النسبة (MN/AB ≤ 1/5)، وهذا يكون أفضل من إجراء التصحيح لهذه الإزاحة والتي تكون لها علاقة مع عمق التحري، كما ورد في العائني (Al-Ane, 1998).

### 3-11-2-2 التشوه بسبب الإزاحة الناتجة عن عدم التجانس السطحي

إن هذه الإزاحة هي جزء من الإزاحة بين أفرع المنحني الحقلي، والناتجة من تأثير عدم التجانس السطحي للرواسب في قطبي الجهد (M) و (N) لإنهما دائماً قريبان من بعضهما. أما تأثير عدم التجانس على قطبي التيار (A) و (B) فيكون في الغالب قليلاً لإنهما دائماً متباعداً، وهذا ينتج عنه تبعثر في قيم

المقاومة النوعية الظاهرية، وتحدث هذه الإزاحة بامتداد المحور الرأسي (Y-axis) كما ورد في كونتز (Kunetz, 1966)، زهدي (Zohdy, 1989).

وهذه الإزاحة ليست لها علاقة بالنسبة (MN/AB) كما في الإزاحة النظرية، لذلك لا يمكن التقليل من تأثيرها، ولكن يتم تصحيحها بربط أفرع المنحني الحقلي مع بعضها بإجراء إزاحات إلى الأعلى والأسفل بامتداد المحور الرأسي (Y-axis).

هذه الإزاحة تؤثر وتشوه الإزاحة النظرية (التي تسبب إزاحة أفرع المنحني الحقلي إلى اليمين)، لذلك فإن الإزاحة لأجزاء المنحني الحقلي يمكن أن تكون إلى اليسار أو إلى اليمين، وفي بعض الحالات تكون أجزاء المنحني الحقلي متقاطعة ويعتمد مقدار هذه الإزاحة على تأثير عدم التجانس على قطبي الجهد. لذلك لا يمكن السيطرة على هذه الإزاحة، ولكن يمكن التقليل من تأثيرها وذلك بتجنب تثبيت قطبي الجهد (M) و (N) في مناطق تواجد عدم التجانس وخاصة عندما يكون ظاهراً على سطح الأرض.

#### 2-2-11-4 التشوه بسبب الاختلاف الجانبي للخواص الكهربائية :

يحدث هذا النوع بسبب الاختلاف الجانبي (Lateral Heterogeneity) للخواص الكهربائية أو أخطاء عند أخذ القياسات، مما يؤدي إلى حدوث الإنقطاعات (Discontinuities)، أو النتوءات الحادة (Cusps) في المنحنيات الحقلية لترتيب شلمبرجر. والسبب في ذلك يعود إلى عدة عوامل، كما ورد في كونتز (Kunetz, 1966)، وزهدي (Zohdy, 1989). ومن هذه العوامل:

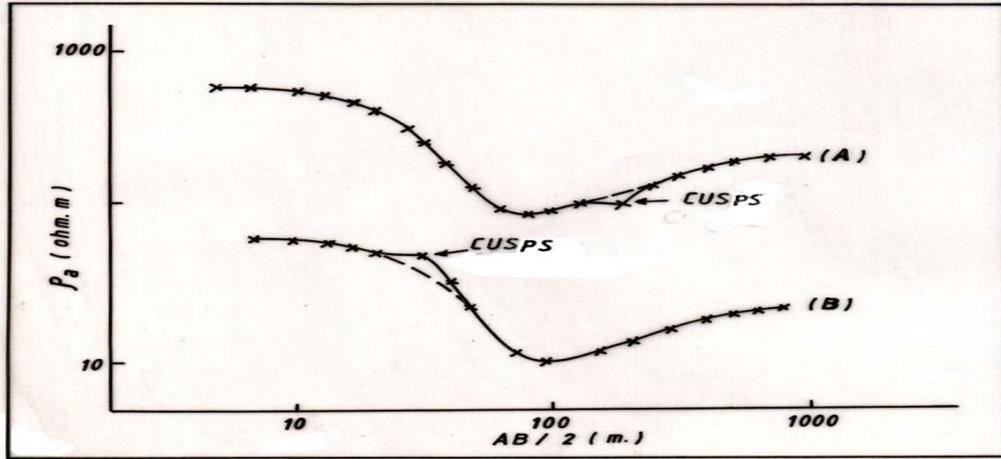
1- وجود العدسات (Lenses) من الرواسب أو الأسلاك والإنابيب المدفونة أو تسرب التيار (Current Leakage)، خطأ في المسافات بين الأقطاب، أو خطأ في الحسابات لقيم المقاومة النوعية الظاهرية. جميع هذه العوامل يمكن أن تسبب نتوءات (Cusps) في المنحنيات الحقلية لترتيب شلمبرجر، كما في الشكل (2-23).

2- وجود خطوط التماس (Contact Lines) العمودية وشبه العمودية، والأجسام النارية مثل (Dikes)، أو الفوالق (Faults) والتي تكون قريبة من سطح الأرض جميعها تؤثر في خطوط تدفق التيار الكهربائي بين قطبي التيار (A) و (B) عند زيادة المسافة بينهما. مما يؤدي إلى حدوث الإنقطاعات في المنحنيات الحقلية لترتيب شلمبرجر. كما في الشكل (2-24).

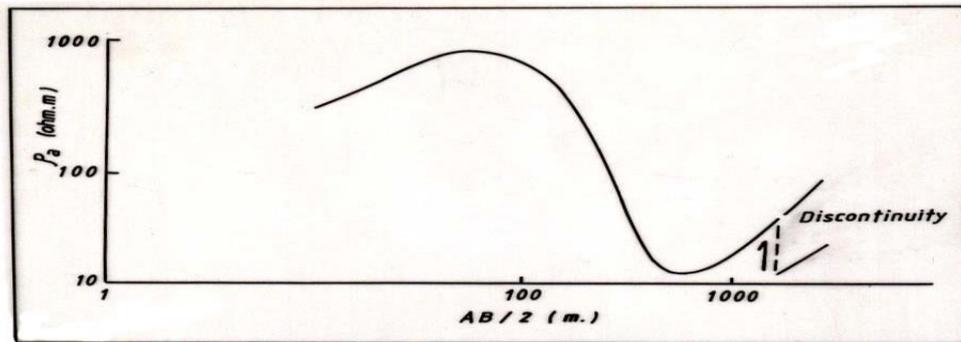
إن القيمة على المحور السيني للمسافة (AB/2) التي يظهر عندها الإنقطاع في المنحني الحقلي تمثل المسافة بين مركز ترتيب الأقطاب وموقع العامل المسبب لهذه الإنقطاع.

إن تصحيح النتوءات أو الفوالق الحادة يتم أثناء أو بعد ربط أفرع المنحني الحقلي، وذلك بإجراء عملية

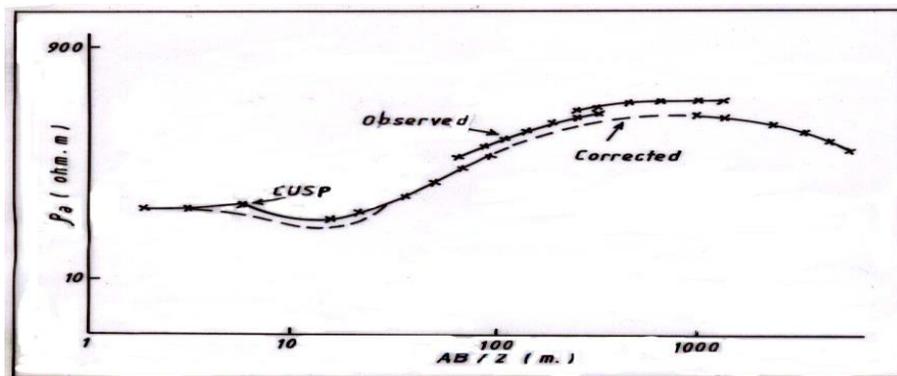
التنعيم (Smoothing) لهذه المنحنيات كما في الشكل (2-25). أما تصحيح الإنقطاعات في المنحنيات الحقلية فيتم بإزاحة الجزء المقطوع إلى الأعلى أو الأسفل بامتداد المحور الرأسي (Y-axis) لغرض ربطه مع المنحني الحقلية .



الشكل (2-23): تشوه المنحنيات الحقلية بتكون القفزات بسبب اختلاف الخواص الجانبية، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)



الشكل (2-24): منحني حقلية مشوه نتيجة وجود إنقطاع عن جسم ناري (Dike)، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)



الشكل (2-25): أفرع لمنحني حقلية مشوه، وكيفية ربط هذه الأفرع، محور عن زهدي (Zohdy, 1974)

### الفصل الثالث

#### الاجهزة المستخدمة والعمل الحقل

#### 1-3 تمهيد (preface)

ان المبادئ الرئيسية في المسوحات الزلزالية الانكسارية هو الاستخدام لأزمنة الوصول الاولية والتي يتم التقاطها من البيانات للمسح الزلزالي وكذلك رسم منحنيات المسافة \_ الزمن للنقطة الممسوحة حيث ينسب كل زمن من ازمة الوصول الاولية لسطح كاسر معين واجراء تقدير للأعماق والسرعات والامتدادات للطبقات الكاسرة، ويجرى تقدير لسرعة كل سطح كاسر من خلال من خلال ميل خط سرعة ذلك السطح في منحنى (الزمن - مسافة). ومن أكثر المصاعب المواجهة للمفسر هو عملية تحديد الامتداد للسطح الكاسر على منحنى (الزمن - مسافة) ولكن لربما قد يساعد ترتيب النشر العكسي المفسر الا انه لا يعد حلاً لهذه الصعوبة، ومن هنا تتبين الاهمية في المعرفة الجيولوجية لمنطقة المسح عند اجراء التفسير (الجريسي، 1992). يتم اختيار انسب طريقة في عملية التفسير للبيانات الزلزالية اعتماداً على طبيعة تحت السطح ونوع البيانات المستحصلة، (Dobrin, 1976) وكما أنها لها قابلية على تفسير التغييرات الأفقية والعمودية التي تسهم في الفهم لبعض الخصائص الهندسية للتربة فضلاً عن ان حفر الابار تكون مكلفة او من غير الممكن ان تحفر في بعض الاماكن (Ehlers, 2008) عن (الهيبي، 2014).

#### 2-3 الاجهزة المستخدمة The devices used

تم استخدام جهاز التسجيل الزلزالي الرقمي ABEM Terraloc Mk-6 Seismic System السويدي الصنع لتسجيل المسارات الزلزالية في منطقة الدراسة والعائد الى قسم علم الأرض التطبيقي، لوحة (1-3). اذ يمتاز هذا الجهاز بقدرته التحليلية العالية للتسجيلات الزلزالي عند الاعماق الضحلة حيث يتألف من وحدتين رئيسيتين هما وحدة الجمع للمعلومات الحقلية Filed information unit وكذلك وحدة الطابعة الحرارية Printer unit



لوحة (1-3) جهاز التسجيل الزلزالي الانكساري (ABEM Terraloc Mk-6)

### 1-2-3 ملحقات جهاز المسح TerraloMK.6

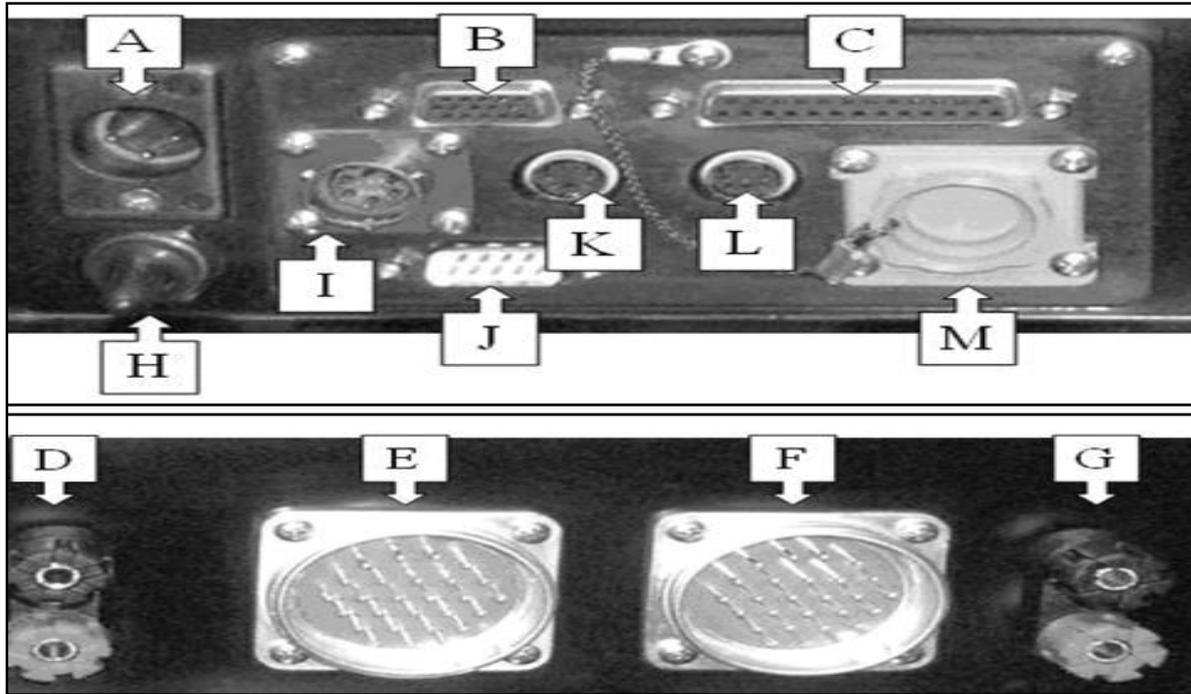
- قابل يستخدم لربط اللواقط الارضية ذو (24) منفذ.
- مصدر لتوليد الطاقة الكهربائية (بطاريه 12 فولت) مزود بشاحنة خاصة ولها وقابل لربط الجهاز بالمصدر.
- لاقطات ارضية (Geophone) يبلغ عددها (24) لاقط من نوع (24 sm – sesor) أحدها يستخدم كقادح قريباً من مصدر توليد الطاقة.
- (Trigger) ويدعى مفتاح القدح والعائد لشركة (Gesco) وظيفته توصيل الدائرة عند ملامسة المطرقة للقرص.
- ومن المواد التي من الضروري توافرها اثناء العمل الحقل،
- قرص مطاطي وذلك لتجميع الطاقة وعدم تشتيتها.
- مطرقة حديديه وزن (10) كغم.
- شريط للقياس للمسافات البعيدة.
- قرص مدمج (C-D).

### 2-2-3 المواصفات التقنية لجهاز المسح Terraloc MK.6

أذ يمتاز هذا النوع من الأجهزة بقدرة تحليلية عالية في التسجيلات الزلزالية للأعماق الضحلة ويتألف هذا الجهاز من وحدتين رئيسيتين منفصلتين هما وحدة جمع المعلومات الحقلية (Filed information unit) ووحدة الطابعة الحرارية (Printer unit)، فضلا عن الملحقات المتمثلة بلاقطات أرضية وأسلاك وبطارية وحاسبة إلكترونية ومطرقة يدوية وقرص بلاستيكي عالي الضغط وكاسيتات وكما يلي:

- وحدة جمع المعلومات الحقلية ومعالجتها
- الوحدة مزودة بشاشة نوع أنبوب الأشعة الكاثودي لعرض النتائج والبيانات والآثار الزلزالية ومزودة بلوحة مفاتيح، فضلا عن وجود وحدتي تسجيل المعلومات الزلزالية لمعلومات رقمية على أقراص صلبة (Hard discs) علاوة على لوحة لربط اللاقطات الأرضية والبطارية والمقداح (Trigger) والكمبيوتر والفيديو. تحتوي هذه الوحدة أيضا على 24 قناة و7 برامج داخلية لتسهيل العمل الحقلي مع 13 إشارة أو تنبيه للأعطال الداخلية. تتوزع البرامج الداخلية على أربع قوائم إرشادية (Menus) رئيسة من 1-4 وقائمتين إرشاديتين ثانويتين هما (0 و5) وكما يلي:
- القائمة الإرشادية الأولى (Menu-1): تثبت في هذه القائمة الملاحظات الحقلية مثل رقم التسجيل (Record number)، التاريخ، الموقع، نقطة التفجير (Shot point)، بداية ونهاية النشر (Layout)، رقم المسار، عدد مرات جمع الآثار (Traces Stacking)، زمن التسجيل (Record time) الذي يتراوح بين 24-5000 ملي ثانية، زمن تأخير فتح الجهاز، فضلا عن بعض المعلومات التي تثبت في قوائم إرشادية أخرى مثل الكسب (Gain) والترشيح (Filter).
- القائمة الإرشادية الثانية (Menu-2): تتضمن مقدار الكسب (Gain) لكل قناة وبالإمكان تثبيت نماذج معينة للكسب وخرنها واستدعائها، فضلا عن المرشح التماثلي (Analog filter) لتقليل سعة الموجة في حالة الكسب العالي.
- القائمة الإرشادية الثالثة (Menu-3): خاصة بعمليات المعالجة مثل تحديد طريقة عرض الأثر الزلزالي (Display mode)، حيث يمكن عرضه كمساحات متغيرة (Variable area) موجبة أو سالبة أو عرضه على شكل موجي (Wiggle trace) أو على شكل نقاط (Dotted trace)، كما يتم استخدام مرشحات القطع العالي والواطي (High and low-cut filters) لتقليل الضوضاء وتحسين الإشارة، كما ويمكن استخدام هذه القائمة كأعمال مكتبية بعد انتهاء العمل الحقلي، أيضا يمكننا عن طريق هذه القائمة الانتقال إلى القائمة الخامسة (Menu-5) وكذلك إجراء عملية الالتقاط لزمن الوصول الأولي (Picking first arrival) باستخدام خط الزمن.
- القائمة الإرشادية الرابعة (Menu-4):
- خاصة بتسجيل المعلومات الزلزالية على الأقراص المرنة بشكل رقمي أو استدعائها من الأقراص، فضلا عن تهيئة (Formatting) الأقراص المرنة قبل استخدامها وبالإمكان خزن 14 تسجيلات زلزالية على كل قرص مرن.
- القائمة الإرشادية الخامسة (Menu-5): تستخدم لاختيار نوع الطباعة والتحكم بمواصفات الطبع.

- القائمة صفر (Menu-0): تستخدم لعرض بعض الضوابط الخاصة بعمل الجهاز مثل مقدار فولتية البطارية التحليلية للجهاز التي تعتمد على مقدار زمن التسجيل (Record time)، فالزمن القليل يكون بقدرة تحليلية عالية، تكون عدد النمذجة مساوياً الى 163844 نموذجاً لكل إثر زلزالي، كما يمكن إجراء عملية نضد (Stack) لـ 999 ضربة لتحسين الإشارة وتقليل الضوضاء وكذلك إجراء الالتقاط الأوتوماتيكي (Auto picking).
- وحدة الطابعة الحرارية وهي وحدة مستقلة تستخدم لطبع المعلومات على ورق حراري ثابت بعرض 21 سم. إذ يتم طبع التسجيلات الزلزالية باستخدام المفتاح (Pri) في لوحة المفاتيح ويعني (Print)، وباستخدام المفتاح (Cop) يعني (Copy) يمكن طبع إية معلومات تظهر على الشاشة ضمن قوائم الجهاز. واللوحة (2-3) يوضح مناطق ربط اللاقطات والطابعة وبعض مواصفات الجهاز قيد الدراسة.



لوحة (2-3) يوضح مناطق ربط اللاقطات والطابعة وغيرها في جهاز الزلزالية الانكسارية (Terraloc Mark-6) عن: (ABEM, 2009 B)

### 3-2-3 اللاقطات الأرضية: - (Geophones)

استخدمنا في عمليات التسجيل الحقلي لواقط أرضية بتردد مقداره (10 H Z), حيث تعمل هذه اللاقطات بعملية تحويل للطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية (إشارة كهربائية) تنتقل باسلاك موصلة بالسيزموكراف حيث تسجل , واللاقطه هي الجزء من الجهاز المتصل بالأرض , تتشكل اللاقطه من ملف وعمود مغناطيسي موضوع

في صندوق مصنوع من البلاستيك او المعدن مدبب من احدى نهايتيه , الملف (coil) او العمود المغناطيسي المثبت على الصندوق والاخر ذو قصور ذاتي . نقوم بغرس الجزء المدبب في الارض وعند انتقال الموجة داخل الارض فان اللاقط الارضي سيستجيب للاضطراب الزلزالي الحاصل فتتهتز نتيجة لذلك بينما يبقى الجزء ذو القصور الذاتي ثابتاً ولذلك تتكون ازاحة نسبيه فيما بينهما ناتجاً عن ذلك قوة كهربائية دافعة فتولد اشارةً كهربائيةً منتقلةً بعد ذلك عبر الأسلاك لأجهزة الالتقاط ليتم تسجيلها بعد ذلك , تم استخدام اللاقطات القياسية المرتبطة بالجهاز حيثُ استخدمنا اللاقطات العمودية لقياس سرع الموجات الطولية (P- wave) واللاقطات الافقية تستخدم لقياس سرع الموجات القصية (S-wave) وكما مبين في لوحة ( 3-3 )



الارضية الافقية

لوحة (3-3) اللاقطات  
والعمودية

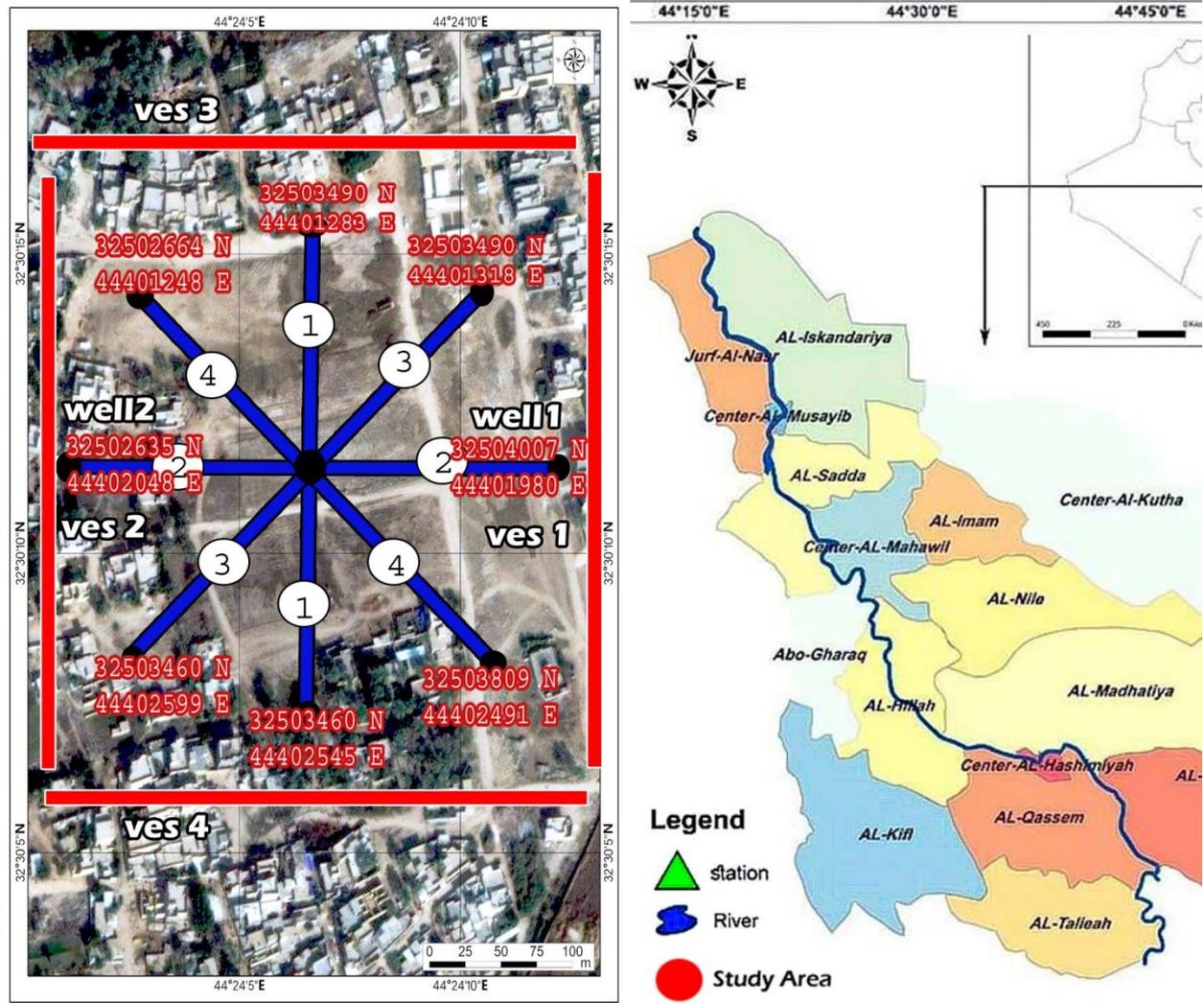
### 3-3 العمل الحقلّي: - The field work

سبق العمل الحقلّي القيام بسفرة استطلاعية لموقع الدراسة في 2020/10/15 بهدف تحديد احداثيات بداية ونهاية المسارات الخاصة بالمسوحات الكهربائية بواسطة استخدام GPS، بحيث تكون بعيدة قدر الامكان عن الأسلاك الكهربائية والخنادق المحفورة داخل المنطقة ، أذ تضمن العمل الحقلّي القيام بما يأتي :

بدأت عملية المسح الزلزالي الحقلّي بتاريخ 2020-10-18 لغاية 2020-10-23 تسجيل كلاً من الموجات الطولية p-wave والمستعرضة S-wave وهناك مجموعه من الخطوات التي تم اجراءها قبل المباشرة بالعمل الحقلّي وهي: -

- استحصال صورة فضائية لمنطقة الدراسة وذلك عبر برنامج (الكوكل ارث) لتحديد خطوط المسح الزلزالي.

- اعداد وتهيئة جهاز السيزموكراف والمعدات المرتبطة به كالشريط المستخدم للقياس والمطرقة المستخدمة والقرص المطاطي والبطارية.
- تم القيام بعدد من عمليات المسح التجريبي ولأكثر من مسار لأجل استحصال أفضل اشاره ممكنة الشكل (4-3) يمثل صورة فضائية لمنطقة الدراسة مسقط عليها المسارات الكهربائية ونقاط حفر الابار في منطقة الدراسة .



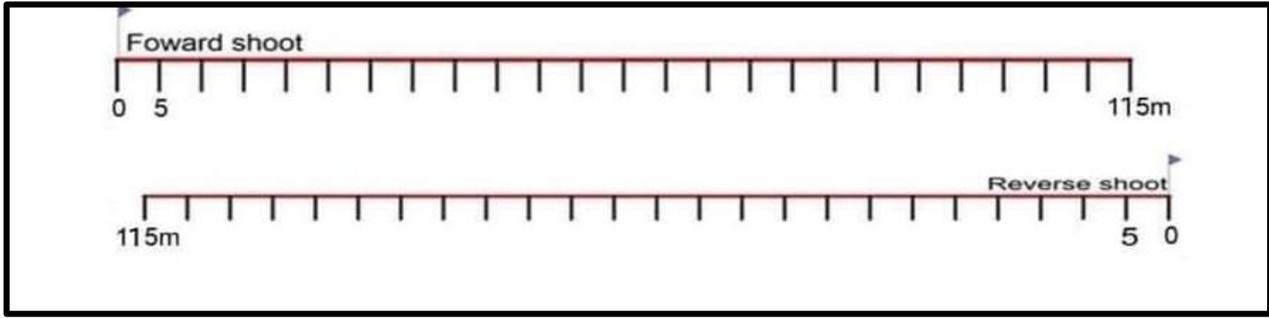
شكل (4-3) يمثل خارطة للحدود الادارية لمحافظة بابل وصورة فضائية لمنطقة الدراسة مسقط عليها المسارات الكهربائية والزلزالية ونقاط حفر الابار في منطقة الدراسة ( Al.Nafa'ay,2021)

تمت عملية النشر بتحديد نقطة البداية والنهاية لكل مسار ثم ينشر شريط القياس لتحديد المسافة مع قابل توصيل اللواقط الارضية التي تم غرسها في الارض وبمسافات محددة بين لاقط وآخر ويتم تحديد هذه المسافة بحسب طول النشر المراد وشكله ومن ثم تربط مع القابل

بعد ان تمت عملية النشر للقبال، ينصب جهاز السيزموكراف لتبدأ مرحلة القياس والتسجيل وبعدها يتم حفظ البيانات بصيغة (SEG-2) القياسية ومن ثم يتم غلق البرنامج وبصوره نظاميه وبعد اكتمال من العمل الحقلي يتم ربط جهاز السيزموكراف بالحاسوب لأجل نقل بيانات التسجيل الزلزالي. حيث تم تحديد اربعة مسارات زلزالية اول اثنين متعامدين أحدهما باتجاه (شمال – جنوب) والآخر باتجاه (شرق – غرب) في منطقة الدراسة والبالغة مساحتها (22) الف م<sup>2</sup> وبواقع (150-150) م تقريبا لاستحصا ل سرعة الموجات الانكسارية الزلزالية الانضغاطية (VP) والقصية (VS) حيث بلغت اطوال الخطوط الزلزالية كافة (115م) عندما تكون المسافة ما بين جيوفون وآخر (5م) تم التوليد للموجات الزلزالية الانكسارية بتسع ضربات لكل خط زلزالي ( Shoot point ) بتوجيه ضربة امامية (forword) وعكسيه (Reverse) و وسطية (middle) حيث تم توضيح هندسة النشر لكل مسار والصورة الفضائية في الشكل (3-4) اعلاه والموضح عليها جميع المسارات الزلزالية والكهربائية ونقاط حفر الابار



لوحة (3-5) صورة من عملية المسح في منطقة الدراسة



شكل (6-3) الجيوفونات في منطقة الدراسة يبين مخطط نشر

### 4-3 مصادر توليد الموجات الزلزالية وتقسّم الى شقين:

#### 1-4-3 مصادر توليد الموجات الزلزالية الطولية

يتم توليد الموجات الطولية بطريقة المطرقة (Hummer) وذلك بطرق قرص مطاطي (Shock plate) دائري الشكل عمودياً بهدف جمع الطاقة وعدم تشتيتها وذلك برفع المطرقة بارتفاع مترين وبوزن 10 كغم، وتعاد الضربة عدة مرات لحين الحصول على أفضل تسجيل، الغاية من هذا الارتفاع هو توليد طاقة كافية للموجات الزلزالية المنتشرة خلال الأوساط الصخرية قليلة التماسك في منطقة الدراسة.

#### 2-4-3 مصادر توليد الموجات الزلزالية المستعرضة

أما الموجات المستعرضة يتم توليد الموجات المستعرضة بطريقة المطرقة وذلك بطرق لوح مطاطي , يثبت بالأرض بعمق 30 سم ويترك عليه بمطرقة وزنها 10 كغم من ارتفاع 2 مترا باتجاه مواز للأرض وعمودي وعلى اتجاه النشر, اللوحة (7-3) ، حيث يتم توليد المركبة الأفقية على امتداد النشرة الزلزالية ، كما يشار الى طرق اللوح الخشبي باتجاهين متعاكسين وذلك للتأكد من تشخيص الموجة المستعرضة في المقطع الزلزالي الناتج ، وكل اتجاه سيولد موجة لها زمن الوصول نفسه لكن باستقطاب متعاكس (اختلاف بالطور 180 درجة) .



لوحة (7-3) يمثل اتجاه طرق اللوح المطاطي لغرض الحصول على الموجات القصية

### 5-3 تقنية الجس الكهربائي العمودي (Vertical Electrical Sounding)

#### 1-5-3 الاجهزة المستخدمة

تم استخدام جهاز قياس المقاومة النوعية الكهربائية (ABEM Terrameter LS 2 / IP) في عملية الجس الكهربائي العمودي , العائد الى شركة المعول لتحريات التربة (فرع بابل) اذ يوفر نظام المقاومة ABEM Terrameter LS 2 / IP نظامًا حديثًا للحصول على البيانات قادرًا على قياسات الإمكانيات الذاتية (SP) والمقاومة والاستقطاب المستحث (IP). يتميز بما يصل إلى 12 قناة قياس مدمجة لتحسين الكفاءة والإنتاجية، وجهاز إرسال تيار عالي الطاقة، وكمبيوتر سهل الاستخدام وواجهة مستخدم رسومية. يتوافق النظام أيضًا مع مجموعة واسعة من الكابلات البرية والبحرية والبر، وهو قادر على الاستفادة من أكثر من 16000 قطب كهربائي، مما يجعله نظامًا متعدد الاستخدامات مع مجموعة متنوعة من التطبيقات بما في ذلك الاستكشاف البيئي والجيوتقني والمعدني و بفضل العديد من الميزات البديهية الأخرى، تم تحسين Terrameter LS 2 لزيادة الإنتاجية، مما يقلل من الوقت الميداني في عمليات.

- الاستقصاء الجيوتقني المسبق
- التنقيب عن المياه الجوفية
- التنقيب عن المعادن
- رسم الخرائط ورصد التلوث
- التنقيب عن الطاقة الحرارية الأرضية.
- رسم خرائط تحت القاع للبيئات البحرية
- مراقبة التربة الصقيعية
- علم الآثار
- فحص السدود والجسور ومراقبتها



لوحة (8-3) جهاز قياس جهاز قياس المقاومة النوعية الكهربائية (ABEM Terrameter LS 2 / IP)

### 2-5-3 ملحقات جهاز (ABEM Terrameter LS 2 / IP)

- بطارية 12 فولت
- شاحن بطاريات سي سي سي 100-230 فولت
- كابل يو اس بي لتحديث الارسال
- برنامج على ذاكرة USB
- كيبيل (DC) بطارية خارجية
- كابل الشبكة المحلية (RJ45) بطول 5 أمتار
- يحفظ الجهاز داخل صندوق من الألمنيوم القوي والمتين بتصنيف IEC IP66 ويسمح باستخدامه في أقصى الظروف.



لوحة (9-3) يوضح مكونات وملحقات جهاز قياس المقاومة النوعية الكهربائية (ABEM Terrameter LS 2 / IP)

### 1-5-3 المميزات والموصفات التقنية لجهاز ABEM Terrameter LS 2

- الشريك المثالي للمسوحات الجيوتقنية أو المياه الجوفية أو المعدنية أو البيئية وأعمال البحث عن الآثار
- يعد مسح المقاومة / IP طريقة جيوفيزيائية متعددة الاستخدامات مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات والبيئات مثل التنقيب عن المياه الجوفية ، واستكشاف المعادن ، ورسم الخرائط الجيولوجية ، والتحقيقات الجيوتقنية.
- يمكن أن يختلف تصميم النظام حسب التطبيق. يتوافر ABEM Terrameter LS 2 في العديد من التكوينات المختلفة لتلائم تمامًا المتطلبات المختلفة .
- تستفيد الأداة من نظام ترخيص الأجهزة المبتكر، مما يجعلها قابلة للتطوير وسهلة الترقية. تأتي كل أداة مثبتة مسبقًا مع جميع وحدات الأجهزة وميزات البرامج، ولكن اعتمادًا على حزمة المنتج، لا يلزم تنشيط جميع الأجهزة ، وتتراوح حزم المنتجات من الأساسي إلى المتقدم ، وتتم الترقية عن طريق تنزيل رمز ترخيص من الإنترنت أو عبر USB.
- الأداة عبارة عن حل مستقل يتميز بقنوات قياس مدمجة ، وجهاز إرسال تيار عالي الطاقة ، ومحدد إلكتروني ، وجهاز كمبيوتر ، وواجهة مستخدم رسومية. تتراوح تقنيات المسح من D1 إلى D4.
- يحفظ الجهاز بغلاف من الألمنيوم القوي والمتين بتصنيف IEC IP66 ويسمح باستخدامه في أقسى الظروف.
- تتميز قنوات القياس بتصميم مرشح محسن لتحسين أداء IP, باستخدام دورة العمل بنسبة 100٪، سيكون جمع البيانات أسرع بمرتين تقريبًا وستكون له ضعف نسبة الإشارة إلى الضوضاء مقارنة بطريقة IP التقليدية (دورة العمل بنسبة 50٪) باستخدام الإعدادات نفسها. من خلال استخدام حزم المعالجة مثل Aarhus Workbench من Aarhus GeoSoftware، من الممكن استخراج المعلومات الطيفية من بيانات IP للمجال الزمني ما يصل إلى 12 قناة قياس تصميم فريد لقنوات القياس وجهاز إرسال تيار عالي الطاقة ، قياسات IP مع دورة عمل 100٪ قياسات D1 و D2 و D3 و D4 • تصنيف IEC IP 66 • اتصال Wi-Fi والهاتف المحمول • قابل للتوسع من خلال نظام ترخيص الأجهزة
- سعة تخزين بيانات قابلة للإزالة والتوسيع بسعة 16 جيجابايت مزود بشاحن مدمج للبطارية الداخلية الميزات يمكن أن يسمح الاتصال عن بُعد لفريق دعم ABEM بالمساعدة في ترقية البرامج أو تقديم الدعم أو استكشاف الأخطاء وإصلاحها إذا لزم الأمر. تضمن هذه الميزة الفريدة أن يكون النظام محدثًا دائمًا، ويعمل بشكل صحيح، مع تقليل مخاطر التوقف عن العمل إلى أدنى حد ممكن.

- يتيح الاتصال عن بُعد المساعدة في الموقع وهو قابل للتطوير وسهل الترقية و مُحسَّن للإنتاجية ويقلل من الوقت الميداني مع جودة فائقة من البيانات حتى في أقسى الظروف مزود بـ GPS مع GLONASS لتحسين الدقة المزايًا يوفر ABEM Terrameter LS 2 ما يصل إلى 12 قناة قياس لزيادة الكفاءة والإنتاجية في هذا المجال.
- يسمح محدد الإلكترود المدمج بتوصيل ما يصل إلى 81 قطبًا كهربيًا، مما يوفر دقة عالية وقدرات عميقة رائعة. باستخدام محددات الأقطاب الكهربائية الخارجية، يمكن توصيل أكثر من 16000 قطب كهربائي.
- يوفر الكمبيوتر الميداني المدمج في ABEM Terrameter LS 2 قوة حسابية وواجهة مستخدم رسومية سهلة الاستخدام واتصال مثل USB و Ethernet و Wi-Fi والاتصال المحمول. يدعم نظام GPS الداخلي GLONASS، مما يحسن دقة تحديد المواقع. يتم تخزين البيانات على بطاقة ذاكرة microSD قابلة للإزالة بسعة 16 جيجابايت، بسعة ملايين قراءات البيانات. تراث يواصل ABEM Terrameter LS 2 تقليد ABEM المتمثل في إضافة ميزات متقدمة ومفيدة إلى مقاييس المقاومة. يوفر Terrameter LS 2 سرعة قياس وجودة بيانات متزايدة عن طريق إضافة ميزة IP باستخدام دورة عمل بنسبة 100٪ في التكوينات المتقدمة. تسهل واجهة المستخدم الرسومية الاستخدام ويتم تبسيط تجربة المستخدم بالكامل لتحقيق الإنتاجية. أثناء القياس، يعطي النظام معلومات مستمرة عن جودة البيانات، ويظهر النتائج مباشرة على الشاشة. تضمن المصفوفات متعددة القنوات، مثل التدرجات المتعددة، إمكانية إكمال مهام القياس بسرعة. لا يتوقف الالتزام بجودة البيانات والإنتاجية مع الأداة.

### 3-6 العمل الحقل (The fieldwork)

تم خلال هذه المرحلة من العمل الحقل القيام بأجراء المسوحات الجيوفيزيائية الكهربائية بعد اكمال المسوحات الانكسارية باستخدام جهاز ABEM Terrameter LS 2 العائد الى شركة المعول، أذ تم إجراء المسوحات الكهربائية باستخدام تقنية VES حسب ترتيب شلمبرجر في محطة الدراسة. اجريت عملية النشر وبواقع 4 نقاط جس كهربائي موزعة بالتساوي على مسارين متعامدين اثنيين بشكل افقي وواثنين بشكل عامودي بحيث تمثل نقطة تقاطع المسارين نقطة جس مشتركة بين النقطتين (1, 3 VES) قريبة جدا من البئر رقم-1 في محطة الدراسة ونقطة تقاطع المسارين (4, 2- VES) القريبة من البئر-2. بلغ طول كل مسار من المسارات المنجزة 120مترا، وتعدر علينا زيادة طول المسار بسبب وجود العوائق التي تمنع نشر المسارات بشكل اوسع، كما بلغ عدد القياسات في كل نقطة جس 24 قراءة، أذ بلغ الحد الأعلى للمسافة الفاصلة بين قطبي

الجهد 10 متر والمسافة بين قطبي التيار 60 مترا، الجدول (2-3) يوضح الطريقة المتبعة عملية النشر وتم بلوغ اقصى مسافة لطول  $AB/2$  هي 60 بسبب العوائق التي ذكرت وصغر مساحة منطقة الدراسة .  
ومن اجل الحصول على قراءات حقلية جيدة لا بد ان تكون طبيعة عملية القياس دقيقة وجيدة ويتحقق هذا باتباع الخطوات الاتية: -

- لا بد من عمل اختبار يومي للبطارية للتأكد من كونها مشحونة قبل البدء بأجراء اية عملية قياس، ونحصل على القياس عن طريق تحويل دائرة انتقاء المدى الى وضع (BATT) , ويحول المفتاح الى وضع (ON) ويضغط على زر القياس.
- لا بد من معايرة الجهاز (Calibration) يوميا وقبل البدء بعملية القياس؛ وذلك باستخدام وحدة المعايرة (ABEM Tray/Calibration box).
- الاحكام الجيد في ربط اسلاك الجهد وأسلاك التيار بين النهايات (Terminals) للجهاز والاوئاد الفولاذية (Steel electrodes)، والتأكد من عدم وجود قطع في الاسلاك مما يسبب تسرب التيار، كذلك يجب تثبيت الاوتاد الفولاذية بشكل جيد في الارض، ومن الافضل ان تكون الاوتاد مصنوعة من مادة واحدة خلال مدة المسح لتكون تأثيراتها ثابتة في النقاط جميعاً. (Atlas Copco ABEM Instruction manual)
- عدم تعريض الجهاز للمطر لمدة زمنية طويلة او تعريضه للحرارة العالية مثل اشعة الشمس المباشرة وايضا تجنب القياس في اثناء العواصف الرعدية. تتضمن عملية القياس القيام بتثبيت الاوتاد الفولاذية وعددها اربعة عند نقطة الجس الكهربائي اثنان منها لأرسال التيار، والاخرى لاستلام فرق الجهد حيث يوضع الجهاز (SAS400) في منتصف المسافة بين اقطاب الجهد (M)، و (N) التي توضع داخل الترتيب وبعدها يتم توزيع الاسلاك وبكرات الاسلاك وكما في الشكل (1-3-B). وبين اقطاب (A,B) التي تربط مع النهايات (C1,C2) في الجهاز واقطاب الجهد تربط مع النهايات (P1,P2) ومن المستحسن ان تكون المسافة بين اسلاك التيار والجهد أكبر من (5m) لكي لا يحدث تداخل بينهم لتجنب عملية الحث (Inductive) في لفات الاسلاك خصوصا عندما تكون المسافة بين اقطاب التيار (A,B) كبيرة؛ لذلك يوضع سلك التيار بعيدا عن خط المسح ويجب ان تكون الاسلاك غير ممتدة بشكل متوازٍ لمسافات طويلة.

### 1-6-3 كيفية أخذ القياسات:

- لغرض أخذ القياسات لا بد أولاً من ربط قطبي التيار (A) و (B) مع الصندوق (G)، أما قطبي الجهد (M) و (N) فتربط مع الصندوق (V). وعند القياس يربط الصندوق (G) مع الصندوق (V) ويتم أخذ القياسات كما يلي:
- تنظم حساسية المضخم لإعطاء قراءة تبلغ حوالي ثلاثة أرباع مدى الانحراف على المقياس، وهذا الانحراف يمثل فرق الجهد ( $V_x$ ) في هذه الحالة يجب أن يكون المفتاح (XR-Switch) على الموقع (X).
- يحول المفتاح (XR-Switch) إلى الموقع (R) وبعد ذلك ينظم مقياس الجهد (Potentiometer) لكي يظهر على الأميتر انحراف لفرق الجهد ( $V_r$ ) يساوي فرق الجهد ( $V_x$ ).
- وبعد أن يتساوى فرق الجهد ( $V_r$ ) مع فرق الجهد ( $V_x$ )، واستعمال نفس التيار (I) للمقاومة المعروفة (R) والمقاومة الغير معرفة (X)، فإن قيمة المقاومة (X) يجب أن تساوي قيمة المقاومة (R)، وقيمة المقاومة (X) تمثل المقاومة النوعية بالأوم على تدريجات مقياس الجهد. إن القيمة (X) تمثل المقاومة النوعية الظاهرية مقاسة بالأوم بين قطبي الجهد، وتضرب بالعامل الهندسي (K) الذي يعتمد على ترتيب الأقطاب للحصول على المقاومة النوعية الظاهرية ( $\rho_a$ ).

- وتتم عملية اخذ القراءات كما يأتي: -
- يوضع مفتاح التيار على وضع (0.5 ملي أمبير) ويتم زيادة مدى التيار مع زيادة مسافة نشر الاقطاب (A,B) بما يتناسب مع عمق التغلغل.
- عادة ما يتم اخذ معدل القراءات الى (4) للحصول على قراءة أفضل.
- (push)، ثم يضغط على زر القياس (ON) الى وضع التشغيل ((OFF) يحول مفتاح القوة من وضع الاطفاء ، وتؤخذ القراءات من الشاشة مباشرة التي تمثل قيمة المقاومة

### 2-6-3 جدول القياس (Measurement table)

بعد اختيار الأسلوب وترتيب الأقطاب المناسبين لأخذ القياسات لا بد من التفكير في جدول القياسات الملائم لمنطقة الدراسة، و جدول القياسات يتضمن زيادة المسافات بين خطي التيار (AB) وخطي الجهد (MN) مع بقاء المسافة (MN) ثابتة لعدد من المسافات (AB). ويؤخذ بنظر الاعتبار تكرار القياسات للمقاومة النوعية الظاهرية لنفس المسافات (AB) مع تغير المسافة (MN) للاستفادة منها في معرفة تأثير التغيرات الجانبية للمقاومة النوعية على الأقطاب وكما ورد في الفقرة (2-3). وعند وضع جدول القياسات للمقاومة النوعية الظاهرية يجب أن تكون النسبة  $(MN/AB \leq 1/5)$ ، لأن ضمن هذه النسبة يمكن استعمال أي معادلة لحساب العامل الهندسي (K) إضافة إلى أن عملية ربط أفرع المنحني الحقلي تكون أسهل لأن الإزاحة في هذه الأفرع يكون سببها تأثير عدم التجانس فقط، كما تم ذكره في الفقرة (2-5).

لذا تم تجنب القراءات التي تكون فيها النسب  $(MN/AB \geq 1/5)$  قدر المستطاع، أي عندما تكون النسبة  $(1/3)$  و  $(1/4)$ ، إلا في بعض الحالات وخاصة في بداية أخذ القياسات بسبب نقص حساسية الجهاز، وذلك لأنه عند النسبة  $(1/3)$  تكون دالة العمق  $(AB/2)$  لقياس المقاومة النوعية الظاهرية  $(\rho_a)$  مساوية إلى الدالة (a) لترتيب فنر. في هذه الحالة دالة العمق مساوية إلى  $(1/3 AB)$  وهذا لا يجوز مما يؤدي إلى خطأ في رسم المنحنيات الحقلية لترتيب شلمبرجر. ولكن في بعض نقاط الجس الكهربائي العمودي اضطررنا إلى إجراء تغييرات في الجدول بسبب ظروف المنطقة لتجنب حالات عدم التجانس والبيوت والشوارع مع الأخذ بنظر الاعتبار الإبقاء على النسبة  $(MN/AB \geq 1/5)$  قدر الإمكان. لأن هذه النسبة تقلل الإزاحة النظرية بين أجزاء المنحني الحقلي. أما نسبة الزيادة للمسافة  $(MN/2)$  فقد كانت بحدود الضعفين أو حتى ثلاثة أضعاف لكي يكون التأثير النظري ثابت لجميع أجزاء المنحني الحقلي كما ورد في العاني (Al-Ane, 1998)، إلا في بعض الحالات التي لم تكن فيها قراءة الجهاز دقيقة، لذا كانت الزيادة أكبر. وتم أخذ ذلك بنظر الاعتبار عند ربط أفرع المنحني الحقلي لنقاط الجس الكهربائي العمودي. لذلك لا بد من الإشارة هنا إلى أن دقة الجهاز المستعمل تعتبر أهم العوامل في اختيار الترتيب المناسب للمنطقة المدروسة، ووفقاً لما ورد أعلاه تم وضع الجدول (3-1)، والذي تم بموجبه أخذ القياسات الحقلية للمقاومة النوعية الظاهرية لنقاط الجس الكهربائي العمودي في الحقل.

جدول (2-3) المسافات بين الأقطاب لكل قياس من قياسات المقاومة النوعية  $(\rho_a)$  لأخذ القياسات الحقلية للجس الكهربائي العمودي (AL-Zubeidi,2009) ومعدل عن (AL-Ane,1998)

NO.	AB/2	MN/2	MN/AB	$\rho_a \Omega.m$
1	1.5	0.25	1/6	
2	2	0.25	1/8	
3	3	0.25	1/12	
4	3	0.5	1/6	
5	4	0.5	1/8	
6	5	0.5	1/10	
7	6	0.5	1/12	
8	5	1	1/5	
9	6	1	1/6	
10	8	1	1/8	
11	10	1	1/10	
12	8	2	1/4	
13	10	2	1/5	
14	15	2	1/7.5	
15	20	2	1/10	
16	25	2	1/12.5	
17	20	5	1/4	
18	25	5	1/5	
19	30	5	1/6	
20	40	5	1/8	
21	50	5	1/10	
22	40	10	1/4	
23	50	10	1/5	
24	60	10	1/6	
25	80	10	1/8	
26	100	10	1/10	
27	100	20	1/5	
28	120	20	1/6	
29	140	20	1/7	
30	160	20	1/8	
31	200	20	1/10	
32	200	40	1/5	
33	250	40	1/6.25	

## 3-6-3 مشاكل العمل الحقلي

تمثل العمل الحقلي اجراء قياسات ميدانية للمقاومة النوعية الكهربائية بطريقة الجس الكهربائي العمودي

(vertical electrical sounding VES) – ترتيب شلمبرجر – في نقاط تم تثبيتها على الخارطة في منطقة

- الحلة بدأ العمل الحقلي في موسم الصيف 1/11/2020 اما بخصوص مشاكل العمل الحقلي فهناك بعض الصعوبات التي ظهرت بالإضافة الى ارتفاع درجة الحرارة خلال العمل التي تم تجنبها بقدر الامكان وهي :
- عدم الاتصال الجيد للأقطاب مع الأرض بسبب صلابة الأرض وجفافها لذلك تم رش الماء المالح (أو الماء العادي) عند مناطق تثبيت الأقطاب في الأرض لغرض زيادة التوصيل مع الأرض.
  - حركة السيارات القريبة من المنطقة ادت الى توليد جهد ذاتي وتيارات كهربائية طبيعية اثرت في قيم المقاومة النوعية لطبقات الارض التي تؤدي الى تذبذب القراءات الكهربائية.
  - في الكثير من نقاط الجس لم نتمكن من نشر قطبي التيار إلى مسافة (AB/2) أطول من (60) متر بسبب قلة المساحة المتوفرة، لوجود المنشآت الهندسية والمباني
  - وجود بعض الاجسام المعدنية السطحية والمدفونة والمتمثلة بالأسيجة والاكوام الحديدية، وانايب المياه في اجزاء مختلفة من المنطقة التي اثرت في قيم المقاومة النوعية
  - إن حساسية الجهاز لم تكن بالمستوى المطلوب وخاصة عند إجراء الترتيب اللاخطي للمسافات التي تزيد على (100) متر، إذ توجد صعوبة عند أخذ القياسات، وفي مرات كثيرة لم نتمكن من أخذ القياسات.
  - وجود المياه السطحية بفعل عمليات السقي في بعض المناطق التي اثرت في قيم المقاومة النوعية حيث نلاحظ ان الطبقات السطحية للمنطقة هي ذات توصيل عالٍ جداً؛ وذلك يؤدي الى توليد فولتية ثانوية بين اقطاب الجهد نتيجة للتيارات الثانوية بامتداد خطوط الاسلاك، هذه الفولتية تسبب شواذا زائفة تشوه الشواذ الحقيقية؛ لذلك يوضع سلك التيار بعيدا عن خط المسح (Telford ,1976). وتم التخلص من هذه الظاهرة عن طريق عملية التهذيب للمنحنيات (smoothing).

### 3-7 حفر الابار

تم حفر بئري مراقبة في موقع الدراسة البئر الاول عند الاحداثي  $32^{\circ}50'40.07N$  و  $44^{\circ}40'19.48E$  والبئر الثاني عند الاحداثي  $32^{\circ}50'26.32N$  و  $44^{\circ}40'20.49E$  كما موضح مواقع الابار بالشكل ولعمق 7 امتار لكل بئر بواسطة البريمة تم حفر الابار لتسهيل عملية وصف الترسبات في منطقة الدراسة بدقة عالية وللتحقق مدى دقة الطرق الجيوفيزيائية في تحديد نوع وسمك الترسبات تحت سطحية ومناسيب المياه الجوفية كما في الشكل (3-10) يوضح طريقة حفر الابار في منطقة الدراسة بواسطة البريمة



الشكل (3-10) يوضح طريقة حفر الابار في منطقة الدراسة بواسطة البريمة

## الفصل الرابع

### معالجة وتفسير المعطيات الجيوفيزيائية

## Processing and interpretation of geophysical data

### 1-4 تمهيد :- Preface

استخدمت الطرائق الجيوفيزيائية بصورة واسعة في السنوات الأخيرة في أعمال التحريات الهندسية المتعلقة بتحريات الاسس والترب (Soil investigation and foundation) . وتعد كل من طريقة الزلزالية الانكسارية والمقاومة النوعية الكهربائية مهمة في مجال تحريات الهندسة المدنية ، أذ تستخدم في تحديد سماكة الطبقات الصخرية واعماقها فضلا عن التحريات التفصيلية لمواقع السدود والأنفاق والمشاريع العملاقة ، كما تكمن أهمية هاتين الطريقتين في أن لها القابلية على تفسير التغيرات بالاتجاهات العامودية و الأفقية التي تساعد في فهم وتفسير بعض الخواص الهندسية للتربة .

### 2-4 معالجة البيانات الزلزالية Processing of Seismic Data

الهدف من عملية المعالجة معدل اشارة عالية مع نسبة منخفضة من الضوضاء للتمكن من تفسير البيانات تفسيراً دقيقاً . مع وجود عوامل متعددة تسبب الضوضاء في موقع الدراسة منها الحركة الناتجة عن مرور الاشخاص والسيارات والمواشي في موقع الدراسة كذلك تأثير قوة الرياح والاعشاب والنباتات والضوضاء الناتجة من تشغيل المولدات الاهلية قرب موقع الدراسة لذلك وبسبب ما ذكر ان بعض التسجيلات الزلزالية كانت تمتلك نسبة ضوضاء عالية جدا ولقد تمت معالجة هذه المشاكل باستخدام برنامج Pickwin احد حزمة برنامج SeisImager/2D وذلك لنحصل على نسبة اشارة الى ضوضاء اعلى باستخدام مرشحات القطع المتوفرة .

### 3-4 تفسير البيانات الزلزالية Interpretation of Seismic Data

ان اغلب الطرق المتبعة في تفسير البيانات الزلزالية تفترض ان الطبقات تكون ذات سرع ثابتة وأن السرعة الزلزالية للطبقات تزداد بزيادة العمق ( Mota, 1954). وتفترض طرق التفسير ان السطح الكاسر يكون مستويا وبعضها تفترض ان يكون السطح غير مستوي (195) (irregular) (palmer,1981) . (Hagedoorn, .) في العقدين المنصرمين برزت طرق حديثة تعتمد بصورة اساسية على مبدأ العكس Inversion وهي تعمل على تحليل السرعة

الزلزالية الى شبكة من نوع (Grid) من الخلايا وتمتلك هذه الخلايا سرع محددة Lanz et (al.,1998;Gamal and Hanafy,2004)

تتضمن عملية تفسير البيانات الزلزالية حساب السرع المختلفة والاعماق للطبقات بالإضافة لحساب المعاملات الهندسية لها وفي الطرق الجيوفيزيائية المتعددة يجب الاستعانة بسجل المعلومات المتوفرة كالمكاشف الصخرية out croup وكذلك المعلومات المتوفرة عن الابار القريبة من منطقة الدراسة كذلك المعلومات ونتائج الدراسات الجيوفيزيائية من طرق اخرى لمنطقة الدراسة او المناطق المجاورة, ومن خلال ربط كل المعطيات المتاحة التي ذكرت يمكن ربط هذه المعلومات للحصول على معلومات دقيقة وتقدم فكرة واقعية عن سمك ونوعية الطبقات قبل البدء بالعمل الجيوفيزيائي من خلال ربط سجل المعلومات القديمة مع المعلومات والنتائج التي تم الحصول عليها خلال عملية الدراسة سنحصل على نتائج دقيقة ومتكاملة وان دقة تفسير هذه النتائج تعتمد على:-

#### • المفسر Interpreter

يجب ان يتمتع المفسر بخلفية علمية تأهله من ربط القيم والمعلومات الزلزالية مع المعلومات المختلفة الاخرى التي يتم جمعها من مختلف المصادر لتكون عملية المسح ادق وأشمل .

#### • المعلومات الجيوفيزيائية والجيولوجية Geophysical and Geological Data

تشمل المعلومات التي نحصل عليها من الدراسات السابقة للمنطقة والتي تتعلق بالوضع التكتوني وجيولوجية المنطقة

#### • معلومات اخرى Other Data

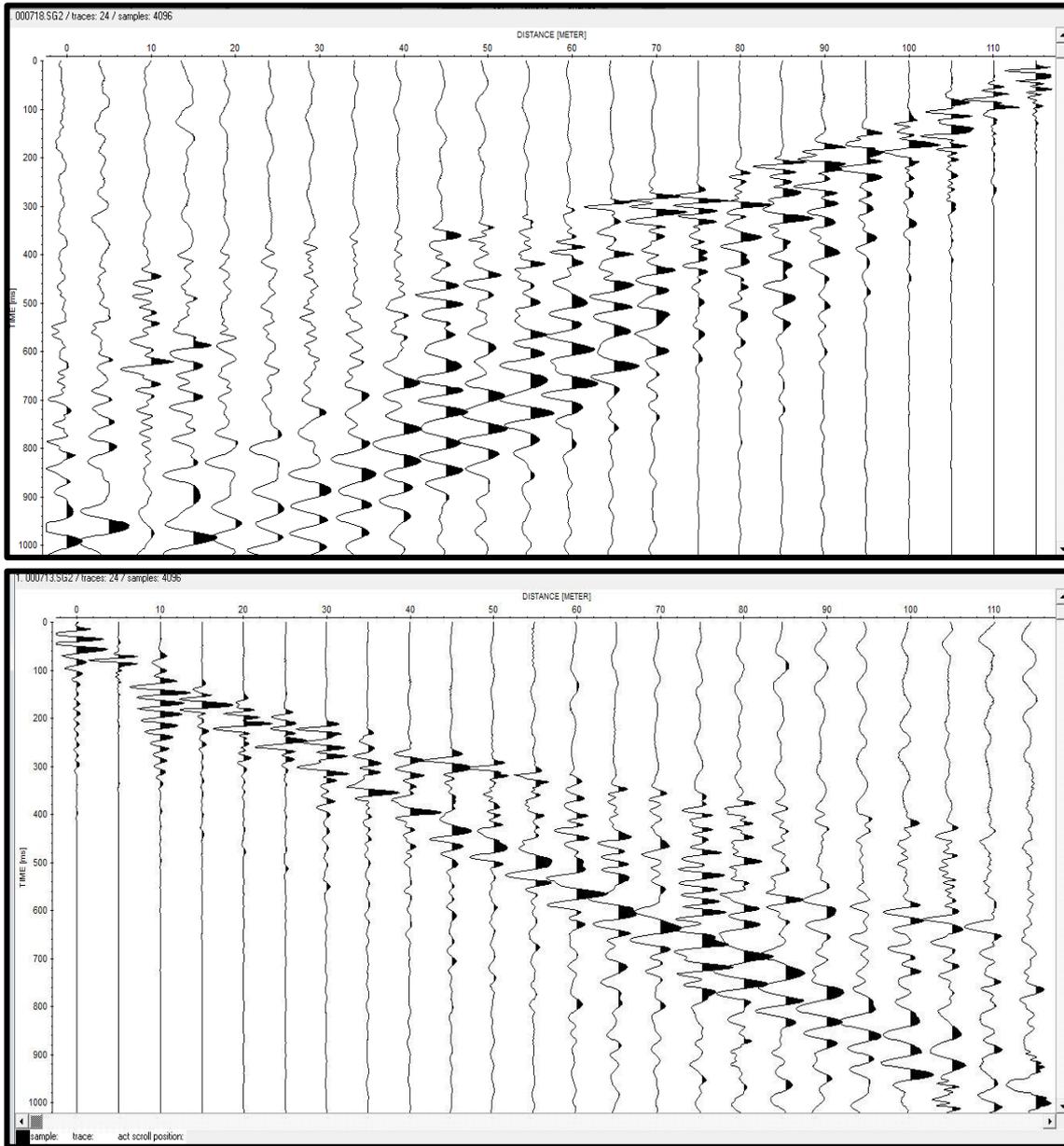
وتشمل المشاهدات الحقلية الاولية , معززة بعض المعلومات الليثولوجية عن طبيعة المنطقة بعد الاطلاع على بعض الدراسات القريبة من موقع الدراسة

### 4-4التقاط ازمة الوصول الاولي First Break Picking

تكمن أولى مراحل عملية التفسير عبر التقاط أزمة الوصول الأولي للموجات الزلزالية لكل اثر (Sharma,1997; Dobrin and Savit,1988; Haeni,1986 ; Parasnis,1967). وعندما تكون طاقة كافة مع تواجد نسبة محدودة من الضوضاء فأول تغير مفاجئ سيكون من السهولة تحديد الاثر الزلزالي, لقد اجريت عملية التقاط ازمة الوصول الاولي للبيات الزلزالية من خلال البرنامج Pickwin وحسب تسلسل الخطوات وان اول خطوة في عمل البرنامج هي

هي تسجيل ازمدة الوصول الاولي بشكل تلقائي ثم اجراء التعديلات عليها يدويا . بعد ذلك تجري عملية حفظ للازمدة المسجلة على شكل ملف بصيغة ( vs ) يتم التعامل معها من خلال برنامج التفسير هو برنامج الـ Plotrefa (Refraction Analysis) هذا البرنامج يقوم برسم المنحنيات

Time - distance curve تعبر عن علاقة بين ازمدة الوصول الاولي للموجات عند كل لاقطة ويطلق على هذه العلاقة

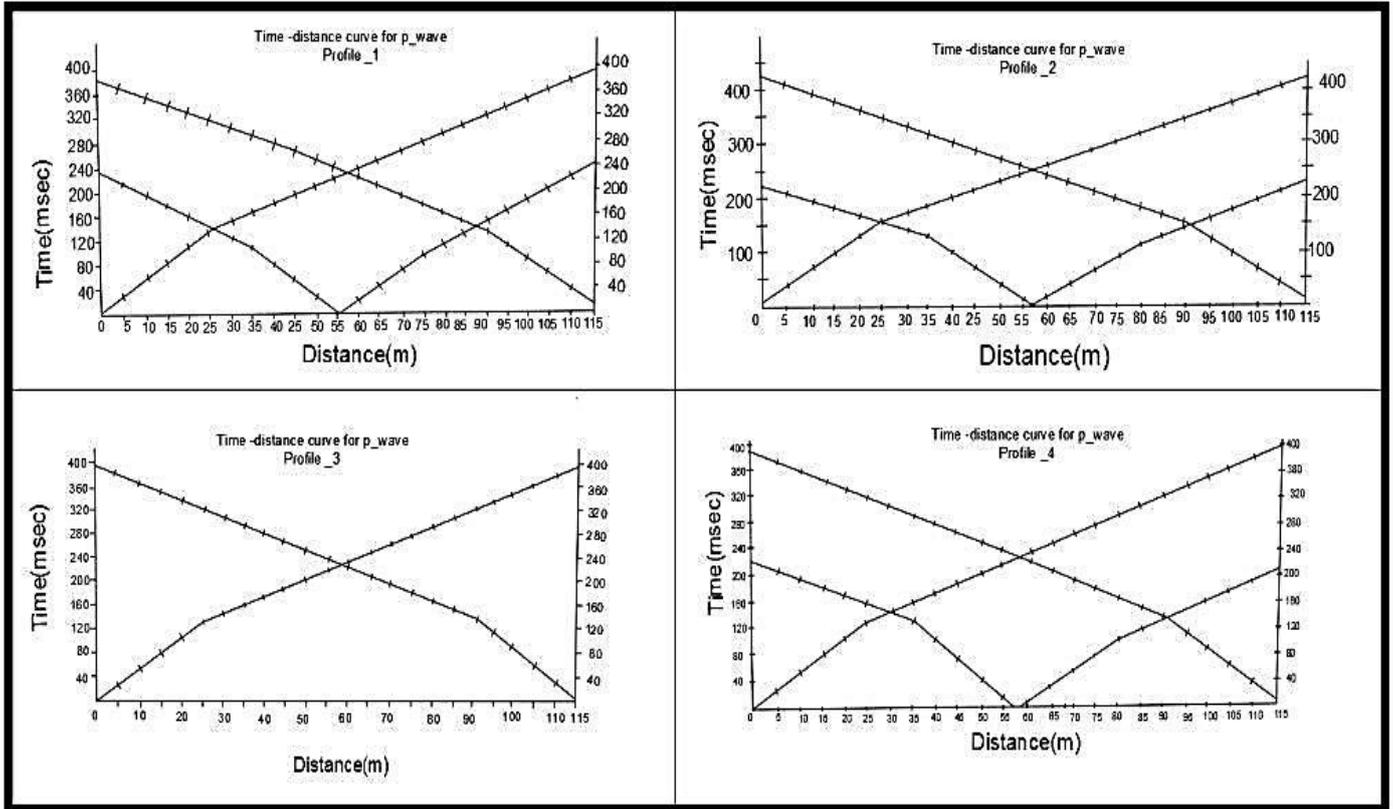


الشكل (1-4) نموذجين من البيانات الزلزالية الاولية (Raw data) في منطقة الدراسة

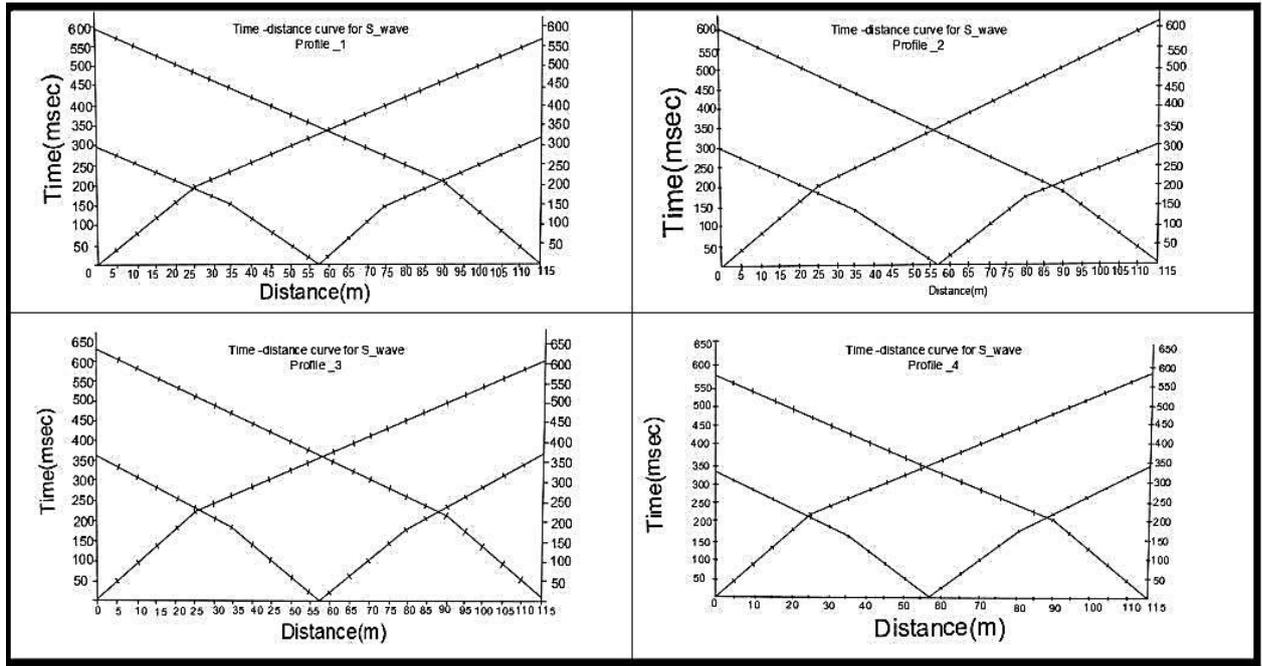
#### 5-4 التفسير لنتائج المسح الزلزالي الانكساري:- Interpretation of the seismic refraction survey

تم في هذه الفقرة تفسير منحنيات الزمن - المسافة (Time-distance curves) المرسومة لجميع المسارات الزلزالية المنجزة وأتضح مما يلي وجود اختلاف قليل جدا في سرع الموجات الزلزالية المحسوبة للطبقات تحت السطحية وسماكتها عند تطبيق هذه التقنيات كل على حده لذا تم اعتمادنا معدل النتائج المحسوبة بهذه الطرائق لكافة المسارات في موقع الدراسة .

رسمت منحنيات الزمن - المسافة للموجات الطولية والمستعرضة (P and S-waves) لجميع المسارات في موقع الدراسة ، الشكلين (2-4) و(3-4) بالاعتماد على أزمان الوصولات الأولية (First arrivals) وبالإضافة على مواقع اللاقطات على سطح الأرض الموضحة في المقاطع الزلزالية الانكسارية المنجزة بوساطة التفجير الاعتيادي (Normal shooting) والتفجير المركزي (Central shooting) والتفجير المعكوس (Reverse shooting) وذلك باستخدام برنامج التفسير الزلزالي (REFLEXW, version 3.5) ، ( أنظر الشكلين 2-4 , 3-4 )



الشكل (2-4) يمثل منحنيات الزمن - المسافة للموجات الطولية لمحطات موقع الدراسة



الشكل (3-4) يمثل منحنيات الزمن - المسافة للموجات المستعرضة لمحطات موقع الدراسة تم حساب سرعة الموجات الزلزالية المستعرضة والطولية لكل طبقة من الطبقات تحت السطح لموقع الدراسة في المسارات الأربعة من خلال قياس ميل المستقيمت المبينة في المنحنيات أعلاه (تمثل السرعة مقلوب ميل المستقيم) ، كما تم حساب أعماق هذه الطبقات وذلك باستخدام معادلات طريقة الزمن المقطوع والمسافة الحرجة (1-9-1-2) في حالة تواجد طبقتين .

الجدول (1-4) يوضح قيم سرعة الموجات الزلزالية الطولية والمستعرضة ومعدل

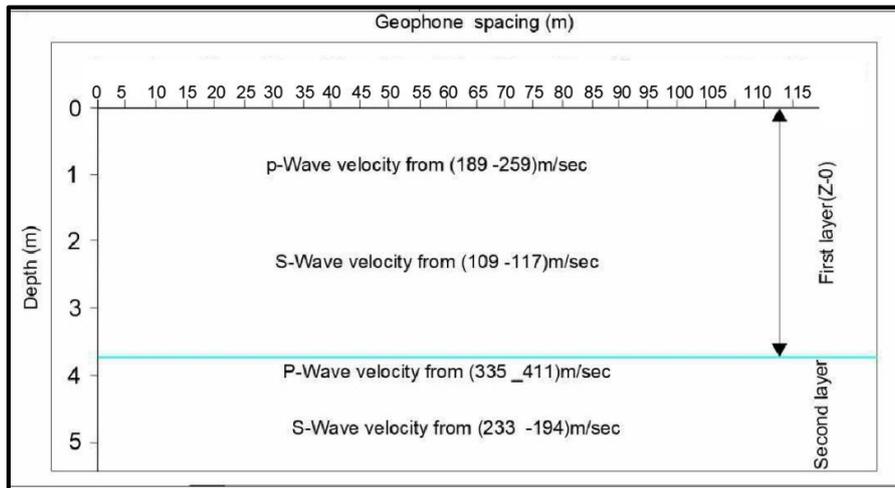
سمكات الطبقات للمسارات الزلزالية في موقع الدراسة

Site name	Profile No.	Layer	Shooting						Mean thickness (m)
			Normal		Center		Reverse		
			Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	
	1	First	196	120	190	109	206	115	3.73
		Second	355	255	306	199	365	228	
	2	First	180	127	198	116	182	114	3.55
		Second	345	216	328	172	321	203	
	3	First	241	117	-	103	277	108	3.52
		Second	381	212	-	170	431	202	
	4	First	200	117	200	100	198	118	3.67
		Second	325	240	398	166	373	227	

يتضح من خلال الجدول أعلاه أن معدل سرعة الموجة الطولية للطبقة الأولى في المسار الأول قد بلغ 197 م / ثا في المسار الأول وللمسار الثاني 186.6 م / ثا وبسماكة تراوحت بين - (3.73- 3.55) مترا ، بينما بلغ معدل سرعتها في المسار الثالث 259 م / ثا وللمسار الرابع 199 م / ثا وبسماكة تراوحت بين (3.67\_3.52) فيما يخص الطبقة الثانية / في المسار الأول فقد بلغ معدل السرعة الطولية 342 م / ثا وللمسار الثاني 331.5 م / ثا ، أما في المسار الثالث فقد بلغ معدل السرعة الزلزالية 411 م / ثا وللمسار الرابع 365 م / ثا .

فيما يخص السرعة الزلزالية للموجات المستعرضة فقد بلغ معدلها في الطبقة الأولى - المسار الأول / 114 م / ثا وللمسار الثاني 119 م / ثا ، في حين بلغ معدل السرعة في المسار الثالث 109 م / ثا وللمسار الرابع 111.5 م / ثا . أما بالنسبة للطبقة الثانية فقد بلغ معدل سرعتها المستعرضة 214 م / ثا للمسار الأول / وللمسار الثاني 197 م / ثا ، في حين بلغ معدل هذه السرعة في المسار الثالث 194 م / ثا وللمسار الرابع 211 م / ثا .

أستخدم برنامج التفسير الزلزالي المذكور في حساب أعماق الطبقات تحت السطحية في موقع الدراسة ، الشكل (4-4) والذي تضمن احتساب الأعماق للمسارات الأربعة باستخدام البرنامج الخدمي (Excel 2007) ، إذ بلغ معدل عمق الطبقة الأولى في موقع الدراسة (3.61) مترا كما لوحظ وجود تفاوت بسيط لا يتعدى 40 سم عمق الطبقة الأولى في موقع الدراسة من مسار الى اخر بسبب مسافة نشر اللاقطات كانت قصيرة بسبب صغر مساحة المواقع المدروسة



الشكل (4-4) يمثل مقطع عميق لطبقات منطقة الدراسة

#### 6-4 التقييم للخصائص الجيوتكنيكية وحساب معاملات المرونة: - assessment of geotechnical properties and Calculation of the elastic modulus

تم حساب قيم معاملات المرونة والخصائص الجيوتكنيكية لموقع الدراسة حيث حسبت بالاعتماد على معدل سرعة الموجات المستعرضة والطولية والنسب فيما بينهما ( $V_p/V_s$ ) وذلك من خلال تطبيق المعادلات الرياضية (11-1-2), (12-1-2)

النسب لمعاملات المرونة والمعاملات الجيوتكنيكية كالآتي :-

##### • نسبه بوزان :-Poisson's ratio ( $\delta$ )

ان مقدار قيمة بوزان للطبقة الاولى تراوحت (0.317 – 0.44) وان معدل نسبة بوزان للطبقة الاولى 0.375 بينما كانت نسبة بوزان للطبقة الثانية (0.26 – 0.32) ومعدل نسبة بوزان للطبقة الثانية 0.289 تكون القيمة للطبقة الاولى مرتفعة نوعا ما مما يدل على كونها هشة الى حد ما بينما تكون منخفضه للطبقة الثانية وهذا ما يشير الى ان الطبقة الثانية ذات معتدلة صلابة الى حد ما ,من خلال مراجعة جدول رقم (2-4) يبين نوع التربة اعتماداً على نسبه بوزان وكذلك معامل المادة (Sheriff & Gelbert,1986), عن (الهيبي , 2014).

##### • معامل يونغ :-Young's Modulus (E)

سُجلت اعلى قيمه لهذا المعامل وكانت في الطبقة الثانية وبمعدل (209) ميكا باسكال , بينما كانت اقل قيمه في الطبقة الاولى وكان معدلها(57.6) ميكا باسكال , ان معامل يونغ يتناسب تناسباً طردياً مع سرعة انتقال الموجه حيث يزداد بزيادة سرعة الموجه الزلزالية كنتيجة لزياده كثافة التربة, ان قيمة هذا المعامل في الطبقة الثانية تكون عالية دلالة على كونها طبقة صلبة الى حد ما على عكس الطبقة الاولى حيث تكون قيمة المعامل قليلة حيث تكون معامل الصلابة او القص :-Shear Modulus ( $\mu$ ) ضعيفة بالمقارنة مع الطبقة الاولى.

##### • معامل الصلابة او القص :-Shear Modulus ( $\mu$ )

تم اجراء الحساب لقيم هذا المعامل باستعمال العلاقة ما بين معامل يونغ وكذلك نسبة بوزان(Toksoz et al ,1976) (King,1960) وقد سجلت اعلى قيمة للطبقة الثانية وبمعدل

(83.6) ميكا باسكال, بينما سجلت الطبقة الاولى اوطأ قيمه وكان معدلها (23.5) ميكا باسكال, ان قيمة هذا المعامل يزداد بالزيادة لسرعة الموجه مع العمق حيث ان التناسب يكون طردياً.

• **معامل الحجم:- Bulk modulus (K)**

كانت قيمة المعامل الحجمي للطبقة الاولى بمعدل (75.1) ميغا باسكال, ولثاني طبقة (240.2), حيث تزداد قيمة المعامل مع العمق بزيادة كثافة الطبقات.

تم اجراء الحساب لقيم هذا المعامل باستعمال العلاقة ما بين معامل يونغ وكذلك نسبة بوزان , (Toksoz et al ,1976) (King,1960), وقد سجلت اعلى قيمة للطبقة الثانية وبمعدل (83.6) ميكا باسكال, بينما سجلت الطبقة الاولى اوطأ قيمه وكان معدلها (23.54) ميكا باسكال, ان قيمة هذا المعامل يزداد بالزيادة لسرعة الموجه مع العمق حيث ان التناسب يكون طردياً.

• **ثابت لامى :-Lame's Constants ( $\lambda$ )**

تم ايجاد هذا المعامل من العلاقة ما بين معامل يونغ ونسبة بوزان (King ,1966) (Toksoz et al1976), حيث تراوحت معدل القيم لهذا المعامل في الطبقة الاولى (55.7) ميكا باسكال وفي الطبقة الثانية (138.5) ميكا باسكال ومن الملاحظ لهذه القيم نجد ان هذا المعامل يتصرف بطريقة مشابهه لمعامل يونغ وكذلك معامل الصلابة حيث تزداد قيمته بازدياد صلابة الصخور او زيادة كثافة التربة.

• **معامل المادة :- Index Material ( $\nu$ )**

يعرّف هندسياً بأنه المقدار المستخدم لتحديد نوع المادة وكذلك درجة كفاءتها للأساسات البناء, وكذلك يعرف على انه درجة صلابة المادة بالاعتماد على المعاملات المرنة لها) (Abd Al- Rahman,1989; حيث اشتق المعادلة بدلالة السرعات للموجات الطولية ( $V_p$ ) والقصية ( $V_s$ ) عن (النعمي,2016) و كان معدل قيمة لهذا المعامل عند الطبقة الاولى (0.226 - (مما يدل على انها اقل قوة مقارنة بالطبقة الثانية التي ارتفعت فيها هذه القيمة وبمعدل (0.22) التي تدل على طبقة متماسكة .

• **معامل التركيز :- Concentration Index ( $C_i$ )**

وهو من المعاملات المهمة الهندسية الدالة على درجة الرص للمادة المستخدمة لقياس الكفاءة للأسس وللعديد من الاعمال الهندسية المدنية. ان هذا العامل يعتمد بصورة اساسية على معامل المرونة للمادة وكذلك توزيع الضغوط في العمق , وقد قام (Abd El\_ Rahmman,1991) بوضع معادلة لإيجاد هذا المعامل من خلال استخدام قيمة سرعة الموجات الطولية (Vp) والقصية (Vs) عن (النعمي, 2016) حيثُ كان معدل القيم لهذا المعامل للطبقة الاولى (4.45) ومعدل الطبقة الثانية (5.48) ان القيم لمعامل التركيز فُورنت بالمديات المحددة من قبل (Abd El- Rahmman,1989) كما في الجدول (6-2) الفصل الثاني حيث تزداد القيمة مع الزيادة في صلابة الصخور.

#### • معامل نسبة الضغط او الاجهاد :- Stress Ratio (S<sub>i</sub>)

يعد هذا المعامل من المعاملات المهمة الجيوتكنيكية في الجانب الهندسي وهو نسبة الاجهاد الافقي للإجهاد العمودي عند اعماقٍ معينة حيثُ يمثل مقياساً للضغوط الجانبية للصخور او التربة في الظروف الطبيعية حيثُ يكون الضغط الهيدروستاتيكي لسوائل متساوي في كافة الاتجاهات ان القيمة لهذا المعامل تكون عالية في التربة الناعمة مما هو عليه في التربة الخشنة وكذلك تكون كبيره في التربة الغير متماسكه والمفككة وتصبح قليله مع ازدياد ضغط الصخور ( Bowles, ) 1982, اي مع ازدياد كثافة التربة بفعل ضغط الطبقات مع العمق في موضوع البحث حيثُ كان معدل القيم لهذا المعامل للطبقة الاولى (0.437) وفي الطبقة الثانية (0.36) حيث بدأت تنخفض هذه القيمة في الطبقة الثانية مما يشير الى صلابة هذه الطبقة عالية الى حد ما مقارنة مع المديات التي حددت من قبل (Abd El- Rahmman, 1989) ان السلوك الذي ينتجه هذا المعامل مشابهاً لسلوك نسبة بوزان حيث تزداد قيمته في التربة المفككة, كما في الفقرة (12-1-2) وكذلك في ال جدول (6-2) يبين درجة صلابة التربة بالاعتماد على قيم نسبة الاجهاد وقيم التركيز للمادة.

#### • الأنحدار (الميل) الكثافي :- Density Gradient (D<sub>i</sub>)

حيث تراوحت القيم لهذا المعامل ما بين (-0.7) , (-0.38) في الطبقة الاولى و(-0.48) , (-0.72) للطبقة الثانية حيث تزيد قيمته في الطبقة الضعيفة او الهشة ونقل في الطبقة المتصلبة ومن خلال قيم المعامل نستنتج ان الطبقة الاولى هشة نوعا ما والطبقة الثانية متوسطة الصلابة وان قيمة هذا المعامل تتناسب بصورة عكسية مع السرعة للموجات الزلزالية حيث تقل قيمته كلما ارتفعت سرعة الموجة مع العمق وبالعكس.

• زاوية الاحتكاك الداخلية الفعالة (  $\phi$  ) Internal Friction angles

هو عنصر جيوتكنيكي مهم يمكن قياسها اما في المختبر من خلال دوائر موهو او من خلال الفحص الثلاثي المحاور حيث ان (  $\phi$  ) الزاوية لميل المماس في دوائر موهو حيث ان اقطار هذه الدوائر تمثل الفارق ما بين الاجهاد الافقي والعمودي , تستخدم زاوية الاحتكاك الداخلية بشكل كبير في عملية تقييم الخصائص الهندسية للتربة والصخور

حيث تزداد قيمة الزاوية بازدياد الكثافة والصلابة وتقل بازدياد المحتوى المائي. حيث تراوحت معدل القيم لهذا المعامل في الطبقة الاولى للطبقة الاولى (20.3°) وللطبقة الثانية (32.8°) حيث تقل في الطبقات الضعيفة وتزداد بازدياد الصلابة. وبالتالي تعكس ان زاوية الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات تزداد مع الاعماق حيث ان التناسب يكون طرديا بزيادة سرعة الموجات الزلزالية. وقد تم بيان النتائج لمعاملات المرونة في منطقة الدراسة في الجدول (4-6)

جدول (2-4) نتائج لقيم معاملات المرونة في منطقة الدراسة

Profile No	layers	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/vs	Density (kg/m)	Ed MPa	$\mu$ MPa	k MPa	$\Lambda$ MPa	( $\delta$ )
1	First	197	114	1.72	1645	59.12516	23.13	63.8	37.84	0.348266
	Second	342	214	1.57	1710	209.0121	88.05	192.288	105.83	0.268048
2	First	186.6	119	1.58	1645	61	25.206	58.727	58.75	0.311591
	Second	331	197	1.7	1710	199.2365	72.575	192.1521	114.86	0.296413
3	First	259	109	2.37	1645	51.28292	21.148	110.32	86.58	0.412382
	Second	411	194	2.11	1710	176.5891	70.37932	288.7163	213.58	0.326663
4	First	199	111.5	1.71	1645	59.26802	25.57513	67.08848	39.744	0.44307
	Second	365	211	1.59	1710	249.509	103.71	288.1158	120.05	0.30595

جدول (3-4) نتائج لقيم معاملات الجيوتكنيكية في منطقة الدراسة

		Mean							
Profile No	Layer	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/v (m/s)	V MPa	CI MPa	Si MPa	Ø°	Di MPa
1	First	197	114	1.72	0.0069	4.027	0.393	24.2	-0.61
	Second	342	214	1.57	0.347	5.6133	0.29	37	-0.72
2	First	186.6	119	1.58	0.3136	5.327	0.347	27	-0.509
	Second	331	197	1.7	0.0524	5.641	0.31	34	-0.625
3	First	259	109	2.37	-0.569	3.548	0.645	11	-0.438
	Second	411	194	2.11	-0.4266	4.803	0.554	26.3	-0.481
4	First	199	111.5	1.71	0.0227	5.093	0.3823	20.4	-0.385
	Second	365	211	1.59	0.337	5.716	0.32	34.21	-0.71

معامل يونك = E      معامل القص =  $\mu$       نسبة بوزان ( $\delta$ ) =  $\delta$       معامل المادة = V

المعامل الحجمي = K

معامل التركيز = Ci      ثابت لامبي =  $\lambda$       معامل الانضغاط = Si      الكثافة = P

زاوية الاحتكاك الداخلي =  $\phi$       التدرج الكثافي = Di

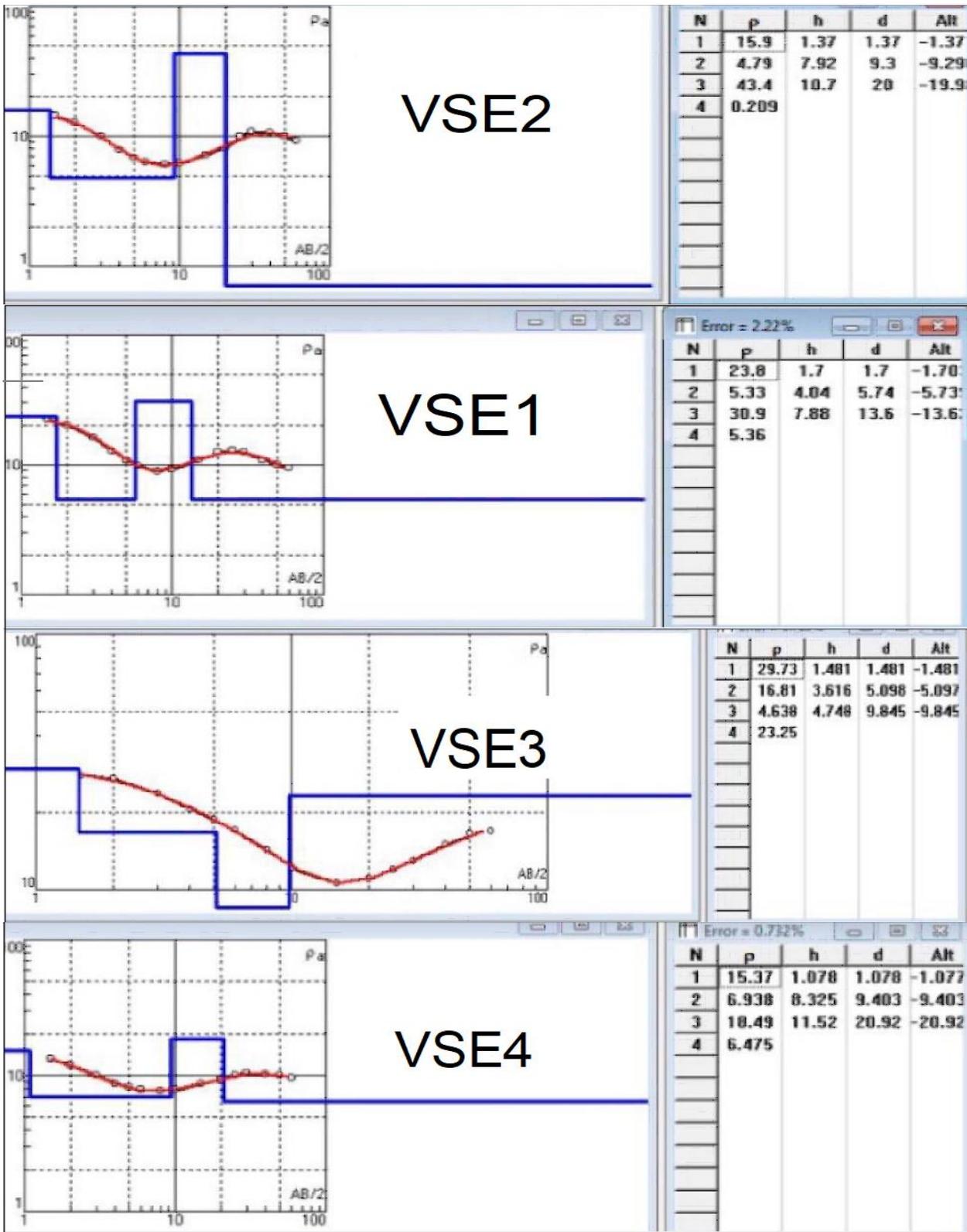
#### 7-4) تفسير نتائج الجس الكهربائي العمودي ( Interpretation of the ) (vertical electrical sounding results)

نفذت التحريات الكهربائية لمنطقة الدراسة للكشف عن سمك الطبقات وخواصها الجيوكهربائية وطبيعة الترسبات والكشف عن أنطقه عدم استمرارية الطبقات وبعض التراكمات الجيولوجية تحت السطحية التي من الممكن أن تؤثر في الأساسات الهندسية (Engineering foundation) لموقع الدراسة .

#### 8-4) نوعية المنحنيات الكهربائية الحقلية (Types of the Electrical Field Curves)

تضمن تفسير نتائج الجس الكهربائي العمودي كل من التفسير النوعي والتفسير الكمي ، أذ يمثل الأول دراسة نوعية (وصفية) للمنحنيات الكهربائية الحقلية وبالتالي سوف يعطينا معلومات وصفية عن طبيعة المنطقة التي تشمل مديات قيم المقاومة النوعية للطبقات وعددها وسمكاتها فضلا عن أعماق الأسطح الفاصلة بينها ، إذ يتم ذلك من خلال ملاحظة نقاط الانحناء أو الانقلاب (Inflection points) في هذه المنحنيات التي تحدث نتيجة لحصول تغيرات في الخواص الكهربائية (Parasnis, 1972; Griffiths and King, 1981) ، كما ويمكن أن نحصل على تقييم أولي لطبيعة المنطقة بالاعتماد على أشكال المنحنيات وذلك بتصنيف هذه المنحنيات إلى

مجاميع مختلفة في الشكل وربطها بما هو متوفر من المعلومات كالأبار والمجسات وبذلك نخرج بتقييم مبدئي لظروف المنطقة الجيولوجية والهيدروجيولوجية (Van Overmeeren, 1989) . تم في هذه الدراسة تفسير 4 نقطة جس كهربائي عمودي موزعة اثنتين بشكل افقي واثنتين بشكل عامودي باستخدام برنامج التفسير الروسي (IPI2Win) ، وقد أمكن تصنيف المنحنيات الكهربائية الحقلية إلى عدة أنواع اعتماداً على شكلها بعد إجراء عملية التهذيب (Smoothing) عليها ، كما تم الاستفادة من التابع الطباقى لعدد من الآبار المحفورة بالقرب من المسارات الكهربائية المنجزة في تفسير طبيعة التغيرات في قيم المقاومة النوعية للترسبات . لوحظ من المنحنيات الحقلية للمقاومة النوعية الظاهرية ( $\rho_a$ ) المرسومة لموقع الدراسة المبينة في الشكل (4-5) ، أن الطبقة السطحية تمتلك قيم مقاومة نوعية عالية نوعاً ما تراوحت بين (15.3-29.7) أوم . متراً بالمقارنة مع الطبقة الثانية عدا النقطة VES-4 حيث أعطت قيمة عالية ، كما أعطت نقاط الجس الكهربائي (VES-2, 3, 1) في الطبقة الثالثة قيماً عالية للمقاومة النوعية تراوحت بين (18.4-43.4) أوم . متراً تمثل الطبقة الثالثة في عموم موقع الدراسة والتي من المحتمل أن تدل على تواجد ترسبات من الطين الغريني (Silty clay) مع تواجد بعض ترسبات الرمل ، عدا نقطة الجس (VES-4) في حين امتازت هذه الطبقة بقيم مقاومة نوعية قليلة جداً تراوحت بين (4.6) أوم . متراً في نقطتي الجس التي من الممكن أن تدل على تواجد كميات من ترسبات الطين الغريني (Silty clay) مع ترسبات قليلة من الجبس في هذه الأعماق .



الشكل (4-5) يمثل طبيعة منحنيات المقاومة النوعية الظاهرية في نقاط الجس الكهربائي (VES-1, 2,3, 4) في منطقة الدراسة

كما لوحظ من منحنيات المقاومة النوعية الظاهرية لموقع الدراسة أن الطبقة الرابعة تمتلك قيم مقاومة نوعية منخفضة بالمقارنة مع باقي الطبقات في موقع الدراسة بلغت (Ves-1, 2, 3) (5.3-0.2-6.4) أوم وعلى التوالي ، حيث أنه من الممكن أن تدل على تواجد كميات من ترسبات الطين الغريني (Silty clay) مع ترسبات قليلة من الجبس في هذه الأعماق. عدا النقطة (Ves-4)مترا حيث سجلت قيم مرتفعة للمقاومة بالمقارنة مع باقي النقاط بالمقارنة في الطبقة الرابعة حيث بلغت (23.25)أوم والتي من المحتمل أن تدل على تواجد ترسبات من الطين الغريني (Silty clay) مع تواجد بعض ترسبات الرمل ،

الجدول (4-4) يوضح قيم المقاومة النوعية الظاهرية و سماكات الطبقات فضلا عن نوعية المنحنيات الكهربائية في منطقة الدراسة

Site name	Profile No.	VES Point	Electrical resistivity ( $\rho$ ) in (Ohm.m) and thickness ( $h$ ) in meter								Curve Type
			Layer 1		Layer 2		Layer 3		Layer 4		
			$\rho_1$	$h_1$	$\rho_2$	$h_2$	$\rho_3$	$h_3$	$\rho_4$	$h_4$	
الحلة	1	1	23.8	1.7	5.3	4.04	30.9	7.88	5.33		HK
		2	15.9	1.37	4.7	7.9	43.4	10.7	0.209		HK
	2	3	15.3	1.07 8	6.9	8.3	18.4	11.5	6.4		HK
		4	29.7	1.4	16.8	3.6	4.6	4.7	23.2		QH

من خلال ملاحظة نتائج التفسير النوعي في الجدول أعلاه أمكن استنتاج أن طبيعة المنحنيات الكهربائية الحقلية في موقع الدراسة قد أعطت سلوكا متشابها عند النقاط (VES - 1, 3, 2) وهي من نوع (HK) عدا النقطة (VES -4) تكون من نوع (QH) حيث تمثل جميع هذه النقاط تواجد اربعة طبقات تحت السطح ذات قيم مقاومة نوعية لم تتجاوز (43.4) أوم . مترا في جميع مسافات النشر، إذ أن هذه النقاط تقع في وسط وشمال موقع المحطة مع ملاحظة أن نقطتي التقاطع (VES -1,3) قد أعطت نتائج متقاربة جدا في قيم المقاومات النوعية والسماكات لجميع الطبقات بشكل كبير مما يعكس دقة نتائج المسح الكهربائي في هذه المحطة . كما أنه من الجدير بالذكر أن نقاط الجس (VES-1,2, 3) تمتلك قيم مقاومة نوعية قليلة جدا (توصيلية عالية) عند الطبقة الرابعة وبالتالي تستنتج مما ذكر اعلاه ان الطبقة الثالثة التي من المحتمل ان تحتوي على ترسبات رملية غرينيه جافة يمكن اختيارها لعمل الركائز الكونكريتية التي تستخدم في بناء منشأ وذلك لاحتمالية تواجد الطبقة الأساس (Bed rock) عند هذه الطبقة كونها تمثل ترسبات متماسكة.

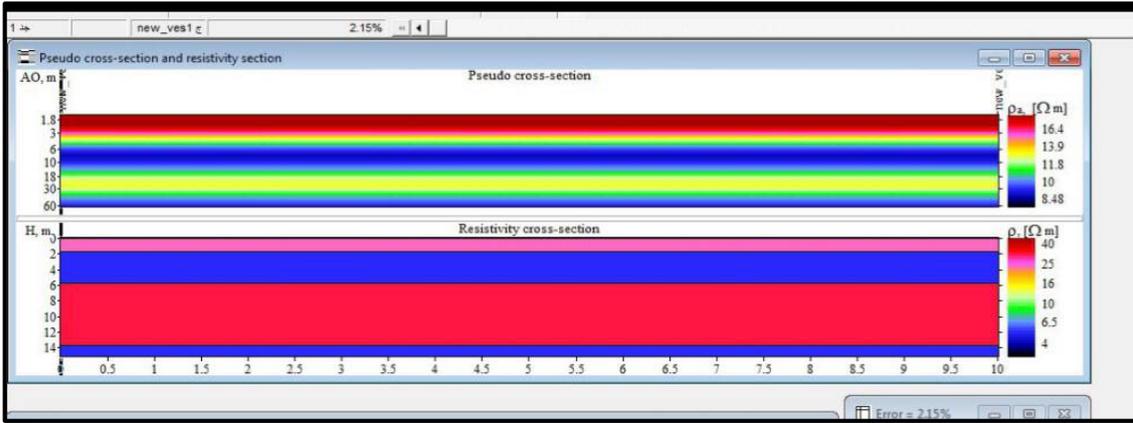
## 4-9 المقاطع البينية للمقاومة النوعية والمقاطع الجيوكهربائية

## (Resistivity space sections and geoelectrical sections)

تم دراسة التغييرات العمودية والأفقية في قيم المقاومة النوعية الظاهرية موضحة على شكل مقاطع بينية وذلك من خلال رسم خطوط كنتورية لقيم المقاوم النوعية المتساوية (Iso-resistivity values) بحيث توضح كثافة التغيرات العمودية والأفقية و في قيم المقاومة النوعية التي بدورها تمثل انعكاسا لطبيعة الترسبات على طول المسار المرسوم ، لذلك فإن هذه المقاطع تمثل إحدى طرائق التفسير النوعي (Qualitative interpretation) للمنحنيات الكهربائية . كما فسرت نتائج المسوحات الكهربائية تفسيراً كميًا (Quantitative interpretation) ، إذ تمثل المقاطع الجيوكهربائية المرسومة شكلاً آخرًا من أشكال المقاطع الجيولوجية وتختلف عنها ، حيث أن كل طبقة لا تتميز بتركيبها الصخاري فقط ، وإنما تتميز بمقاومتها النوعية أيضاً ، وتعد إحدى أهم وسائل عرض نتائج التفسير الكمي لبيانات المسح الكهربائي العمودي ، فهي توضح التوزيع الأفقي والعمودي للمقاومة الحقيقية وسماكات الطبقات وبوساطتها يمكن تتبع الطبقات ومعرفة امتدادها وتمييزها عن الطبقات الأخرى (Flathe, 1963) . يعتمد رسم المقاطع الجيوكهربائية على فارق المقاومة النوعية (Resistivity contrast) بين الطبقات المختلفة ، وكلما كان هذا الفارق كبيراً كلما أمكن تحديد الحدود الجيوكهربائية بدقة ، وبالعكس تظهر صعوبة في تمييز الطبقات المختلفة وفصل بعضها عن بعض عندما يكون فارق المقاومة النوعية بينها قليلاً . إذ تم الاستفادة من كل المعلومات الجيولوجية المتوافرة مثل مجموعة الآبار التي تم حفرها ولعمق (7) امتار بهدف التعرف على الصخرية والحصول على المقطع الجيوكهربائي (Kosiniski and Kelly, 1981) . تم رسم أربع مقاطع بينية للمقاومة النوعية .

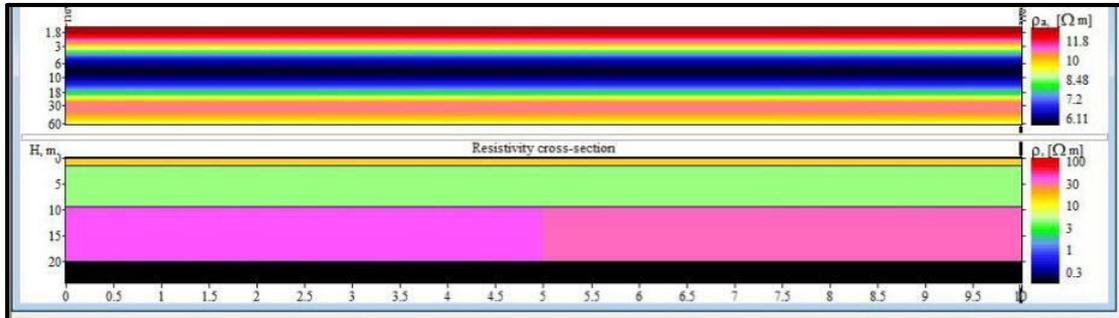
كما في الأشكال (4-6, 4-7, 4-8, 4-9) مع أربع مقاطع جيوكهربائية للمسارات الكهربائية المنجزة بواقع مقطع لكل مسار قيد الدراسة باستخدام نفس البرنامج الروسي أعلاه وذلك بالاعتماد على قيم المقاومة النوعية المقاسة في الحقل لجميع نقاط الجس الكهربائي فضلا عن معلومات الآبار المحفورة في هاتين المحطتين وكما يلي :

يوضح الشكل (4-6) المقاطع الجيوكهربائية للمسار الأول في موقع الدراسة التي تضمنت تواجد أربعة طبقات



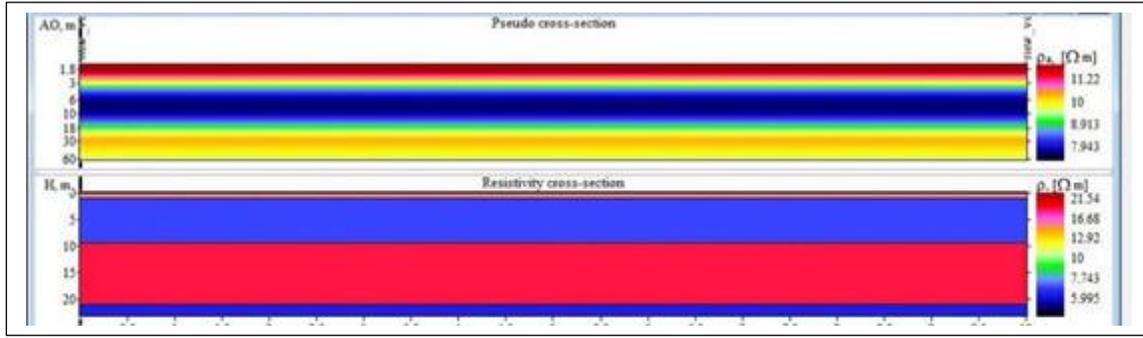
الشكل (4-6) يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الأول

أذ امتازت الطبقة الأولى السطحية في جميع المسارات بتجانسها الجانبي الكبير في قيم المقاومة النوعية وسماكتها بسبب التجانس الحاصل في مكونات الرواسب فيها ، حيث تراوحت قيم المقاومة النوعية بين (15.9-23.8) و(15.3-29.9) أوم . مترا وبسماكة تراوحت بين(1.3-1.7) و (1.4-1.07) متراً على التوالي ، أذ تشير الطبقة السطحية الى تواجد رواسب الطين الغريني الرطب مع تواجد ترسبات الرمل بشكل قليل جدا



الشكل (4-7) الشكل يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الثاني

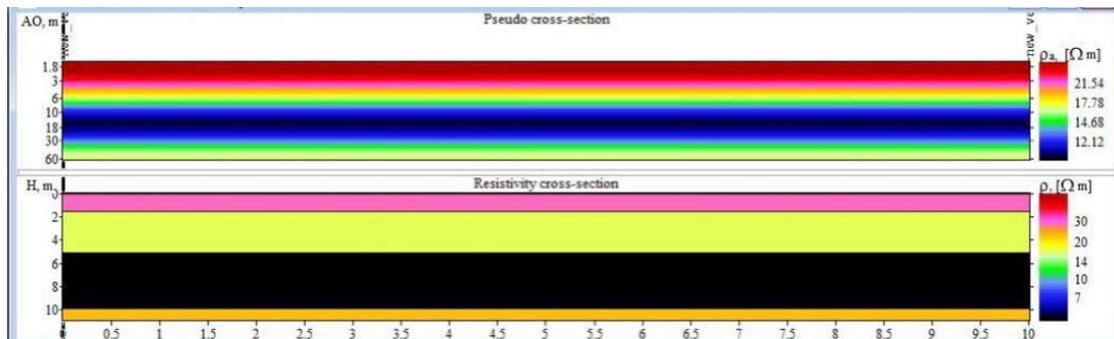
أما الطبقة الثانية التي تمثل ترسبات الرمل الغريني فقد تراوحت قيم المقاومة النوعية فيها للمسارات (VES-1, 2, 3) على التوالي (4.7-6.9-5.4) أوم . مترا وبسماكة(8.3-9.3-5.74) ، كما يلاحظ حصول زيادة في قيم المقاومة النوعية في هذه الطبقة كلما أتجهنا باتجاه النقطة (VES-2) ، حيث يمكن أن تتصلب ترسبات الرمل مع الغرين المكونة لهذه الطبقة خلال فترة الترسيب وتبخر المياه من مساماتها البينية بفعل ظاهرة الخاصية الشعرية التي حصلت خلال فترات الصيف الحارة لتعطي بذلك توصيلية كهربائية أقل من الطبقة السطحية .



الشكل (8-4) يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الثالث

اما بخصوص الطبقة الثالثة وبسبب زيادة محتوى الترسبات الرملية في هذه الأعماق مع نقصان الطين والغرين بشكل ملحوظ فقد امتازت بقيم مقاومة نوعية أكبر خصوصا تحت نقاط الجس (Ves-1,2,3) لتصل الى (30.9, 43.4, 18.49) أوم . مترا لكل منهما على التوالي لتدل بذلك على زيادة صلابتها نتيجة ثقل الرسوبيات التي تعلوها (Overburden) ، حيث يمكن أن تمثل الطبقة الأساس (Bed rock) التي من المفضل اختيارها كمواقع للأغراض الهندسية خصوصا عند موقع نقطتي الجس أعلاه عدا نقطة الجس (Ves-4) والتي سجلت قيم مقاومة منخفضة التي تشير الى ترسبات الرمل الغريني في هذا المسار

اما بخصوص الطبقة الرابعة فأنها تمتلك قيم مقاومة نوعية منخفضة بالمقارنة مع باقي الطبقات في موقع الدراسة , حيث بلغت (Ves-1, 2, 3) (5.3-0.2-6.4) أوم وعلى التوالي ، حيث أنه من الممكن أن تدل على تواجد كميات من ترسبات الطين الغريني (Silty clay) مع ترسبات قليلة من الجبس في هذه الأعماق. عدا النقطة (Ves-4)مترا حيث سجلت قيم مرتفعة للمقاومة بالمقارنة مع باقي النقاط بالمقارنة في الطبقة الرابعة حيث بلغت (23.25)أوم والتي من المحتمل أن تدل على تواجد ترسبات من الطين الغريني (Silty clay) مع تواجد بعض ترسبات الرمل



الشكل (9-4) يمثل المقطع الجيوكهربائية للمسار الرابع

## 10-4 حساب المعاملات الجيوكهربائية (Calculation of the geoelectrical parameters)

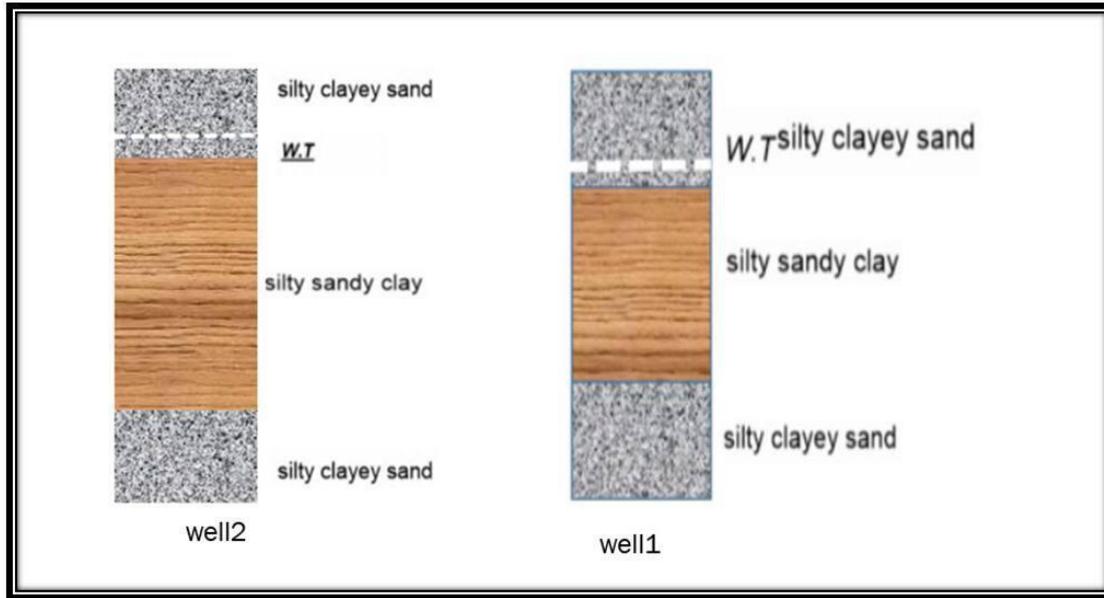
تم حساب المعاملات الجيوكهربائية باستخدام المعادلات الرياضية المذكورة في الفصل الثاني ، (2-2-3) ، فقد تم حساب المقاومة النوعية الكلية ( $R_T$ ) لطبقات المحطات قيد الدراسة والتي تمثل مجموع المقاومات النوعية للطبقات أسفل نقاط الجس الكهربائي ، إذ تراوحت بين (549.635-104.3377) ، حيث تدل على أن الطبقات تمتلك مقاومة نوعية عالية في الطبقة الاولى بالمقارنة مع الطبقة الاولى بجميع المسارات وذلك بسبب كون الطبقة الاولى جافة وغير مشبعة بالمياه وأن منسوب المياه الجوفية تم رصده في الطبقة الثانية بعد حفر بعض الابار لتدقيق نتائج العمل الجيوفيزيائي حيث كان معدل عمق المياه الجوفية في منطقة الدراسة بحدود (2.2م). كما تم حساب المقاومة النوعية المستعرضة ( $\rho_T$ ) التي تمثل معدل المقاومة النوعية باتجاه عمودي على سطح التطبيق لطبقات التربة ، إذ تراوحت قيمها بين (4.989-26.704) حيث أن المقاومة النوعية المستعرضة للطبقات تكون ذات قيمة عالية ولا تسمح بمرور التيار بالاتجاه العمودي على سطح التطبيق . أما بالنسبة للمقاومة النوعية الطولية ( $\rho_L$ ) التي تمثل معدل المقاومة النوعية باتجاه موازي لسطح التطبيق فقد تراوحت بين (32.263-7.379) أوم . مترا ، حيث تمتاز بامتلاكها قيم منخفضة بشكل عام وذلك لكون طبقات التربة أفقية او شبه افقية في موقع الدراسة. أيضا تم حساب عدم التماثل الاتجاهي ( $\lambda$ ) الذي تراوحت قيمته بين (2.35-1.7) حيث أن طبقات التربة تكون غير متماثلة اتجاهيا تحت أغلب نقاط الجس الكهربائي وذلك لأن أغلب قيم عدم التماثل الاتجاهي تزيد عن (1) ، فضلا عن حساب التوصيل الكهربائي الطولي ( $S_L$ ) وبموازاة سطوح التطبيق للطبقات إذ تراوحت معظم القيم بين (1.8-1.7) حيث يكون معامل التوصيل الكهربائي خلال طبقات التربة جيد نوعا ما بسبب كونها رطبة وذلك لقرب منسوب المياه الجوفية من سطح الأرض إذ يصل بحدود (2.1-2.3) مترا في بئري المراقبة التي تم حفرها في هذه المحطة مقاسا من مستوى سطح الأرض الطبيعي

الجدول (4-5) يوضح قيم المعاملات الجيوكهربائية في منطقة الدراسة

Site name	Profile No.	Ves. points	$\Sigma h_i$ (m)	$R_T$ (Ohm.m)	$\rho_T$ (Ohm.m)	$\rho_L$ (Ohm.m)	$\lambda$	$S_L$ (mhos)
الحلة	1	1	13.6	305.485	22.462	7.379	1.7	1.843
		2	20	534.0998	26.704	11.343	2.35	1.763
	2	3	20.9	104.3377	4.989	11.05	0.67	1.892
		4	9.8	549.635	87.3	32.263	1.6	0.218

#### 11-4 نتائج حفر الابار

اظهرت نتائج حفر الابار في منطقة الدراسة تقارب نتائج حفر الابار من نتائج الجس الكهربائي العمودي وبشكل كبير حيث تم حفر بئري مراقبة لتسهيل من عملية وصف التتابع الطبقي في منطقة الدراسة وتقييم مدى كفاءة الطرق الجيوفيزيائية (الانكسارية والكهربائية) حيث كانت نتائج حفر الابار قريبة جدا من نتائج الجس الكهربائي العمودي سوى اختلاف محدود بسماكات بعض الطبقات . حيث تم حفر بئري مراقبة كما في الشكل (1-1) حيث كانت نتائج البئر الاول في الطبقة الاولى تتكون من الطين الغريني مع تواجد نسبة قليلة جدا من الرمال في الطبقة الاولى والتي بلغت سماكتها (1.95) متر وكانت هذا الطبقة رطبة وكان ارتفاع المياه الجوفية في هذا البئر (1.7) متر . حيث تم قياس ارتفاع المياه الجوفية بعد حفر الابار 24 ساعة حتى نحصل على المنسوب الحقيقي للمياه الجوفية في موقع الدراسة بعد استقرار معدل المياه بعد حفر الابار . وكانت الطبقة الثانية تبدأ من عمق (1.95) متر تتكون من الرمل الغريني مع تواجد نسبة من الاطيان وتكون مشبعة بالمياه الجوفية اما الطبقة الثالثة تبدأ من عمق (4.5) متر وتتكون من الطين الغريني مع تواجد نسبة عالية من الرمال وكانت هذه الطبقة شديدة الصلابة ومتماسكة وكانت نتائج الحفر في البئر الثاني متقاربة جدا من البئر الاولى فقط لوحظ كان سمك الطبقة الاولى (1.7) م التي تتكون من الطين الغريني ونسبة مجدودة جدا من الرمال ومعدل سمك المياه الجوفية في هذا البئر بحدود (1.55) متر اما الطبقة الثانية تتكون من الرمل الغريني مع كميات من الاطيان المشبعة بالمياه الجوفية اما الطبقة الثالثة تبدأ من عمق ( 5.8 ) متر وتتكون من الطين الغريني مع تواجد نسبة اكبر من الرمال عن الحالة عما موجود في البئر الاول في ذات الطبقة وتكون هذا الطبقة صلبة جدا اثناء عملية الحفر التي اجريت بواسطة البريمة والشكل (4-10) يظهر نتائج حفر الابار



شكل (10-4) تظهر نتائج حفر الابار في منطقة الدراسة

## الفصل الخامس

## 5\_ الاستنتاجات والتوصيات

## Conclusions and Recommendations

## Conclusions (1-5) الاستنتاجات:-

- تم استخدام الطريقة الزلزالية الانكسارية للتحري الموقعي في منطقة الدراسة وهي واحدة من الطرق الجيوفيزيائية لتوضيح توزيع الطبقات تحت السطح , وقد اظهرت النتائج بعد حساب معاملات المرونة والمعاملات الجيوتكنيكية للتربة في منطقة الدراسة , حيث تميزت القيم لنسبة بوزان ومعامل الانضغاط بكونها مرتفعة عند الطبقة الاولى وبمعدل (0.375 ) لنسبة بوزان و(0.437 ) لمعامل الانضغاط في حين ان القيم تنخفض عند الطبقة الثانية وبمعدل (0.23) لنسبة بوزان وبمعدل ( 0.369) لمعامل الضغط مما يدل على ضعف الطبقة الاولى كونها هشة او شبه هشة بسبب كونها طبقة خارجية معرضة لعوامل التعرية والتجوية. في حين ترتفع القيم لبقية المعاملات المحسوبة لتربة منطقة الدراسة مع الاعماق حيث يكون المعدل لمعامل التركيز(5.4) ومعامل المادة ((- 0.226)) وللمعامل الكثافي (-0.3) ولمعامل يونك (57.6) ميغا باسكال ولمعامل القص (23.6) ميغا باسكال ولثابت لامى (55,7) ميغا باسكال والمعامل الحجمي ( 75 ) ميغا باسكال من هنا نستنتج ان الطبقة الثانية امتازت بصلابتها وكثافتها العالية كنتيجة لارتفاع قيم المعاملات السابقة بسبب ثقل وزن الترسبات التي تعلوها اضافة لكون نسبة الاطيان في الرسوبيات قليلة جدا فيما تراوح معدل زاوية الاحتكاك الداخلي للطبقة الاولى (20 ) وللثانية(34).
- والطبقة الاولى كانت هشة بسبب تعرضها لعوامل التعرية المختلفة ادت الى هشاشة الطبقة السطحية
- أظهرت منحنيات المقاومة النوعية الكهربائية نوعين من المنحنيات هي(HK-QH)، فقد لوحظ من المنحنيات الحقلية أن الطبقة السطحية تمتلك قيم مقاومة نوعية عالية نوعا ما مقارنة مع الطبقة الثانية التي تكون قيمة مقاومتها النوعية للطبقة السطحية أقل بوصفها طبقة هشة نتيجة تعرضها لعوامل التعرية والتجوية السطحية .
- لوحظ من المقاطع البيئية الأربعة التغيرات الكبيرة في قيم المقاومة النوعية الظاهرية وخاصةً عند مسافات النشر الأولى عندما تكون  $AB/2$  صغيرة والمتمثلة بالطبقة السطحية مما يشير إلى تغيرات في المحتوى الرطوبي والرواسب جانبيا مع العمق .
- استخدمت نتائج التفسير الكمي للمنحنيات الكهربائية المستحصلة من برنامج التفسير (IPI2WIN) في رسم أربع مقاطع جيوكهربائية وأوضحت هذه المقاطع إن الأنطقة (الطبقات) الجيوكهربائية لمنحنيات نقاط الجس الكهربائي العمودي لمحطتي الدراسة تتمثل بالطبقات التالية :

- تمتاز منطقة الدراسة إنها تحتوي على اربعة طبقات تحت سطحية ، أذ تتكون الطبقة الأولى (الطبقة السطحية) من ترسبات الطين الغريني الرطب مع تواجد ترسبات الرمل بشكل قليل وتتراوح قيم مقاومتها النوعية بين (15.3-29) أوم . مترا وسماكتها بين (1.07-1.7) مترا ، حيث تتباين قيم المقاومة النوعية في هذه الطبقة بسبب اختلاف نوع ترسباتها وزيادة رطوبتها ، أما الطبقة الثانية فأنها يتكون من ترسبات الرمل الغريني وتتراوح مقاومتها النوعية بين (4.7-6.9) أوم . مترا وسماكتها تتراوح بين (3.69-8.3) مترا ، أذ نلاحظ تقارب في اغلب قيم المقاومة النوعية لهذه الطبقة بسبب حصول ظاهرة الخاصية الشعرية للمحتوى الرطوبي في هذه الطبقة الأمر الذي أدى الى نقصان التوصيلية الكهربائية بشكل قليل . أما الطبقة الثالثة فتتألف من ترسبات الطين الغريني مع بعض ترسبات الرمل ، حيث تتراوح المقاومة لهذه الطبقة بين (18.4-43.4) وسماكتها بين (4.7-11.5) أما الطبقة الرابعة أن الطبقة الرابعة تمتلك قيم مقاومة نوعية منخفضة بالمقارنة مع باقي الطبقات في موقع الدراسة بلغت (VES-1, 2, 3) (5.3-0.2-6.4) أوم وعلى التوالي ، حيث أنه من الممكن أن تدل على تواجد كميات من ترسبات الطين الغريني (Silty clay) مع ترسبات قليلة من الجبس في هذه الأعماق. عدا النقطة (VES-4) مترا حيث سجلت قيم مرتفعة للمقاومة بالمقارنة مع باقي النقاط بالمقارنة في الطبقة الرابعة حيث بلغت (23.25) أوم والتي من المحتمل أن تدل على تواجد ترسبات من الطين الغريني (Silty clay) مع تواجد بعض ترسبات الرمل وبسماكة غير محددة

- تم حساب المعاملات الجيوكهربائية فقد تم حساب المقاومة النوعية الكلية ( $R_T$ ) لطبقات منطقة الدراسة والتي تمثل مجموع المقاومات النوعية للطبقات أسفل نقاط الجس الكهربائي ، أذ تراوحت بين (104.3377-549.635) ، حيث تدل على أن الطبقات تمتلك مقاومة نوعية عالية في الطبقة الأولى بالمقارنة مع الطبقة الأولى بجميع المسارات وذلك بسبب كون الطبقة الأولى جافة وغير مشبعة بالمياه وأن منسوب المياه الجوفية تم رصده في الطبقة الثانية بعد حفر بعض الابار لتدقيق نتائج العمل الجيوفيزيائي حيث كان معدل عمق المياه الجوفية في منطقة الدراسة بحدود (2.2م). كما تم حساب المقاومة النوعية المستعرضة ( $\rho_T$ ) التي تمثل معدل المقاومة النوعية باتجاه عمودي على سطح التطبيق لطبقات التربة ، أذ تراوحت قيمها بين (4.989-26.704) حيث أن المقاومة النوعية المستعرضة للطبقات تكون ذات قيمة عالية ولا تسمح بمرور التيار بالاتجاه العمودي على سطح التطبيق . أما بالنسبة للمقاومة النوعية الطولية ( $\rho_L$ ) التي تمثل معدل المقاومة النوعية

- باتجاه موازي لسطح التطبيق فقد تراوحت بين (7.379-32.263) أوم . مترا ، حيث تمتاز بامتلاكها قيم منخفضة بشكل عام وذلك لكون طبقات التربة أفقية او شبه افقية في موقع الدراسة. أيضا تم حساب عدم التماثل الاتجاهي ( $\lambda$ ) الذي تراوحت قيمته بين (1.7-2.35) حيث أن طبقات التربة تكون غير متماثلة اتجاها تحت أغلب نقاط الجس الكهربائي وذلك لأن أغلب قيم عدم التماثل الاتجاهي تزيد عن (1) ، فضلا عن حساب التوصيل الكهربائي الطولي ( $S_L$ ) وبموازاة سطوح التطبيق للطبقات أذ تراوحت معظم القيم بين (1.7-1.8) حيث يكون معامل التوصيل الكهربائي خلال طبقات التربة جيد نوعا ما بسبب كونها رطبة وذلك لقرب منسوب المياه الجوفية من سطح الأرض أذ يصل بحدود (2.3-1-2) مترا في بئري المراقبة التي تم حفرها في هذه المحطة مقاسا من مستوى سطح الأرض الطبيعي
- نستنتج مما ذكر ان المكونات الحجمية للتربة (الطين – الغرين – الرمل – الحصى) تحدد بشكل اساسي درجة تماسك الترب، نلاحظ ضعف الطبقات بزيادة نسبة الحبيبات الناعمة مثل الغرين والطين والموجودة في التربة ، بينما تزداد قيم المقاومة النوعية مع زيادة نسب الحبيبات الخشنة مثل الحصى والرمل الموجودة في التربة ، وهذا يعني أن قيم المقاومة النوعية الكهربائية تزداد مع الترب المتماسكة وتقل مع الترب غير المتماسكة .

### (2-5) التوصيات (Recommendations)

- 1- عمل فحص الاختراق الراداري الارضي
- 2 – استخدام طريقة الزلزالية لاعطاء مواصفات التربة لكل متر
- 3- اجراء اعمال تحريات تربة لاي مشروع هندسي مستقبلا في مدينة الحلة

المصادر العربية

- أمين، نورس ناهض (2006) ، دراسة زلزالية مختبرية لبعض الخواص الجيوتكنيكية للصخور لأغراض هندسية في منطقة السماوة . رسالة ماجستير ، كلية العلوم - جامعة بغداد ، (غير منشورة) .
- الخفاجي، عمار جاسم محمد (2004) ، استخدام الطرق الزلزالية في التحري عن أماكن الضعف والتقييم الجيوتكنيكي لترتبة أسس مشروع ماء الحسين- كربلاء ، رسالة ماجستير ، كلية العلوم - جامعة بغداد ، (غير منشورة) .
- الهيتي ، احمد جدوع ، (2014) ، مسح زلزالي انكساري لموقع مشروع المستشفى التعليمي في جامعة الموصل ، رسالة ماجستير ، كلية العلوم / جامعة الموصل ، 126 ص
- لفته، عامر عطيه و خلف، محسن عبيد و الحديثي ، سنان، ( 2015 ) ، التقييم الجيوتكنيكي لترتب مختارة من مدينة الشناقفة - محافظة القادسية (وسط وجنوب العراق) بحث منشوراً مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية \ عدد 3 \ مجلد 23 \ 2015 \ 1140-1161 ص.

المصادر الإنكليزية (English References)

- 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.
- Abd El-Rahman, M. (1991). "The Potential of Absorption Coefficient and Seismic Quality Factor in Delineating Less Sound Foundation Materials in Jabal Shib Az Sahara Area, Northwest of Sanaa, Yemen Arab Republic", Egypt, M.E.R.C. Earth Sciences ,Vol. 5. Ain Shams University, pp. 181–187.
- Abdullah, S. and Michael P., (1982), Sedimentary, petrographic, geochemical and hydrochemical modern sediments, of Al- Hammar Marsh in southern Iraq.( Unpublished Master's Thesis, College of Science, Baghdad University), p. 182.
- 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.

- Ahmed , I.I.,Osazuwa,I.B., Lawal, K.M., (2012 )"2-D Seismic Refraction Tomography Investigation of a Sewage Treatment Site"Journal of Environment and Earth Science ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225- 0948 (Online) Vol 2, No.10 pp.1-14 .
- Al –Kadhimi ,J., Sissakian ,F. and Fattah , A . (1996). Tectonic Map of Iraq . Geosurv, Baghdad ,Iraq.
- Al-Khersan ,Emad.H ,AL-khalidy.Ammer.A,and AL Shimaree. Abdulrahman. A.,(2014) GEOPHYSICAL STUDY FOR BOTH HILLA-2 AND KARBALA-2 GAS POWER PLANTS / CENTRAL IRAQ WITH THE ASSISTANCE OF ENGINEERING INFORMATION . interntional journalof Emerging tecnology and advanced Engineering ,vol4.p568-587.
- Al-Abdullah, K. A., (1997). A study of the distribution of salts in Iraqi soils in the lower part of the sedimentary plain, an unpublished report, the General Company for Geological Survey and Mining, p. 49.
- AL-Ane , J.M., (1998), Theoretical and application consideration for the effect of geometry on schlumberger and dipole configurations, Ph.D.Thesis (in Arabic), Baghdad University , Geology Department,98P.
- Al-Ani, T. M., (1986). Geochemical & Hydrochemical and sedimentological study of middle and southern of Iraq ,M. Sc. thesis, College of Science, University of Baghdad, Iraq.P-182 .
- Al-Ansari, N. A., Al-Jabbari, M. H., & Al-Sinawi, G. T. (1983). Calculation of sediment discharge for the period 1975-1981 in the River Adhaim, Iraq. In *International symposium on river sedimentation. 2* (pp. 1105-1111).
- AL-Hiti, M. Y H., (1989). Baquba study the internal structure of a career, unpublished MSc Thesis (unpublished), College of Education, Ibn Rushd, Baghdad University(In Arabic).

- Al-Jubouri, H. H. (2002). Geotechnical Evaluation of Soil in Babil Governorate, M. Sc. Thesis, College of Science, Baghdad University. p 183.
- Alnoaimi, K. R., Duchateau, C., & Kovsky, A. R. (2016). Characterization and measurement of multiscale gas transport in shale-core samples. *SPE Journal*, 21(02), 573-588.
- Al.Nafa'ay, W.N, (2021), effect of the Hilla River meandering on slopes stability of banks, and the safety of constructions along the river in Babylon governorate / middle of Iraq , and the possible treatments, PhD thesis, University of Basrah .
- Alpin, L. M. (1950). The theory of dipole sounding. *Gostoptekhizdat, Moscow*, 1-60.
- Al-Saadoun, A. D., (1988). A study of the tourism reality in the province of Babylon, the necessity of planning tourism services in it, an unpublished master's thesis, University of Baghdad, Urban and Regional Planning Center, p. 184.
- Banerjee, B. and Gupta, S.K. (1975); The hidden layer problem in seismic refraction work. *Geoph. Pros.* 23, PP: 642-651.
- Barker, R. D., 1989. Depth of investigation of collinear symmetrical four electrode arrays. *Geophysics*. Vol. 54, PP. 1031.1037.
- Benson, A. J., Bower, R. G., Frenk, C. S., Lacey, C. G., Baugh, C. M., & Cole, S. (2003). What shapes the luminosity function of galaxies?. *The Astrophysical Journal*, 599(1), 38.
- Berwari, A. M., Saliwa, N. A., (1995). Report on the Geology of the Karbala Plate, General Company for Geological Survey and Mining, Baghdad, Iraq.
- Bowles, J. E., (1984). Physical and geotechnical of soil", (2nd ed.), Mc Graw Hill Inc., p. 861.
- Bowles, J.E. (1982). "Foundation Analysis and Design", 2nd Ed. McGraw-Hill International Book Company, London, 587p.
- Bowles, J.E., (1984), Physical and Geotechnical Properties of soil, 2nd ed., Mc Graw Hill, Japan Ltd. 578p.

- Buringh, P., (1960). Soil and soil conditions of Iraq, ministry of agriculture, Baghdad, p.322.
- Buddy , T. and Jassim (1984), "The regional geology of Iraq , stratigraphy & Paleo geography" Dar AL-Kutub publ., Mousel , p. 445.
- BWRD (Babylon Water Resources Department, 2004), personal connection.
- BWRD (Babylon Water Resources Department, 2018), personal connection.
- BWRD (Babylon Water Resources Department, 2020), personal connection.
- Deppermann, K. (1954). Die Abhängigkeit des scheinbaren Widerstandes vom Sondenabstand bei der Vierpunkt-Methode. *Geophysical Prospecting*, 2(4), 262-273.
- Dobrin, M. B. (1976). Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw Hill Book Co., 3rd edition. New York, 630p.
- Dobrin, M.B. and Savit, C.H., 1988; Introduction to geophysical prospecting, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, New York, 865 P.
- Dobrin, M.B. Savit, C.H,(1988) . Introduction To Geophysical Prospecting .4th Ed., McGraw Hill ,New York 867 p.
- Dominco,S.N.,(1984), Rock lithology and porosity determination from shear and compressional wave velocity, *Geophysics* Vol.49,p.1188-1195.
- Edwards, L. S. (1977). A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42(5), 1020-1036.
- Ehlers, C.J., Lobley, G.M., Spikula, D.R. and Brand, J.R., (2008), Site Characterization through the Integration of Geophysical and Geotechnical Data. Offshore Technology Conference, May 2008, Houston, Texas, USA.

- Flathe, H. (1963): Five – layer master curves for the hydrogeological interpretation of geoelectrical resistivity measurements above a two-story aquifer. *Geophysics. Prosp.*, Vol.2 pp. 471-508.
- Frohlich R. K., and Urish, D. (2002): The use of geoelectrics and test wells for the assessment of groundwater quality of a coastal industrial site. *Journal of Applied Geophysics* 50: 261-278.
- Frohlich, R. K., and Parke, C. D. (1989): The electrical resistivity of the Vadose Zone –Field study. *Ground water*. 27 (4), 524-530.
- Griffith, A. M., King, K., & Mortimer, D. (1982). A novel technique for studying hot corrosion: electronic absorption spectroscopy experiments. *High Temperature Technology*, 1(1), 43-50.
- Griffiths, D.H. and King, R.F. 1965; *Applied geophysics for engineers and geologists*, Pergamon Press, 223 P.
- Griffiths, D.H. and king, R.F., 1981; *Applied geophysics for geologists and engineers*, Pergamon press, 230 P.
- Griffiths, D.H. and king, R.F., 1981; *Applied geophysics for geologists and engineers*, Pergamon press, 230 P.
- Haeni,F.P.,(1986). Application of seismic refraction method in ground water modeling studies in new England ,*Geophysics*,Vol.51,pp236-249.
- Hughes, D.S.J. and Jones, H.J.,( 1950); Elastic wave velocity in sedimentary rocks, *Am. geophysics union trans.*, Vol.31, PP: 169-173.
- Hunt R.E., 1986; *Geotechnical engineering analysis and evaluation*. MC-Graw Hill Book Co., 730 P.
- Hunt, R.E. (1986). *Geotechnical engineering analysis and evaluation*. McGraw-Hill Book Company,730p.
- Hunt, R.E. (1986): *Geotechnical engineering analysis and evaluation*. McGraw –Hill Book Co., 730p.
- Jassim, S. Z. and Goff, J. C., (2006). (*GEOLOGY OF IRAQ*), Dolin, Prague and Moravian museum, Brno, Czech Republic.P314.
- Jolly, R.N., 1956; Investigation of shears waves, *Geophysics*, Vol.21, PP: 305-938.

- Kearey, P., 2002; An introduction to geophysical exploration, 3<sup>rd</sup> edition, Blackwell science Ltd., 262 P.
- Kearey, Ph., Brooks, M., Hill, I.,(2002),"An Introduction To Geophysical Exploration", 3rd Ed. Blackwell Science Limited , 281 p.
- Keller, G.V. and FrischKnecht, F.C., 1966; Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, New York.
- Keller, G.V., and FrischKnecht, F.C., 1970, Electric sounding for predicting aquifer properties: Pergamon Pres, Oxford, 519 P.
- Kilty, T.K., Norris, R., Mc Lamore, W.R.,Hennon,K.and Evge, K., (1986) Seismic Refraction at Horse Mesa Dam. An application of the generalized reciprocal method. Geophysics Vol.51, No.2,pp. 266- 275.
- King ,T.V.V, 1966 Mapping organic contamination Detection of clay –organic processes , proceeding A ssociation Ground Water Scientists and Engineers (AGWSE) \ national Water well Association (NWWA)\API.
- Knödel K. ; Lang G . ; Voigt H.J. (2007), "Environmental Geology" Handbook of field methods and case studies, Hannover Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Springer Books, 1357p.
- Koefoed, O., Kunetz, G., & Saxov, S. (1968). The Application of the Kernel Function in Interpreting-Geoelectrical Resistivity Measurements.
- Kosinski, W.K., and Kelly, W.E., 1981; Geoelectric sounding for predicting aquifer properties: Groundwater, Vol.18, No.2, PP: 163-171.
- Kunetz, G., (1966), Principles of Direct Current Resistivity Prospecting, Berlin, Gebruder Borntraeger, Serial No. 1, Berlin Nekolassee. 106p.
- Kunetz, G., 1966; Principle of direct current resistivity prospecting. Gebruder Borntrager, Berlin, 106 P.
- Lama, R.D. andVutukuri, V.S. (1978): Handbook on mechanical properties of Rocks. Trans Tech Publication , Switzerland ,515 p.

- Lowrie, W., (2007), Fundamentals of Geophysics "2<sup>nd</sup> Edition", Cambridge University Press.
- Mares, S. (1984): Introduction to Applied geophysics. D. Reidel published Co., 581p.
- Matias, M. S., & Habberjam, G. M. (1984). A field example of the use of anisotropy parameters derived from resistivity soundings. Geophysical prospecting, 32(4), 725-739.
- Mooney, H.M., 1973; Handbook of engineering geophysics. Bison Instruments, Minneapolis.
- Morgan, N.A., (1967); The use of the continuous seismic profiler to solve hidden layer problems, Geophysical prospecting, Vol.15, PP: 35-43.
- Nafe, J.E. and Drake, C.L. (1957): Variation with depth in shallow and deep water marine sediments of porosity, density and the velocities of compressional and shear waves. Geophysics, Vol. 22, p.523-552. doi:10.1190/1.1438386
- Nettleton, L. L. (1940). *Geophysical prospecting for oil*. McGraw-Hill book Company, Incorporated.
- Neumann, R., Nobes, R. H., & Handy, N. C. (1996). Exchange functionals and potentials. Molecular Physics, 87(1), 1-36.
- P. K. Bhattacharya & H. P. Patra 1968. Direct Current Electric Sounding (Methods in Geochemistry and Geophysics, 9.) p., 47 . Elsevier Publishing Co., Amsterdam, London, New York. Price
- Palmer, D., 1991; The resolution of narrow low velocity zones with generalized reciprocal method. Geoph. Pros. 39, PP: 1031-1060.
- Parasnis, D.S., 1972; Principles of applied geophysics 2<sup>nd</sup> ed., London, Chapman and Hall LTD., 214 P.
- Parsons, R.M., (1957). Groundwater resources of Iraq (Mesopotamia plain), Vol.11, development board ministry of development government of Iraq, P.5-21.
- Paulose, P. I., Jose, G., Thomas, V., Unnikrishnan, N. V., & Warriar, M. K. R. (2003). Sensitized fluorescence of Ce<sup>3+</sup>/Mn<sup>2+</sup> system in phosphate glass. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 64(5), 841-846.

- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., ... & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214.
- pelton, 2005. Locating of Sinkhole Extension by Seismic Refraction Tomography and GPR Methods. Conference: 72nd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2010
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Rinaldi, V. A., & Cuestas, G. A. (2002). Ohmic conductivity of a compacted silty clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(10), 824-835.
- Salem, H.S. (1990). "A Theoretical and Practical Study of Petrophysical, Electric and Elastic Parameters of Sediments, Ph.D. Thesis, Kiel University , F.R. Germany ,Publish by University Microfilms International (UMI),MI,USA, 200p.
- Senthil P, Alex Varughese, Nripendra Kumar, 2019. Estimation of Q-value and Deformation Modulus of Rock Mass using Seismic Refraction Survey for Hydropower Project. *Water Energy International* 62(4) 48
- Sharma, P.V., 1986; *Geophysical methods in geology: 2<sup>nd</sup> edition*, Elsevier Scientific publishing company, Netherlands, 422 P.
- Sharma, P.V., 1997; *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge University press, 475 P.
- Sheriff, R. E. (2002). *Encyclopedic dictionary of applied geophysics*. Society of exploration geophysicists.
- Sheriff, R.E. and Geldart, L.P., (1986); *Exploration Seismology*, Cambridge University Press, pp .316.
- Sissakian ,V.; Ibrahim, E.; Ibrahim, F. and Al-Ani, N.(2000). *Geologic Map of Iraq* , 3rd ed., Geosurv , Baghdad , Iraq.
- Sjøgren, B., 1984; *Shallow refraction seismic*. Chapman and Hall, London, 270 P.

- Socco L.V. and Strobba C. (2004). [Surface-wave method for near-](#)  
Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., (1990), Applied  
Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 770 p.
- Soske, J. L., (1959); The blind zone problem in engineering  
geophysics. *Geophysics* 24, PP: 163-180.
- Subba Rao, N. (2003). Groundwater quality: focus on fluoride  
concentration in rural parts of Guntur district, Andhra Pradesh,  
India. *Hydrological Sciences Journal*, 48(5), 835-847.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., (1990), Applied  
Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 770 p.
- Telford, W.M. 1976 Applied geophysics. Cambridge University Press,
- Toksoz, M.N., Cheng, C.H. and Timur, A. (1976). "Velocities of  
Seismic Waves-Porous Rocks", *Geophysics*, Vol.41, pp.621-645.
- Van Overmeeren, R. V. (1989): Aquifer boundaries explored by  
geoelectrical measurements in the coastal plain of Yemen, A case of  
equivalence. *Geophys.*, Vol. 54, pp. 38-48.
- Watson, K.A. and Barker, R.D. (1999), Differentiating anisotropy and  
lateral effects using azimuthal resistivity offset Wenner soundings:  
*Geophysics*, Vol. 64, p.739-745.
- Worthington, P. F., & Griffiths, D. H. (1975). The application of  
geophysical methods in the exploration and development of sandstone  
aquifers. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8(2), 73-102.
- Zohdy, A. A. R. (1989), A New Method for the Automatic  
Interpretation of Schlumberger and Wenner Sounding Curves.  
*Geophysics*, 54, 2, p.245-253.
- Zohdy, A. A., & Bisdorf, R. J. (1990). Schlumberger soundings near  
Medicine Lake, California. *Geophysics*, 55(8), 956-964.
- Zohdy, A.A., Eaton, G.P., and Mabey, D.R., 1974; Application of  
surface geophysics to ground-water investigations. U.S. Geological  
Survey, Techniques of water-resource investigations, 116 P.
- Zohdy, A.A.R., 1965; The auxiliary point method of electrical  
sounding interpretation and its relationship to Dar Zarrouk parameters:  
*Geophys*, Vol. 30, No.4, PP: 644-660.%