ثالثاً ـ التقنيات السيزمية الجيوهندسية (أساليب جديدة لطرائق العمل ومنهجيته)

كما ور أعلاه فإن:

١ـ الأمواج السيزمية (Seismic Waves).

عند حدوث زلزال في منطقة ما فإن الطاقة السيزمية المتحررة تنتشر على شكل أمواج سيزمية متعددة وتتحرك بطرق مختلفة من المركز إلى جميع الاتجاهات في الوسط المحيط بها، وتنقسم الأمواج السيزمية الرئيسة إلى مجموعتين رئيستين اعتمادا على أساس مرورها من بنية الأرض هما:

٢ـ١ـ١:الأمواج الجسمية (Body Waves)، ينتقل وينتشر هذا النوع من الأمواج إلى بنية الأرض الداخلية، وينقسم إلى قسمين اعتمادا على سلوك الأمواج خلال انتقالها داخل بنية الأرض.

أ) الأمواج الأولية (P-Waves). **ب) الأمواج الثانوية (S-Waves).** تم شرحها أعلاه.

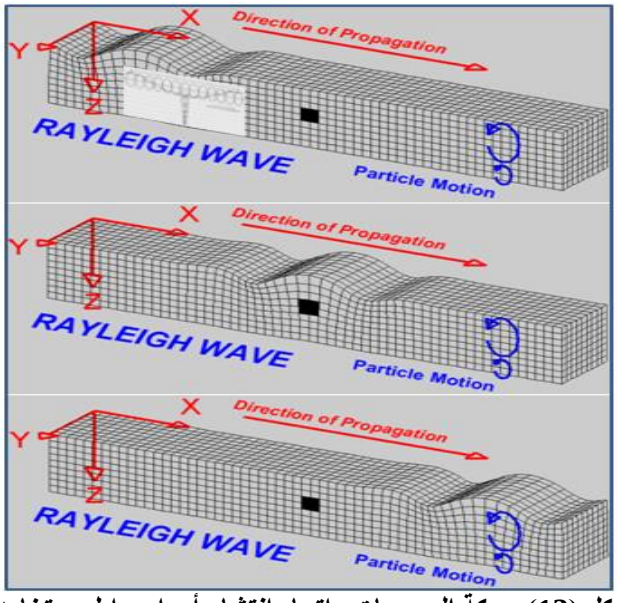
٢ـ١ـ٢:الأمواج السطحية (Surface Waves) وتقسم إلى قسمين؛ هما:

أ) أمواج لوف (Love Waves) سميت عام ١٩١١ من قبل لوف(Love)، إذ تتحرك الجسيمات حركة عرضية بالتناوب بشكل متعامد مع اتجاه انتشارها، مع تناقص في سعتها مع العمق ورجوع مادة الوسط إلى وضعها الأصلي بعد مرور أمواج لوف، وهي التي يشعر بها أكثر الناس عند حدوث زلزال،وتتماثل أمواج لوف مع الأمواج الثانوية أفقية الحركة (SH) وبدون إزاحة عمودية.

ب) أمواج رايلي (Rayleigh Waves) سميت بهذا الاسم لأول مرة عام ١٨٨٥ من قبل رايلي (Lord Rayleigh).

تتلخص أهم خصائص أمواج رايلي بما يلي:

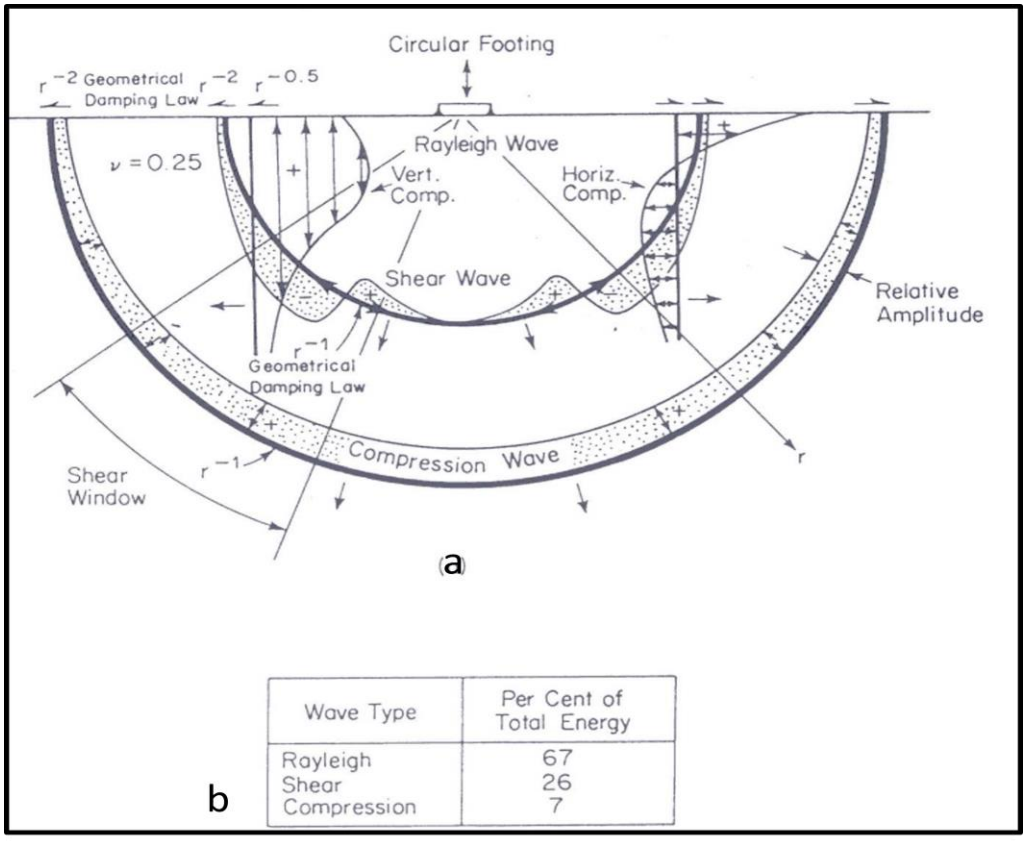
ـ حركة الجسيمات لأمواج رايلي ليست حركة أفقية فقط أو موازية لاتجاه انتشارها، ولكنها تتحرك حركة مركبة من النوعين معا، فينتج منهما حركة بيضوية الشكل في مستوى عمودي ويوازي هذا المستوى اتجاه انتشار أمواج رايلي، مع تناقص في سعتها مع العمق الشكل (13).



الشكل (13) حركة الجسيمات واتجاه انتشار أمواج رايلي وتخامدها.

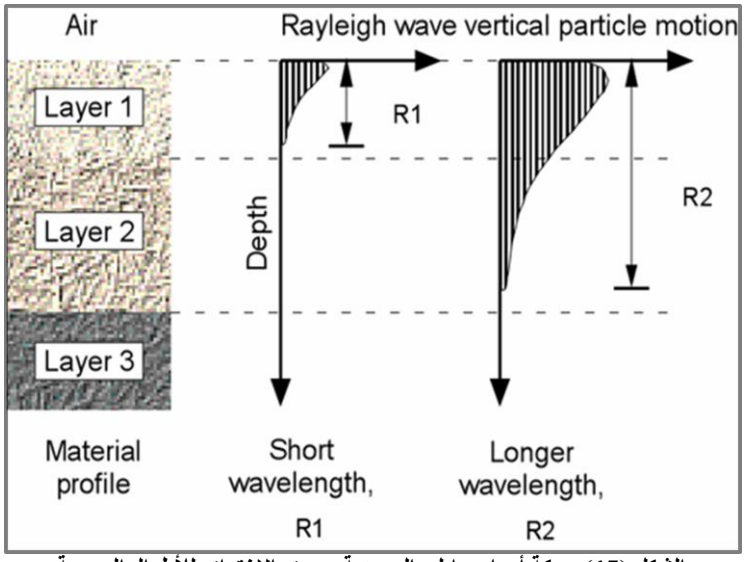
- يوضح الشكل (14a) الأمواج السيزمية المختلفة التي تنشأ في وسط متجانس المرونة وتوزيع طاقتها عندما يكون نسبة بواصون يساوي (٠.٢٥) عند استخدام الطرق العمودي على البلاطة المستخدمة كمصدر طاقة زلزالية ، وتشكل أمواج رايلي ثلثي المجموع الكلي لطاقة الأمواج السيزمية في أثناء المسح السيزمي ، أي (67%) من الطاقة السيزمية سيتحول إلى أمواج رايلي عند استخدام الطرق العمودي كمصدر طاقة زلزالية، كما في الشكل (14b).

- تتناقص سعة أمواج رايلي تدريجيا بزيادة المسافة (r) عن المنبع بمقدار يساوي $(1/r)$، في حين تتناقص سعة الأمواج الجسمية بشكل مفاجئ بزيادة المسافة بمقدار يساوي $(1/r^2)$، وذلك اعتمادا على شكل مقدمة الموجة (Wavefront Shape) حيث إن مقدمة الموجة للأمواج الجسمية كروية الشكل، ومقدمة الموجة لأمواج رايلي أُسطوانية الشكل، لذا فإن أمواج رايلي ملموسة وأكثر وضوحا واهتزازا من الأمواج الجسمية عند مسافات كبيرة عن المنبع.



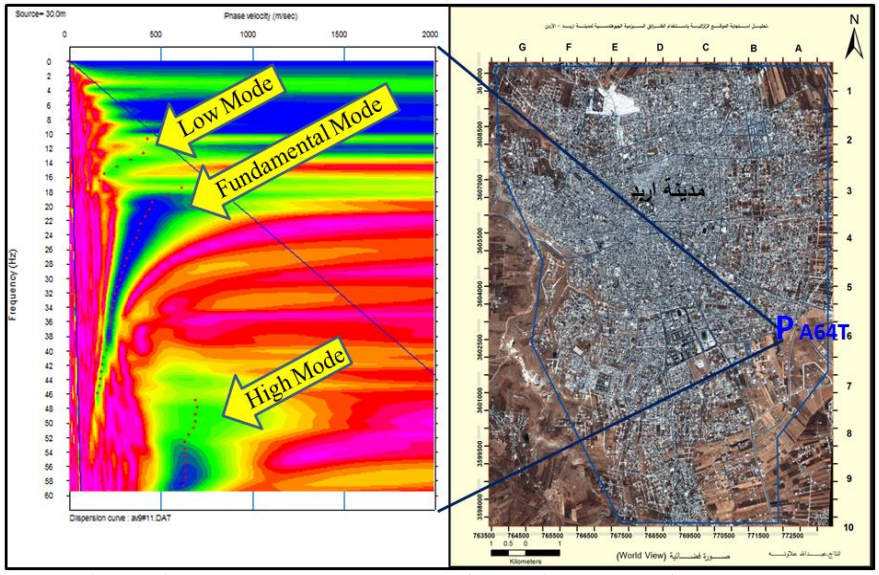
الشكل (14) الأمواج السيزمية الناتجة من مصدر طاقة عمودي ونسبتها المئوية.

تتخامد سعة أمواج رايلي مع العمق من سطح الأرض وتصل إلى أعماق تساوي طولها الموجي ويوضح الشكل (15) عمق اختراق أمواج رايلي في الطبقات السطحية اعتمادا على خصائص المواد المكونة للطبقات، إذ يصل عمق الاختراق إلى ١- ٢ ضعف الطول الموجي لأمواج رايلي، إذ إن العمق الذي تصل إليه الأمواج ذات الطول الموجي القصير أقل من العمق الذي تصله الأمواج الطويلة،وتعكس الخصائص السيزمية والجيوتقنية للطبقات السطحية التي تخترقها وتصل إليها.

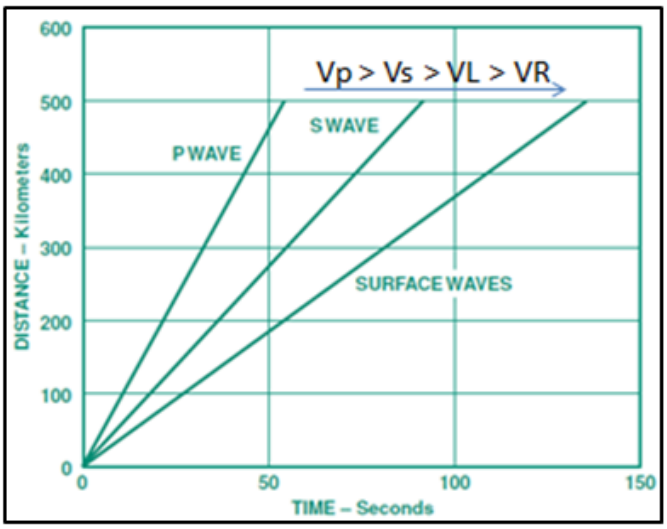


الشكل (15) حركة أمواج رايلي العمودية وعمق الاختراق للأطوال الموجية

يحدث تشتت (Dispersion) لأمواج رايلي عند انتقالها خلال الوسط غير متجانس الخصائص وذلك بسبب تغير سرعة أمواج رايلي مع تغير طولها الموجي، وعند انتقالها في وسط متجانس لا يحدث لها تشتت أي بمعنى تنتقل بسرعة ثابتة مع تغير أطوالها الموجية، أمّا في الطبقات السطحية يحدث تشتت لأمواج رايلي بأوضاع متعددة (Fundamental Mode, High Freq. Mode, Lo Freq. Mode) كما في الشكل (16)، وتم دراسة تشتت الأمواج السطحية (خاصة أمواج رايلي) بأوضاعها المختلفة من قبل العديد من الباحثين، بافتراض نقطة ما تبعد مسافة ٥٠٠ كم عن بؤرة زلزال، فإن الأمواج الأولية تصل إلى النقطة أولا ثم الثانوية (بطاقتيهما الصغيرة)، ثم أمواج لوف وأمواج رايلي على الترتيب (بطاقتيهما المدمرة) كما في الشكل (17)، لذا يمكن الاستفادة من وصول الأمواج الجسمية في توقع وقت وصول الأمواج السطحية، وتظهر الأمواج الجسمية عندما يكون وسط منخفض السرعة يعلو وسط عالي السرعة (مثال تربة زراعية منخفضة السرعة تعلو تربة غضارية عالية السرعة).



الشكل (16) الأوضاع المختلفة لتشتت أمواج رايلي في احد بروفيلات منطقة الدراسة.



الشكل (17) ترتيب الأمواج السيزمية حسب سرعة وصولها.

٢-٢: علاقة أمواج رايلي بسرعة الأمواج (القصية) العرضية.

تستخدم أمواج رايلي على نطاق واسع في تحديد واكتشاف الخصائص الديناميكية والتركيبية للطبقات السطحية ومعاملات المرونة، وذلك لأن استخدام أمواج رايلي يعد من الطرائق غير التدميرية بالإضافة إلى سهولة تكونها ونشأتها في الأعمال الحقلية السيزمية، ويُستخدم تشتت أمواج رايلي في تحديد سرعة الأمواج (القصية) العرضية للطبقات السطحية القريبة، وضح ريتشارت (Richart) عام ١٩٧٠ العلاقة بين سرعة انتشار أمواج رايلي مع سرعة الأمواج (القصية) العرضية في الوسط المرن، كما في العلاقة الرياضية التالية رقم (١):

$$\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^6 - 8\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^4 + \left(24 - 16\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}\right)\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^2 + 16\left(\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma} - 1\right) = 0 \qquad (١)$$

حيث إن (VR) سرعة أمواج رايلي، (VS) سرعة الامواج (القصية) العرضية، (σ) نسبة بواسون.

كما أن نسبة بواسون تحسب وفق المعادلة التالية :

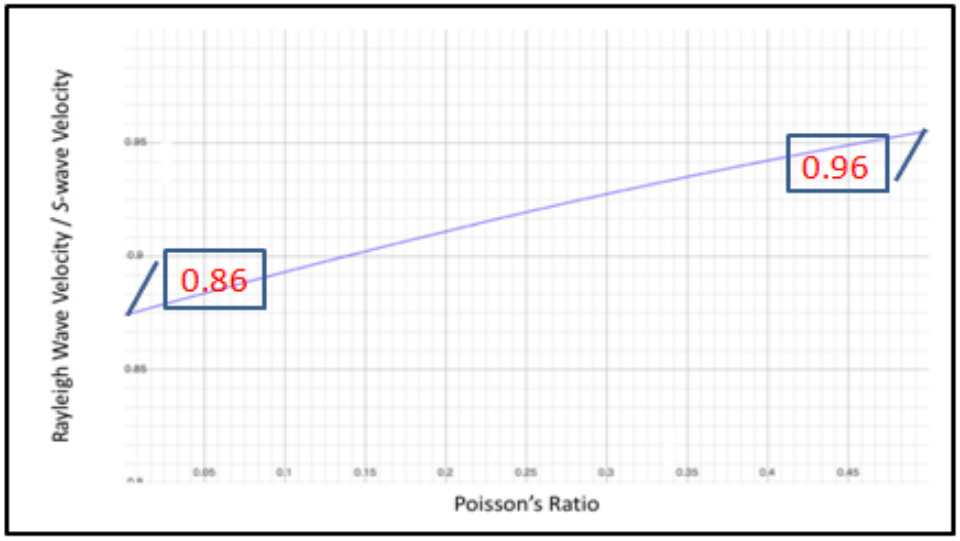
$$\sigma = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2\left(V_P^2 - V_S^2\right)} \qquad (٢)$$

الشكل (١٨) يوضح العلاقة بين كل من (VR/VS)ونسبة بواسون، اذ إن سرعة أمواج رايلي تساوي (٠.٨٦ - ٠.٩٦) من الأمواج (القصية) العرضية، عند نسبة بواسون (٠.٠ - ٠.٥) على الترتيب كما يتضح في المعادلتين التاليتين:

$$VR = \left\{\frac{0.86+(1.14\ \sigma)}{1+\ \sigma}\right\} \times VS\ m/s \qquad (3)$$

بتعويض نسبة بواسون في المعادلة (٣) نجد أن:

$$VR = (\ 0.86 - 0.96\ ) \times VSm/s \qquad (4)$$



الشكل (١٨) نسبة سرعة أمواج رايلي إلى سرعة الأمواج (القصية) العرضية مع نسبة بواصون

٢-٣: الطرائق السيزمية المستخدمة في الأعمال الحقلية السيزمية.

هناك العديد من الطرائق السيزمية التي يمكن استخدامها في الأعمال الحقلية للحصول على المعطيات السيزمية اللازمة في الدراسات الجيوتقنية والهندسة الزلزالية وإيجاد الحلول المناسبة للكثير من المشاكل في تصميم المباني والمنشآت، على سبيل المثال **الطريقة الانكسارية (Refraction)** التي تستهلك وقتاً كبيراً في عملية جمع المعطيات السيزمية وتحليلها، بالإضافة إلى تكلفتها المالية العالية، حيث تحتاج إلى استخدام مجموعتين من اللواقط الطولية لقياس أعماق الطبقات، واللواقط العرضية لتحديد سرعة الامواج (القصية) العرضية، عدا أنها غير قادرة على كشف الطبقات المخفية (hidden layers) ويتطلب التحري لأعماق كبيرة إعداد بروفيلات طويلة ومنبع سيزمي صنعي طاقته كبيرة، وهذا غير متوفر في المدن والمناطق الحضرية ذات المساحات الصغيرة والمحدودة، بالإضافة إلى الضجيج والتشويش غير المرغوب بهما في أثناء التحري السيزمي والناتج من حركة المرور النشطة وغيرها، وفي هذا الفصل تم استخدام **طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية (MASW)** لجمع المعطيات السيزمية، والتي يعتمد أساس تقنيتها على تشتت أمواج رايلي السطحية ذات الأطوال الموجية المختلفة عند انتقالها في الطبقات والتربة القريبة من السطح بسرعات مختلفة .

٢-٣-١- طريقة تحليل متعدد القنواتللأمواج السطحية (Multichannel Analysis of Surface Waves)

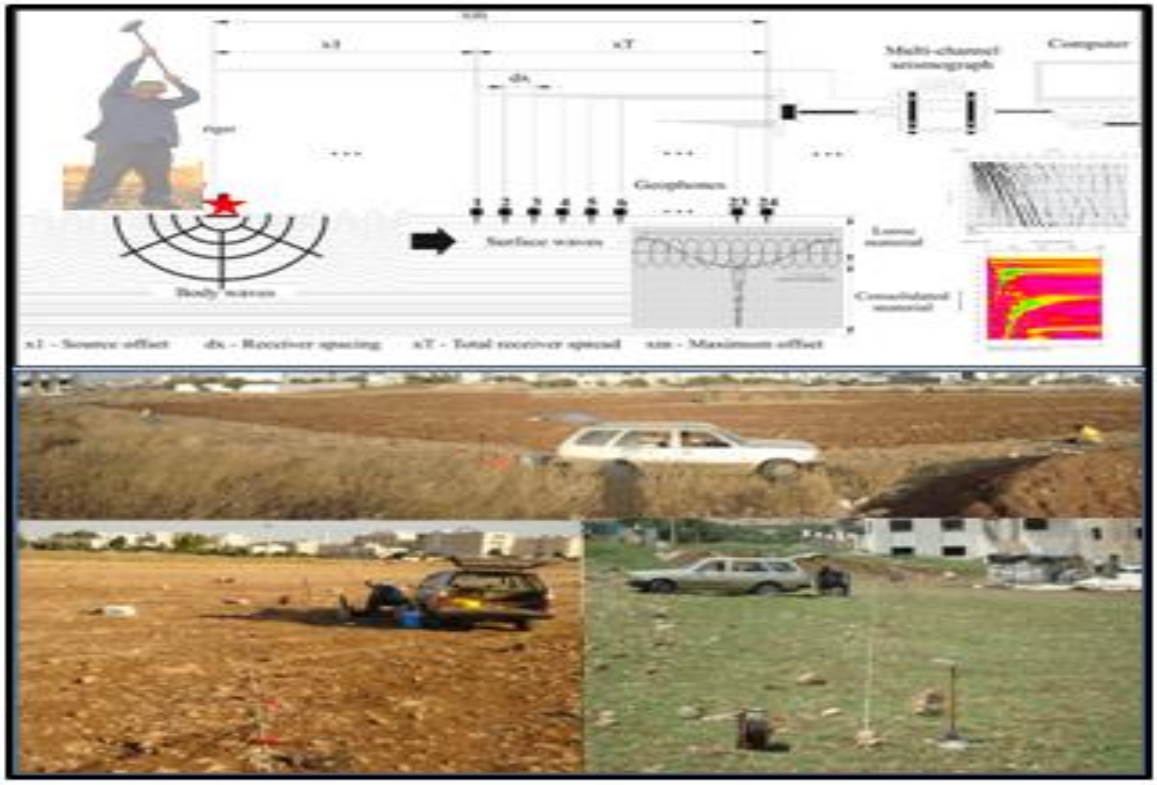
بدأ فعليا مشروع تطوير طريقة تحليل متعدد القنوات في بداية التسعينيات (1999s) من قبل الجيوفيزيائين الذين يعملون في المسح الجيوفيزيائي (Kansas) والذين استفادوا من خبراتهم الطويلة في استخدام الطريقة السيزمية الانكسارية للكشف عن البترول بعمق عدة كيلومترات،ظهر مصطلح (MASW) لأول مرة في المنشور الصادر في الفيزياء عام (١٩٩٩) من قبل بارك وآخرين.

يستخدم في طريقة تحليل متعدد القنوات عادة أكثر من ١٢ لاقطاً طوليا ًأو راسياً مثبتة مع سطح الأرض بإحكام وعلى مسافات متساوية، ومتصلة بجهاز سيزموغراف، وتتماثل تجهيزات طريقة تحليل متعدد القنوات وإعداداتها الأساسية مع تجهيزات وإعدادات طريقة المسح السيزمي للأمواج الجسمية انظر الشكل (١٩)، لكن مع وجود اختلاف بسيط في بعض المعايير والتجهيزات، الجدول (2) ومنها:

الجدول (2) التجهيزات والإعدادات الحقلية لطريقة تحليل متعدد القنوات (ماسو).

Depth (Z_{max})[1] (m)	Source (S)[2] (lb)	Receiver (R)[3] (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move (dx)			Recording[8]				
			Length[4] (D)	Source Offset[5] (X_1)	Receiver Spacing (dx)[6]		Lateral Resolution[7]			dt[9] (ms)	T[10] (sec)	Vertical Stack[11]		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1	4.5–100	1–3	0.2–3.0	0.05–0.1	0.02–0.05	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(1)**	(40)	(2.0)	(0.4)	(0.1)	(0.05)	(1)	(2)	(4)	(0.5)	(0.5)	(3)	(5)	(10)
1–5	1–5	4.5–40	1–15	0.2–15	0.05–0.6	0.02–0.3	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(5)	(10)	(10)	(2)	(0.5)	(0.25)	(1)	(2)	(4)	(0.5)	(0.5)	(3)	(5)	(10)
5–10	5–10	≤ 10	5–30	1–30	0.2–1.2	0.1–0.6	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(10)	(4.5)	(20)	(4)	(1.0)	(0.5)	(1)	(2)	(4)	(0.5)	(1.0)	(3)	(5)	(10)
10–20	≥ 10	≤ 10	10–60	2–60	0.4–2.5	0.2–1.2	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–2.0	1–3	3–5	5–10
	(20)	(4.5)	(30)	(10)	(1.5)	(1.0)	(1)	(2)	(4)	(0.5)	(1.0)	(3)	(5)	(10)
20–30	≥ 10	≤ 4.5	20–90	4–90	0.8–3.8	0.4–1.9	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–2.0	1–3	3–5	5–10
	(20)	(4.5)	(50)	(10)	(2.0)	(1.5)	(1)	(2)	(4)	(1.0)	(1.0)	(3)	(5)	(10)
30–50	≥ 10 (20)	≤ 4.5	30–150	6–150	1.2–6.0	0.6–3.0	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–3.0	1–3	3–5	5–10
	or passive	(4.5)	(70)	(15)	(3.0)	(2.0)	(1)	(2)	(4)	(1.0)	(1.0)	(3)	(5)	(10)
> 50	≥ 10 (20)	≤ 4.5	> 50	> 10	> 2.0	> 1.0	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	≥ 1.0	1–3	3–5	5–10
	or passive	(4.5)	(150)	(30)	(6.0)	(4.0)	(1)	(2)	(4)	(1.0)	(2.0)	(3)	(5)	(10)

(١) العمق الاقصى للتحري. (٢) وزن المطرقة. (٣) التردد الطبيعي للواقط. (٤)طول البروفيل الكلي. (٥)بعد مصدر الطاقة السيزمي (x1). (٦) المسافة بين اللواقط (dx). (٧) درجة الوضوح جانبيا.(٨)معأيير التسجيل لليسزموغراف. (٩) الفاصل الزمني للعينات (ms). (١٠) وقت التسجيل الكلي (s). (١١) عدد ضربات التكديس العمودي للبيانات.



الشكل (١٩) رسم توضيحي وصور ميدانية للإعدادات الحقلية لطريقة تحليل متعدد القنوات.

أ) طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة (Active MASW)

وفي وقت مبكر من مطلع القرن الواحد والعشرين (2000s) تطورت طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة حتى أصبحت طريقة شعبية الاستخدام من قبل المهندسين الجيوتقنيين في الدراسات الجيوتقنية والهندسة الزلزالية **للأسباب التالية:**

١) تعد من الطرائق السيزمية غير التدميرية (أي منبعها السيزمي آمن) وصديقة للبيئة.

٢) تختصر التكلفة المالية والوقت والجهد.

٣)تقنيتها سهلة التنفيذ والتطبيق في المناطق الحضرية ذات الضجيج وحركة المرور النشطة.

٤) دقة نتائجها ومطابقتها مع المعطيات السيزمية المسجلة من السبور حسب الدراسات.

٥) تزودنا بمقاطع لسرعة الأمواج العرضية حتى عمق ٣٠ م وأكثر من سطح الأرض.

٦) تعد طريقة سريعة في تحديد وتقييم السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية؛ وذلك لأن:

- عمق التحري السيزمي المطلوب مضمون بإجراء عملية واحدة لتوليد أمواج رايلي السطحية أو أكثر دون تغيير تجهيز اللواقط.

- احتواء الحقل الموجي (wave field) على الأمواج الجسمية.والأوضاع عالية التردد (High freq. mode).

- يمكن تحديد أمواج رايلي بسهولة وفصلها عن الأمواج الأُخرى عند استخدام طريقة متعددة القنوات، والحصول على نتائج دقيقة.

تقسم طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة إلى قسمين اعتمادا على نوع منبع الطاقة السيزمي، وتقنية معالجة المعطيات السيزمية لبناء منحنى التشتت، وهما:

١- طريقة تحليل متعدد القنوات باستخدام منبع نبضي (Implusive Sourse).

٢- طريقة تحليل متعدد القنوات باستخدام منبع رجي اهتزازي (Vibroseis Sourse).

ب) طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة (Passive MASW).

من عيوب طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة أن عمق التحري الأقصى فيها محدود ١٥-٣٠م، ومرتبط بطاقة المنبع لذلك نحتاج الى طاقة نشطة كبيرة (سقوط كتلة) لزيادة درجة الهرتز عند نهاية التردد المنخفض في منحنى التشتت مما يؤدي إلى زيادة عمق التحري أضعافاً، مما يجعل استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة غير كافية للحصول على عمق الاختراق المطلوب .

من ناحية أخرى، إن الأمواج السطحية (معظمها أمواج رايلي) الناتجة عن الحركة والمصادر الطبيعية (المد والجزر، الرياح، ومياه الأنهار)، أو عن الأنشطة الصناعية (حركة المرور، الصناعات)، تمتاز بالترددات المنخفضة (١-٣٠) Hz، والأطوال الموجية الكبيرة التي تتراوح من الكيلومترات(المصادر الطبيعية) إلى عشرات أو مئات الامتار(المصادر الصناعية)، لتوفير أعماق اختراق كبيرة.

طورت هذه الطريقة أولا في اليابان وسميت:

بطريقة المسح الدقيق (Microtremore Survey) وكانت تعتمد على أقل من عشرة لواقط،

وفيما بعد سميت: **بطريقة القياس الدقيق (Microtremore Array Measurement /MAM).**

لووي (Louie) أول من أدخل طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة الخطية وسماها:

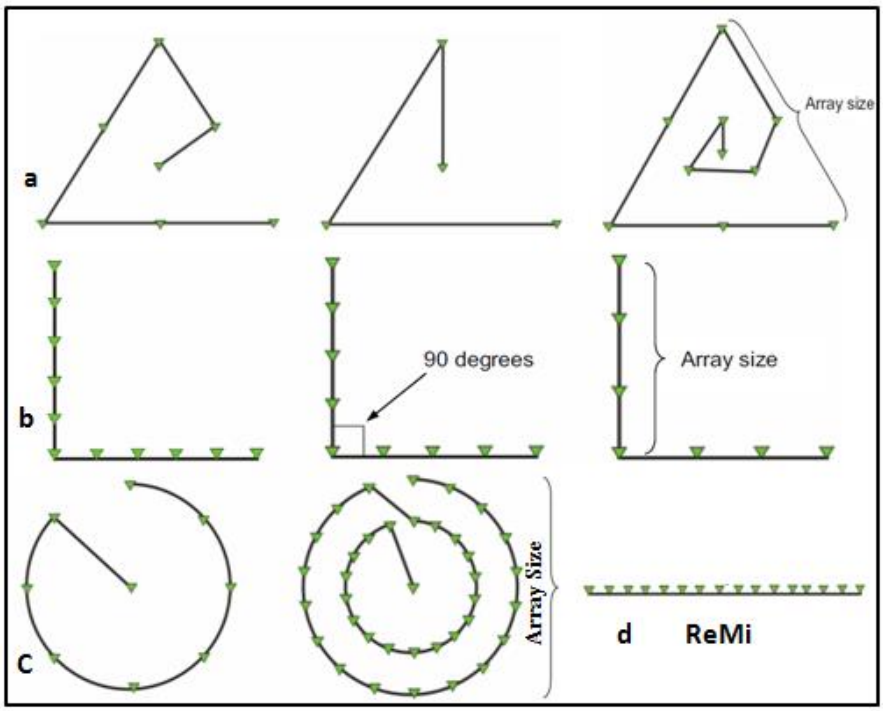
بالطريقة الانكسارية الدقيقة (Refraction Microtremor/ReMi)، والتي تستخدم في الدراسات الجيوهندسية مختلفة الأهداف والتي تتطلب أعماقا أكبر من ١٥م، وتعتمد على تسجيل الأمواج السطحية (رايلي) الناتجة من المصادر الطبيعية و الصناعية، وتعتمد تقنيتها على فكرتين أساسيتين:

١) تتشابه مع إعدادات الطريقة السيزمية الانكسارية من حيث ترتيب اللواقط فقط.

٢) سهولة فصل أمواج رايلي من الأمواج السيزمية السطحية الأخرى المسجلة في عملية التحليل.

ثم طورت كل هذه الطرائق لاحقا لتصبح نوعا من طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة ، والتي تستخدم ٢٤ لاقطاً طولياً أو أكثر للاستفادة الكاملة من تسجيلات ومعالجة تحليل متعدد القنوات.

وتنقسم طريقة ماسوا غير النشطة إلى قسمين اعتمادا على الشكل الناتج من ترتيب اللواقط؛ **ثنائية الأبعاد الشكل (20a,b,c)، مثل الدائرة المثلث وحرف (L)** ويفضل أن يكون تماثل في شكلها، لأن عدم التماثل يؤدي إلى انحياز النتيجة باتجاه معين لا يتطابق مع الاتجاه الفعلي لطاقة الأمواج السطحية الرئيسة **وأحادية البعد (خطية) الشكل (20d) والمعروفة بالطريقة الانكسارية الدقيقة (ReMi)** حيث إن طول ضلع التشكيل أو طول البروفيل له علاقة بالطول الموجي الأكبر ($\lambda\ max$) وعمق التحري الأقصى، أما المسافة بين اللواقط فلها علاقة بالطول الموجي الأصغر ($\lambda\ min$) وعمق التحري القريب من السطح.



الشكل (20) أنواع طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة.

٢-٤- طرائق معالجة المعطيات السيزمية.

هناك العديد من البرمجيات التي تستخدم لتحليل المعطيات السيزمية المسجلة باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات، وجميعها تعتمد في عملية التحليل لطور سرعة أمواج رايلي على خاصية التشتت التي تمتاز فيها الأمواج السطحية،بالإضافة إلى سهولة تحديد أمواج رايلي باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات والحصول على نتائج دقيقة، وتستخدم الوضع الأساسي (Fundamental-Mode) لأمواج رايلي في عملية التحليل لأنه يمتلك الطاقة الأكثر مقارنة مع الأمواج الأُخرى، ولا يتم تسجيل أمواج لوف السطحية لأن جسيماتها تهتز أفقيا؛ لذا يحتاج تسجيلها إلى لواقط أفقية ومثال تلك البرمجيات:

برمجية سيرف سأيز (SurfSeis)، وبرمجية سأيز إمجر (SeisImager)، وبرمجية ون سايز (WinSeis) وهناك العديد من البرامج الحديثة المطورة.

المبدأ الأساس لطريقة MASW:

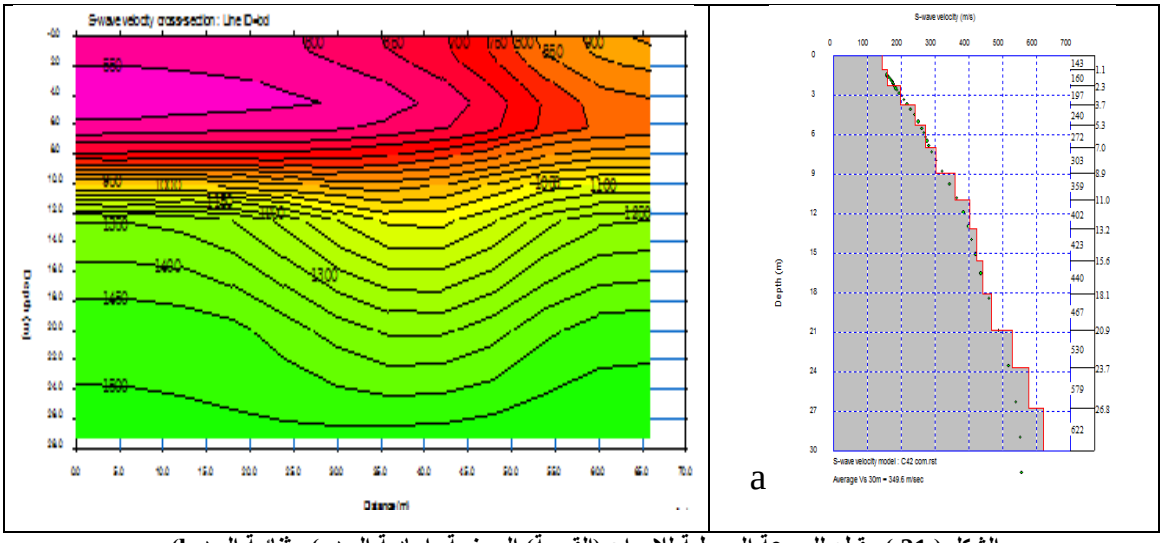
تتمثل طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة في عملية معالجة المعطيات السيزمية وتحليلها والتي تتم بالمراحل والخطوات التالية:

١- فتح ملف السيزموغرام للأمواج السطحية المسجل بلاحقة (Seg2).

٢- حساب سرعة طور أمواج رايلي (Phase velocity)، إذ إن انتقال الأمواج بسرعات مختلفة عند كل طول موجي خلال عبورها الطبقات نتيجة لتغير ترددها، يسمى سرعة الطور ويمكن حسابه من خلال الميل الخطي المميِّز لكل مركبة طول موجي (أمواج رايلي) عند الترددات ذات السعة العالية في الوسط المتجانس.

٣- بناء منحنى التشتت لأمواجرايلي (Dispersion Curve) أوتوماتيكيا، بعد تصفيته وفصله من الأمواج الأُخرى بسهوله أوتوماتيكيا باستخدام تقنية (SPAC)، حيث إن منحنى التشتت هو رسم بياني يمثل العلاقة بين سرعة طور أمواج رايلي وترددها اعتمادا على طريقة مجال التردد (Freq.-Domain) عند استخدام منبع الطاقة النبضي.

تُعد مرحلة بناء منحنى التشتت الأكثر تعقيدا في عمليات التحليل لأن دقة المقطع النهائي لسرعة الأمواج العرضية مع العمق تعتمد على دقة بناء منحنى التشتت.



الشكل (21) مقطع للسرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية: احادية البعدa) وثنائية البعد b).

٤- أوتوماتيكيا إعادة حساب سرعة الأمواج (القصية) العرضية من خلال عملية قلب (Inversion) منحنى التشتت والحصول على مقاطع السرعة للأمواج العرضية للطبقات مع العمق عند منتصف البروفيل ،أحادية البعد كما في الشكل (21a)، أو ثنائية البعد كما في الشكل (21b).

يتم تكرار عملية قلب منحنى التشتت لأمواج رايلي للحصول على السرعة العرضية بشكل آلي.

٢-٥- تطبيقات طريقة تحليل متعدد القنوات واستخداماتها.

في السنوات الأخيرة اسْتخدمت طريقة تحليل متعدد القنوات بنجاح في العديد من المشاريع والدراسات الجيوفيزيائية والجيوتقنية والهندسة الزلزالية اعتمادا على السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية لأول ٣٠م من الطبقات السطحية أو أكثر، ومنها:

١- بناء مقاطع السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية.

٢- رسم خرائط كنتورية لعمق صخر الأساس، الخصائص الديناميكية، وتحديد نقاط الضعف (عدم تجانس) للطبقات السطحية .

٣- دراسة قدرة تحمل التربة، وتوزيع نسبة بواصون.

٤- تحديد الفراغات وضبط تراص التربة والفجوات والقنوات في الطبقات السطحية.

٥- دراسة الخصائص السيزمية لرسوبيات قاع البحر.

٦- التقييم السيزمي لأرصفة وأرضيات الطرق وتحديد نقاط الضعف.

٧- رسم خرائط كنتورية للتراكيب الداخلية وتحديد الصدوع في الطبقات السطحية.

٨- تصنيف المواقع والتربة لأغراض التصاميم السيزمية وفق (NEHRPأوUBC، FEMA).

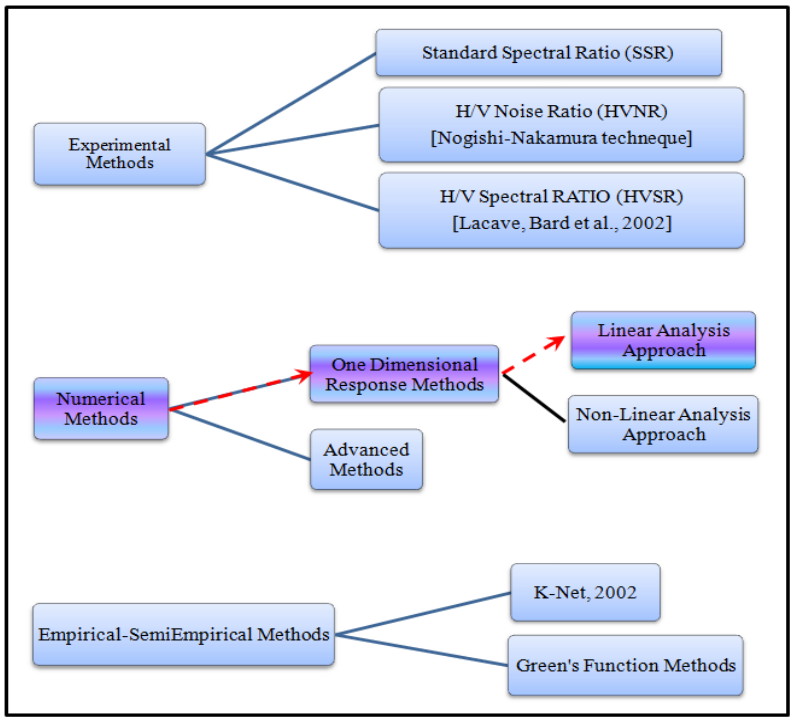
٩- الدراسات الزلزالية مثل تميع التربة، التمنطق الزلزالي، والاستجابة الزلزالية للموقع.

٢-٦- طرائق تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع.

عادة يتم تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع من خلال تقدير ووصف تأثير الأمواج الزلزالية على الموقع وقت حدوث الزلزال بوساطة حل المعادلات الديناميكية للحركة الأرضية عن طريق تشخيص مقطع التربة.

هناك طرق مختلفة لتحليل الاستجابة الزلزالية للموقع، والتي يمكن وضعها في ثلاث مجموعات رئيسة:

١-الطرائق المخبرية (Experimental ٢- الطرائق العددية (Numerical)، ٣- الطرائق التجريبية وشبه التجريبية (Empirical and Semi-Empirical) كما في الشكل (2).



الشكل (٢٢) مخطط لأنواع الطرق المستخدمة في تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع (الباحث).

يعتمد معظم هذه الطرق على أساس افتراض أن سبب استجابة الموقع أو التربة هو الانتشار العددي التصاعدي (الرأسي) للأمواج العرضية المستقطبة أفقيا من تكوينات صخر الأساس إلى سطح الأرض وهناك طريقتان شائعتا الاستخدام من الطرق العددية في حل المعادلات الديناميكية اللازمة في تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع، وهما:

٢-٦-١- طريقة التحليل الخطية (*Linear Analysis Approach*)، تتم باستخدام مجال التردد.

تعد طريقة التحليل الخطي الأكثر شيوعا وتستخدم على نطاق واسع في الدراسات الهندسية بسبب بساطتها وفي الأساس لا تأخذ بالحسبان التغير الرأسي في خصائص الطبقة الواحدة خلال الاهتزاز.

تعتمد طريقة تحليل الاستجابة الخطية على توليد موجة مرنة خطية أحادية البعد خلال الطبقات المتعددة لوضع وتحديد نموذج الاستجابة الديناميكية لعمود التربة، حيث تتم عملية التحليل الخطية اعتمادا على خصائص التربة (معامل القص، سماكة الطبقة وكثافتها)، بالإضافة إلى جانب آخر مهم هو مجال التردد لأنه مطلوب في حل معادلة الموجة للأمواج المنتظمة (harmonious waves)، إذ يتم تحويل السلسة الزمنية إلى مجال التردد باستخدام تحويل فورييه (Fourier Transform).

٢-٦-٢- طريقة التحليل غير الخطية (*Nonlinear Analysis Approach*)، تتم باستخدام مجال الزمن تستخدم طريقة تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع غير الخطية نظام التكامل خطوة بخطو وبشكل اكثر دقة لتحاكي سلوك التربة غير الخطي والصحيح، حيث تتم عملية التحليل بحساب الاستجابة الديناميكية لعمود التربة احادي البعد والذي يتكون من الكتل جميعها ومنابع القص غير الخطي التي تخضع إلى حركة الصخور المدخلة. تشمل الطريقة غير الخطية على العلاقة بين إجهاد القص غير الخطي مع تشوه القص في مجال الزمن ولا تشمل خصائص التربة متماثلة الإجهادات، لذلك عند دراسة الاستجابة السيزمية للموقع من الضروري معرفة خصائص التربة وسرعة الأمواج العرضية عند الأعماق المختلفة لعمود التربة.تنتمي طريقتا التحليل الخطية وغير الخطية إلى طريقة أحادية البعد كما في الشكل (٢٢).

إذ تعتمد طريقة التحليل أحادية البعد (One Dimensional Response Methods) المستخدمة في برمجية Shake2000 على فرضيتين أساسيتين هما:

١- امتداد حدود الطبقات السطحية وسطح صخر الأساس افقيا إلى ما لا نهاية.

٢- انتشار الأمواج رأسيا من صخر الأساس إلى سطح الارض مرورا بالطبقات السطحية المرنة.

تم استخدام طريقة التحليل الخطية لتحليل الاستجابة الزلزالية للموقع في هذه الدراسة واعتمادا على المعطيات الجيوتقنية والسيزمية المتوفرة باستخدام برمجية (Shake2000).

ومن أهم المدخلات المستخدمة في هذا البرمجية:

١- تسجيل حقيقي لزلزال على صخر الأساس، مثل زلزال عام ١٩٩٤ بقوة (٦.٥) على مقياس رختر متعلق بفالق البحر الميت التحويلي والذي يعد مرجع للحركة، يتم إدخاله لعرض التباين في تضخيم الموقع للموجة السيزمية عند المواقع المختلفة في منطقة الدراسة، او زلزال من برمجية شيك ٢٠٠٠.

٢- وحدة الكتلة (Unit Weight) لكل طبقة بوحدة قياس كيلو نيوتن\متر مكعب (KN/M^3).

٣- تحديد نوع الطبقة اعتمادا على معامل اللدونة (PI)، ومعرفة سماكتها (م).

٤-سرعة الأمواج (القصية) العرضية (Vs) لكل طبقة والدالة على صلابة التربة لأن التربة تعمل على تضخيم الأمواج السيزمية عند عبورها من الطبقات باتجاه السطح، لذا فإن وصف التربة وتقييم خصائصها من اهم الخطوات التي يجب معرفة كيفية التعامل معها.

تم قياس السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية في جميع البروفيلات الموزعة في منطقة الدراسة باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة لتوظيفها في تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع باستخدام برمجية شيك ٢٠٠٠ (Shake2000) وتقسيم منطقة الدراسة (التمنطق الزلزالي) اعتمادا على درجة استجابتها الزلزالية والسرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية، وأطياف التسارع، ونسبة التضخيم والتردد الطبيعي للموقع باستخدام نظام المعلومات الجغرافي (GIS)، ورسم الخرائط الكنتورية باستخدام برمجية السيرفر (Surfer) أو برمجية (GIS).

من اجل تنفيذ مرحلة الأعمال الحقلية وجمع المعطيات السيزمية اللازمة في تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع، يتم تقسيم منطقة الدراسة إلى شبكة مربعات متساوية الأبعاد ، وتنفيذ بروفيل واحد في كل مربع باستخدام طريقتي تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة باستخدام الأجهزة السيزمية المتوفرة (متوفر لدينا جهاز سيزمي ٤٨ قنال ولواقط طولية بتردد (٤.٥) Hz اختيار المسافة بين اللواقط من ١-٢م بشكل عام . وبعد منبع الطاقة السيزمية ٧-١٠م عن اللاقط الأول. وفي حال عدم توفر الأراضي والمساحة الملائمة بسبب ازدحامها بالمباني والمنشآت السكنية يمكن تنفيذ بروفيلات بنفس الإعدادات السابقة واختيار المسافة بين اللواقط ١- ١.٥م .

وبعد الانتهاء من مرحلة جمع المعطيات يتم معالجتها باستخدام برمجية سأيزامجر والحصول على السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية للطبقات وسماكتها، ويمكن الاستفادة من هذه المعطيات و ادخالها في برمجية Shake2000 والحصول على النتائج المختلفة.

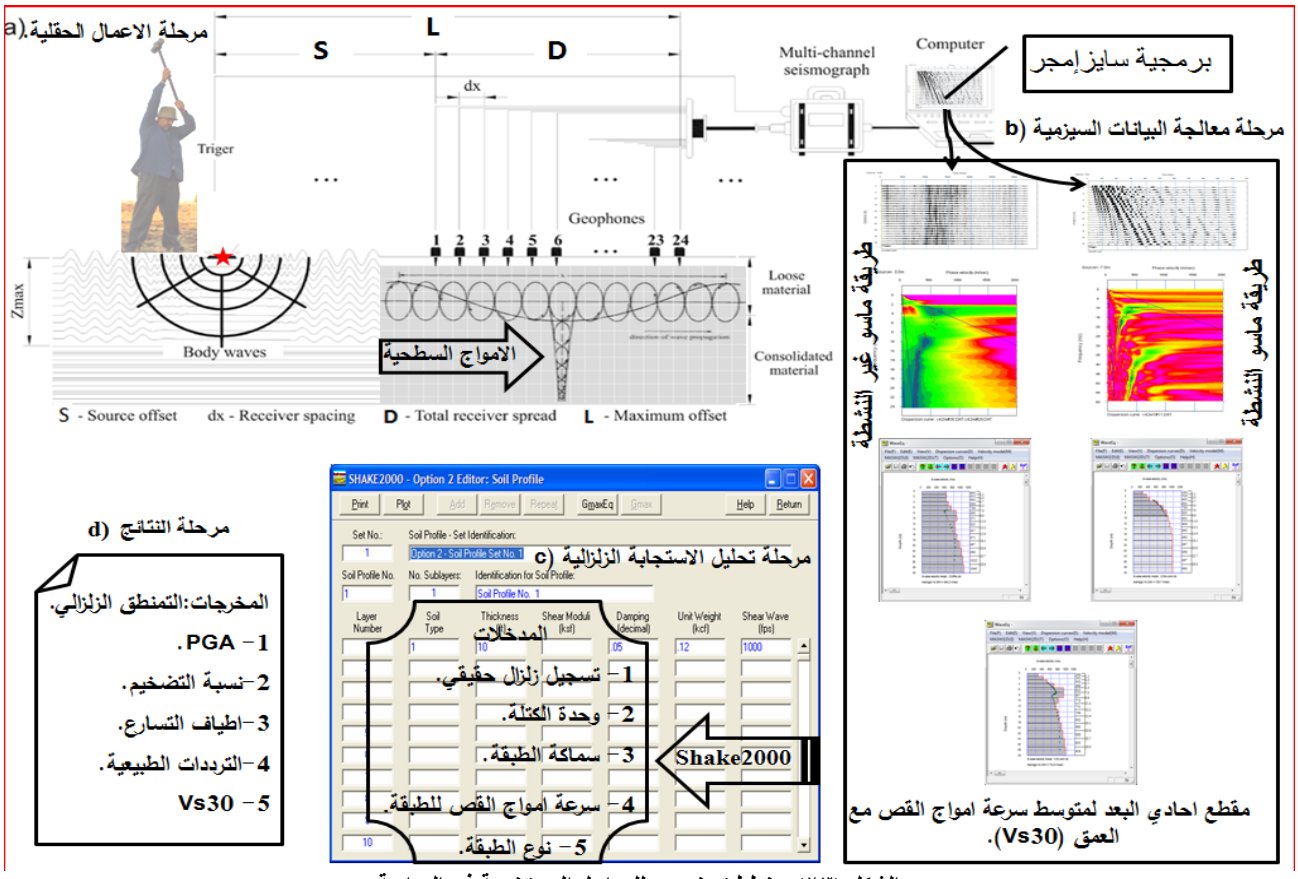
وتتكون دراسة تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع في منطقة الدراسة من أربع مراحل رئيسة يعرضها المخطط التوضيحي في الشكل (٢٣) وهي:

١- مرحلة الأعمال الحقلية السيزمية.

٢- مرحلة معالجة المعطيات السيزمية باستخدام برمجية سايزإمجر.

٣- مرحلة تحليل الاستجابة الزلزالية للموقع باستخدام برمجية شيك٢٠٠٠.

٤- تحليل النتائج وعرضها على شكل خرائط كنتورية تمثل تصنيف المواقع والتربة في منطقة الدراسة.



الشكل (٢٣) مخطط توضيحي للمراحل المستخدمة في الدراسة.

٢-٧- البرمجيات والبرامج المستخدمة في الدراسة.

١- برمجية سأيزإمجر (SeisImager).

- إدخال وعرض المعطيات السيزمية والتحكم في طريقة عرضها.
- تعديل وتغيير على ملفات المعطيات وحفظها.
- حساب منحنيات التشتت وعرضها.
- تمثيل سرعة الأمواج (القصية) العرضية بمقاطع أحادية البعد وثنائية البعد.

٢- برمجية شيك٢٠٠٠(Shake2000). ٣-برمجية سيرفر(Surfer). ٤- نظام المعلومات الجغرافية (GIS/ArcView). ٥- برنامج إكسل (Excel).

الفصل الثالث: الأعمال الحقلية السيزمية.

٣-١- مقدمة.

تم استخدام العديد من التقنيات والإعدادات السيزمية المتوفرة والمستخدمة في الأعمال الحقلية والتحري السيزمي والتي تعتمد على قياس زمن وصول الأمواج السيزمية المنتشرة بعد انتشارها من المنبع السيزمي الصنعي، حيث تُستخدم هذه التقنيات والإعدادات السيزمية منذ فترة زمنية طويلة لدراسة الخصائص الجيوتقنية للطبقات السطحية ، وذلك لأن خصائص المرونة لمكونات الطبقات السطحية وعلاقتها مع انتشار الأمواج السطحية من المتغيرات الأكثر أهمية في الدراسات الجيوتقنية والهندسية إذ أن انتشار الأمواج السيزمية يعتمد على مرونة التربة والطبقات السطحية.

تعد طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية (ماسو) في الوقت الحاضر من أهم الطرائق المستخدمة في الدراسات الجيوهندسية بدلا من الطريقة الانكسارية التقليدية لقياس السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية (Average Shear Waves Velocity) للطبقات السطحية حتى عمق ٣٠م بمختلف الإعدادات والتجهيزات باختلاف الحالة الدراسية والهدف المطلوب منها، واستخدامها في إيجاد الحلول المناسبة للمشاكل المتعلقة بالدراسات الجيوهندسية في المناطق الحضرية، وذلك لأن الطريقة الانكسارية التقليدية حتى تصل إلى أعماق كبيرة تحتاج إلى تقنية معينة من حيث المنبع (مثل سقوط كتلة) وطول البروفيل (زيادة المسافة بين اللواقط)، بالإضافة إلى حساسيتها العالية للضجيج وحركة المرور، إذ يصعب تنفيذها في المناطق الحضرية بسبب الضجيج والمناطق المتوفرة صغيرة المساحة، وبالتالي الحصول على عدد قليل من الطبقات بعد معالجة وتحليل البيانات السيزمية وعدم اكتشاف الطبقات الرقيقة (المخفية)، أما طريقة ماسو فتكشف وتحدد وتفرز الطبقات قليلة السماكة ومنخفضة السرعة وتصل إلى أعماق كبيرة وذلك في المناطق الحضرية.

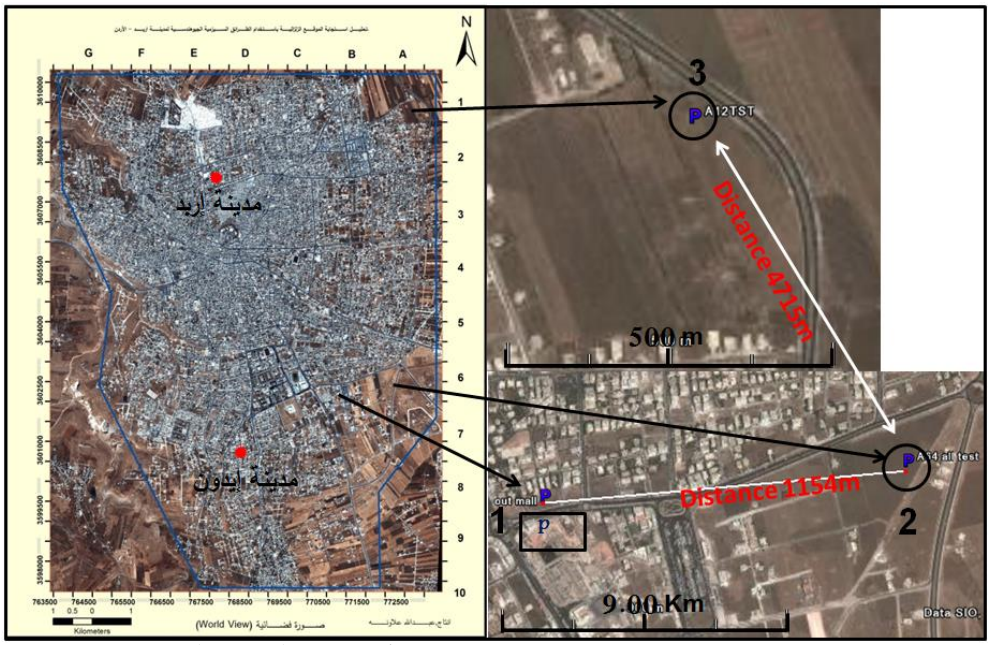
٣-٢- الأعمال الحقلية السيزمية التجريبية.

يجب أن يتم إجراء الأعمال الحقلية السيزمية التجريبية قبل البدء بالأعمال الحقلية الرئيسة لجمع المعطيات السيزمية اللازمة في دراسة الاستجابة الزلزالية للموقع والتي تهدف إلى تحديد الإعدادات والتجهيزات والمتغيرات الأمثل والخاصة بمنطقة الدراسة، وذلك لقياس سرعة الامواج (القصية) العرضية للطبقات السطحية آخذين بعين الاعتبار طبيعة وتضاريس الأراضي المتوفرة، مساحتها، وعمق التحري المطلوب (٣٠م) بالإضافة إلى الإجابة على التساؤلات الآتية:

- ما عمق صخر الأساس وعدد الطبقات السطحية للعمود الطبقي في منطقة الدراسة؟
- ما عمق التحري الأقصى للمسح السيزمي وقياسات المتغيرات والعوامل المؤثرة به وأهمها طول البروفيل (متضمنا المسافة بين اللواقط) وبعد المنبع السيزمي الصنعي عن البروفيل؟
- هل تتغير سرعة الأمواج العرضية بتغير الاتجاه الجغرافي للبروفيل؟
- هل يمكن إيجاد علاقة تربط طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة مع طرائق تحليل متعدد القنوات غير النشطة عند استخدامها في دراسة الطبقات السطحية في المنطقة الواحدة لتعطي نتائج صحيحة؟
- هل يمكن تعديل وتطوير شكل الصفيحة (البلاطة) المعدنية والحصول على نتائج أفضل؟

ندرج مثال تطبيقي لأعمال سيزمية جيوهندسية لمدينة اربد- الأردن (من أطروحة دكتوراه عمل عبدالله علاونة):

تم تحديد واختيار ثلاث مواقع ضمن منطقة الدراسة موضحة في الشكل (٢٥) واستمر جمع البيانات السيزمية باستخدام الأدوات اللازمة في الأعمال الحقلية والتحري السيزمي والمبينة في الشكل (٢٦) كما يبين الجدول (٤) التجهيزات والمتغيرات التي تم اختبارها في أثناء الاعمال الحقلية التجريبية، اما جهاز السيزموغراف المستخدم هو من نوع (PASI)، ايطالي الصنع و٢٤ لاقطاً طولياً بتردد 4.5 هرتز ومطرقة تزن ٧.٢ كغم وصفيحة المنيوم ابعادها (١٥سمx١٥سم)، حيث تم تعديل وتطوير شكل الصفيحة خلال الأعمال التجريبية.



الشكل (٢٥) المناطق الثلاث التي تم فيها تنفيذ الأعمال الحقلية التجريبية.

الشكل (٢٦) الادوات المستخدمة في الأعمال الحقلية وجمع البيانات السيزمية.

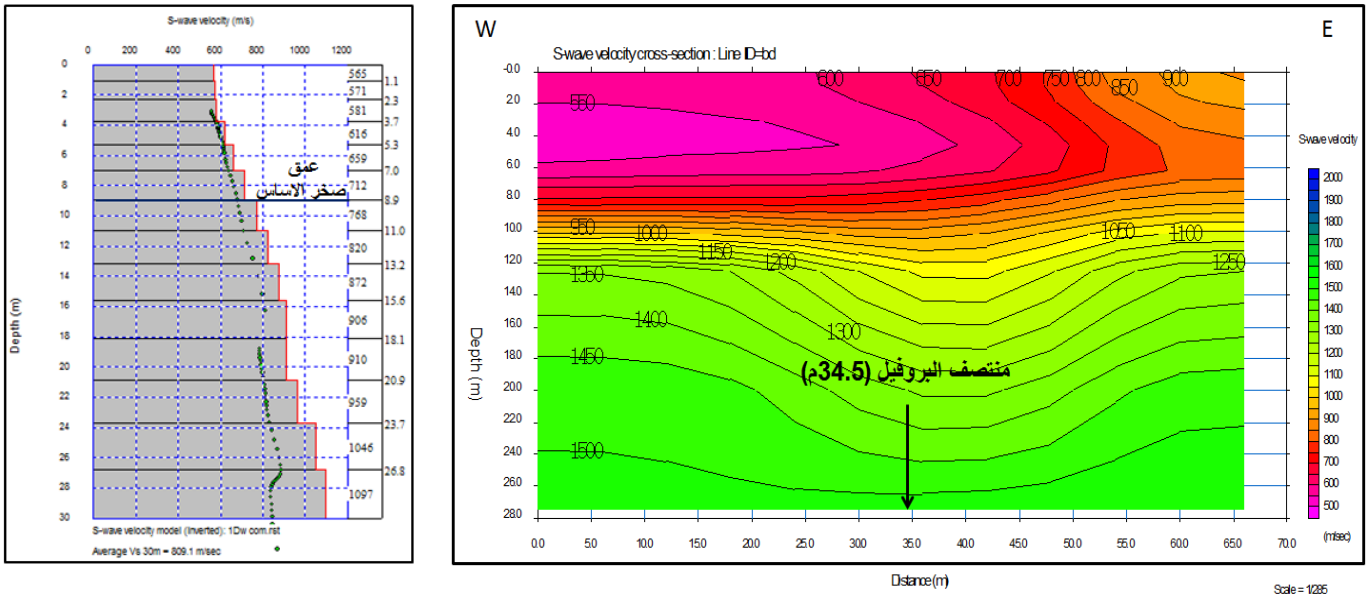
الجدول (٤): ملخص التجهيزات والمتغيرات ونوع المسح السيزمي.

Survey type	**Active MASW**
Source	**7.2 Kg Hummer**
Seismograph	**PASI -16S24/ Italy Made**
Geophones	**24 / vertical /4.5 Hz**
Receiver array	**Linear**
Profile Length (D)	**(23, 34.5, 46, 69)m**
Receiver spacing (dx)	**(1, 1.5, 2, 3) m**
Source offset	**- (0, 5, 7, 10, 11.5, 18.5,20, 23) m**
Sampling Interval	**0.5 ms**
Recording time	**1024 ms**
Aluminum Plate	**(15 x 15)cm, 3 Shapes**

٣-٢-١- عمق صخر الأساس والتعاقب الطبقي.

تعمل التربة على تضخيم الأمواج السيزمية عند انتقالها من صخر الأساس ومرورها منها، لذا فلا بد من معرفة عمق صخر الأساس؛لأنه يدل على سماكة التربة في تلك المنطقة، **وصخر الأساس هو الطبقة التي تكون فيها السرعة (القصية) العرضية (≤ ٧٦٠م\ثا) وفق تصنيف (NEHRP)**، إذ تعد سماكة عمود التربة من المتغيرات الرئيسة المستخدمة في قياس السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية للتربة أثناء معالجة البيانات السيزمية، **بالإضافة إلى أن تضخيم الأمواج السيزمية يزداد بزيادة سماكة عمود التربة**، وتم اختيار الموقع في المنطقة (١) في الشكل (٢٥) الواقع جنوب أحد الشارع والمحفور لبناء مول جديد عليه في إربد حتى عمق ١٣.٦م عن مستوى الشارع وأبعادها (١٠٠مx١٢٠م) الشكل (٢٧)، وتم تنفيذ بروفيلين سيزميين في المنطقة (١) باتجاه (شرق-غرب) الأول يمثل مقطعاً أحادي البعد الشكل (٢٨) والآخر مقطع ثنائي البعد الشكل (٢٩)، وطول كل بروفيل ٦٩ م والمسافة بين اللواقط تساوي (٣م).

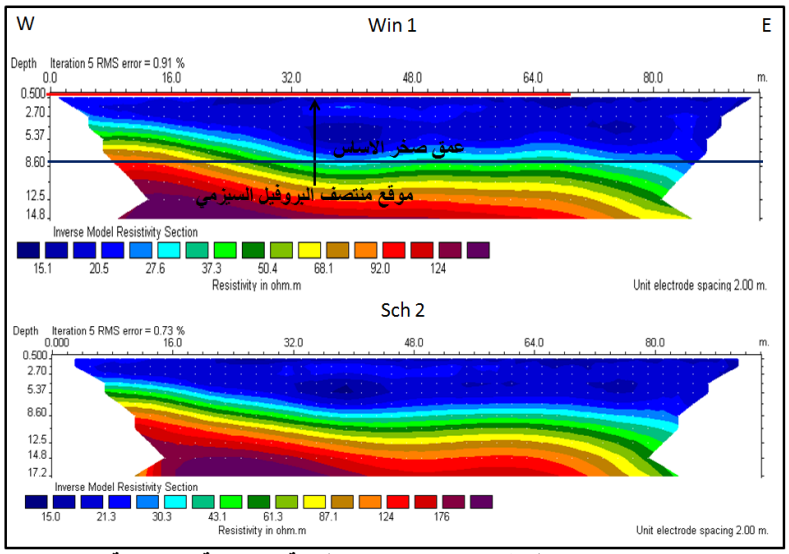
الشكل (٢٧) صور تبين الحفرية والتعاقب الطبقي والأعمال الحقلية السيزمية في المنطقة (١).



الشكل (٢٩) مقطع ثنائي البعد للطبقات السطحية أسفل قاعدة الحفرية.الشكل (٢٨) مقطع نهائي أحادي البعد يمثل الطبقات السطحية أسفل قاعدة الحفرية.

ومن المقطعين أحادي وثنائي البعد في الشكلين (٢٨) و(٢٩) نجد أن عمق صخر الأساس في مقطع أحادي البعد ٨.٩م، في حين كان عمق صخر الأساس في مقطع ثنائي البعد يساوي ٦م عند أطراف البروفيل و٩م في منتصفه، والسرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية عنده تساوي (٧٦٨،٧٦٧) م\ثا على الترتيب.

تم استخدام طريقة المقاومية الكهربائية ثنائية البعد (Resistivity) للتأكد من دقة طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية في تحديد عمق صخر الأساس، حيث تم أخذ بروفيلين في الحفرية باستخدام الطريقتين الكهربائيتين (Schlumbergeer, Winner) بنفس موقع البروفيل السيزمي، واستخدام برمجية (Res2dinv) في معالجة وتحليل البيانات الكهربائية، والشكل (٣٠) الذي يبين أن عمق صخر الأساس يتراوح من ٢.٧٠م عند بداية البروفيل (غرباً) إلى عمق يساوي ٨ م عند منتصفه وعمق ١٠م تقريبا عند نهايته (شرقاً)، أي أن عمق صخر الأساس في مقطع طريقة المقاومية الكهربائية عند النقطة التي تمثل منتصف البروفيل السيزمي في الشكل (٣٠) يساوي ٨.٤ م.

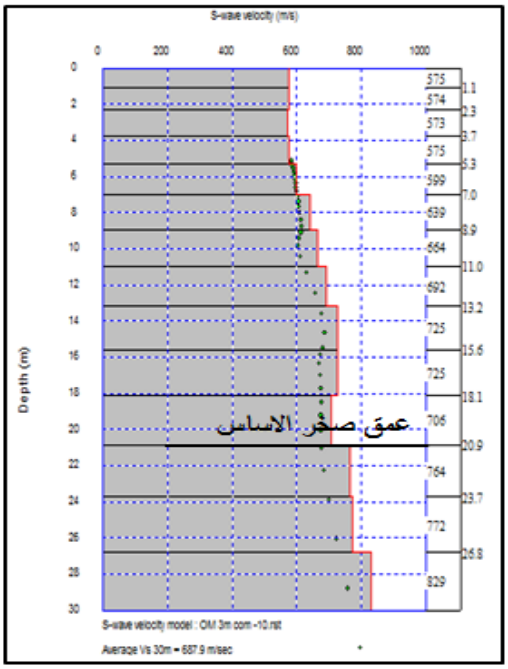


الشكل (٣٠) مقطع ثنائي البعد باستخدام طريقة المقاومية الكهربائية.

وجميع النتائج التي تم الحصول عليها من استخدام الطرائق السيزمية في الموقع (الحفرية) متقاربة في تحديد عمق صخر الأساس في هذه المنطقة، وأعطت هذه الدراسة فكرة اولية عن عمق صخر الأساس في مدينة إربد ولا سيّما في مناطق التربة ذات السماكة الكبيرة،

أي أن سطح صخر الأساس متغير ومتعرج ومتوسط عمقه في هذه المنطقة عند منتصف البروفيل يساوي (٢٢-٢٢.٦) م من سطح الأرض (١٣.٦م عمق الحفرة + (٨.٤- ٩) م عمق صخر الأساس من البروفيل في الحفرية).

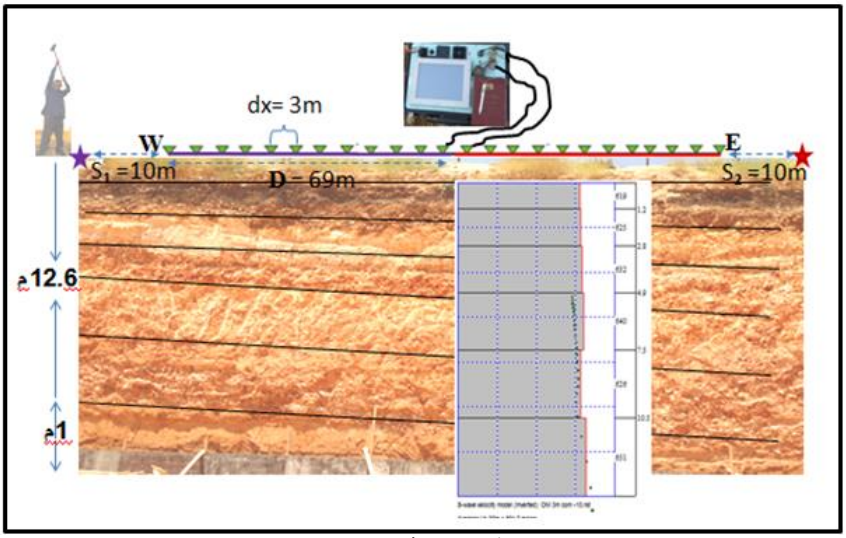
وهذا ما أكدته نتائج البروفيل السيزمي الذي تم تسجيله إلى الشمال من الموقع (١) ويبعد عنه ٧٠م وموازيا له، وطول هذا البروفيل يساوي ٦٩م، والمسافة بين اللواقط تساوي ٣م، ويبعد المنبع السيزمي ١٠م عن بداية البروفيل، حيث يبين المقطع السيزمي أحادي البعد في الشكل (٣١) إن عمق صخر الأساس عند منتصف البروفيل يساوي٢٠.٩م.



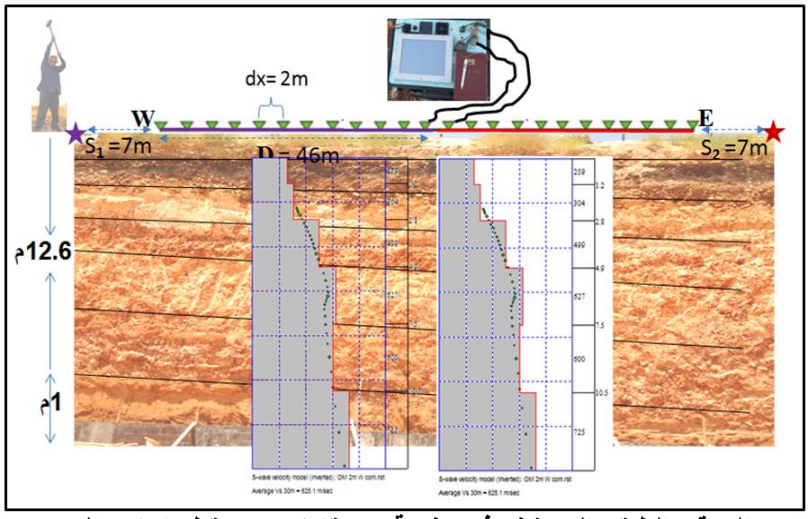
الشكل (٣١) المقطع السيزمي أحادي البعد يبين عمق صخر الأساس شمال المول.

تعرض الأشكال (٣٢، ٣٣، ٣٤) التعاقب الطبقي المتكشف على الحافة الشمالية لحفرية المنطقة (١) والمتمثل بطبقة رقيقة من التربة وطبقة من الحجر الرهيصي (وتسمى الحزرية أو الكونغلوميرا) بسماكة تساوي ١٢م غير متجانسة النسيج انظر الشكل (٣٥) والتي تعلو طبقة متجانسة النسيج وناعمة الحبيبات، وتم مقارنته مع مقاطع سيزمية أُحادية البعد المسجلة شمال الشارع بطول ٦٩م و٤٦م و٢٣م والمسافة بين اللواقط (١،٢،٣)م على الترتيب، وذلك للتعرف على الطبقات السطحية وتحديد العدد الذي يمكن استخدامه في عملية معالجة البيانات ودراسة الاستجابة الزلزالية للموقع للحصول على نتائج أكثر دقة وعدم تعميمها على المناطق الأُخرى في منطقة الدراسة، وقد وضحت المقاطع السيزمية التقسيمات الفرعية للطبقة الواحدة ولا سيّما طبقة الحجر الرهيصي غير المتجانسة وكان عددها أربع طبقات رقيقة قليلة السماكة، حيث أبدت جميع المقاطع تقاربا في النتائج مع اختلاف

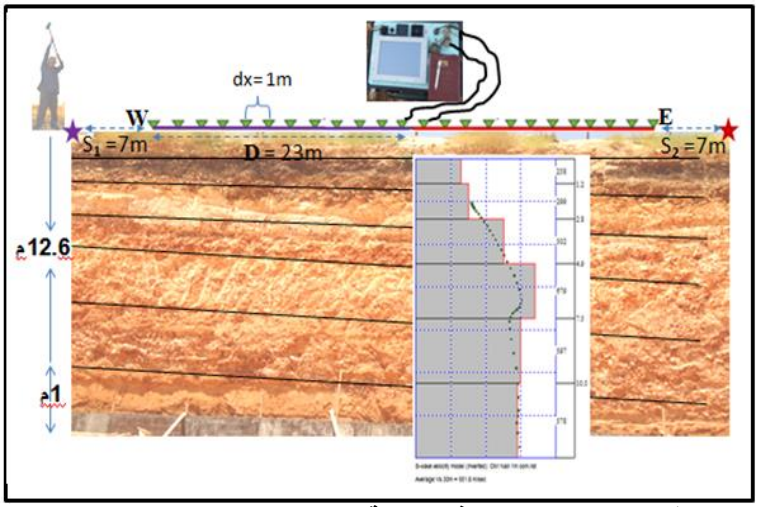
عمق التحري السيزمي، والشكل (٣٦) يوضح تطابق مقطع السرعة مع الطبقات في الحفرية٢.



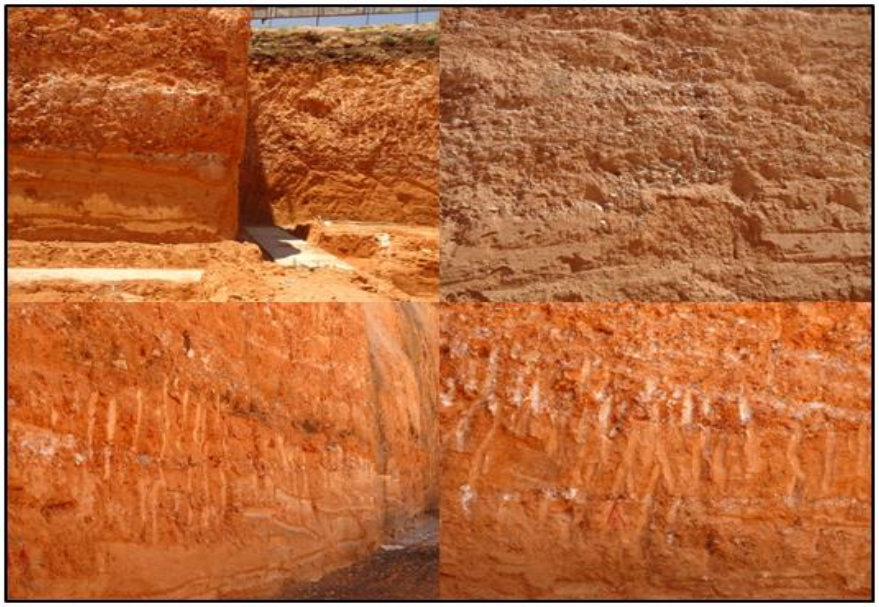
الشكل (٣٢) التعاقب الطبقي المتكشف في حفرية١ ومقارنته مع مقطع احادي البعد(dx=3m).



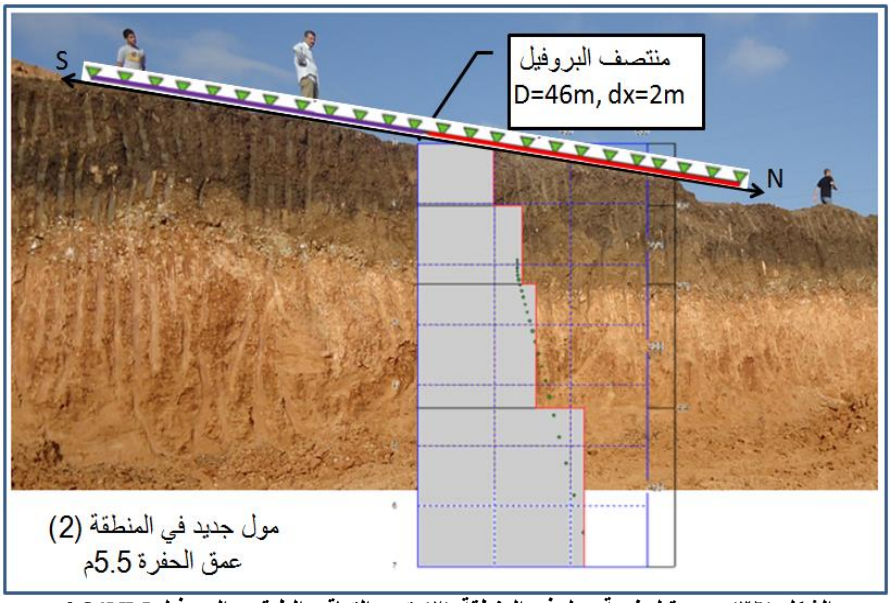
الشكل (٣٣) التعاقب الطبقي المتكشف في حفرية١ ومقارنته مع مقطع احادي البعد (dx=2m).



الشكل (٣٤) التعاقب الطبقي المتكشف في حفرية١ ومقارنته مع مقطع احادي البعد (dx=1m).



الشكل (٣٥) صور تبين عدم تجانس طبقة الحجر الرهيصي في التعاقب الطبقي للحفرية١.



الشكل (٣٦) صورة لحفرية مول في المنطقة (٢) تبين التعاقب الطبقي والبروفيل A64NM.

أي أن عدم التجانس في النسيج والحجم الحبي لمكونات الطبقات السطحية يؤدي إلى تشتت الأمواج السطحية عند انتقالها في الطبقة الواحدة وبالتالي يعكس التقسيمات الفرعية للطبقة على شكل طبقات سطحية ذات سرعة أمواج عرضية مختلفة، كما هو الحال في طبقة الحجر الرهيصي إذ تزداد سرعة الأمواج العرضية مع زيادة الحجم الحبي للفتات وتقل بنقصان الحجم الحبي أي أن العلاقة طردية بين سرعة الأمواج العرضية والحجم الحبي للفتات المكون للطبقة ودرجة صلابتها وتراصها.

يعتمد نسيج الطبقة الواحدة على الحجم الحبي ودرجة الفرز للفتات المكون لها، مما يعني ذلك أن زيادة الحجم الحبي للفتات يكوِّن طبقة ذات نسيج خشنا أي سرعة أمواج قص عالية، وإذا كان الحجم الحبي صغير يكون النسيج ناعما أي سرعة أمواج قص منخفضة، بالإضافة إلى التغير في الحجم الحبي الذي يدل على درجة الفرز وتجانس الفتات في الطبقة الواحدة.

٣-٢-٢- عمق التحري السيزمي الأقصى (H).

تهدف الأعمال الحقلية إلى تغطية جميع مواقع منطقة الدراسة باختلاف طبيعتها وتضاريسها ولا سيّما المناطق ذات التربة العميقة والسماكة الكبيرة (الحي الشرقي، الشمالي الشرقي، الجنوبي الشرقي)، كما تهدف إلى تحديد طول البروفيل المناسب، وبعد المنبع السيزمي ليحقق عمق التحري السيزمي المطلوب واللازم، والمعتمد عليه عالميا في جميع الدراسات الجيوهندسية والزلزالية ألا وهو (٣٠م).

إن أهم المتغيرات في الأعمال الحقلية التي يعتمد عليها عمق التحري السيزمي هي:

١- منبع أو مصدر الطاقة السيزمية.

٢- طول البروفيل (D).

٣- بعد المنبع السيزمي الصنعي (S).

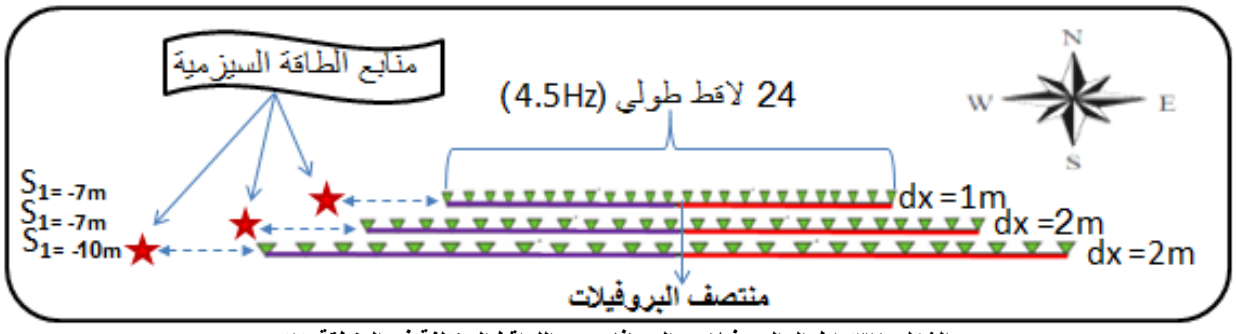
٣-٢-٢-١- منبع أو مصدر الطاقة السيزمية.

يستخدم في طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية منابع مختلفة لتوليد الطاقة السيزمية مثل مطرقة مختلفة الوزن وقد يصل عمق التحري السيزمي الأقصى بأفضل الظروف إلى ١٥م، أو سقوط كتلة رأسياً، فيصل عمق التحري إلى ٣٠م، وعند استخدام بلدوزر يصل عمق التحري إلى أكثر من ١٠٠م وكان مصدر الطاقة السيزمية مطرقة تزن ٧.٢ كغم (لم يتغير في هذه الدراسة).

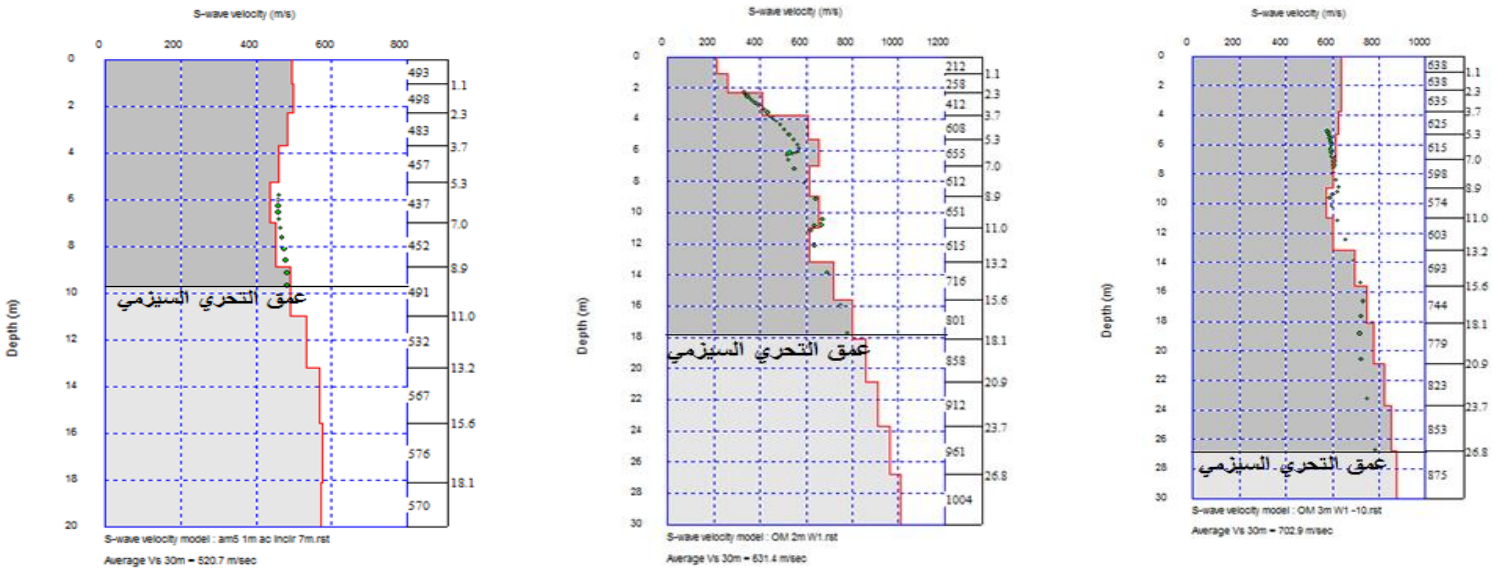
٣-٢-٢-٢- طول البروفيل (D).

يعد طول البروفيل من أهم المتغيرات الرئيسة في الإعدادات اللازمة لجمع البيانات السيزمية والمؤثرة في عمق التحري السيزمي الأقصى وأن لا يقل طوله عن عمق التحري، حيث كلما زاد طول البروفيل يزداد عمق التحري السيزمي مما يعني أن العلاقة طردية بين طول البروفيل وعمق التحري الأقصى.

يجب ان تكون المسافات بين اللواقط الرأسية متساوية في أثناء جمع البيانات السيزمية والأعمال الحقلية لأنها مهمة جدا في نوعية البيانات السيزمية ودقتها، حيث تعد المسافة بين اللواقط العامل المؤثر مباشرة في طول البروفيل والتي تمثل أقل سماكة للطبقات السطحية في المقطع الذي يربط السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية مع العمق، ويعرض الشكل (٣٧) الاطوال المختلفة (٢٣م،٤٦م،٦٩م) للبروفيلات بتغير المسافة بين اللواقط الطولية وأبعاد منابع الطاقة السيزمية في المنطقة (١) وباتجاه شرق-غرب.



الشكل (٣٧) اطوال البروفيلات والمسافات بين اللواقط المختلفة في المنطقة (١)



الشكل (٣٨) تغير عمق التحري السيزمي وفق طول البروفيل في المنطقة (١).

نتائج تحليل ومعالجة البيانات السيزميةللبروفيلات مختلفة الأطوال في المنطقة (١)

(أD=23m, dx=1m . ب) D=46m, dx=2m ج) D=69m, dx=3m

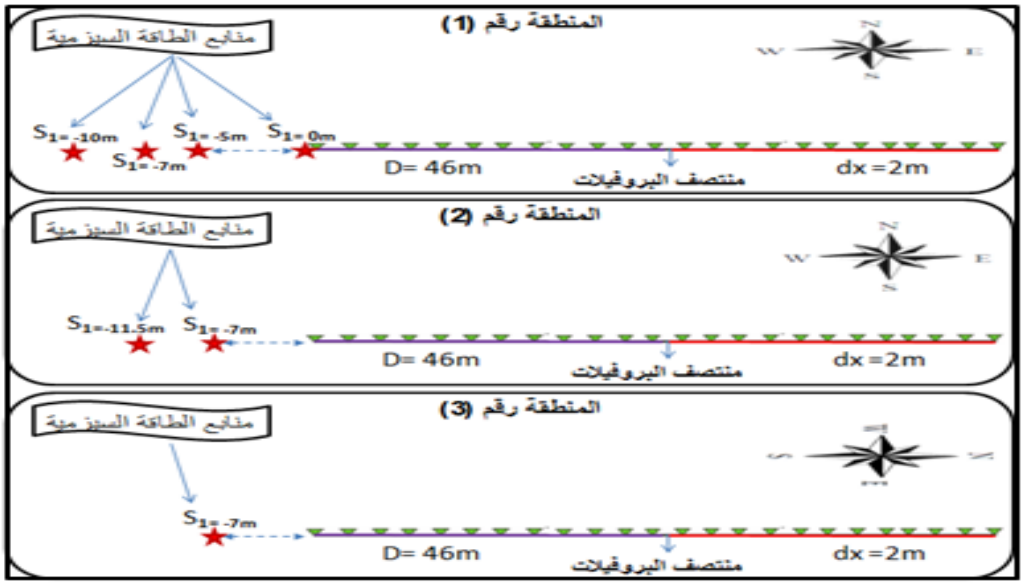
إن عمق التحري يختلف من منطقة إلى أُخرى وإن تماثل طول البروفيل وذلك اعتمادا على طبيعة الطبقات السطحية، ودرجة صلابتها، ونسيج مكوناتها، والحجم الحبي المكون لها، مع افتراض ثبات جميع المتغيرات الأُخرى (طاقة المنبع السيزمي)،

٣-٢-٢-٣- بعد منبع الطاقة السيزمية (S).

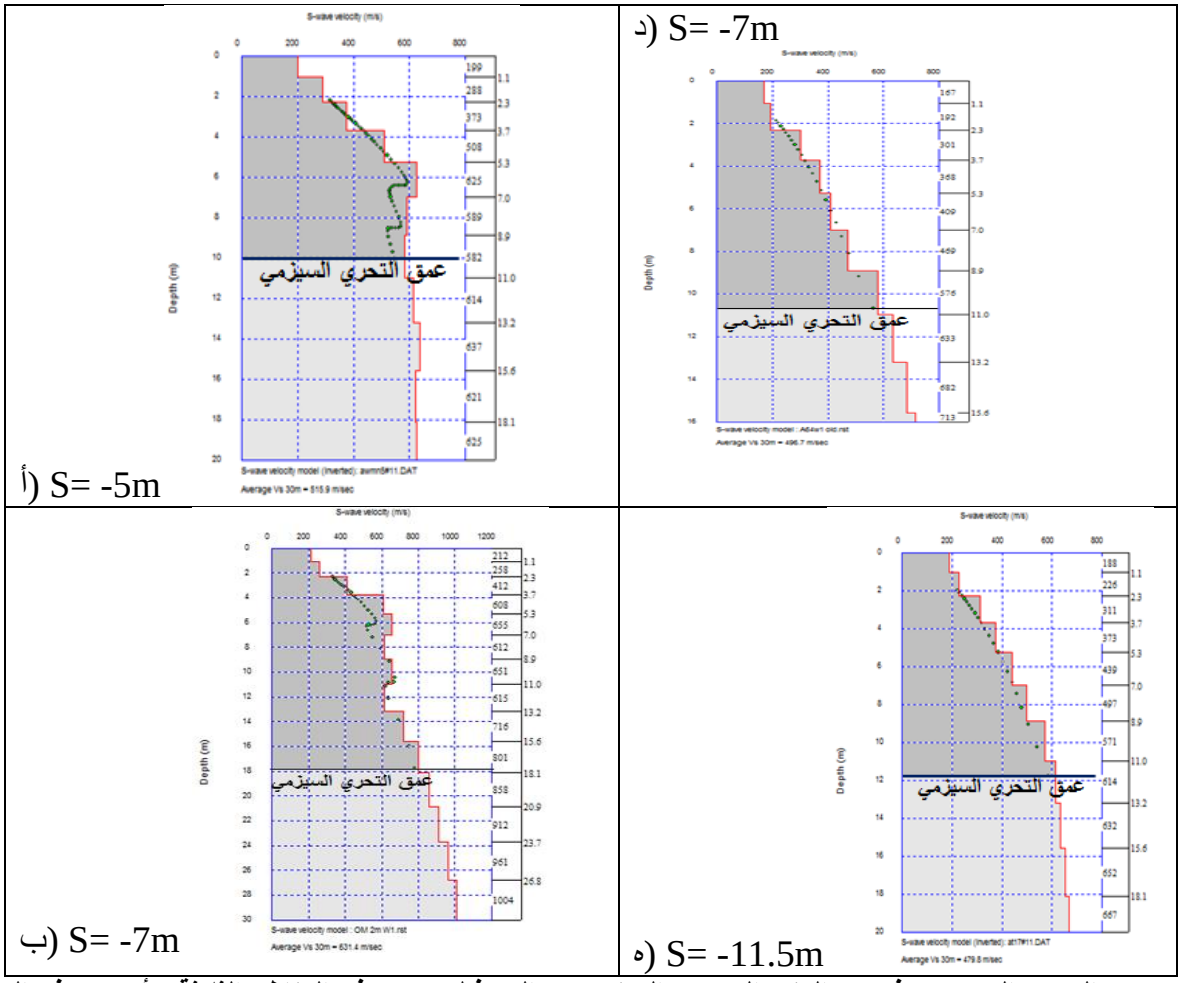
يعد المنبع الصنعي للطاقة السيزمية من أهم العوامل والمتغيرات والتجهيزات اللازمة في الأعمال الحقلية لجمع البيانات السيزمية عند استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات ماسو.

إن الخصائص السطحية (التشتت) للأمواج السطحية لا تنشأ ولا تتكون إلا بعد مسافة معينة من المصدر السيزمي، وفي معظم الحالات الدراسية يجب أن تكون المسافة المطلوبة أكبر من نصف قيمة الطول الموجي الأقصى، وبمعنى آخر إن الأمواج الجسمية ووضع أمواج رايلي عالية التردد ربما يسيطران على الوضع الأساسي لأمواج رايلي عند الترددات العالية، لذا فإن القاعدة تنص على أنْ لا تزيد المسافة بين بعد المنبع السيزمي والبروفيل عن ١٠٠م.

وتم تحديد بعد المنبع الأمثل بالاعتماد على البروفيلات التي طولها فقط ٤٦م في المناطق الثلاثة، إذ يعرض الشكل (٤٣) بعد المنابع السيزمية عن البروفيل في المناطق (١،٢،٣).



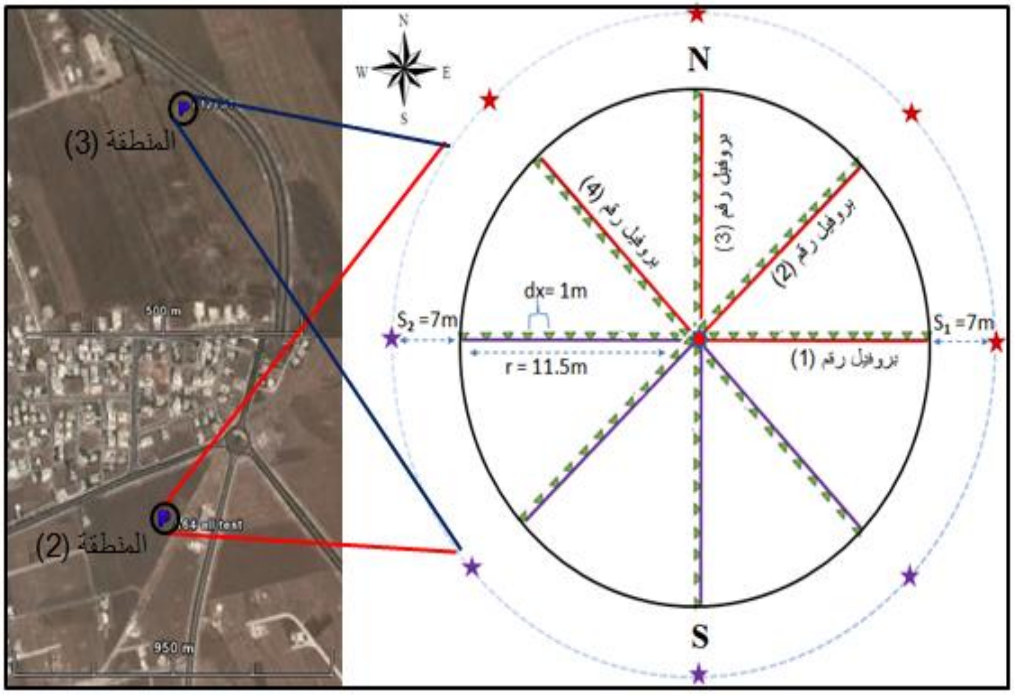
الشكل (٤٣) بعد المنبع السيزمي الصنعي عن البروفيلات في المناطق الثلاثة.



الشكل (٤٤) عمق التحري السيزمي وفق بعد المنبع السيزمي الصنعي عن البروفيل (٤٦م) في المناطق الثلاثة: (أ،ب،ج) في المنطقة (١)، و(د،ه) في المنطقة (٢)، و(و) في المنطقة (٣).

٣-٢-٣- أثر الاتجاه الجغرافي للبروفيل على السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية.

تختلف التربة في خصائصها الديناميكية من منطقة إلى أُخرى اختلافا قد يكون ملموسا، وقد يكون غير ملموسا، وذلك اعتمادا على درجة تجانسها في المكونات والنسيج؛ مما يؤدي إلى اختلاف التربة في السرعة الوسطية للامواج العرضية وطبيعة انتشار الأمواج السطحية فيها وخصائصها السيزمية والزلزالية. تتكون تربة إربد من ثلاثة طبقات رئيسة تتوضع على الصخر المجوى وصخر الأساس، حيث إن معامل اللدونة (PI) في تربة إربد ثابت إلى عمق يساوي ١٢م، فهل هذا الثبات يعطي تماثلاً في نتائج البروفيلات المأخوذة مع اختلاف الاتجاهات الجغرافية؟ هذا ما تم توضيحه ومعرفته من خلال الأعمال الحقلية وفق الإعدادات في الشكل (٤٥) وعرض النتائج في الشكلين (٤٦،٤٧) والتي بينت أن السرعة العرضية ثابتة نسبيا مع العمق في جميع البروفيلات في المنطقة الواحدة مع وجود اختلاف بسيط وذلك بسبب اختلاف في تضاريس منطقة الدراسة.



الشكل (٤٥) صورة توضيحية للاتجاه الجغرافي وموقع البروفيلات الاربع في المنطقتين.

٣-٢-٤- أنواع طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة وأهميتها في الدراسة.

اسْتُخدمت طريقة تحليل متعدد القنوات (ماسو) النشطة في كل الأعمال الحقلية التجريبية السابقة لجمع البيانات السيزمية بمختلف الإعدادات والمتغيرات إلا أن عمق التحري السيزمي المطلوب (٣٠م) لم يتحقق في جميع المحاولات، لذا لا بد من استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة؛ لأنها تحقق أعماق أكبر، ثم الجمع بين نتائج الطريقتين وتكاملهما للحصول على عمق التحري السيزمي المطلوب، تهدف الأعمال الحقلية التجريبية باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة إلى:

١- الحصول على عمق التحري السيزمي المطلوب من خلال أقل الإعدادات والتجهيزات اللازمة لها.

٢- معرفة أي طريقة من طرائقها الأمثل في هذه الدراسة من حيث سهولة تنفيذها ودقة نتائجها.

٣- معرفة أهم الإعدادات والمتغيرات الأمثل لتعطي نتائجً افضل مثل فترة التسجيل، طول البروفيل.

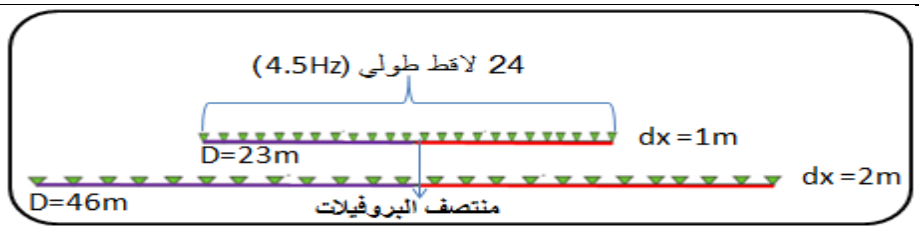
٤- معرفة العلاقة الهندسية التي تربط إعدادات طرائقها، وعلاقتها مع إعدادات ماسو النشطة.

يوضح الجدول (٨)، أهم المتغيرات والإعدادات والتجهيزات الحقلية المختلفة التي تم استخدامها في طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة في المناطق الثلاثة لمعرفة عمق التحري الذي تم الحصول عليه فيما إذا كان يساوي عمق التحري المطلوب بالإضافة إلى قياس متوسط سرعة أمواج القص.

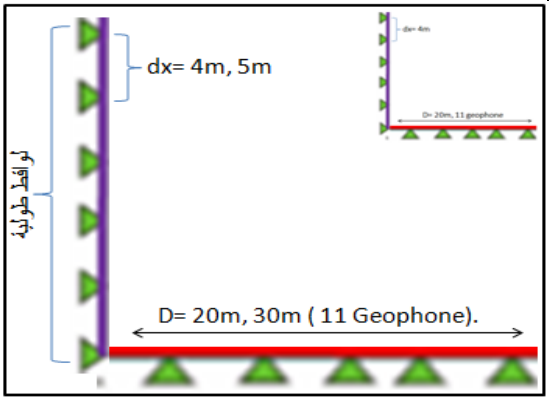
الجدول (٨) ملخص الادوات والمتغيرات ونوع المسح السيزمي المستخدم في الأعمال الحقلية.

Survey type	**Passive MASW**
Source	**Ambient Cultural Activities**
Seismograph	**PASI -16S24/ Italy Made**
Receiver array	**Linear, Triangle, L shape**
Profile Length (D)	**{(23,46) (20,30) (20,30)}m**
Geophones	**{(24()4,7,10) (9,11)} / vertical /4.5**
Receiver spacing (dx)	**(1, 2) m for Linear only**
Source offset	**----------**
Sampling Interval	**(0.25, 1, 2) ms**
Recording time	**(8192, 16339, 32678) ms**
No. of records	**22 - 30**

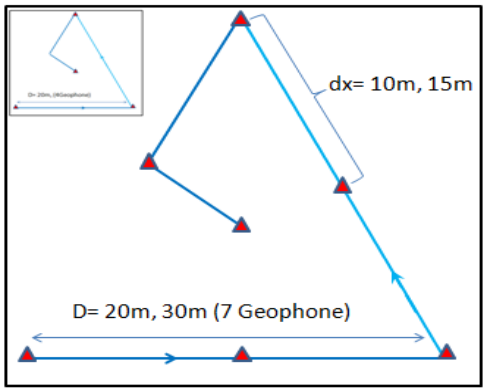
يعرض الشكلان (٤٨،٤٩) أنواع طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة، وترتيب اللواقط فيها حيث إن طول البروفيل في أحادية البعد (خطية) ٢٣م أو ٤٦م، وطول البروفيل في ثنائية البعد يساوي ٢٠م أو ٣٠م ويمثل طول ضلع المثلث متساوي الأضلاع أو طول ضلع حرف ل (L) قائم الزاوية.



أ) أحادية البعد خطية (ReMi).



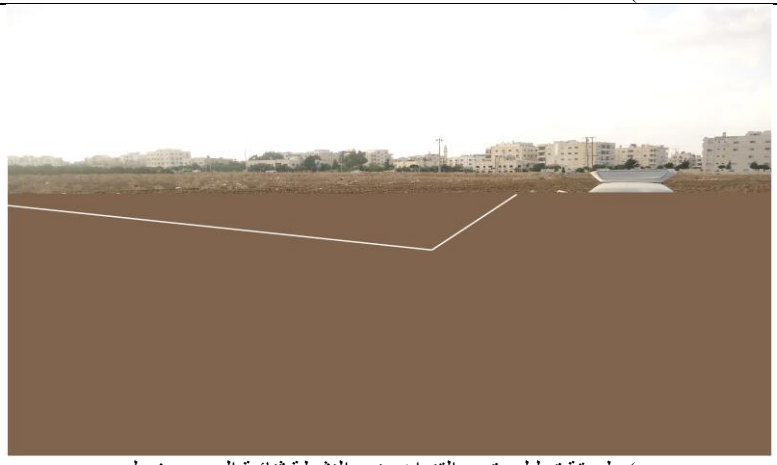
ب) ثنائية البعد شكل حرف ل (L Shape).



ج) ثنائية البعد شكل مثلث (Triangle Shape).

الشكل (٤٨) أشكال طرائق تحليل متعدد القنوات غير النشطة المستخدمة.

أ) طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة احادية البعد خطية.



ب) طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة ثنائية البعد حرف لـ.

ج) طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة ثنائية البعد مثلث الشكل.

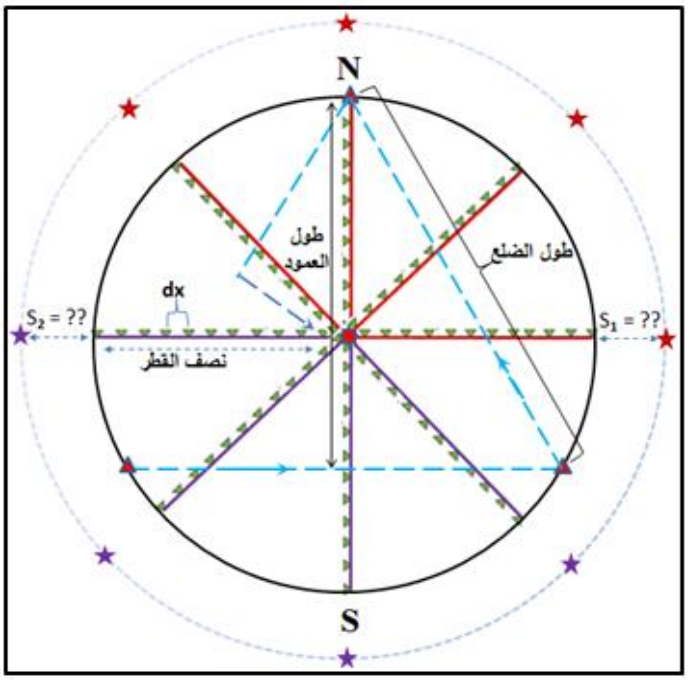
الشكل (٤٩) صور للأعمال الحقلية التجريبية لطرائق تحليل متعدد القنوات غير النشطة.

تم التوصل إلى أن طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة الخطية أحادية البعد (ريمي) هي الأمثل والأفضل لتنفيذ الأعمال الحقلية وجمع البيانات السيزمية اللازمة في هذه الدراسة لأنها الأسهل والأسرع في التنفيذ في المناطق الحضرية بالإضافة إلى تنفيذها بنفس الإعدادات والتجهيزات المستخدمة في طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة أي بنفس ترتيب اللواقط وأبعادها، وطول البروفيل، كما أنها حققت عمق التحري السيزمي المطلوب (٣٠م) ولا سيّما في البروفيلات التي طولها ٤٦م.

أما الطرائق غير النشطة الأخرى ثنائية البعد (مثلث، حرف لـ) معظمها لم يحقق عمق التحري السيزمي المطلوب إلا إذا كان طول البروفيل كبيراً، بالإضافة إلى صعوبة تنفيذها بعض الشيء بسبب إعادة تشكيل وترتيب اللواقط عند استخدامها لقياس السرعة الوسطية للامواج العرضية للطبقات السطحية العميقة بعد الإنتهاء من استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة، مما يزيد في الجهد والتكاليف.

يبين الشكل (٥٢) النظام الدائري والذي يوضح العلاقة التي تربط كلاً من طرائق تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة من حيث طول البروفيلات التي يجب معرفته عند استخدام إحدى طرائق تحليل متعدد القنوات غير النشطة، ولا سيّما ثنائية البعد مع طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة الخطية للحصول على عمق التحري السيزمي المطلوب.

يمثل قطر الدائرة في النظام الدائري طول البروفيل لطريقة تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة الخطية ودائرية الشكل، في حين يمثل نصف قطر الدائرة طول البروفيل لطريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة ثنائية البعد حرف لـ (L) الناتجة من تعامد نصفي قطر الدائرة، وتكون السرعة الوسطية للطبقات السطحية الواقعة عند مركز الدائرة، أي منتصف البروفيل في كل الطرائق، أما طول البروفيل في الطريقة مثلثة الشكل فإنه يساوي طول ضلع المثلث، فما طول البروفيل الأمثل لها؟



الشكل (٥٢) طرائق تحليل متعدد القنوات غير النشطة وعلاقتها مع بعضها بعضا.

٣-٢-٦- خلاصة الأعمال الحقلية السيزمية التجريبية.

يعرض الجدول (١٠) ملخصا لأهم التجهيزات والإعدادات والمتغيرات التي تم الاعتماد عليها بعد الانتهاء من الأعمال الحقلية السيزمية التجريبية، حيث بينت التجارب الحقلية إن هذه البارامترات هي الأمثل والأفضل وتم استخدامها في الاعمال الحقلية السيزمية الرئيسة لتحصيل المعطيات السيزمية.

الجدول (١٠) ملخص الادوات والتجهيزات ونوع المسح المستخدم في الأعمال الحقلية السيزمية.

Survey type	Active MASW	Passive MASW (ReMi)
Seismograph	**PASI -16S24/Itali Made**	**PASI - 16S24/Itali Made**
Geophones	**24/ vertical /4.5 Hz**	**24/ vertical /4.5 Hz**
Source	**7.2 Kg Hummer**	**Ambient Cultural Activities**
Receiver array	**Linear**	**Linear**
Profile Length (D)	**46 m**	**46 m**
Receiver spacing (dx)	**2 m**	**2 m**
Source offset (S)	**± 7 m**	**----**
Shape of Used Plate	**Naily Plate No (3)**	**----**
Sampling Interval	**0.5 ms**	**2 ms**
Recording time	**1024 ms**	**32678 ms**
No. of records	**1 at each side (10 Stack)**	**22 - 30**

كما بينت نتائج الأعمال الحقلية السيزمية التجريبية أن متوسط عمق صخر الأساس يساوي ٢١م في المنطقة رقم (١) ويميل تدريجيا نحو الشمال والشمال الشرقي، وعدد الطبقات السطحية في التعاقب الطبقي لا يقل عن ٧ طبقات وتختلف في السرعة العرضية مع العمق.

تحقق عمق التحري السيزمي المطلوب (٣٠م) في البروفيلات التي طولها يساوي ٤٦م حيث المسافة بين اللواقط تساوي ٢م وذلك باستخدام الطريقة الانكسارية الدقيقة (ريمي) والتي تعد الطريقة الأمثل من بين الطرائق غير النشطة الأُخرى وكذلك باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة مع البلاطة المسمارية كمنبع سيزمي صنعي يقع على بعد (±٧م) من البروفيل دون التقيد بالاتجاه الجغرافي لطول البروفيل؛ لأن النتائج بينت أن السرعة الوسطية للامواج العرضية لم يتأثر بتغير اتجاه البروفيل جغرافيا في المنطقة الواحدة.

٣-٣- الأعمال الحقلية السيزمية الرئيسة لجمع المعطيات السيزمية.

بعد إكمال وتثبيت بارامترات الأعمال الحقلية تم تنفيذ جميع البروفيلات السيزمية المطلوبة في منطقة الدراسة الموزعة على رقعة مساحتها ٤٢كم^{٢} باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية النشطة وغير النشطة (ريمي) وفق الإعدادات والتجهيزات الموضحة بشكل عام في الجدول (١٠) وذلك لجمع المعطيات السيزمية اللازمة والحصول على السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية للطبقات السطحية حتى عمق ٣٠م، حيث تم تنفيذ الأعمال الحقلية في أوقات مختلفة من السنة مع مراعاة الدورة الزراعية في المنطقة، وكان العدد الإجمالي للبروفيلات ١١٩ بروفيلاً موزعة في منطقة الدراسة بشكل شبكي منتظم كما في الشكل (٥٦)، مع استثناء (٣) بروفيلات كان طولها ٣٤.٥م والمسافة بين اللواقط ١.٥م و(٤) بروفيلات كان طولها ٢٣م والمسافة بين اللواقط ١م، وبعد المنبع السيزمي في كلا الحالتين الاخيرتين كان يساوي ±٥م، بالإضافة إلى الإحداثيات الجغرافية المدرجة لجميع البروفيلات بوحدات (Universal Transverse Mercator/UTM) .

يُعَد تحديد واختيار موقع البروفيل من أهم العوامل المهمة في جمع المعطيات السيزمية والأعمال الحقلية، حيث تمت الاستعانة بصورة فضائية لمنطقة الدراسة المقسمة إلى مربعات متساوية الأبعاد من Google Earth مطبوعة ورقياً أبعادها ٦٠سم x ٨٠سم لتحديد مواقع البروفيلات الأمثل آخذين بعين الاعتبار كل من الأمور التالية:

١- جيولوجية وتضاريس المنطقة.

٢- مساحة الرقعة المتوفرة وأبعادها .

٣- المسافة بين البروفيلات والسبور المحفورة في المنطقة والمناطق المجاورة (≥ ٥٠٠م).

الفصل الرابع: معالجة وتفسير المعطيات السيزمية.

٤-١- مقدمة.

هناك العديد من البرمجيات التي تستخدم لمعالجة المعطيات السيزمية المسجلة باستخدام طريقة المسح السيزمي ماسو وأهمها: برمجية سيرف سايز (SurfSeis)، برمجية ماسو ٢٠٠٧ (MASW2007) وبرمجية سايزإمجر (SeisImager) وبرمجية راداكسبرو (radexpro) وبرمجية وين سايز(Winseis). وجميع البرمجيات تعتمد في معالجتها لسرعة طور أمواج رايلي على خاصية التشتت التي تمتاز فيها الأمواج السطحية عند انتقالها في الطبقات السطحية.

٤-٢- معالجة المعطيات السيزمية.

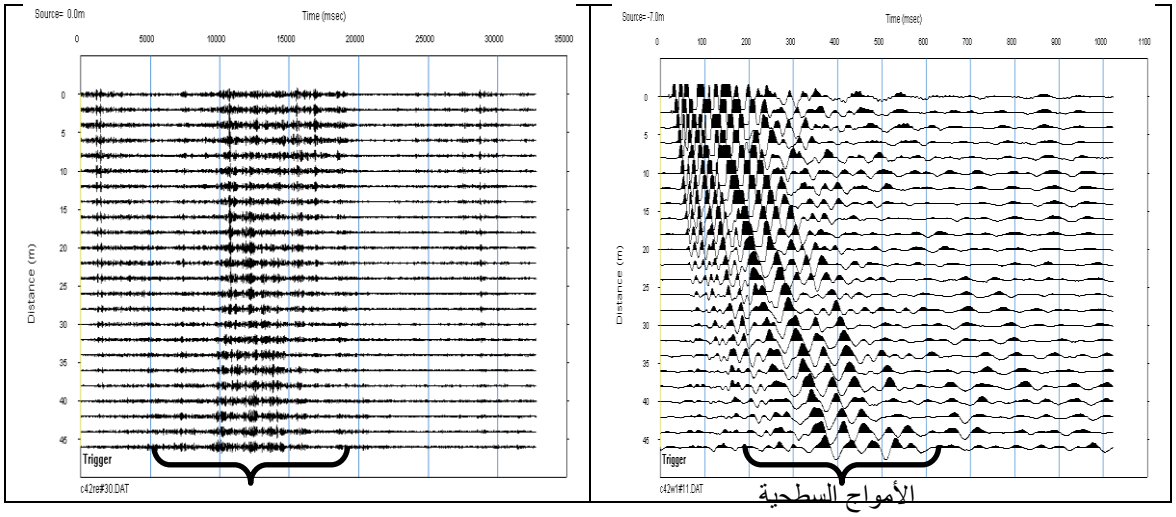
تمَّت معالجة المعطيات السيزمية باستخدام برمجية سايزإمجر، حيث تستخدم هذه البرمجية لمعالجة المعطيات السيزمية المسجلة بطريقة **ماسو النشطة أحادية البعد وثنائية البعد وماسو غير النشطة بجميع أنواعها** حيث استخدمت برمجية سايزإمجر في هذه الدراسة فقط لمعالجة ماسو أحادية البعد النشطة **وغير النشطة (ريمي)، وتشمل مرحلة معالجة المعطيات السيزمية التي تمت أوتوماتيكيا الخطوات التالية:**

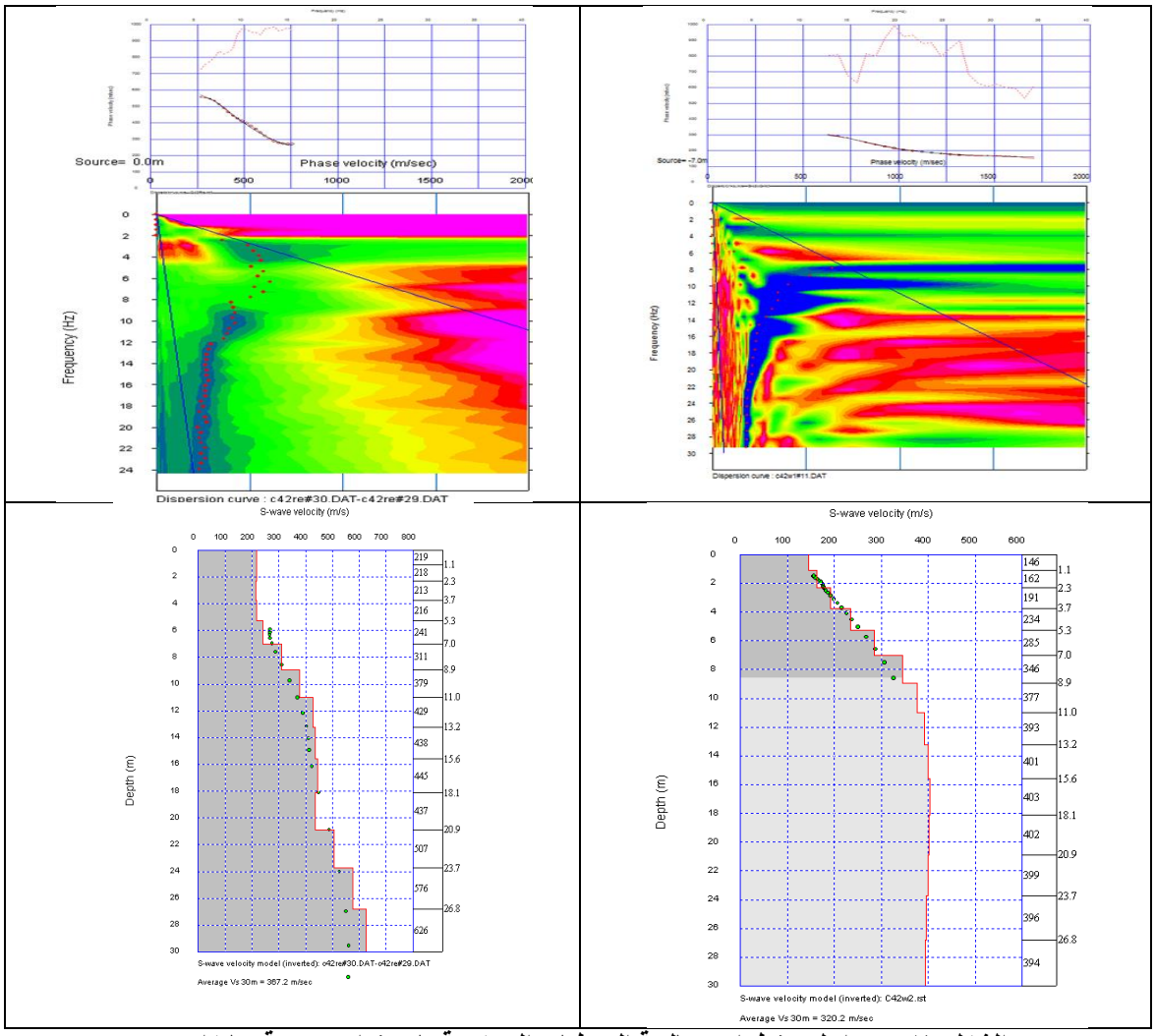
١- فتح ملف السيزموغرام بامتداد (dat) وتحويله إلى امتداد (SEG2)، انظر الملحق (أ-١).

٢- بناء منحنى التشتت من خلال حساب سرعة الطور لأمواج رايلي.

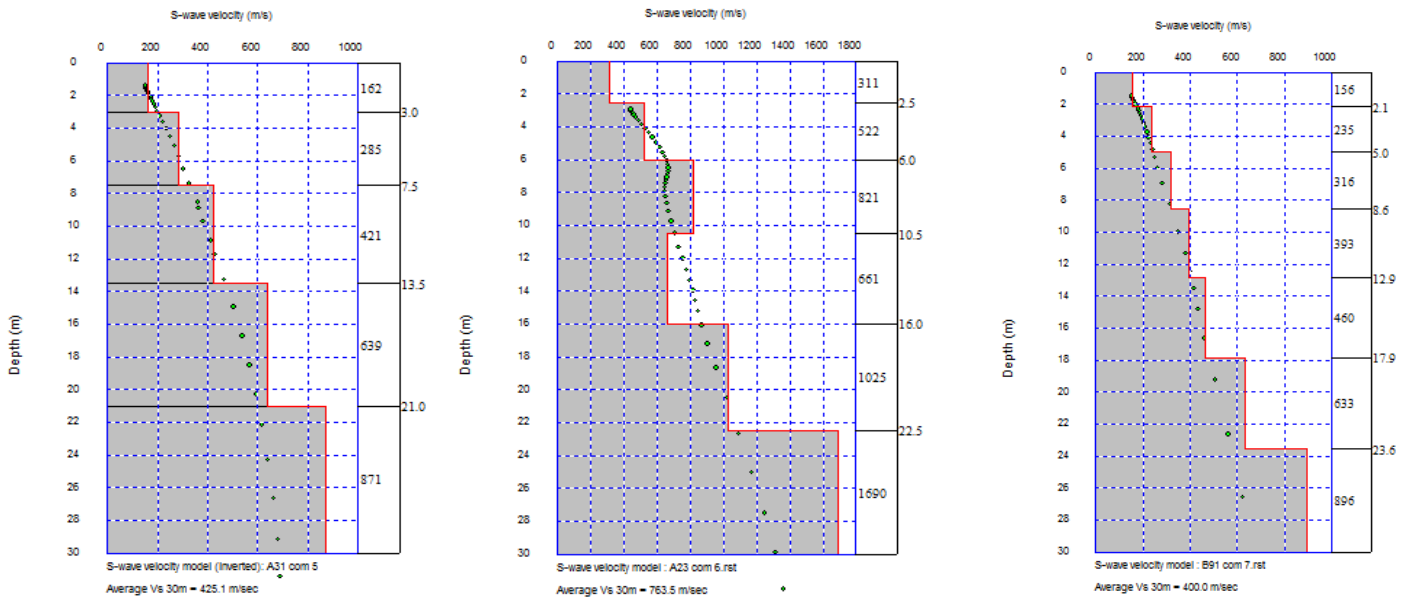
٣- حساب سرعة الأمواج العرضية بقلب منحنى التشتت (ورد سابقا).

بعد الانتهاء من مرحلة معالجة المعطيات السيزمية المبينة في الشكل (٥٧)، يتم الحصول على المقاطع النهائية التي تمثل السرعة الوسطية للامواج العرضية مع العمق حتى ٣٠م، ومثال ذلك الشكل (٥٨).





الشكل (٥٧) مراحل وخطوات معالجة المعطيات السيزمية باستخدام برمجية سايزإمجر.



الشكل (٥٨) مقاطع نهائية للتربة تمثل سرعة الأمواج (القصية) العرضية مع العمق.

حيث تستخدم المعادلة (٦) لحساب السرعة الوسطية للامواج العرضية للعمق المطلوب($\boldsymbol{VsH}$):

$$\boldsymbol{VsH = \sum_{i=1}^{N} hi / \sum_{i=1}^{N} (hi/vi)} \qquad (٦)$$

حيث إن H= $\sum_{i=1}^{N} hi$ =٣٠م (تعوض في المعادلة ٦) فتصبح المعادلة (٧) لحساب السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية لعمق ٣٠م.

$$\boldsymbol{Vs_{30} = 30 / \sum_{i=1}^{N} (hi/vi)} \qquad (٧)$$

حيث إن: (H) عمق التحري الكلي المطلوب بالمتر.

($\boldsymbol{hi}$،$\boldsymbol{vi}$) السرعة العرضية في الطبقة م\ثا، سماكة الطبقة بالمتر، على الترتيب.

٤-٣- تفسير المعطيات السيزمية.

تستخدم طريقة (MASW) على نطاق واسع في الدراسات السيزموجيوهندسية والدراسات الجيوهندسية والهندسة الزلزالية للمواد والطبقات القريبة من السطح ، وذلك من خلال:

١- قياس وتحديد السرعة الوسطية للامواج العرضية (Vs_{30}) حقليا والاعتماد عليها في جميع الدراسات أكثر من المعاملات الديناميكية المقاسة مخبرياً لأنها تعكس خصائص التربة الحقيقية.

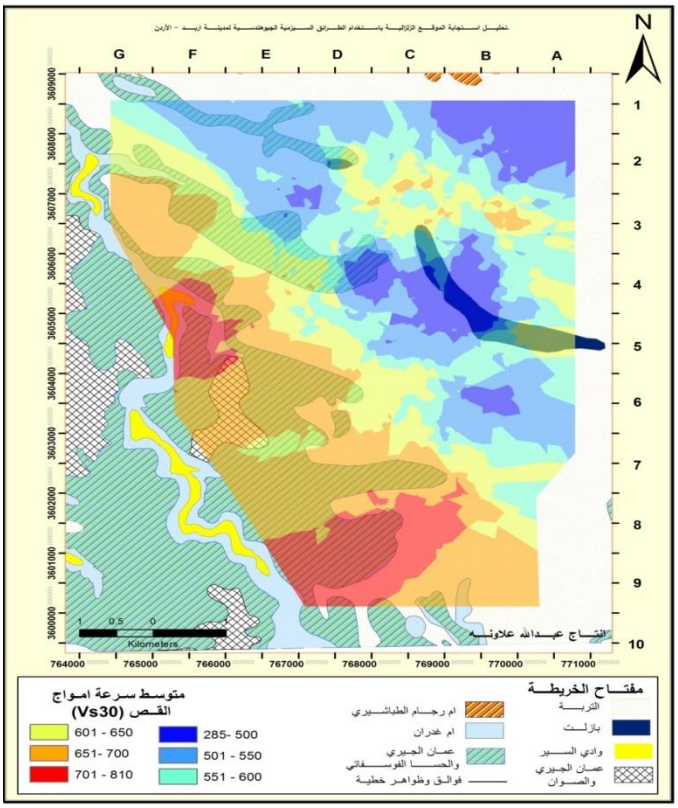
٢- حساب معاملات المرونة وتقييم خصائص التربة وتحديد قساوتها اعتمادا على السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية وذلك بدلالة كل من المعاملات التالية:

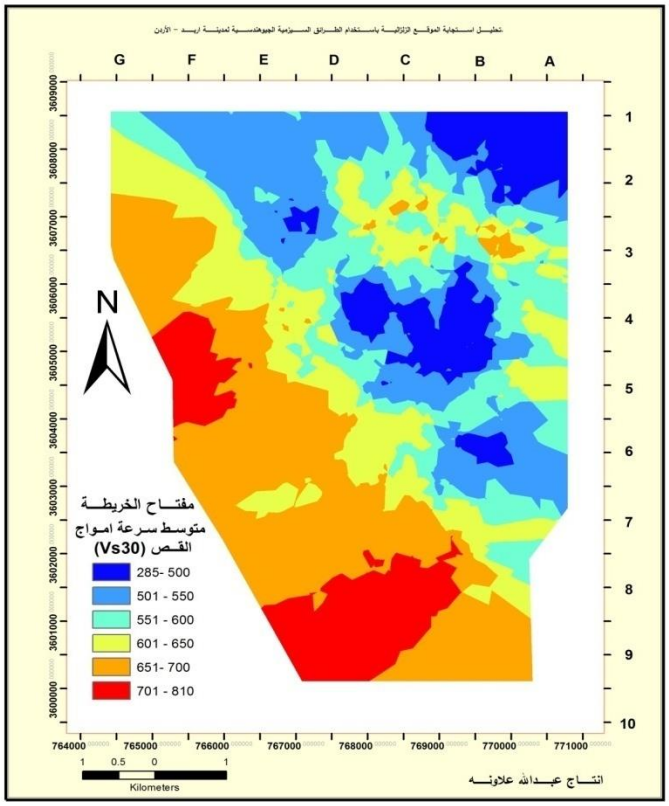
- معامل القص (G). - معامل يونغ (E). - معامل بواصون (σ). - الكثافة (ρ).

٤-٣-١- توزيع السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية (Vs_{30}).

تعد سرعة الأمواج العرضية من أهم المتغيرات المستخدمة في دراسة وتقييم الخصائص الديناميكية للتربة والطبقات السطحية واستخدامها في تصنيف التربة والمواقع وتقسيمها إلى أنطقة صغيرة لأن وصف المواقع وتصنيفها يدخل في حسابات المخاطر الزلزالية.

يعرض الشكل (٥٩) الخريطة الكنتورية الناتجة من القياسات السيزمية المنفذه في ١١٩ موقع باستخدام طريقة ماسو معظمها والتي توضح توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية (Vs30) في منطقة الدراسة، و الابتعاد قدر الإمكان عن الطريقة الانكسارية التقليدية وذلك لصعوبة استخدامها في المناطق الحضرية مثل مدينة إربد لعدة أسباب منها: وجود ضجيج عالي ناتج عن حركة المرور وغيرها، عدم إمكانية تحديد الطبقات الرقيقة ذات السرعة المنخفضة، وتحتاج لمساحات ومسافات كبيرة لتنفيذ بروفيلات طويلة للحصول على عمق تحر كبير وتحقيق العمق المطلوب ٣٠م لمثل هذه الدراسة، وهذا ما يتعذر وجوده وتنفيذه في المناطق الحضرية.





الشكل (٥٩) توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية (Vs30). الشكل (٦٠) توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية مع تباين جيولوجية المنطقة.

وكنتيجة يمكن تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاثة أقسام رئيسة اعتمادا على السرعة الوسطية للأمواج العرضية في المنطقة وعلى تباين تضاريس المنطقة وجيولوجيتها، وذلك على النحو التالي:

١- المنطقة الأولى (عالية السرعة): تمثل منطقة الهضاب والتي تقع في الجزء الغربي والجنوبي الغربي من منطقة الدراسة وتمتد على شكل شريط عريض في الجهة الجنوبية والجنوبية الشرقية ويتناقص باتجاه الزاوية الشمالية الغربية، وتمتاز المنطقة بتكشف الصخور، لذا فإن السرعة الوسطية للامواج العرضية فيها عالية تتراوح ما بين ٦٠٠-٨٠٠م\ثا ومعظمها ٦٥٠-٧٠٠م\ثا.

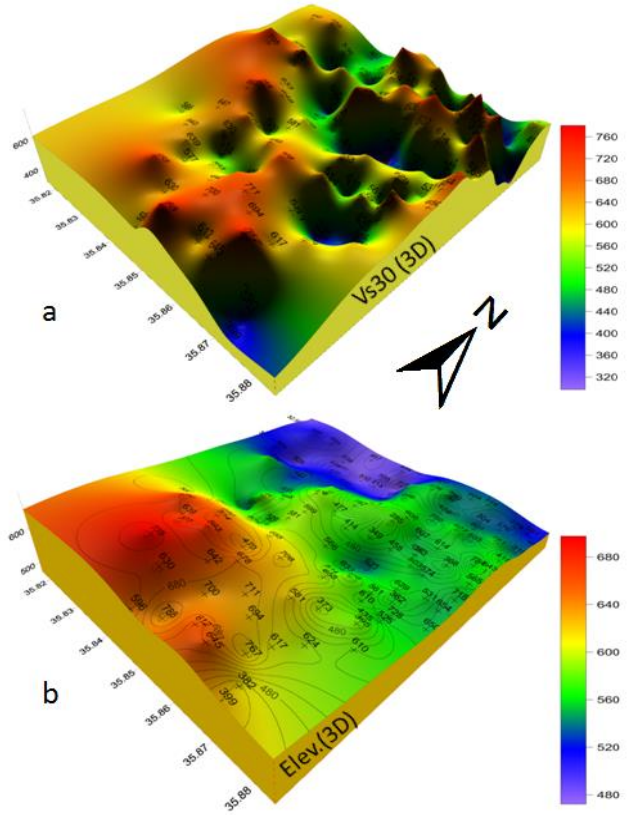
٢- المنطقة الثانية (متوسطة السرعة): وتمثل المنطقة الانتقالية بين منطقة السرعة العالية ومنطقة السرعة المنخفضة على شكل شريط ضيق غير منتظم ومتعرج الحواف متداخل بين المنطقتين يمتد من الزاوية الشمالية الغربية (العليا اليسرى) إلى الزاوية الجنوبية الشرقية (السفلى اليمنى)، والسرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية فيها يتراوح ما بين ٥٠٠-٦٥٠م\ثا.

٣- المنطقة الثالثة (منخفضة السرعة): تمثل المنطقة السهلية والأراضي الزراعية، والتي تظهر على شكل مثلث رؤوسه عند الزوايا الشمالية الغربية والشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية، وتمتاز بسماكات كبيرة للتربة وصخر الأساس عميق قد يزيد عن ٣٠ أحيانا لذا فإن السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية فيها يتراوح ما بين ٢٨٥-٥٠٠م\ثا، إلا أنه في

وسط هذه المنطقة تم تحديد هالة تمتاز بسرعة قص متوسطة تتصل مع المنطقة الثانية الانتقالية ويعود سبب ظهور الهالة في المنطقة إلى وجود البازلت بين الطبقات على شكل كتل صخرية مختلفة الحجم أو على شكل طبقات محدودة المساحة تنتشر في الأودية القديمة وتمتاز بسرعة قص تتراوح ما بين ٥٠٠-٦٥٠م\ثا.

ولو طابقنا هذه النتائج مع الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة نجد التطابق الكبير بين تقسيمات منطقة الدراسة اعتمادا على توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية مع توزيع وتباين الصخور المختلفة والتربة في الخريطة الجيولوجية كما في الشكل (٦٠)، أي بمعنى أن منطقة السرعة العالية تطابقت مع وجود الهضاب ومع منطقة تكشف الصخور التي توضحها الخريطة الجيولوجية، أما منطقة السرعة المنخفضة تطابقت مع منطقة الانتشار الواسع للتربة الزراعية التي يظهر فيها البازلت أحيانا في مناطق مختلفة منها.

كما تطابقت النتائج مع الشكل الطبوغرافي، حيث يبين الشكل (٦١) البعد الثلاثي لتوزيع السرعة الوسطية (Vs) في منطقة الدراسة ومدى تطابقها وتماثلها مع التغير في ارتفاع سطح الأرض عن سطح البحر حيث تم جمع بيانات الارتفاعات من خلال الأعمال الحقلية باستخدام (GPS)،إذ تتوزع بشكل عام السرعة العالية في المناطق المرتفعة والسرعة القليلة في المناطق المنخفضة، أي إن المناطق المنخفضة ساعدت على عمليات الترسيب وزيادة سماكة عمود التربة فيها.



الشكل (٦١)(a) شكل ثلاثي الأبعاد يوضح توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية.(b) شكل ثلاثي الأبعاد يبين الارتفاعات وتوزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية (Surfer).

٤-٣-٢- تصنيف التربة والمواقع اعتمادا على (Vs_{30}).

تم تحويل خريطة توزيع السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية (Vs_{30}) في منطقة الدراسة إلى خرائط تبين تصنيف التربة والمواقع وأنواعها من خلال استخدام كودات البناء المعتمدة عالميا والتي تعتمد في تقسيماتها وتصنيفها لأنواع التربة على السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية؛ لأن وصف المواقع وتصنيفها يدخل في حسابات تقييم المخاطر الزلزالية، بالإضافة إلى استخدام كودات البناء الواردة في الجدول (١٣) بهدف تصاميم البناء لاستقرارها زلزالياً، وذلك لتقليل المخاطر والآثار التدميرية الناتجة من حدوث زلزال مدمر بالمنطقة، حيث اعتمدت التصنيفات العالمية التالية:

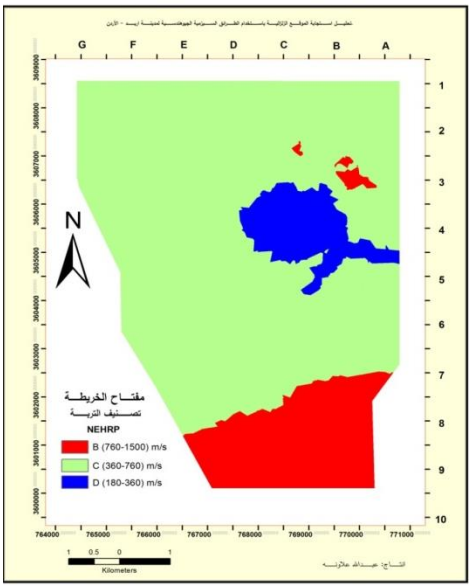
١- كود البناء العالمي (Universal Building Code/UBC)، تم اعتماد السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية (Vs_{30}) في تصنيف التربة من قبل NEHRP عام ١٩٩٧ [45,14]، وبناء على هذا التصنيف تم الحصول على النتائج الواردة في الشكل (٦٢) الذي يمثل تصنيف التربة لمنطقة الدراسة وفق تصنيف UBC حيث يبن أن المنطقة تنقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسة معظمها تعود إلى الصنف (C) ومساحة صغيرة إلى (d،b).

٢- كود البناء الأوروبي (European Building8/EB8)، تم اعتماده للسرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية عام ٢٠٠٢ ، وباستخدام هذا الكود تم الحصول على النتائج الموضحة في الشكل (٦٣) الذي يمثل تقسيم منطقة الدراسة إلى قسمين رئيسين معظمها تنتمي إلى الصنف (b) وبعضها ينتمي الى الصنف (c).

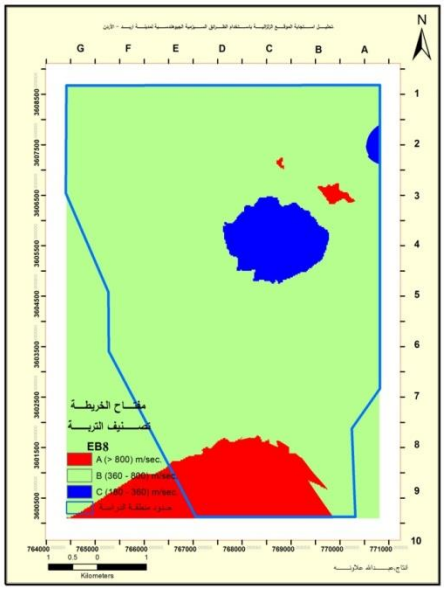
٣- كود البناء (FEMA) تم اعتماده أيضا في تصنيف التربة عام ١٩٩٧ ويتماثل مع تصنيف UBC إلا إن السرعة الوسطية للأمواج (القصية) العرضية تم تقسيم الصنفين (d،c) إلى أصناف فرعية حيث إن كل صنف أصبح ثلاثة أقسام، ويعرض الشكل (٦٤) نتائج تصنيف منطقة الدراسة التي تم تقسيمها إلى ستة أقسام رئيسة، والتي تعكس تشابهاً وتماثلاً كبيراً مع خريطة توزيع سرعة الأمواج (القصية) العرضية (Vs_{30}) أي أنها الأكثر تفصيلاً في تصنيف منطقة الدراسة مما يجعل المختصين أكثر قدرة على التعامل مع كل نوع من أنواع التربة وتحديد التصميم الأكثر ملاءمة.

الجدول (١٣) كودات البناء المعتمدة عالميا في تصنيف التربة.

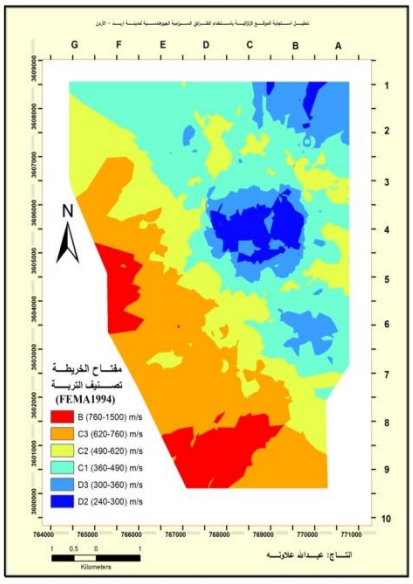
التصنيف			الوصف	السرعة الوسطية للامواج (القصية) العرضية (Vs30)	
UBC	FEMA	EB8		UBC & FEMA	EB8
A	A	A	صخر صلب جدا	> ١٥٠٠م\ثا	> ٨٠٠م\ثا
	B			٧٦٠م\ثا - ١٥٠٠م\ثا	
C	C3	B	صخر هش وتربة ذات كثافة عالية جدا	٦٢٠م\ثا - ٧٦٠م\ثا	٣٦٠م\ثا - ٨٠٠م\ثا
	C2			٤٩٠م\ثا - ٦٢٠م\ثا	
	C1			٣٦٠م\ثا - ٤٩٠م\ثا	
D	D3	C	تربة صلبة	٣٠٠م\ثا - ٣٦٠م\ثا	١٨٠م\ثا - ٣٦٠م\ثا
	D2			٢٤٠م\ثا - ٣٠٠م\ثا	
	D1			١٨٠م\ثا - ٢٤٠م\ثا	
E	E	D	تربة رخوة	< ١٨٠م\ثا	



الشكل (٦٢) تصنيف التربة وفق (NEHRP/UBC).



الشكل (٦٣) تصنيف التربة وفق (EB8).



الشكل (٦٤) تصنيف التربة وفق (FEMA)

٤-٤- المعطيات الجيوتقنية.

يبن الشكل (٦٥) توزيع السبور المحفورة في منطقة الدراسة وعددها ٨٥ سبرا التي تم جمعها من المكاتب الهندسية المختصة بحفر السبور لأغراض البناء، فمنها ما يتعلق بمشاريع حكومية ومنها لأغراض بحثية لنيل درجة الماجستير ومنها لأغراض المشاريع الخاصة مثل بناء المولات التجارية.

ويعرض الملحق (ب-٢) المعطيات الجيوتقنية التي تشمل خصائص مكونات التربة الديناميكية وقدرة تحملها اللازمة في تصاميم البناء وتحديد عمق التأسيس، إذ إن دراسة سلوك الإجهادات والانفعالات للتربة تمت بشكل واسع في مجالات الدراسة الجيوتقنية والديناميكية للتربة والهندسة الزلزالية، وكانت الدراسات الجيوتقنية دائماً توصي باستخدام معامل القص بدلا من إجهاد القص كدالة عليه .

٤-٥- علاقة السرعة الوسطية للامواج العرضية (Vs30) مع المعطيات الجيوتقنية.

زاد الاعتماد على قيمة سرعة الامواج العرضية (Vs) في الدراسات الجيوهندسية أكثر من المعاملات الديناميكية المقاسة مخبرياً، لأنها تعكس الصورة الحقيقية للخصائص تحت اجهادات منخفضة وحساب معاملات المرونة وتقييم خصائص التربة وتحديد قساوتها بدلالة معامل القص، ومعامل يونغ، إذ يعد معامل القص (G) من الخصائص الأساسية للتربة الذي يستخدم في ايجاد الحلول الجيوتقنية المناسبة مثل التنبؤ بتشوه سلوك التربة، وتوقع رد فعل بنية التربة لذا فان قياس السرعة الوسطية للامواج العرضية في منطقة الدراسة يمثل طريقة جيدة ومناسبة لتحديد قساوة وصلابة التربة، وخصائص التربة المستخدمة في الدراسات الجيوهندسية والهندسة الزلزالية.

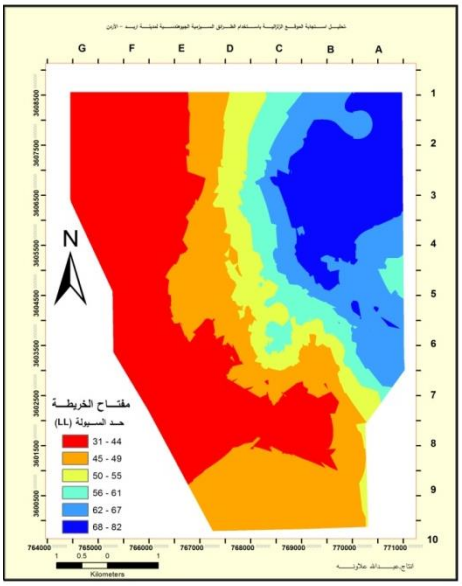
ما هي علاقة السرعة الوسطية للأمواج العرضية مع خصائص التربة والمتغيرات الجيوهندسية التي يتم دراستها في الأعمال المخبرية؟ ومن أهم هذه الخصائص:

١- حدود آتربيرغ (Atterberg Limits)، يمكن تصنيف التربة هندسيا اعتمادا على الحجم الحبي وحدود آتربيرغ، لذا يمكن دراسة العلاقة الإحصائية بين المتغيرات والسرعة الوسطية للأمواج العرضية المستخدم في تصنيف التربة، توزيع المتغيرات في منطقة الدراسة ومدى تطابقها مع توزيع (Vs_{30}).

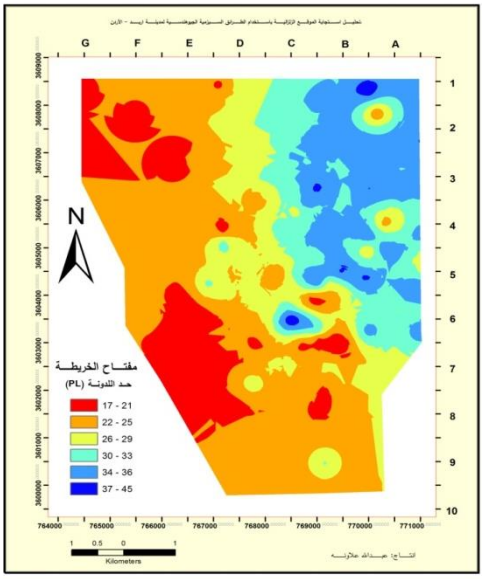
٢- النسبة المئوية للحجم الحبي (Particle Size%)؛ إذ يعد نسيج التربة (Soil Fabric) من أهم العوامل الرئيسة الذي يؤثر في القيمة الفعلية لمعامل القص (G) أي يؤثر في صلابة التربة.

٣- قدرة تحمل التربة وعمق التأسيس (Bearing Capacity and Depth of Embedment) وتعني صلابة التربة وقدرة تحملها للإجهادات والأحمال الواقعة عليها بفعل المباني والمنشآت التي ستقام عليها، حيث إن تصميم واختيار التأسيس للمباني والمنشآت بأنواعها يعتمد على قدرة تحمل التربة وعمق التأسيس الآمن.

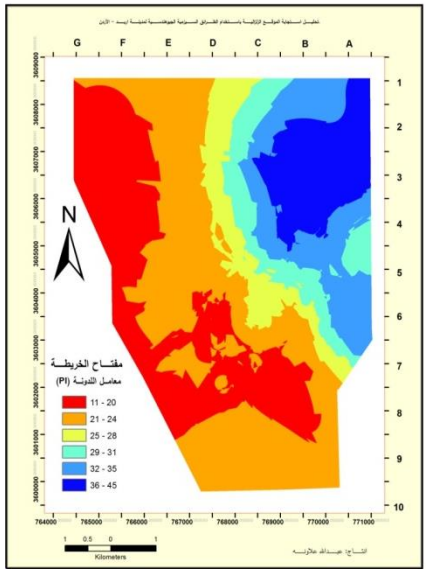
توضح الخرائط الكنتورية في الأشكال (٦٦، ٦٧، ٦٨، ٧١، ٧٢) النتائج التي تم التوصل اليها وتتمثل في توزيع أهم الخصائص الجيوتقنية للتربة والطبقات السطحية في منطقة الدراسة الذي يتغير كلما انتقلنا من الشرق إلى الغرب حيث إن المنطقة الشرقية تمتاز بزيادة النسبة المئوية للحجم الحبي الناعم مما أدى إلى زيادة حد السيولة واللدونة فيها ونقصان قدرة تحملها وزيادة عمق التأسيس أيضا، أمّا المنطقة الغربية فتمتاز بزيادة الحجم الحبي الخشن فكان حد اللدونة اقل فيها، وقدرة تحملها اكبر، وعمق التأسيس فيها قليل، أي أن العلاقة عكسية بين قدرة التحمل وكل من الحجم الحبي الناعم وحدود آتربيرغ وعمق التاسيس وتتناسب طرديا مع الحجم الحبي الخشن، وهذا التغير في توزيع خصائص التربة يتوافق مع توزيع السرعة الوسطية للامواج العرضية، أي أن توزيع السرعة الوسطية للامواج العرضية يعتمد على التغير في خصائص التربة وطبيعة توزيعها، فالتماثل بين المعطيات السيزمية والمعطيات الجيوتقنية يدل على دقة النتائج وفاعلية الطريقة السيزمية المستخدمة، حيث المتغيرات الحقلية كانت مناسبة جدا في هذه الدراسة.



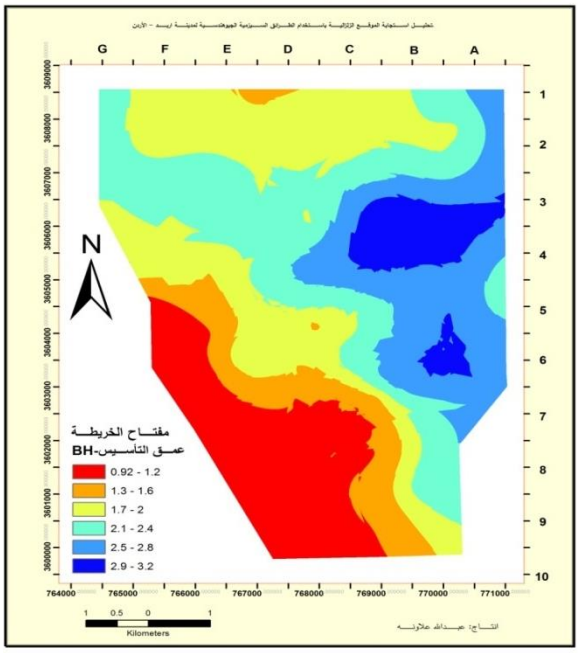
الشكل (٦٦) توزيع حد السيولة.



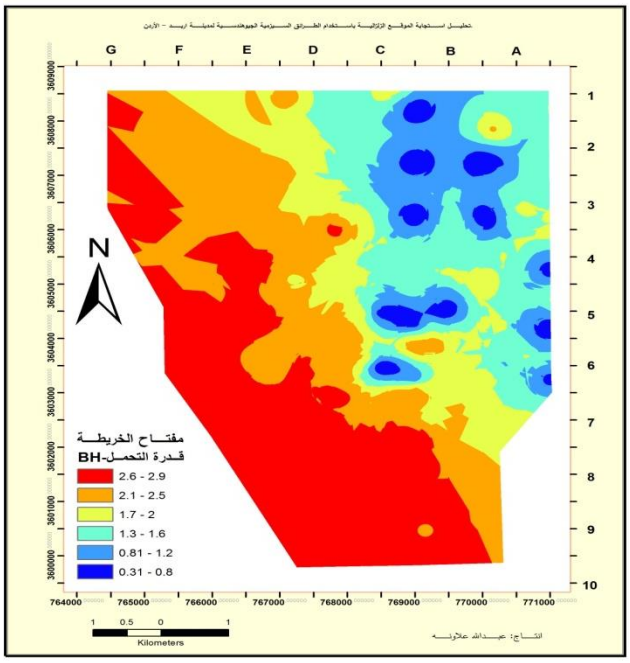
الشكل (٦٧) توزيع حد اللدونة.



الشكل (٦٨) توزيع معامل اللدونة



الشكل (٧١) توزيع قدرة تحمل التربة.



الشكل (٧٢) توزيع عمق التأسيس.

وكخلاصة إن نتائج هذه الدراسة تدل على صلاحية استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات (ماسو) كطريقة فعالة في المسح السيزمي، حيث تعطي نتائج دقيقة يمكن استخدامها والاعتماد عليها لقياس المتغيرات الجيوتقنية في منطقة الدراسة.