الطرائق السيسمية الانعكاسية (١)

السنة : الرابعة

القسم : الجيولوجيا

الشعبة : الجيوفيزياء التطبيقية

منشورات جامعة دمشق
كلـــية العـــلوم

الطرائق السيسمية الانعكاسية (I)

الدكتور نضال شقير
أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا

جامعة دمشق
٢٠٠٥-٢٠٠٦م
١٤٢٦-١٤٢٧هـ

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس محتويات الكتاب

مقدمة ١١

الفصل الأول:لمحة عن التطور التاريخي للطرائق السيزمية..... ١٥

١ .١. الخطوات الأولى ١٧

١. ٢. التطبيقات المبكرة للكشف عن النفط والغاز..... ١٨

١. ٣. تطبيقات أخرى في عشرينيات القرن العشرين..... ٢١

١. ٤. تطور الأجهزة وطرائق العمل السيسمية الانعكاسية ٢٥

١. ٥. التطورات في الآونة الأخيرة ٣١

الفصل الثاني: مدخل في الطرائق الانعكاسية الحقلية ٣٥

٢ . ١ . مقدمة في المسح السيسمي الانعكاسي الحقلي..... ٣٧

٢ . ٢ . الدراسات الأساسية..... ٣٨

٢ . ٢ . ١ . جمع أو حصاد المعطيات..... ٣٨

٢ . ٢ . ٢ . تنظيم المجموعات..... ٣٩

٢ . ٢ . ٣ . الاعتبارات الأمنية والبيئية..... ٤١

الفصل الثالث :أنظمة الرصد الحقلية(تصنيف و اختيار وتمثيل) ٤٥

٣ . ١ . مقدمة ٤٧

٣ . ٢. تعاريف أساسية ٤٧

٣ . ٣ . أنظمة الرصد الحقلية ٤٨

٣ . ٣ . ١. تصنيف أنظمة الرصد ٤٨

٣ . ٣ . ٢ . المسافة بين نقاط الالتقاط ٥١

٣ .٣ . ٣ . اختيار منطقة الرصد ٥٣
٣ .٣ . ٤ . تمثيل أنظمة الرصد ٥٧
٣ .٣ . ٥ . بروفيل الرصد وتمثيله في التغطية المتكررة ٦١
الفصل الرابع:أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانعكاسية ٦٧
٤ . ١ . مقدمة ٦٩
٤ . ٢ . طول قاعدة الرصد L والفاصل المنبعي ℓ ٦٩
٤ . ٣ . التسجيل بطريقة التغطية الأحادية المستمرة ٧٠
٤ . ٤ . تمثيل أنظمة الرصد في المسح المستمر..... ٨٠
٤ . ٥ . النقطة العاكسة المشتركة و النقطة الوسطى المشتركة.... ٨٣
٤ . ٥ . ١ . تعريف CDP وCMP ٨٣
٤ . ٥ . ٢ . اختيار أنظمة الرصد بطريقة CDP أو CMP ٩١
٤ . ٦ . ا لرصد المساحي ١٠٢
الفصل الخامس:أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانكسارية ١٠٥
٥ . ١ . مقدمة..... ١٠٧
٥ . ٢ . أنظمة الرصد الأساسية ١٠٨
٥ . ٢ . ١ .بروفيلات القياس الانكسارية..... ١٠٩
٥ . ٣. اختيار أنظمة الرصد في الطرائق الانكسارية..... ١١١
٥ . ٣ . ١. نظام الرصد المستمر..... ١١١
٥ . ٣ . ٢. خطوط القياس غير الطولية ونظام الرصد المروحي ١١٨
٥ . ٣ . ٣. نظام الرصد المتقطع (الرصد غير المستمر) ١٢١

الفصل السادس: منابع الطاقة السيسمية للأغراض الجيوهندسية ١٢٥
٦ .١. مقدمة..... ١٢٧
٦ .٢. منابع الطاقة الضغطية..... ١٢٨
٦ .٢ .١. المنابع التفجيرية للأغراض الجيوهندسية.... ١٢٨
٦ .٢ .٢. المنابع الضغطية الجيوهندسية..... ١٣٤
٦ .٣. منابع الطاقة غير الضغطية..... ١٣٥
٦ .٣ .١. المنبع الجيوهندسي الرجاج Sosie ١٣٥
٦ .٤. اختيار المنابع الأرضية ١٤٠
الفصل السابع: أجهزة التسجيل السيسمية الجيوهندسية..... ١٤٧
٧ .١. لمحة عن مبدأ تسجيل الأمواج السيسمية..... ١٤٩
٧ .٢. قنال التسجيل السيسمي..... ١٤٩
٧ .٢ .١. اللاقط..... ١٥٠
٧ .٢ .٢. العمليات الانتقالية للاقط ١٥١
٧ .٢ .٣. المجال الديناميكي وتضخيم الإشارة..... ١٥٥
٧ .٣. الأجهزة الرقمية الجيوهندسية..... ١٥٨
٧ .٣ .١. تحويل سعة الإشارة التشابهية إلى رقمية..... ١٦١
الفصل الثامن: المسح السيسمي البحري والمعدات البحرية.... ١٦٥
٨ .١. مقدمة ١٦٧
٨ .٢. تأثير الفقاعة..... ١٧٠
٨ .٣. المدفع الهوائي..... ١٧٣

٨. ٤. المنابع البحرية الأخرى ١٧٦
٨. ٥. اختيار المنابع البحرية..... ١٨٠
٨. ٦. اللواقط المائية أو البحرية..... ١٨١
٨. ٧. الأكبال ١٨٤
٨. ٨. تحديد الموقع في البحر..... ١٨٧
٨. ٨. ١. تحديد الموقع راديويا ١٨٩
٨. ٨. ٢. تحديد الموقع عن طريق الأقمار الصنعية السيارة.. ١٨٩
٨. ٨. ٣. النظام العالمي لتحديد الموقع ١٩١
٨. ٨. ٤. التحديد بالأمواج الصوتية وقصورها ١٩٣
٨. ٨. ٥. تحديد موقع الكبل ١٩٧
الفصل التاسع: نظرية المجموعات..... ٢٠١
٩. ١. مقدمة ٢٠٣
٩. ٢. مجموعات اللواقط ٢٠٦
٩. ٢. ١.مواصفات استجابة المجموعات الخطية..... ٢٠٩
٩. ٢. ٢. المجموعات الموزونة ٢١٧
٩. ٢. ٣. المجموعات المساحية ٢١٨
٩. ٣. التطبيقات الحقلية..... ٢٢١
الفصل العاشر: تقنيات سيسمية خاصة..... ٢٢٣
١٠. ١. مقدمة..... ٢٢٥
١٠. ٢. الاستكشاف بواسطة الأمواج العرضية..... ٢٢٦
١٠. ٢. ١. هدف الاستكشاف بالأمواج العرضية..... ٢٢٦

١٠. ٢. ٢. تسجيلات الأمواج العرضية على اليابسة.. ٢٢٨
١٠. ٢. ٣. تسجيل الموجة العرضية في المسح البحري.. ٢٣٢
١٠. ٢. ٤. معالجة وعرض معطيات الأمواج العرضية.. ٢٣٤
١٠. ٢. ٥. تفسير واستخدام الموجة العرضية..... ٢٣٥
١٠. ٢. ٦.الانكسار المزدوج للأمواج العرضية..... ٢٤٢
١٠. ٣. تسجيل المركبات الثلاث ٢٤٣
١٠.٣. ١. التصفية الاستقطابية..... ٢٤٦
١٠. ٤.الطبقة ذات السرعة القليلة (توليد النمط الطبيعي)..... ٢٤٧
الفصل الحادي عشر:التطبيقات الخاصة للطرائق السيسمية الانعكاسية ٢٥١
١١. ١. التطبيقات الجيوهندسية ٢٥٣
١١. ١. ١. مواضيع الأعمال الهندسية ٢٥٣
١١. ١. ٢. الطرائق السيسمية الانكسارية..... ٢٥٤
١١. ١. ٣. الطرائق السيسمية الانعكاسية..... ٢٥٧
١١. ١. ٤. المسح السيسمي الجيوهندسي البحري..... ٢٦٠
١١. ٢. التطبيقات المائية و البيئية والآثارية والحرارية ٢٦١
ملحق ١ – تطبيقات عملية..... ٢٦٣
١. مقدمة ٢٦٥
٢. المرحلة الأولى : تحليل أمواج الضجيج..... ٢٦٥
٢ .١ . نظام الكابلات ٢٦٨
٢ .٢. مجموعة اللواقط ٢٦٨
٣. المرحلة الثانية: اختيار بارامترات الرَج ٢٦٩

٤. المقترحات ٢٧٢
المراجع ٢٩١
جدول ١ المصطلحات العلمية ٢٩٥

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

تتصدر الطرائق السيسمية الانعكاسية مجموعة الطرائق الجيوفيزيائية المستخدمة في البحث والتنقيب عن النفط والغاز، وذلك من خلال وضع التصور الصحيح للبنيـــة تحت السطحية مثل المحدبات و المقعرات والفوالق وسطوح الانقطاع الترسيبية وغيرها. وضمن سياق التطور التقني الكبير، أصبحت إمكانية الكشف المباشر عـــن الفحـــوم الهيدروجينية محققة بيقين اكبر بكثير من السابق.

و مازالت الصناعة النفطية تلعب الدور الأهم على الصعيد العالمي، و الطرائـــق السيسمية تأخذ النصيب الأكبر من الاهتمام التقني والتطور السريع ،سواء على صعيد معالجة المعطيات أم التفسيرات أم على صعيد الأعمال الحقلية والأجهزة المســـتخدمة؛ وخاصة على صعيد المسح والتنقيب في البحار والمحيطات التي شهدت اهتماماً و تطوراً كبيراً في الآونة الأخيرة.

من هذا المنطلق تمت الاستزادة من المواضيع والمراجع الحديثة قدر الإمكـــان، والاستفادة منها في هذا الكتاب، حيث يتضمن هذا الكتاب موضـــوعات الطرائـــق السيسمية الانعكاسية (١) لطلاب السنة الرابعة – اختصاص الجيوفيزياء التطبيقيـــة – في قسم الجيولوجيا – كلية العلوم. ويدرَّس حسب المنهاج المقرر لمدة ثلاث ســـاعات نظرية أسبوعيا. ويحتوي على أحد عشر فصلاً تعالج الموضوعات الأساسية للطرائـــق السيسمية الانعكاسية؛ وبشكل أساسي حصاد المعطيات السيسمية، أسس وأســـاليب وأنظمة الأعمال الحقلية للكشف عن البنيات تحت الســـطحية، و كـــذلك البحـــث والتنقيب عن الثروات الباطنية.

تناول الفصل الأول التطور التاريخي للدراسات الانعكاسية وتطبيقاتها المبكـــرة والصعوبات التي تعرضت لها و النجاحات التي حققتها. وتناول الفصل الثاني الأعمال

الأساسية في المسح الانعكاسي من حيث تنظيم عملية حصاد المعطيات وتنظيم المجموعات. وفي الفصل الثالث والرابع تم شرح كيفية إجراء الأعمال الحقلية السيسمية وأهميتها،من أنظمة الرصد وتصنيفها واختيارها وتمثيلها وطرائق تنفيذها. أما الفصل الخامس فقد خصص لأنظمة الحقلية في الأعمال السيسمية الانكسارية، من حيث شكل بروفيلات القياس واختيار نظام الرصد وأجزاء الرصد.

أما الفصل السادس فقد خصص لدراسة منابع الطاقة السيسمية على اليابسة، أنواع المنابع وتصنيفها وأهمية اختيارها وتقسيماتها و مبدأ عمل كل منها، واختيار المنبع المناسب. والفصل السابع عالج موضوع أجهزة التسجيل السيسمية الرقمية، مبدأ عملها، مواصفاتها، وتقنيتها الحديثة وأهميتها، وكيفية اختيار الأجهزة و اللواقط المناسبة.

وفي الفصل الثامن تم تناول المسح السيسمي البحري بواقعة الحديث من حيث المعدات البحرية، المنابع و اللواقط والكبل البحري، وسفينة المسح السيسمي البحري، وطرائق المسح وتحديد الموقع في البحر.

أما الفصل التاسع فقد تناول نظرية المجموعات و أهميتها، ودور مجموعات المنابع ومجموعات اللواقط في إمكانية تسجيل المعطيات بالشكل الأفضل والأمثل، والتخلص من أمواج الضجيج المختلفة وزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج.

وفي الفصل العاشر تناولنا موضوع التقنيات السيسمية الخاصة للحصول على أمواج أخرى مثل الأمواج العرضية؛ وطرائق توليدها وتسجيلها ومعالجتها، والتي لا تقل أهمية عن الأمواج الطولية وتساهم في حل العديد من المسائل المطروحة.

وفي الفصل الحادي عشر كان لابد من التطرق لتطبيقات الطرائق السيسمية المختلفة، حيث نعلم أن التطبيق الأساس للطرائق السيسمية هو التنقيب عن النفط والغاز (الهيدروكربونات)، و هناك تطبيقات أخرى لهذه الطرائق، والتي أخذت

تنـــمو بشكل سريع في الآونة الأخيرة،مثل الدراسات الجيوهندسية والبيئية والدراسات المائية.

وفي نهاية الكتاب تم إدراج ملحق عبارة عن تطبيقات عملية؛ وهو نموذج عن التجارب الحقلية التي تتم في سورية من قبل الشركة السورية للنفط، والذي يعد تطبيقاً عملياً لجزء كبير من معلومات الكتاب النظرية. أولاً من حيث تحليل أمواج الضـــجيج واختيار مجموعات اللواقط؛ وذلك لتحديد نظام الرصد المناسب ، وثانياً مـــن حيـــث اختيار بارامترات الرج بحد ذاتها.

وكل ما ورد أعلاه مرفق بالرسوم والأشكال والصور التي تسهل على القارئ فهم المعلومات الواردة فيه.

ومما تجدر الإشارة إليه أنه على الرغم من الكم الكبير من المراجـــع العالميـــة وأدبيات الطرائق السيسمية، إلا أن مكتبتنا تعاني من نقص في هذا المجـــال، آمـــل أن أكون قد وفقت في تقديم عمل متواضع إلى مكتبتنا الجامعية.

المؤلف

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصـــل الأول

لمحة عن التطور التاريخي للطرائق السيسمية

١ .١. الخطوات الأولى

١. ٢. التطبيقات المبكرة للكشف عن النفط والغاز

١. ٣. تطبيقات أخرى في عشرينيات القرن العشرين

١. ٤. تطور الأجهزة وطرائق العمل السيسمية الانعكاسية

١. ٥. التطورات في الآونة الأخيرة

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

لمحة عن التطور التاريخي للطرائق السيسمية

١. ١. الخطوات الأولى

التنقيب الجيوفيزيائي عن النفط كان قد بدأ باستخدام جهاز قوة الفتل (torsion balance) الذي اكتشفه البارون رولاند فان أيتفم (Roland von Eotvos)حوالي عام ١٨٨٨، مع أن المسح الجاذبي باستخدام قوة الفتل بدأ في أوروبا تقريباً عام ١٩٠٠، وذلك ضمن مقاييس محددة لوضع خارطة للبنية الجيولوجية، والمسح الشامل الأول لأهداف النفط كان في الولايات المتحدة و مكسيكو في عشرينيات القرن العشرين، ففي شهر كانون الأول من عام ١٩٢٢ أعطت نتائج المسح شواذ جاذبي في موقع معروف فيه قبة ملحية في منطقة تكساس، وبقيت النتائج مخيبة للآمال حتى عام ١٩٢٤ حيث كان اكتشاف قبة ملح ناش(Nash)، وأدى هذا في كانون الثاني عام ١٩٢٦ إلى أول اكتشاف جيوفيزيائي عن النفط. وخلال عام ١٩٢٩ تم العثور على ١٦ قبة ملحية عن طريق المسح باستخدام قوة الفتل، وفيما بعد تبين أن هذه القبب تحوي توضعات هيدروكربوناتية.

و يمكن أن نعد من جهة أخرى أن نظرية الأمواج السيسمية كانت قد بدأت من قانون روبيرت هوك الذي أعلن عام ١٦٧٨، ولكن نظرية المرونة لم تتطور حتى بدايات القرن التاسع عشر. ومقالات البارون كوشي(Cauchy) عن انتشار الأمواج فازت بأكبر جائزة من المعهد الفرنسي عام ١٨١٨، و أثبت بواصون (S. D. Poisson) نظرياً استقلالية كل من الأمواج الطولية P والعرضية S تقريباً عام ١٨٢٨. وفي عام ١٨٩٩ وضع كنوط (C. g. Knott) مقالاً عن انتشار الأمواج السيسمية وحالة الانعكاس والانكسار، وفي عام ١٩٠٧ نشر أعماله عن الأمواج السيسمية أميل فيكتر و كارل زيوبرتس (Emil Wichert & Karl Zoppritz). إلى أن جاء اللورد رايلي(Rayleigh) ١٨٨٥ ولوف(A.E.h.Love) ١٩١١ وستونلي (Stoneley)

١٩٢٤ وطوّروا نظرية الأمواج السطحية في أعمالهم والتي سميت بأسمائهم.

بدأ روبيرت ماليت (١٨٤٨، ١٨٥١ Robert Mallet) بتجربة قياس سيسمولوجية؛ حيث قاس سرعة انتشار الأمواج السيزمية، وذلك باستخدام البارود الأسود كمنبع للطاقة و كرات من الزئبق غير مستقرة السطح كلواقط. وحصل مالت على سرعة صغيرة جداً ، على الأرجح بسبب الحساسية القليلة للجهاز حيث استطاع ملاحظة الدور اللاحق لأمواج رايلي، والتي لم تكن معروفة حينها. أبوت ١٨٧٨ (H. L. Abbot) قاس سرعة الأمواج الطولية P باستخدام لواقط التسجيل نفسها تقريباً؛ ولكن ذات طاقة منبعية تفجيرية كبيرة جداً.جون ميلن ١٨٨٥(Jon Milne) وكراي (T. Gray) استخدما الوزن الهابط كمنبع اهتزازي للطاقة لكشف ودراسة الأمواج السيزمية، وذلك باستخدام جهازي سيسموغراف تم وضعهما على خط واحد، وعُدت من حيث المبدأ أول مجموعة سيزمية. أتو هيكر ١٩٠٠ (Otto Hecker) استخدم تسعة سيسموغرافات أفقية على خط واحد لتسجيل الأمواج الطولية والعرضية.

ميلن (Milne) عام ١٨٩٨ أول من عرض فكرة كيفية استخدام السيسموغراف لشرح بنية الأعماق. وفي عام ١٩٠٥ غاري (L. P. Garret) اقترح استخدام الأمواج السيزمية الانكسارية للكشف عن القبب الملحية، ولكنه لم تتوفر الأجهزة المناسبة للقياس حينها.

١ .٢ . التطبيقات المبكرة للكشف عن النفط والغاز

بعد الغرق الذي حصل للتايتانيك باصطدامها بالجبل الجليدي عام ١٩١٢، عمل فيسيندن (R. A. Fessenden) في البحث عن طريقة للكشف عن الجبال الجليدية. ومن ضمن الطرائق التي استخدمها الأمواج الصوتية في المياه ، وكانت نتيجة ذلك ظهور أول براءة اختراع في أمريكا باستخدام الأمواج السيسمية في التنقيب

الشكل (١-١)، لقد طبقت براءة الاختراع هذه عام ١٩١٤، وصدرت عام ١٩١٧ تحت اسم "الطرائق والأجهزة للكشف عن مواقع الخامات المفيدة ". حيث اقترح وضع منابع و لواقط في بئر مملوءة بالماء؛ وتحديد موقع الخامات المفيدة من استقبال الأمواج المنعكسة عنها، ومن التغيرات في نتائج قياس زمن وصول الأمواج بين الآبار. في عام ١٩١٤ وفي ألمانيا اخترع منتروب (Mitrop) سيسموغراف تمكن بواسطته تسجيل أمواج من المنبع التفجيري وبدقة كافية.

حاولت دول المحور ودول الحلفاء في أثناء الحرب العالمية الأولى بإجراء تجارب سيزمية باستخدام ثلاثة أجهزة سيسموغراف ميكانيكية على الأقل، وذلك لمعرفة وتحديد مواقع مدفعية العدو، وتبين أنه يجب استخدام الأمواج الصوتية الهوائية افضل من الأمواج السيسمية لحل مثل هذه المسألة. وبعد الحرب لعب ستة أشخاص دوراً كبيراً في تطوير استخدام الأمواج السيزمية في الصناعة. في عام ١٩٢٥ بدأ التفكير في استخدام الأمواج السيسمية في التنقيب عن النفط.

ادن (Udden) ١٩٢٠ كتب إلى "نشرة الجمعية الأمريكية لجيولوجيا النفط" Bulletin of American Association of Ptroleum) Gologists)(AAPG)عن كيفية انتشار الأمواج واستقبالها، وإمكانية معرفة الطبقات مرفقة بالشكل (١-٢).

وفي العام ١٩٢٠ نفسه وجدت مجموعة الجيولوجيا الهندسية(Geological Enginering Company) من قبل هاسيمان و كارشير ويكارد وميكوليم (Haseman, Karcher ,Eckhardt, McCollum) إمكانية تطبيق الطريقة السيسمية للكشف عن النفط. في عام ١٩١٧سجل كارشير أمواجاً سيسمية انعكاسية ناتجة عن القصف المدفعي على موقع تدريبي في ماريلاند، و كذلك في مقلع في واشنطن في عام ١٩١٩ الشكل (١-٨)؛ لقد حولوا راسم الاهتزاز إلى ثلاثة مسارات

R. A. FESSENDEN.

METHOD AND APPARATUS FOR LOCATING ORE BODIES.

APPLICATION FILED JAN. 15, 1917.

1,240,388. Patented Sept. 18, 1917.

FIG. 1.

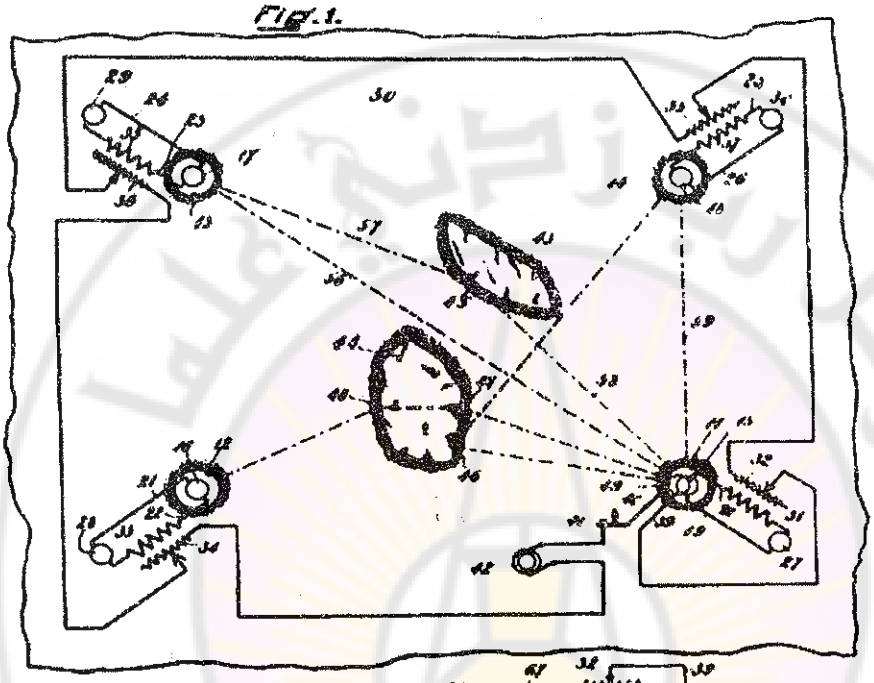


FIG. 2.

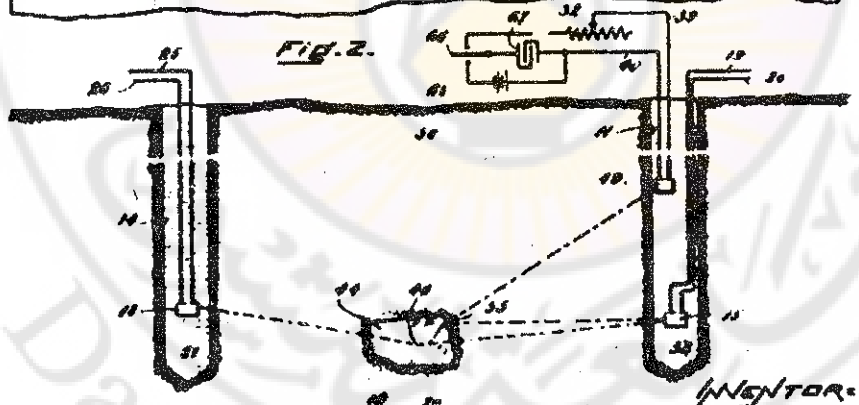
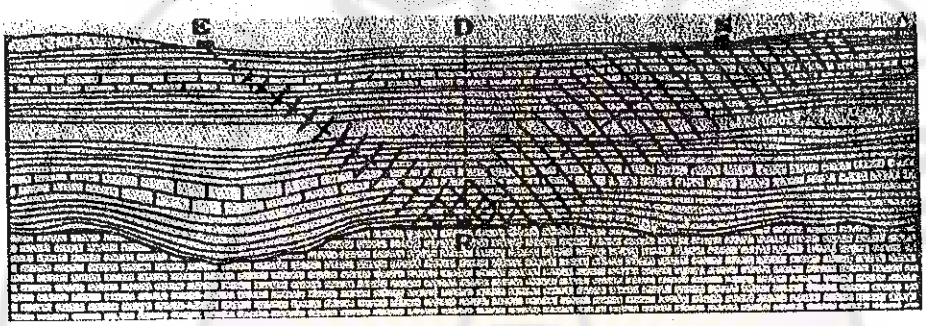


FIG. 3.

INVENTOR:
Reginald A. Fessenden
By Brown, Mayo & Brown
HIS ATTORNEYS.

الشكل(١-١) الصفحة الأولى من براءة اختراع فاسيدن(Fesseden)

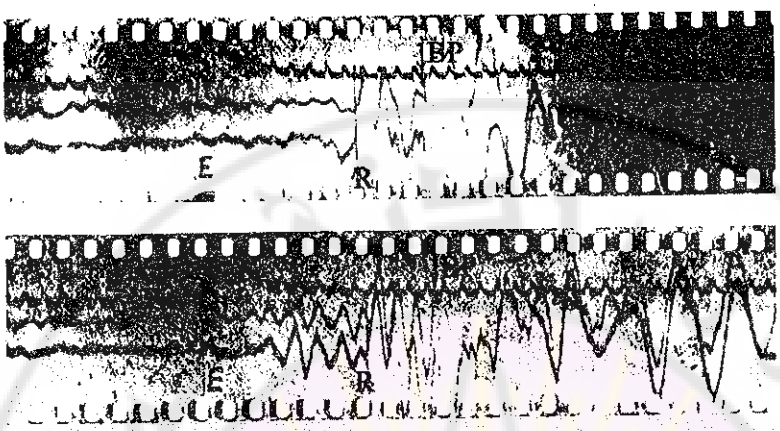
للتسجيل وجهزوا لواقط كهرديناميكية على أساس مستقبلات راديو هاتفية. وفي عام ١٩٢١ تم الحصول على انعكاس سيسمي لسطح فاصل بين الغضار والحجر الكلسي كما في الشكل (١-٣). وفي عام ١٩٢٤ تم أول اكتشاف هيدروكربوني بالطريقة السيسمية الانكسارية.والشكل(١-٤) يعرض أول تسجيل انكساري تم في ذلك العام.



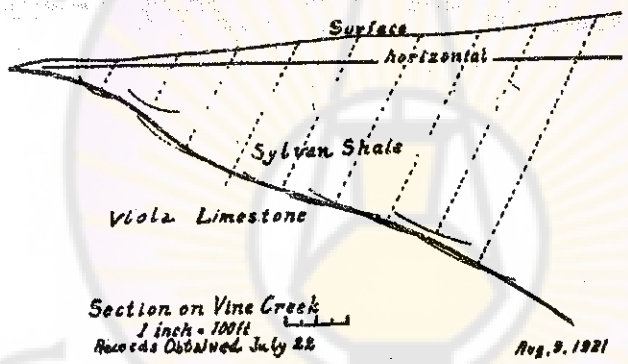
الشكل (١-٢) الانعكاس المتوقع من التماس بين الغضار والحجر الكلسي

١. ٣ . تطبيقات أخرى في عشرينيات القرن العشرين

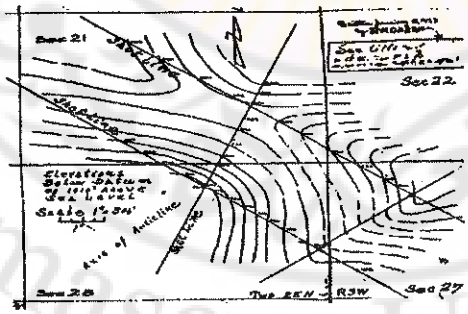
في عام ١٩٢٥ أنشأ الأخوة بيتي شركة اسمها (Petty Geophysical EngineeringCompany)، و توقعوا سهولة إمكانية تطوير جهاز السيسموغراف الميكانيكي، وحققوا تعديلات سهلت عليهم الأعمال السيزمية. أجرت هذه الشركة وبشكل فعال تجارب بهدف تحديد القبب الملحية بطرق أسهل وأسرع. اقر الباحثون أن الملح المكتشف كما في الشكل (١-٥) والذي تمت معرفته من السعة الموجية له، يمكن أن نعرفه دون معرفة المسافة بين المنبع والجهاز، ووجدوا ـ أيضاً ـ أن حقل أمواج رايلي يتغير إذا صادف مروره ضمن قبة ملحية ، واستخدموا هذه الظاهرة عندما لم يتمكنوا من الحصول على الأمواج الطولية. وبفضل زيادة حساسية أجهزتهم وبراعتهم في التفسير استطاعوا إجراء بحوث باستعمال منابع بأقل طاقة ممكنة.



(a)

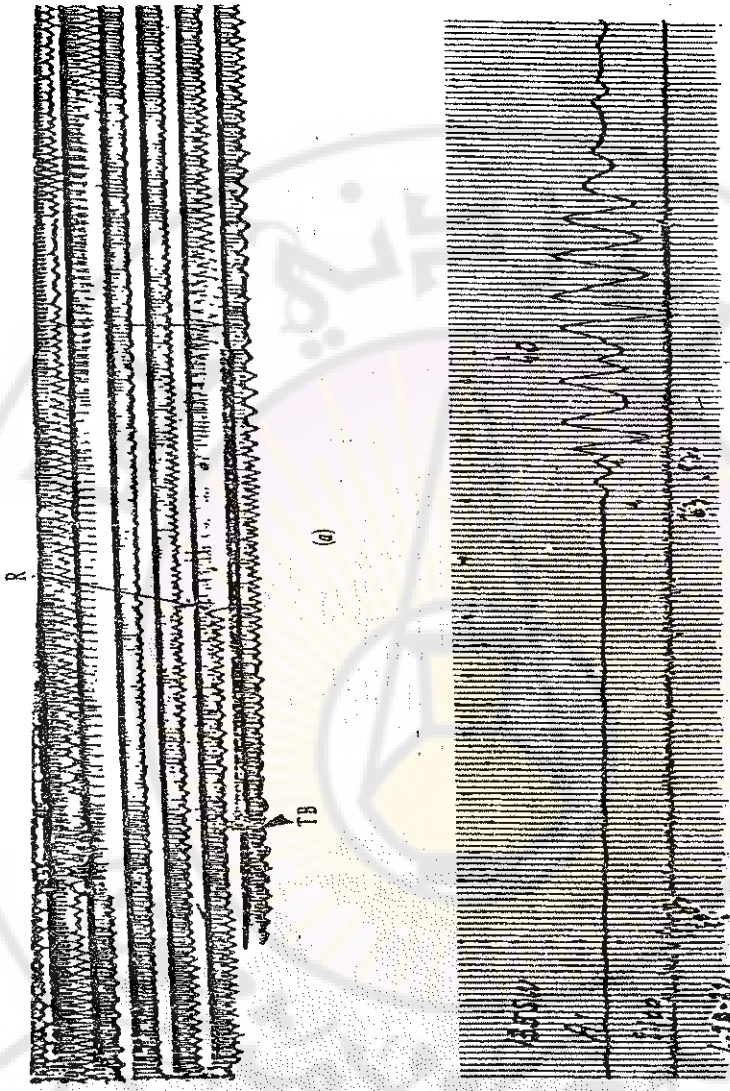


(b)

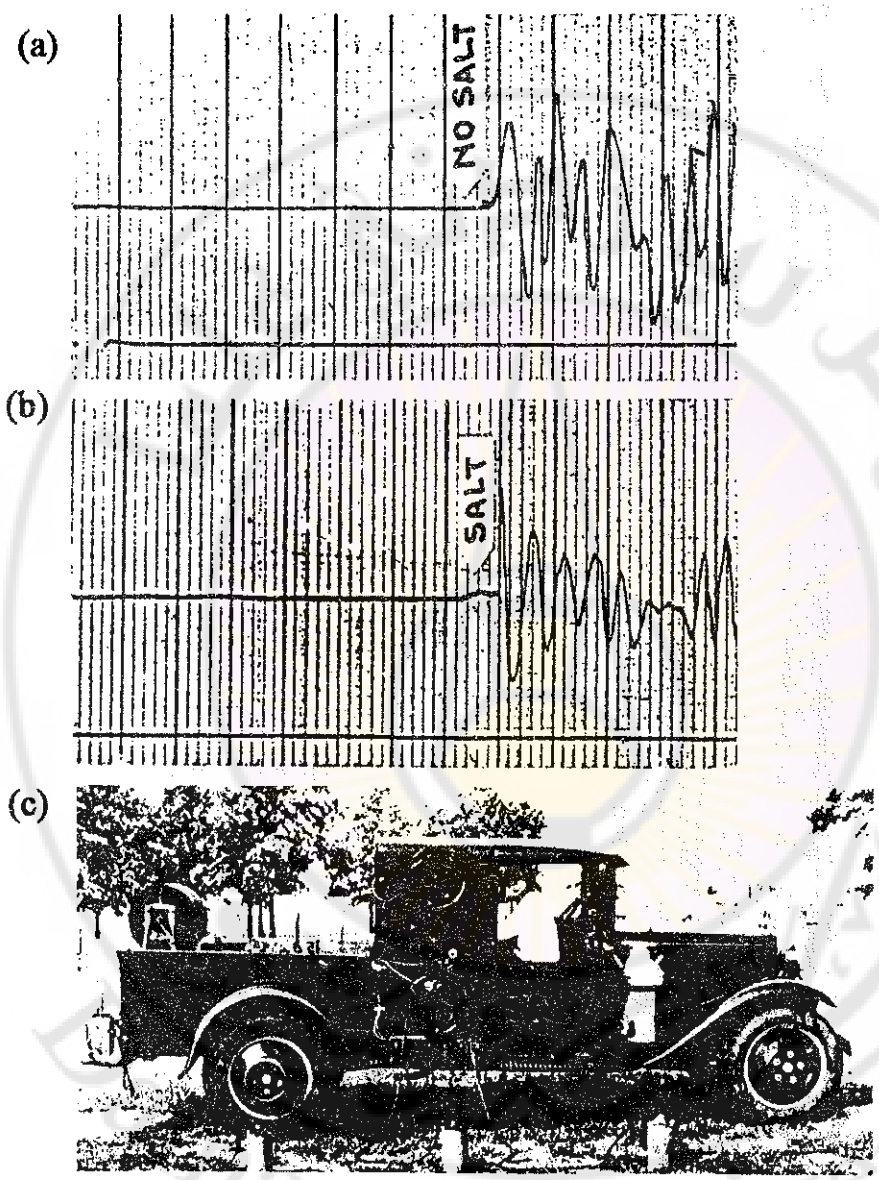


(c)

الشكل(١-٣) أول استخدام لسيسموغراف انعكاسي (a)- سيسموغرافين مسجلين عام ١٩٢١، الحرف E- يحدد زمن التفجير، R- الانعكاس عن الحجر الكلسي، BP- الموجة الصوتية (b)- أول مقطع عمقي أوكلاهوما ٩ أب ١٩٢١، (c)- أول خارطة سيسمية تركيبية في أيلول ١٩٢١.



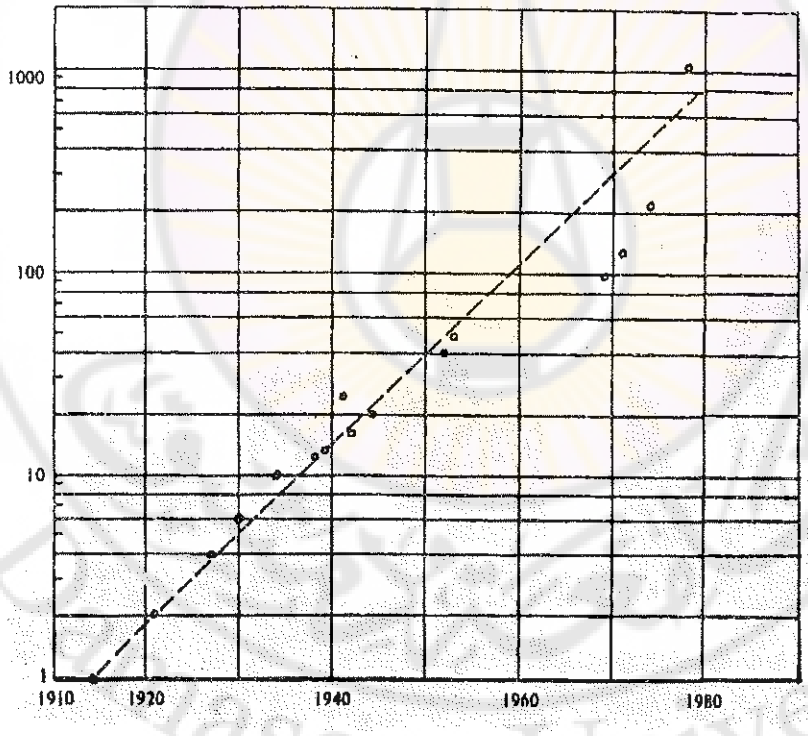
لشكل(١-٤) تسجيلات الكسارية مبكرة (a)- تسجيل تم بالسيسموغراف الميكانيكي عام ١٩٢٤أو ١٩٢٥، التسجيل حلزوني الشكل وتم حول اسطوانة لذلك الآثار من نهاية اليمين لها استمرارية من نهاية اليسار ، TB- لحظة التفجير والتي تمت بمساعة اشارة الراديو، R- وصول الأمواج المنكسرة.(b)- تسجيل انكساري في تكساس حزيران ١٩٣٢.



الشكل(١– ٥) تسجيل انكساري عام ١٩٣٠ ،(a)– تسجيل طبيعي دون وجود ملح ،(b)– تسجيل يشير لوجود الملح، (c)– سيارة التسجيل (محطة التسجيل) المستخدمة في ذلك الوقت.

١ . ٤ . تطور الأجهزة وطرائق العمل السيسمية الانعكاسية

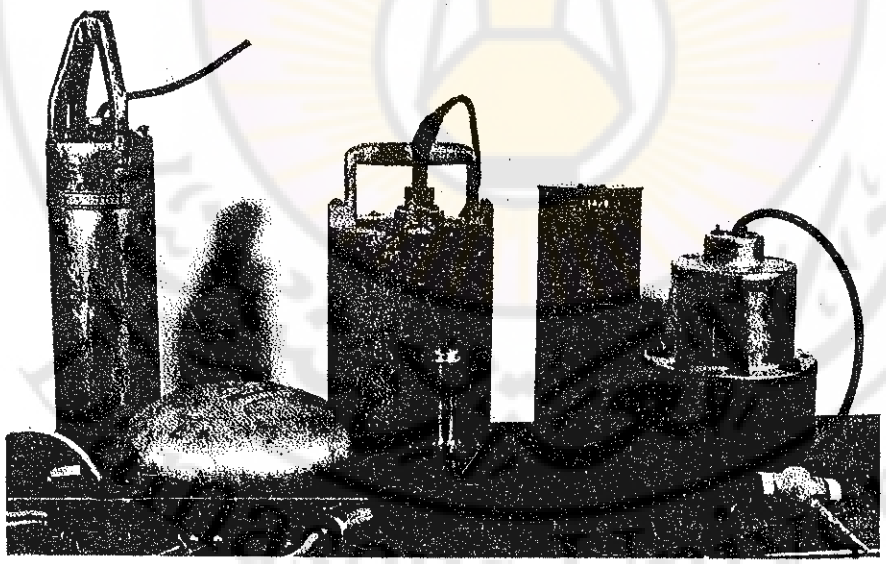
في بدايـــة أعمـــال GRC (Geophysical Research Corporation) الشركة الجيوفيزيائية للأبحاث عام ١٩٢٦ بالطريقة الانعكاسية، استخدموا غلفـــانومتر عددها (اثنان) كما في الطريقة الانكسارية، وأضافوا واحداً ثالثاً مباشرة. وفي عـــام ١٩٢٨ استخدموا نظاماً ذا أربع قنالات واستطاعوا خلال الفترة نفســـها اســـتخدام أجهزة ذات ست قنالات، حيث كانت الأجهزة في عام ١٩٣٧ تتألف من ســـت إلى ثماني قنالات، وفي عام ١٩٤٠ كان عدد قنالات الأجهزة تتراوح بين ١٠-١٢ قناةً. واستمر ت زيادة عدد قنالات الأجهزة كما في الشكل (١-٦). وخلال عدة سنوات



الشكل (١-٦) تطور عدد القنالات في أجهزة التسجيل السيسمية . نقطة البداية من عام ١٩١٤ سيسموغراف مينتروب المحمول. المحور الشاقولي يمثل عدد القنالات والمستخدمة لأول مرة.

وحتى بعد الحرب العالمية الثانية بقي عدد القنالات ٢٤ قنالاً، وفي الستينيات أصبح عدد القنالات ٤٨ قنالاً ، وفي عام ١٩٨٠ ازدادت عدد القنالات من ٤٨ حتى ٩٦ قنالاً، وفي عام ١٩٩٤ اصبح يستخدم من ١٢٠-٢٤٠ قنالاً و أكثر، وفي الوقت الحالي يمكن استخدام أكثر من ٦٠٠ قنال.

لقد حل اللاقط الكهربائي ذو المضخم اللمبوي(الصمامات) محل اللاقط السيسمي الميكانيكي. واللاقط الكهربائي كان ذا حساسية عالية؛ وذلك بسبب مستوى الضجيج العالي للصمامات الشكل (١-٧)، حيث كان يتراوح وزن اللاقط حوالي ١٥ كغ ، ولكن بعد التطورات التي حصلت في الصناعة اصبح يزن اللاقط الآن الغرامات فقط. وأصبحت هناك إمكانية التسجيل من عدة لواقط إلى قنال واحدة حيث ظهرت الفكرة للوجود عام ١٩٣٣ وتعممت عام ١٩٣٧وأصبحت تستخدم في كل مكان.



الشكل(١-٧) اللواقط الأولى المبكرة الصنع والموجودة في متحف (Geophysical Society) في هيوسطن أوزان اللواقط من اليسار إلى اليمين الجزء الخلفي ٦,١ – ٨,٧ – ٦,٧ – ٧,٩ كغ، الجزء الأمامي ٨,٨– ٠,٨ كغ.وفي الجزء الأسفل اليميني لاقط وزنه ٣٠ غ للمقارنة.

وفي الأجهزة المبكرة كان التضخيم ثابتاً،لذا كان يتم إجراء التفجير مرة أخرى للحصول على معلومات من أزمنة وصول مختلفة. و أثناء العمل يتم تغيير التقوية يدوياً عن طريق مفتاح التقوية. في عام ١٩٣٢ تم تطبيق آلية التحكم الآلي بالتقوية بشكلها الأولي . الشكل (١-٨) يبين مجموعة من التسجيلات الانعكاسية المبكرة . منذ عام ١٩٥٠ أصبحت أجهزة التسجيل أكثر ثقة.

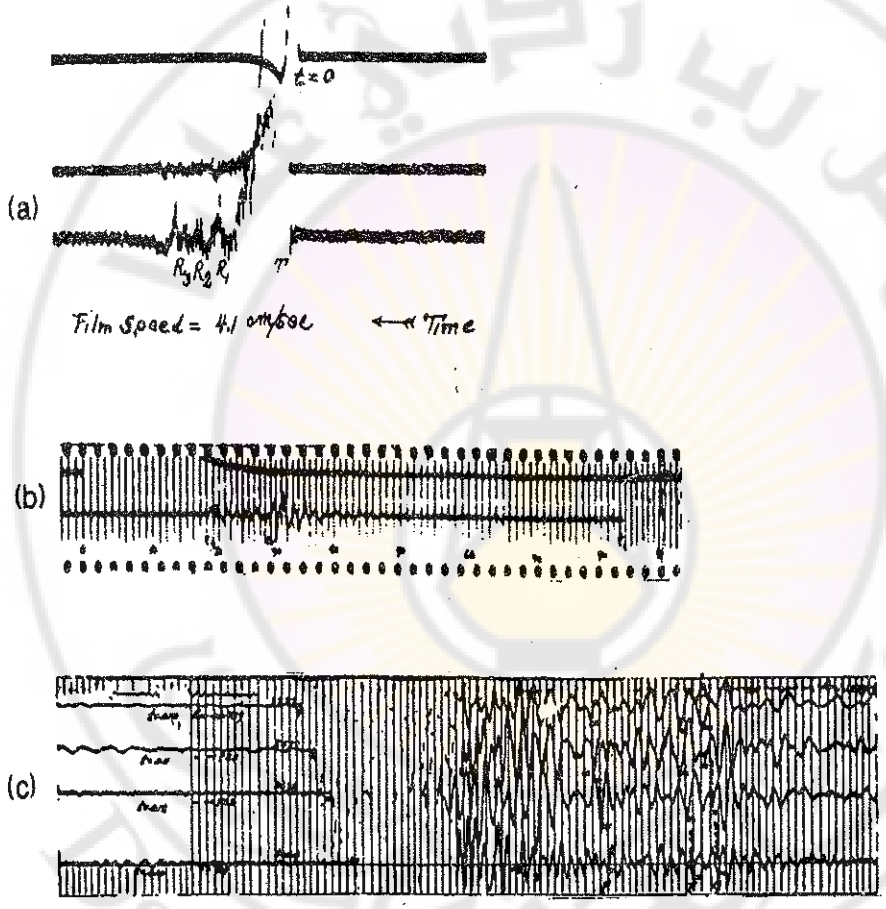
تسجيل المعلومات، طريقة النقطة العاكسة المشتركة، المنابع غير التفجيرية

قدم فرانك ريبر عام ١٩٣٦(Frank Rieber) طريقة لتسجيل المعطيات السيسمية بجهاز يسمى سونوغراف (sonograph) الشكل (١- ٩) حيث تتم استعادة التسجيل و مشاهدته على الورق مباشرة . و تُسجل الذبذبات بكثافة متغيرة على الفيلم الورقي، وعند استعادة التسجيل، فإن شدة تغيرات الأشعة الضوئية المحددة تعبر الفيلم من الخلية الضوئية. استخدم ريبر السونوغراف لتحديد التغيرات التي تعبر عن الأمواج الانعكاسية مع تغير الميل الظاهري للطبقات.

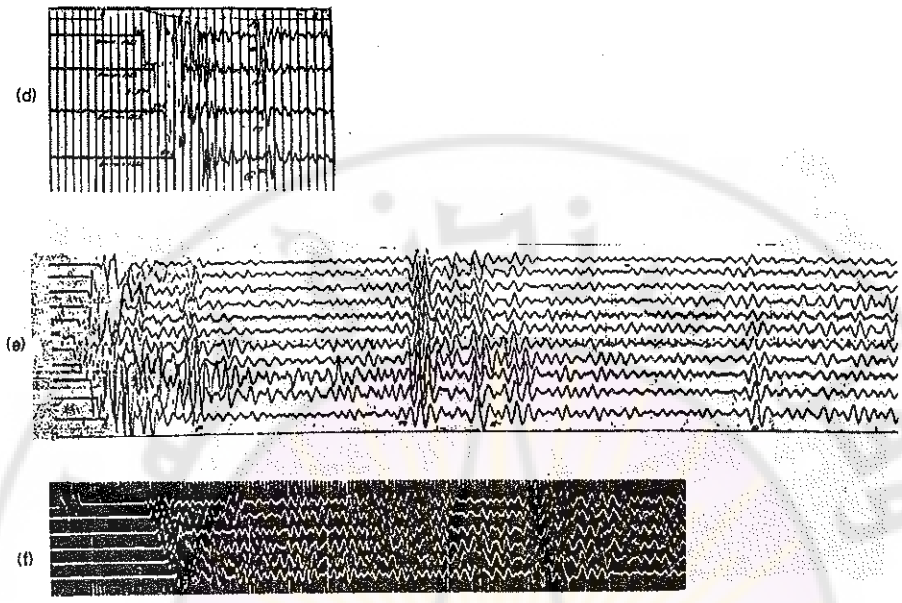
على الرغم من أعمال ريبر الرائدة، فإنه لم يتم التطبيق العملي إلا بعد ظهور التسجيل المغناطيسي. وفي عام ١٩٥٢ بدأت وبشكل تجاري صناعة أجهزة التسجيل و إمكانية استعادة المعطيات المسجلة. ومن الميزات الهامة للتسجيل المغناطيسي إمكانية تكرار الشريط المغناطيسي واختيار تصفيات مختلفة. وفي حوالي عام ١٩٥٥ أدى ظهور رؤوس التسجيل المتحركة إلى إمكانية تطبيق وإدخال التصحيحات الساكنة والديناميكية للتسجيلات السيسمية. يبين أحد منحنيات الشكل (١ - ١٠) تطور وانتشار التسجيلات المغناطيسية التشاهية.

النقطة الوسطى المشتركة (CMP) وتسمى عادة نقطة الانعكاس المشتركة (CRP) ومؤخراً سميت نقطة العمق المشتركة (CDP) انظر التفاصيل في الفصل الرابع، ولقد تم العمل بها من قبل هاري ماين (Harry Mayne) من مجموعة

(Petty Geophysical) عام ١٩٥٠ كطريقة لتخميد الضجيج، والـذي لم يـتم التمكن من معالجته بطريقة المجموعات(مجموعات اللواقط و المنابع).لقد سمح التسجيل المغناطيسي بالتطبيق الحقلي لطرائق النقطة العاكسة المشتركة CDP، حيث بدأ العمل



الشكل(١ – ٨–١) التسجيلات المبكرة للأمواج الانعكاسية ،(a) – أول تسجيل في مقلع حجارة قـرب واشـنطن ١٢ نيسـان ١٩١٩. الزمن يزداد من اليمين إلى اليسار، الأثر العلوي يبين بداية الزمن، والآثار السفلية تمثل استجابة اللواقط عند تقوية مختلفـة. T– وصول الأمواج المباشرة R_1 , R_2 , R_3 – وصول الأمواج الانعكاسية. (b) – تسجيل يبين الانعكاس من قبـة ملحيـة في تكساس ١٩٢٦، كمية شحنة التفجير واحدة بوالد والمسافة بين المنبع و اللاقط ٩٥٠ قدماً . (c) – تسجيل من ثلاث قنالات عام ١٩٢٩.

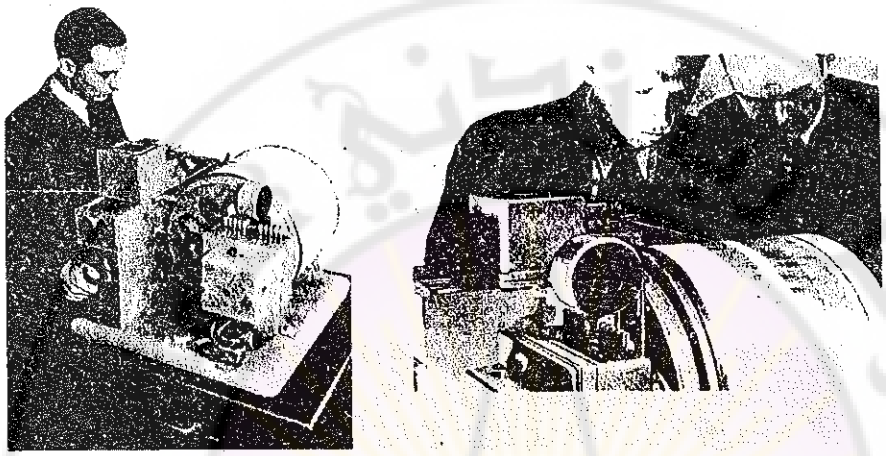


الشكل(١-٨-٢) (d) – تسجيل من الأهدريت في تكساس عام ١٩٢٩. (e) – تسجيل في كاليفورنيا عام ١٩٣٤ بتطبيق AGC. (f) تسجيل من غلفانومتر خطي عام ١٩٣٨ في المسيسيبي

بهذه الطريقة حوالي عام ١٩٥٦، ولكنه لم يتم الانتشار الأوسع لتطبيقها حتى بداية الستينيات بداية دخول التسجيلات الرقمية للأعمال السيسمية انظر الشكل(١- ١٠)؛ عندما أصبحت هناك إمكانية جيدة لتخميد الأمواج المتكررة وأمواج الضجيج الأخرى، وفي الوقت الحالي تستخدم هذه الطريقة في كل مكان على صعيد العالم.

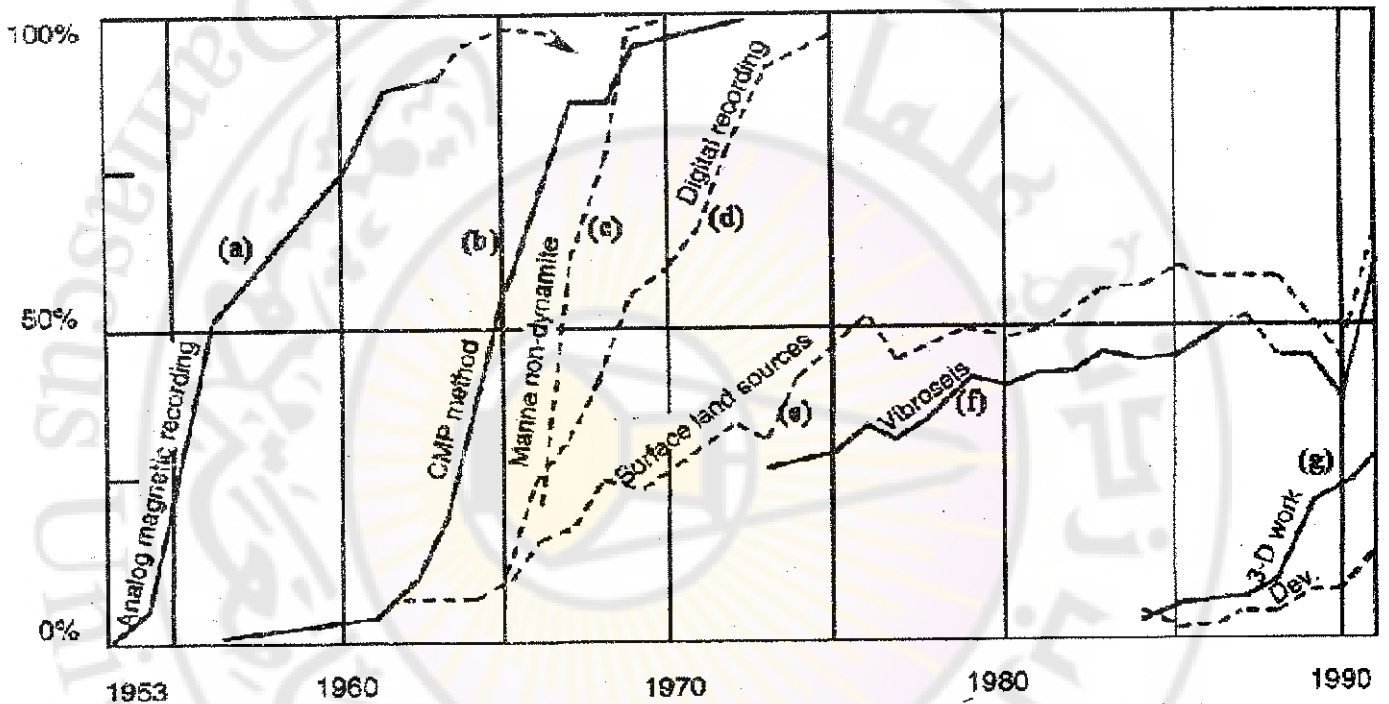
لقد سمح التسجيل المغناطيسي كذلك الأمر بجمع الآثار، وبفضل ذلك أصبح هناك إمكانية استخدام الطاقة القليلة للمنابع حيث يمكن جمع التسجيلات من تأثير استخدام عدة منابع ضعيفة الطاقة بشكل متتالٍ، حيث تجمع نتائج المنابع مع بعضها البعض لتعطي طاقة تعادل طاقة منبع كبير وقوي.في حوالي عام ١٩٥٣ قدم مك كولوم (McCollum) طريقة هبوط الوزن (Weight drop) كمنبع للطاقة

السيسمية في التطبيقات الحقلية باستخدام الآلية التي تسمى(**Thumper**)، حيث كانت تستخدم طريقة هبوط الوزن في المناطق التي يصعب فيها حفر آبار للمنابع التفجيرية.



الشكل(١ – ٩) سونوغراف ريبير **Riebers sonograph** المصنع عام ١٩٣٦

بالإضافة إلى هبوط الوزن كمنبع سطحي للطاقة كان هناك مجموعة أخرى من المنابع السطحية المستخدمة على اليابسة لتوليد الطاقة. وكان الرجاج افضل هذه المنابع والذي طُوِّر من قبل جون م كروفورد(**John M. Crawford**) و وليم دوتي (**William Doty**) وميلفورد لي (**Milford Lee**) وكان أول استخدام له عام ١٩٥٣. تستخدم المنابع السطحية تقريباً لتنفيذ أكثر من نصف الأعمال السيسمية على اليابسة، حيث يتصدر الرجاج مقدمة هذه المنابع السطحية.ومنذ عام ١٩٦٥ كان الديناميت مستخدماً كخيار جيد لمنابع الطاقة السيزمية البحرية، وذلك لكونه المادة الفعالة والأرخص بشكل عام. وعندما بدأ الاستخدام الواسع للدراسات السيسمية البحرية وإجراء المسح بطريقة التغطية المتكررة، تم وبسرعة استبدال الديناميت كمنبع للطاقة بغيره من المنابع، وذلك لتأثيره الكبير على البيئة البحرية انظر الشكل(١ – ١٠).



الشكل (1 -10) بين نسبة تطور وفعالية وزمن استخدام الطرائق السيزمية في التنقيب عن النفط والغاز

a- التسجيلات المغناطيسية التشابهية b- طريقة النقطة الوسطى المشتركة c- المسح البحري باستخدام المنابع الغير تفجيرية

d- التسجيلات الرقمية e - المنابع السطحية على اليابسة f- الرجاجات كمنابع للطاقة g- الأعمال السيزمية ثلاثية الأبعاد

وعلى الرغم أن التسجيل المغناطيسي قد ساهم في سهولة معالجة المعطيات وتم على الشريط المغناطيسي؛ إلا أنه لم تتم المعالجة الرقمية حتى بداية الستينيات؛ وذلك حتى ظهور الحاسب الآلي والتسجيل الرقمي للمعطيات. وقد أدى التسجيل الرقمي إلى زيادة الدقة في الحصول على المعلومات والاستخدام الأوسع للحاسب الرقمي من حيث معالجة المعطيات وتفسيرها. وكان للثورة الرقمية التأثير الكبير على تطور الطرائق السيسمية منذ بداية ظهورها. كان من الصعب ـ على سبيل المثال ـ الحصول على معلومات مفيدة من بحر الشمال بدون إجراء التصفية العكسية للمعطيات(Deconvolution).

١. ٥. التطورات في الآونة الأخيرة

منذ تطور النقطة العاكسة المشتركة وتقنيتها وتطور عمل الرجاجات وطرائق المعالجة الرقمية، تتابعت واستمرت التحسينات في طرائق وأساليب الأعمال السيسمية، والتي أدت إلى إمكانية إجراء المسح بطرائق التغطية المتكررة، والحصول على المعلومات الجيولوجية اللازمة من المعطيات السيسمية. وبالنتيجة أصبحت هناك إمكانية تطبيق الطرائق السيسمية بشكل جوهري وبأساليب لم تكن متوقعة سابقاً. وأدى هذا التطور إلى إمكانية البحث عن التغيرات الحاصلة للسعة وللعديد من البارامترات الأخرى، ومنها يمكن الكشف عن الخزان النفطي.

كما أدى التطور في طرائق المسح الثلاثية الأبعاد إلى زيادة اليقين في الكشف عن البنية تحت السطحية، وأظهرت هذه الطرائق الكثير من تفاصيل البنية والتفاصيل الستراتغرافية، والتي تستخدم في هندسة الخزان، ويلاحظ حالياً أن هذه الطرائق تتطور بشكل سريع وتستخدم بتواتر أكبر، لاحظ الشكل(١- ١٠).

و هناك أفكار منذ وقت طويل لاستخدام الأمواج العرضية S مع الأمواج الطولية p حيث تكون الإفادة أكبر بالحصول على المعلومات الجيولوجية من استخدام

الأمواج الطولية لوحدها فقط. وفي بداية الثمانينيات منذ تطوير المنابع الخاصة لتوليد الأمواج العرضية، تم تحديد مواقع أساسية هيدروكربوناتية وتحديد الطبيعة الليتولوجية لها.

وكذلك الأمر تم قياس تغيرات السعة ضمن مسافات ثابتة (AVO) (Amplitude Variation with Offset) باستخدام الأمواج الطولية والعرضية لتعطي نتائج أفضل وبتكلفة أقل. تستخدم حالياً الأمواج العرضية وبمركباتها الثلاثة لدراسة الشقوق والفوالق وقياس اتجاهاتها وكثافة التوضعات.

إن المسح السيسمي الثلاثي الأبعاد وباستخدام الكثير من القنالات يساهم في حل الكثير من المسائل الجيولوجية، وهذا العمل بالطبع يتطلب زيادة في الأعمال الحقلية من رقمنة اللواقط إلى الاتصالات إلى تسجيل المعلومات.

إن المسح البحري وحصاد المعطيات البحرية هي عملية أصعب بكثير من حصاد المعطيات على اليابسة، وذلك لعدة أسباب؛ منها نشر عدد من خطوط القياس مع المحافظة على المسافات بينها، استخدام أكثر من منبع ضمن المياه مع معرفة المواقع الصحيحة لتلك المنابع المنتشرة على تلك الخطوط، وتستخدم في تحديد الموقع (مواقع اللواقط والمنابع و غيرها) مجموعة من الطرائق المخصصة لذلك ،مثل نظام تحديد الموقع راديوياً، تحديد الموقع عن طريق الأقمار الصناعية السيارة ،وأحدث وأفضل طريقة هي تحديد الموقع العالمي (Global Positioning System GPS)، علماً بأن تحديد الموقع العالمي يستخدم كذلك الأمر لتحديد الموقع على اليابسة. و أثناء المسح ثلاثي الأبعاد حالياً يمكن التحديد الدقيق للموقع والزمن الحقيقي بدقة عدة أمتار؛ ولكل عناصر المسح(المنابع وكل مجموعات الهيدروفونات في كل كبل ولكل إطلاق للطاقة)؛ وفي الإحداثيات المحلية والعالمية، وهذه المعلومات بالطبع هامة لكل الدراسات والمراحل اللاحقة لتلك الأعمال.

أما على صعيد الحواسيب والبرمجيات فهي آخذة بالازدياد وبشكل هائل اعتبارا من الثمانينيات، وذات أسعار متناقصة باستمرار وزيادات مستمرة في سرعة المعالجات، وكل هذه الميزات تساهم وتساعد في معالجة المعطيات والتفسيرات؛ وخاصة بوجود مراكز معالجة متكاملة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصـــــل الثـــاني

مدخل في الطرائق الانعكاسية الحقلية

٢. ١. مقدمة في المسح السيسمي الانعكاسي الحقلي

٢. ٢. الدراسات الأساسية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مدخل في الطرائق الانعكاسية الحقلية

بعض المفاهيم الأساسية

قبل البدء بطرح المواضيع الأساسية لمفردات المنهاج لابد من التعرض لبعض الأفكار الرئيسة التي يحتاج الطالب العودة إليها مراراً؛ لفهم ماهية وكيفية تنفيذ الأعمال الحقلية، وعملية اختيار البارامترات اللازمة لحل المسائل المتعلقة بإجراءات العمل الحقلي.علماً بأن بعض هذه الأفكار ورد في السنة الثالثة بطريقة أو بأخرى، ولكننا سنلقي الضوء على بعضها من وجهة النظر التي سنتعامل معها خلال هذا الفصل.

٢. ١. مقدمة في المسح السيسمي الانعكاسي الحقلي

تتنوع الطرائق الحقلية لحصاد المعطيات السيسمية الانعكاسية بشكل كبير، وذلك طبقاً لمناطق العمل بحرية كانت أم يابسة وإمكانية الوصول إليها، وكذلك حسب طبيعة المسألة الجيولوجية. ويجب ترتيب مراحل العمل بشكل متسلسل حيث المطلوب وبشكل أساس نتائج للعمل الحقلي عالية الجودة، وذلك لأنه لا توجد طريقة فيما بعد تستطيع إصلاح العيوب في المعطيات السيسمية الأساسية.

يتم تنظيم المجموعات الحقلية وتوزيع المهام المطلوبة منها لتنفيذ الأعمال و المسوحات الحقلية للحصول على المعطيات اللازمة، بما فيها تجارب الاختبار الأولية لتحديد بارامترات العمل الحقلي للمنطقة المدروسة؛ علماً بأن طريقة نقطة العمق المشتركة أو النقطة الوسطى المشتركة هي الطريقة المستخدمة بشكل واسع هذه الأيام.

تستخدم عادةً مجموعات من اللواقط لتسجيل المعطيات السيسمية من قنال واحدة، ومجموعة من المنابع أي مجموعات اللواقط و مجموعات المنابع. تملك هذه المجموعات مواصفات استجابة تعتمد على كلٍ من : طيف الأمواج وسرعتها والاتجاه الذي وردت منه الأمواج. وتستخدم هذه المواصفات والميزات لإخماد أنواع معينة من

أمواج الضجيج أو الشغب. ويعتمد اختيار البارامترات الحقلية على كل من الهدف الجيولوجي؛ و طبيعة الضجيج. تتطلب في بعض الأحيان بعض المواقع وبعض الأهداف الجيولوجية تقنيات خاصة للعمل الحقلي، مثل التفجير تحت السطح والرصد في الآبار والرصد ثلاثي الأبعاد، و استخدام الطرائق السيسمية ذات التميز العالي واستخدام خطوط الرصد المنحنية[١٣،١٥].

وتتميز عمليات المسح البحري بالحقائق الأساسية التالية: الحصول على المعطيات بسرعة و بمعدل عالٍ وبتكلفة ساعية غالية جداً، كما أن المياه الضحلة والعوائق تتحكم أحياناً بعملية جمع المعطيات. وقد تتطلب طرائق خاصة في المناطق الانتقالية قرب خط الشاطئ، والمؤلفة من نطاق الزبد ونطاق الأمواج المتكسرة قرب الشاطئ، ومناطق اللاغونات والمناطق الداخلية و الشاطئية، حيث تتغير في هذا النطاق البيئات البحرية بشكل سريع.

كما ينبغي أن تتم التصحيحات الساكنة مثل تصحيحات الارتفاع وتصحيح طبقة التجوية، للحصول على المعطيات القابلة للتفسير السليم . و التصحيحات الأولى هي التي تحسب في الحقل من قبل المجموعة الحقلية (التصحيحات الطبوغرافية و تصحيحات التجوبة)، وهي غالباً التصحيحات الأكثر أهمية، أما التصحيحات الإضافية أو المتبقية فتتم لاحقاً أثناء معالجة المعطيات[II].

٢ . ٢ . الدراسات الأساسية

٢ . ٢ . ١. جمع أو حصاد المعطيات Data acquisition

تتم كل عمليات جمع وحصاد المعطيات السيسمية في هذه الأيام من قبل متعهدين ووكلاء جيوفيزيائيين، إما زبائن لشركات النفط أو الغاز؛ أو على أساس التنافس من أجل الربح اللاحق، والأخيرة تشكل تقريباً من ٢٠ حتى ٢٥ % من حصاد المعطيات في الولايات المتحدة لعام ١٩٩٤. ينبغي أن تصبح طرائق جمع

المعطيات موحدة إلى حد ما ومنافية للأفكار الأولية والسابقة، لا تملك الزبائن عادة ثقة كبيرة بأن طرائقهم الحقلية تشكل طرفاً تنافسياً وهاماً بالنسبة لمنافسيهم، وتكون تكلفة المعطيات المتوقعة أقل بشكل لافت لكونها توزع على العديد من الزبائن ، وبالتالي فإن تكاليف الزبون الواحد المنخفضة تسمح له باقتناء معطيات أكثر، حيث توضع قطع من الأراضي وذلك لأمر تنافسي. تشعر الشركات غالباً بأنه ينبغي عليها شراء معطيات أكثر قيمة لتجنب إمكانية امتيازات من قبل الشركات المنافسة[١٥].

تعود المعطيات الناتجة من مسوحات متسمة بصفة التنافس إلى المتعهد أو إلى مجموعة الشركات التي تقدم العون المالي لعملية جمع المعطيات. إن أطراف البيع عادة يضعون القيود على المشترين لكي يسمح لهم برؤية واستخدام المعطيات، وكذلك توضع القيود على عمليات البيع المستقبلية من قبل مالكي المعطيات. توضع المعطيات ببعض البلدان في المتناول العام بعد فترة زمنية معينة. ومعظم عمليات جمع المعطيات في الولايات المتحدة في عام ١٩٩٤ تعتمد على مبدأ الإنجاز، حيث يكون الدفع على أساس واحدة المعطيات أفضل من أن يكون على أساس الزمن المطلوب للعمل.

٢ . ٢ . ٢ . تنظيم المجموعات Crew organization

يختلف حجم المجموعات السيسمية بشكل كبير بحيث يمكن أن تكون المجموعة مؤلفة من شخصين أو ثلاثة أشخاص في حالة المسح الضحل على اليابسة وذلك للأغراض الهندسية، وأكثر من مئة شخص في حالة عمليات المسح في مناطق الغابات؛ حيث تستلزم العديد من الرجال لقطع النباتات وجلب المؤونة. وبالتالي فإن تنظيم المجموعات يختلف من مكان إلى أخر. وأفضل التنظيمات نموذجية من أجل المجموعات على اليابسة هي الموضحة كما يلي[١٣، ١٥]:

- رئيس أو مدير الفريق (الفرقة) Supervisor or Party chief عادة يكون جيوفيزيائياً محترفاً يملك المسؤولية الكاملة عن المجموعة الحقلية، وتتم مساعدته غالباً من

قبل معاون المدير أو مدير المكتب في حال وجود عدد كبير من الموظفين.

- ويكون مدير الفريق عادة مسؤولاً عن العمليات الحقلية، ومسؤوليته الأساسية هي الحصول على إنتاج أعظمي ونوعية محددة وبتكلفة معتدلة. ومجموعة الموظفين يقدمون له التقارير عن سير الأعمال والمشاكل والصعوبات، وهو مسؤول عن الأمن وعن نفقة المعدات وعن المؤونة ودفع الفواتير وتشغيل المعسكر الحقلي عندما يتطلب الأمر، وهو أيضاً مسؤول عن استئجار المستخدمين في الحقل.

-الطبوغرافي أو المسّاح Surveyor مسؤول عن تحديد مواقع نقاط المسح في المكان المناسب، وكذلك عن حل المصاعب والمشاكل المتوقعة، والتي ستواجه عملية المسح، وهذا يتطلب البحث عن بديل آخر لكي تُنجز أهداف البحث بأقل تكلفة ممكنة، وهو يحدد أفضل الطرق لدخول الوحدات اللاحقة، وقد تتم مساعدته من قبل موظف لتسيير أمور التراخيص permit man بحيث يتصل مع مالكي الأرض والمستأجرين، ويقوم بتثبيت الرخصة للاستمرار في عملية المسح، و هناك مساعد الطبوغرافي أو المسّاح Rodman ليساعد في إجراء القياسات، أما في المناطق ذات المداخل والطرق الصعبة، يقوم مساعد المسّاح بالإشراف على العمال الذين يقطعون الأغصان وعمال (البلدوزر) الذين يقومون بتمهيد وتنظيف الطرق.

- المراقب Observer يلي مدير الفريق في السلطة الحقلية، فهو مسؤول عن تنفيذ نظام الرصد الحقلي الفعلي؛ وعن عملية جمع المعطيات وعمل الأجهزة. ويُساعد عادةً من قبل مراقب ثانٍ Junior observer ويتبع له مجموعة Jug hustlers من العمال الذين يقومون بمد الأكبال و بتوزيع اللواقط.

أما الأعضاء الآخرون من مجموعة العمل الحقلي فيختلفون تبعاً لطبيعة المسح، حيث إن المجموعة قد تحوي من واحد إلى أربعة حفارين وأحياناً أكثر من ذلك... ومساعدين للحفر وسحب الماء اللازم لعمليات الحفر. و من اثنين حتى خمسة عمال

لواحدات المنبع السطحي.

- المفجر shooter هو الشخص المسؤول عن تفجير المادة المتفجرة في الوقت المناسب، (هذا في حالة استخدام التفجير كمنبع للطاقة السيسمية) وترتيب منطقة حفرة التفجير فيما بعد، أما في حالة استخدام الرجاجات كمنبع للطاقة ،يكون هناك أربعة إلى خمسة أشخاص مختصين بذلك، ويرافق مجموعات العمل الحقلية عدد من الميكانيكيين والطباخين؛ وذلك في حالة ابتعاد العمل بعيداً عن المعسكرات الحقلية.

أما مجموعات العمل السيسمية البحرية فتتألف بشكل عام من مدير الفريق ومراقب رئيسٍ أو مهندس أجهزة و من ثلاثة إلى أربعة مراقبين ، ومهندسي ملاحة، وميكانيكي رئيسٍ وثلاثة أو أكثر من الميكانيكيين العاديين، بالإضافة إلى قبطان السفينة ونائب القبطان ومهندسين وبحارة السفينة وطباخين وخدم غرف النوم والطعام .

٢ . ٢ . ٣ . الاعتبارات الأمنية والبيئية

مع الانتشار الواسع للمسح السيسمي ثلاثي الأبعاد؛ والذي رافقه نجاح الاستكشاف بنسب عالية جداً، و زيادة في إنتاج النفط تقدر بأربعة أضعاف؛ هذا أدى إلى أن الدراسات السيسمية وفرت ملايين الدولارات على شركات البترول بديلاً عن الحفر العشوائي، وبقي السؤال ما التأثيرات البيئية لهذه الأعمال وما نتائجها على المجتمع والبيئة؟

تزود شركات الاستكشاف و الإنتاج النفطي فرق العمل الحقلي بمواصفات تفصيلية عن أساليب وأحجام وطبيعة الأعمال الحقلية؛ من حيث طبيعة المنبع المستخدم و المسافة بين المنابع أو نقاط التفجير وعمق التفجير؛ وتباعد خطوط اللواقط واتجاهها ومقدار التغطية وغيرها. وتملك تلك الشركات إمكانية تعديل خطط المسح إذا لزم الأمر.

المجموعة السيسمية ليست مسؤولة فقط عن الأذى الناتج عن العمليات الحقلية التي تقوم بها، ولكنها مسؤولة أيضاً عن الأمن والاعتبارات البيئية، حيث ينبغي على المجموعات الالتزام بأقل الضرر و التأثيرات البيئية الناجمة عن الأعمال التي تقوم بها، والتي من المفروض إنجازها بحيث تؤدي إلى أقل ما يمكن من التغيرات في مواقع المسح. (الجمعية العالمية للمقاولين الجيوفيزيائيين ١٩٩٣)

(International Association of Gophysical Contractors,1993)

مثال على البيئات التي يمكن أن تتضرر، البيئات والترب القديمة،الأماكن التاريخية والمعالم الأثرية لتجمعات سكنية قديمة؛ والتي تكون على شكل تلال أو كومات صغيرة يمكن عدم الانتباه إليها أثناء عملية المسح. البيئات النباتية يمكن أن تتضرر بشكل كبير من عمل الرجاجات و شق الطرقات المرافقة.وحيث إن فرق العمل تجري عمليات المسح في أماكن مختلفة من البلاد، وخاصة في الأماكن البعيدة والمهجورة والصحراء والغابات، فيمكن أن تصادف مواقع أثرية غير معروفة حتى من قبل التنظيمات الحكومية. وعدا عن ذلك هنالك بعض أنواع الأشجار والنباتات مصنفة كأنواع محمية يجب الحفاظ عليها وعدم قطعها.

وإن استخدام المسح السيسمي بطريقة رباعية الأبعاد (4D) يمكن أن يكون لها التأثير البيئي الأكبر، وخاصة إذا كانت الفترة الزمنية بين الدراسة الأولى والثانية ليست طويلة، حيث لن يكون هناك فترة كافية للتخلص من آثار الضرر البيئي الناتج من جراء الدراسة السابقة للمنطقة.

وينبغي أن يبقى شيئان أساسيان في فكر أعضاء المجموعة؛ وهما سلامة أعضاء المجموعة نفسها والأمن العام، ويجب على المجموعة أن تعقد اجتماعات دورية أمنية تذكر فيها أعضاء المجموعة بشؤون الأمن. ويجب على أعضاء المجموعة أن يقرؤوا وبشكل دوري الكتيبات الأمنية التي ينشرها الاتحاد الدولي للمتعهدين الجيوفيزيائيين

(1991a,1991b) وفي حال طرأ حادث ما؛ يجب أن تدرس مسبباته وتعالج، وذلك لتجنب الحوادث المشابهة في المستقبل. وأي عمل يتم في الخلاء لا يخلو من بعض المخاطر مثل التسمم ولدغ الحشرات والإصابات المختلفة. وكذلك أي عمل له علاقة بالآليات لابد أن يتضمن بعض المجازفات، وأكبرها متعلق بآليات النقل الكبيرة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصـــل الثـــالث
أنظمة الرصد الحقلية (تصنيف و اختيار وتمثيل)

٣ . ١ . مقدمة

٣ . ٢ . تعاريف أساسية

٣ . ٣ . أنظمة الرصد الحقلية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أنظمة الرصد الحقلية

(تصنيف و اختيار وتمثيل)

٣ . ١ . مقدمة :

إن الأعمال الحقلية التي تنفذ للحصول على المعطيات السيسمية الانعكاسية الأولية(الخام) مرتبطة بشكل مباشر ورئيس بنوعية المسح السيسمي(في البحر أو على اليابسة) وكذلك بطبيعة المسألة الجيولوجية المدروسة وبطبيعة منطقة العمل. سندرس في هذا الفصل آلية تنظيم الأعمال الحقلية وتنفيذها بهدف الحصول على المعطيات السيسمية. إن جودة الأعمال الحقلية هي الهدف الأساس المطلوب بعد عملية المسح الحقلي؛ وذلك لأن الأخطاء التي تقع خلال هذه المرحلة ستنعكس سلباً على جودة المعطيات السيسمية. الشيء الذي لا يمكن التخلص منه أثناء عمليات المعالجة اللاحقة.

انتشرت في الوقت الحاضر وبشكل كبير في الأعمال الحقلية استخدام مجموعات من اللواقط لتسجيل المعطيات من قنال واحدة، وغالبا ما تستخدم أيضا مجموعات من المنابع. إن مثل هذه المجموعات تملك ميزات استجابة مرتبطة بالتكوين الطيفي؛ والسرعة واتجاه انتشار الأمواج السيزمية (الاتجاه الذي وردت منه الأمواج). هذه الخصائص و الميزات في هذه المجموعات تستخدم لتخميد بعض أنواع الضجيج. بالإضافة إلى العوامل السابقة التي تؤثر على عملية اختيار أنظمة الرصد الحقلية، فإن عملية الاختيار هذه ترتبط أيضاً بوجود مختلف أنواع أمواج الشغب والضجيج، وكذلك بطبيعة موقع الدراسة وبالهدف من الدراسة حيث تتطلب مثل هذه الحالات في كثير من الأحيان تقنات عمل حقلي خاصة؛ مثل التفجير تحت السطحي والرصد في الآبار والرصد ثلاثي الأبعاد واستخدام التقنات السيسمية ذي التمييز العالي إلخ.

٣ . ٢. تعاريف أساسية

في الوقت الحالي تستخدم وبشكل أساس أنظمة الرصد ذات التغطيات العديدة،

والمتضمنة النقطة العاكسة المشتركة والمساحة العاكسة المشتركة ونقطة(نقاط) التفجير المشتركة ونقاط الالتقاط المشتركة وطرق أخرى لجمع الإشارات، و الهدف من كل ذلك زيادة نسبة الإشارة المفيدة إلى الضجيج، والحصول على المعطيات الدقيقة التي تعكس طبيعة الواقع الجيولوجي أفضل ما يمكن.

يتم اختيار أنظمة الرصد بحيث تؤمن أقل استهلاك ممكن من الطاقة و من الوقت والمال، بالإضافة إلى الحصول على الحد الأعظمي من المعلومات عن الأمواج المفيدة والضرورية لحل المسألة الجيولوجية المطروحة.

- **البروفيل** هو **خط قياس** يتم على منحاه توليد والتقاط الأمواج السيسمية بشكل متتابع لمرة واحدة أو لعدة مرات.

- الجزء من **خط القياس** (البروفيل) والذي يمثل مجموعة اللواقط التي تسجل الأمواج السيسمية من منبع وحيد يسمى **تشكيلة القياس** L أو (**قاعدة الرصد**) وهي طول مسافة الرصد S وتساوي إلى $s=(n-1)\Delta x$ ، حيث n هي عدد نقط اللواقط و Δx المسافة بينها .

- المسافة بين قواعد الرصد (مراكز المجموعات) تسمى **خطوة الرصد** Δx.

- المسافة بين نقطة التفجير وأبعد لاقط من المجموعة تسمى **المسافة العظمى** $\mathbf{x_{max}}$.

- المسافة الأقرب بين نقطة التفجير واللاقط الأقرب تسمى البعد R.

- المسافة بين المنبع والآخر نسميها **الفاصل المنبعي** ℓ .

٣ . ٣ . أنظمة الرصد الحقلية

٣ . ٣ . ١ . تصنيف أنظمة الرصد

نظام الرصد يعني مجموعة النقاط على خط القياس، والتي تتضمن توزع المنابع و اللواقط المستخدمة لتسجيل الطاقة السيسمية. وهناك عدة نماذج من أنظمة الرصد يبين بعضها الشكل (٣- ١)[١٥]:

- **نظام الرصد المتناظر** (split - dip spread) :

يكون المنبع في هذا النظام في مركز خط مجموعات اللواقط ذات الأبعاد المنتظمة فيما بينها، على سبيل المثال، المنبع يكون في منتصف المسافة بين اللاقط ١٢و١٣من مجموعة مؤلفة من ٢٤ لاقطاً.

- **نظام الرصد المتناظر مع وجود فراغ** (gapped split):

بما أن المنبع يولد غالباً أمواج ضجيج معتبرة، فإن اللواقط القريبة منه تسجل آثار الضجيج غير المرغوب فيها، لذلك يُترك فراغ ضمن مجموعات اللواقط القريبة من المنبع (منطقة خالية من اللواقط). فينتج لدينا نظام الرصد المتناظر مع وجود ثغرة أو فراغ.

- **نظام الرصد الجانبي** (End-on spread) :

وإن نظام الرصد الأكثر شيوعا هو الذي يكون فيه المنبع على أحد طرفي مجموعات اللواقط ذات التباعد المنتظم، ويسمى هذا نظام الرصد الجانبي.

- **نظام الرصد الجانبي مع إزاحة**(in-line offset):

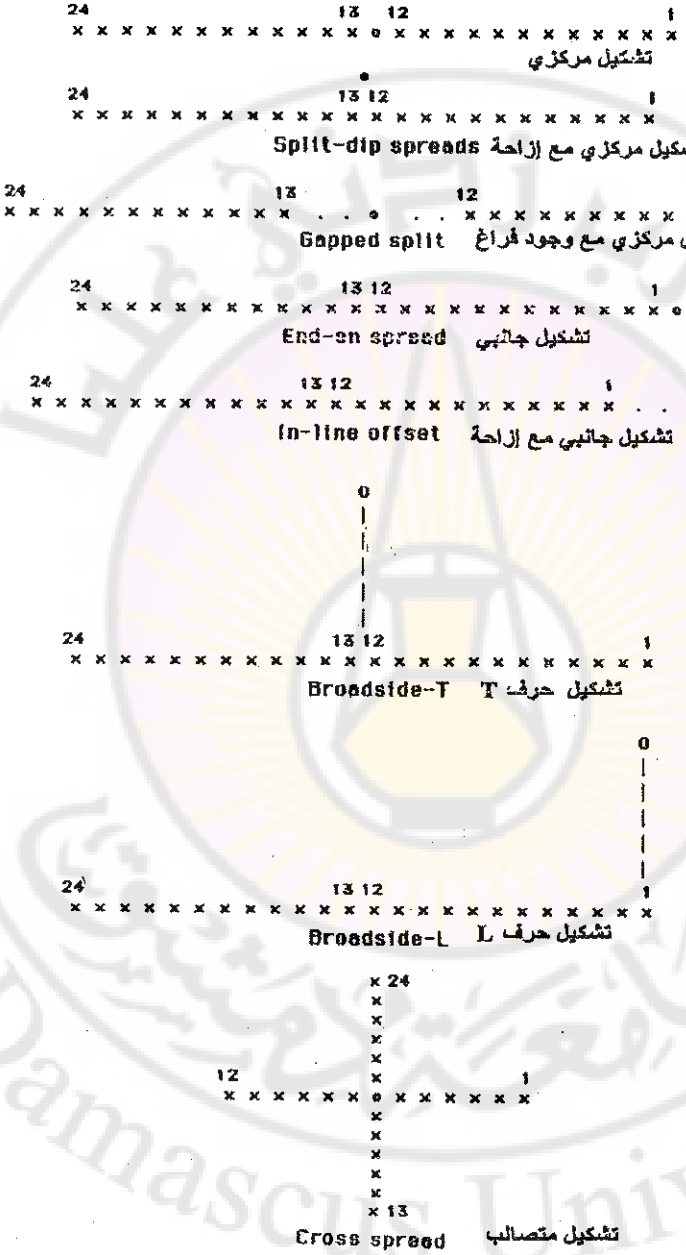
ضمن الترتيب الذي سبق يمكن وضع المنبع على خط اللواقط نفسه، ولكن مع إزاحة المنبع عن اللاقط الأول مسافة معينة ويسمى نظام رصد جانبي مع إزاحة .

- **نظام الرصد ذات التشكيل L أو التشكيل T** :

أحيانا يتم وضع المنبع على بعد ٥٠٠ – ١٠٠٠ متر بشكل عمودي على أحد طرفي خط القياس، أو على منتصفه وذلك للحصول على معطيات مفيدة قبل وصول أمواج سطحية قوية جدا. يسمى النظام الأول التشكيل- L - Broadside (L) أما النظام الثاني فيسمى التشكيل –T أو (Broadside -T).

- **نظام الرصد المتصالب** :

في هذا التشكيل يتم وضع خطين من اللواقط بشكل متعامد تقريبا، لذا يمكن الحصول على معلومات عمقية ثلاثية الأبعاد.



الشكل (٣-١) أنظمة الرصد الحقلية ،الرموز 0و X تشير إلى مواقع المنابع ومراكز مجموعات اللواقط على التوالي.

٣ . ٣ . ٢ . المسافة بين نقاط الالتقاط ونقاط المنابع

لسهولة سير الأعمال الحقلية وجعلها بشكل نموذجي، نسعى دائما لحفظ المسافة بين المنابع ℓ أي المسافة بين نقاط التفجير المتجاورة وثبات المسافة ΔX بين اللواقط أو بين مراكز مجموعات اللواقط. الفاصل المنبعي ℓ يتم اختياره عادةً بشكل مضاعف للخطوة ΔX ، وبما أن كل أثر من المقطع السيزمي هو عبارة عن نتيجة تحول معقد للاهتزازة القادمة على الآثار المتجاورة من البروفيل، فإنه عند اختيار الخطوة ΔX يجب الوضع بالحسبان المتطلبات الناتجة عن خصائص طرائق معالجة المعطيات.

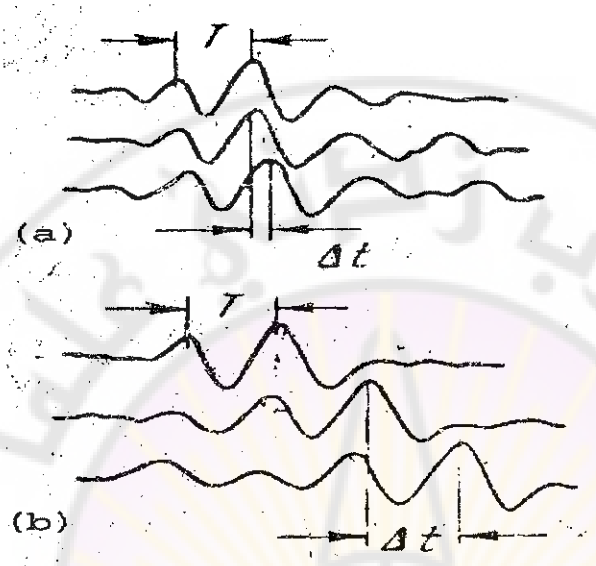
نعرض بعض الحالات الضرورية عند اختيار الخطوة ΔX .حيث متابعة الترابط المأمونة لأطوار الأمواج يتعلق بما يلي:١- درجة تكرارية شكل التسجيل على الآثار المتجاورة . ٢- علاقة نسبة سعة الأمواج المفيدة إلى الضجيج (الشغب)وخلفية الاهتزازات العشوائية. ٣- زمن الإزاحة Δt لخروج الأمواج إلى نقاط الالتقاط المتجاورة أي فرق تسجيل الآثار المتجاورة. ٤- الدور الظاهري T_a للاهتزاز.

Δt تتضمن مقدار الخطوة على السيسموغرام أو المقاطع الزمنية حيث يتم الترابط. وعند تكرار التسجيل وبشكل جيد وعلى خلفية غير كبيرة من الضجيج فإنه يمكن إجراء ترابط مضمون للأمواج عندما يتحقق الشرط التالي كما في الشكل(٣-٢)[٢]:

$$\Delta t \le \frac{T_a}{2} \qquad (١.٣)$$

وبحساب السرعة الظاهرية نحصل على : $\Delta x \le \frac{V_a . T_a}{2}$ (٢.٣)

حيث $\frac{T_a}{2} = \frac{\Delta X}{V_a}$



الشكل(٣-٢) ترابط الأمواج[كورفيتش ١٩٧٥]

a – حالة التباعدات الصغيرة بين اللواقط b – حالة التباعدات الكبيرة بين اللواقط

تسمح المعادلة (٣ .٢) وبشكل تقريبي ووسطي بتحديد قيمة الخطوة ΔX ضمن شروط الرصد. وضمن تكرارية التسجيل ومستوى الضجيج، يمكن أن يكون هناك انحراف عن التقدير الوسطي. فعند اختيار الخطوة يجب الانتباه دائماً إلى أن المقدار ΔX بشكل عام يحدد فعالية وإنتاجية الأعمال الحقلية، لذلك يجب السعي دائماً إلى اختيار الخطوة الأكبر ΔX قدر الإمكان حيث لا تؤثر سلباً على ترابط الآثار.

في الطرائق السيسمية الانعكاسية تتراوح الخطوة ΔX بين ٢٠- ٦٠ م، وترتبط بشكل مباشر بالظروف السطحية وبأعماق الاستكشاف، فعند التضاريس المعقدة لسطح الأرض وكذلك تغير الطبقة قليلة السرعة (LVL) يتم اختيار قيم الخطوة ΔX بشكل أقل منها في حالة تضاريس السطح الهادئ. وكذلك الأمر تصغر الخطوة ΔX عند التسجيلات الانعكاسية عالية التردد، أي باستخدام الطرائق

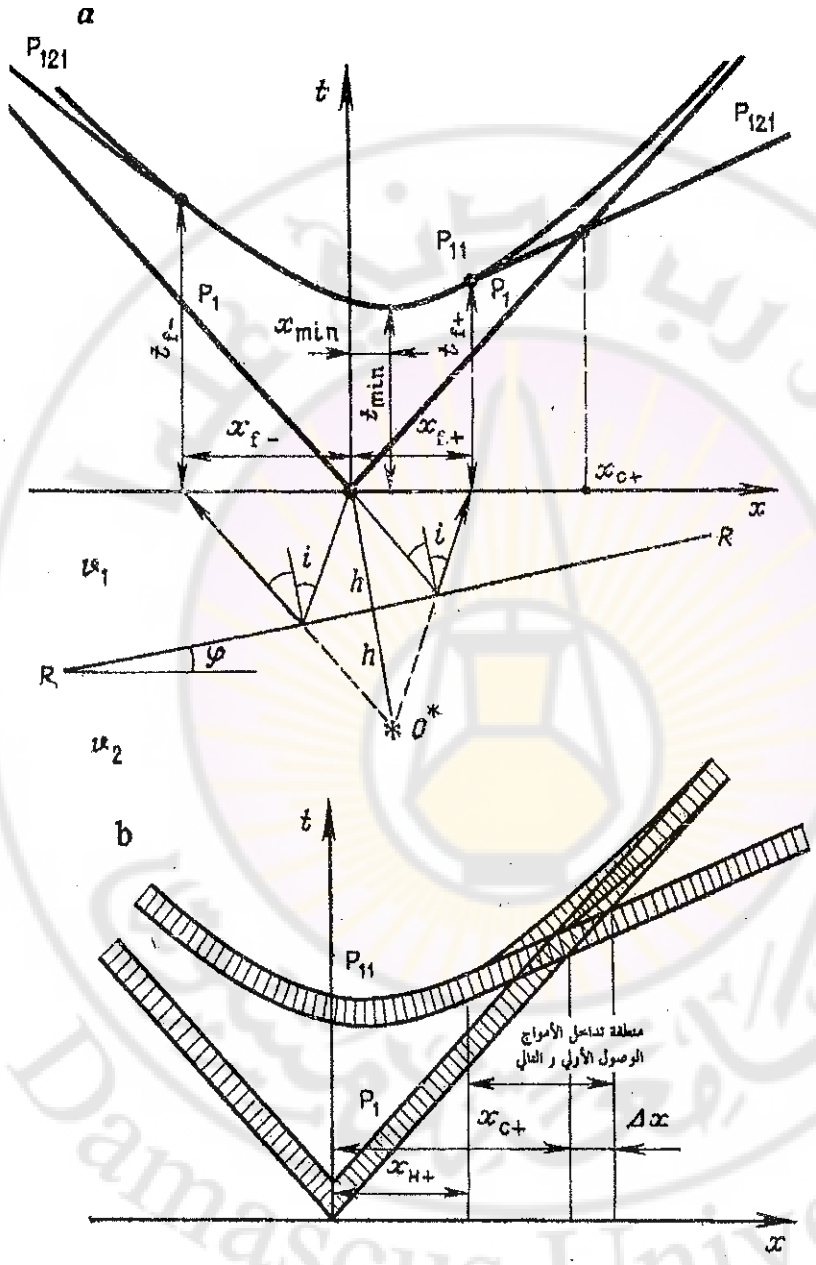
الانعكاسية ذات الترددات العالية. وعلى العكس فعند إجراء التسجيلات الانعكاسية منخفضة الترددات واستخدام طريقة التغطية المتكررة فإن الخطوة ΔX تقترب من ١٠٠ م أو أكثر...

٣ . ٣ . ٣ . اختيار منطقة الرصد

قبل البدء بتحديد نظام الرصد ،يجب تحديد المسافة أو المنطقة التي يمكن فيها رصد كل الأمواج. هذا يعني أنه يجب تقييم ومقارنة شدة الأمواج المفيدة وأمواج الشغب والاهتزازات على مسافات بعيدة من المنبع، والبحث عن الجزء الذي يمكن فيه فرز كل الأمواج بوضوح عند شروط التفجير والالتقاط المثالية، وبالتالي إمكانية إجراء كل أساليب المعالجة الآلية اللاحقة. إن تقييم مقارنة شدة الأمواج المفيدة والشغب تسمح بدراسة خصائص الحقل الموجي، لذلك يجب إجراء أعمال وتجارب حقلية خاصة لكل منطقة، ومقارنة أنظمة الرصد ونظام المجموعات والمسافة بين المنابع والمسافة بين اللواقط وأساليب ومواصفات المنابع المختارة (انظر ملحق ١ تطبيقات عملية).

يبين الشكل(٣-٣-a) حالة تمثيل ورسم منحنيات المسافة الزمن للأمواج الناتجة، المباشرة والانعكاسية و الانكسارية على شكل خطوط تعبر عن بداية استقبال ووصول لتلك الأمواج، أما في واقع الأمر فإن الأمواج ترد إلى اللواقط وتسجل كامل الإشارة على السجل السيسمي، لذلك يحدث التداخل بين إشارات تلك الأمواج الواردة إلى اللواقط. يبين الشكل(٣- ٣- b) تداخل الأمواج المباشرة مع الأمواج المنكسرة و الأمواج المنعكسة عند الأخذ بالحسبان طول الإشارة السيسمية.

إن الجزء الأفضل من منطقة الرصد هو ذلك الجزء الذي ترصد فيه الأمواج المفيدة بشدة نسبتها $Jo = 1.5 - 2$. حيث تعني نسبة الشدة Jo علاقة سعة كامل الأمواج المفيدة A_S إلى سعة أمواج الشغب A_N أو إلى وسطي سعة أمواج الشغب.



الشكل(٣-٣) علاقة منحنيات المسافة الزمن للأمواج المباشرة P_1 والمنعكسة P_{11} والمنكسرة P_{121} ، a – رسم المنحنيات دون اعتبار طول الإشارة، b– رسم المنحنيات المطابقة للواقع (أي مع اعتبار طول الإشارة)[زنامينسكي١٩٨٩].

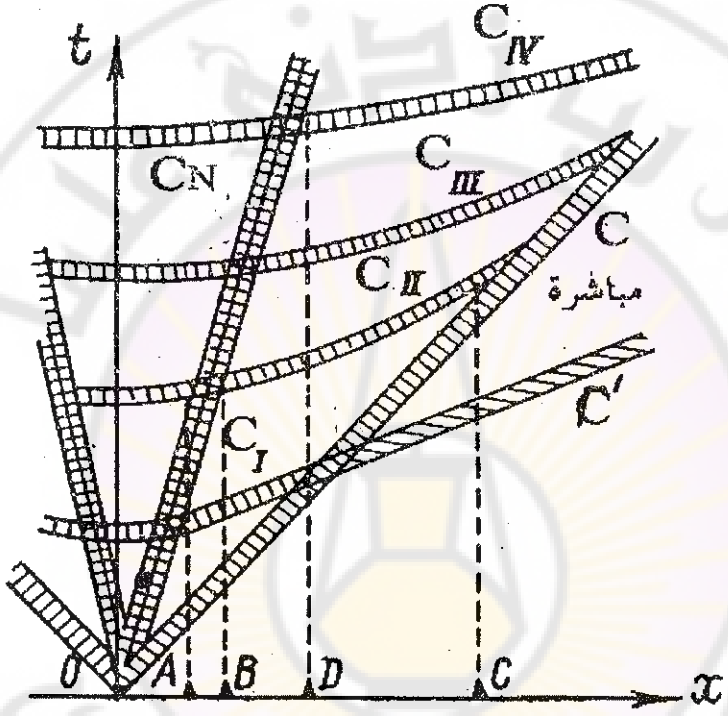
عندما تتحقق هذه النسبة فإنه يمكن رصد الأمواج المفيدة دون تشويه الإشارة أو إجراء تحويلات زمنية معقدة لنظام التداخل، وهذا يسمح باستخدام أنظمة رصد أبسط. وفي الأجزاء حيث قيمة $1 - 1.5 > J_o$ ، يمكن فرز الأمواج المفيدة فقط باستخدام طرائق التغطية المتكررة[٣].

إذا كانت- في الطرائق السيسمية الانعكاسية- قيمة $J_o > 1.5\text{-}2$ ، فإنه يمكن تحليل الحقل الموجي عند المسافات التي لا تزيد عن $0.3\ h - 0.5\ h$، حيث h- العمق حتى السطح المدروس. الشكل(٣-٤) يبين مثالاً على ذلك التحليل ، لنفترض أن المطلوب متابعة دقيقة لأربع أمواج انعكاسية كاملة ذات منحنيات المسافة – الزمن $C_I - C_{IV}$ والمبينة على الرسم، وكذلك متابعة الأمواج الانكسارية C` والموجة المباشرة C_D ، بالإضافة إلى أمواج الشغب النظامية C_N المتمثلة بالأمواج السطحية والأمواج الصوتية. ولنفترض أن مطلوب كذلك دراسة المقطع ضمن المجال من السطح العاكس II حتى IV ، كما هو واضح من الشكل(٣-٤)، نلاحظ أن كل موجة تظهر خارج منطقة التداخل أو التراكب مع الأمواج الأخرى على أجزاء محددة ومختلفة من البروفيل. مثال الموجة II يمكن متابعتها على الجزء OA أو BC . وليس نادراً أن بعض الأمواج الانعكاسية وبشكل كامل تتداخل مع أمواج الضجيج المختلفة ولا يمكن رصدها ضمن الحقول الموجية ولا على أية مسافة من المنبع. في مثل هذه الحالة يجب استخدام طرائق وأساليب معالجة مناسبة لتحديد المسافة التي يمكن مراقبتها ورصدها بعد عملية المعالجة[٣].

أنظمة الرصد البسيطة هي التي تسمح برصد كل الأمواج المدروسة وفي الجزء المرصود نفسه، لذلك يجب السعي لإيجاد هذا الجزء من البروفيل والذي يقع ضمن منطقة الرصد و يؤمن دراسة كل الأمواج. وفي مثالنا أعلاه ، مثل هذا الجزء من البروفيل هو المنطقة OA وDC على المحور X الشكل(٣ -٤). وكل واحدة من هذه

الأمواج يمكن رصدها كجزء من منطقة رصد البروفيل الأساسية.

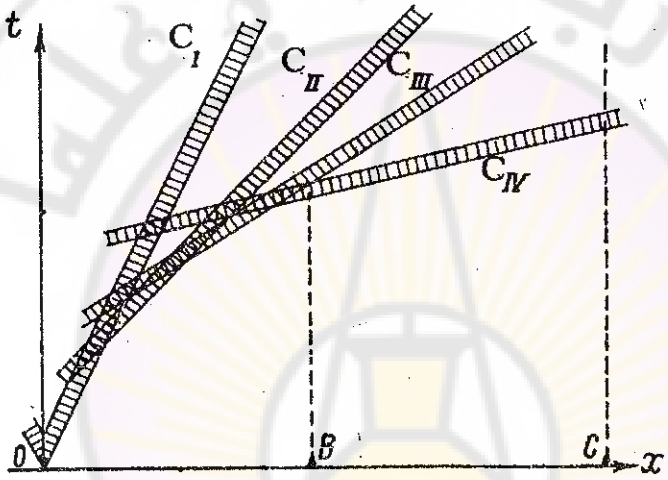
عندما تكون النسبة $J < 1 - 1.5$ فإنه يمكن دراسة الحقل الموجي عند المسافات الكبيرة بالطريقة الانعكاسية، والتي تؤمن خصائص اختيار بارامترات نظام الرصد



الشكل (٣-٤) اختيار منطقة رصد الأمواج[كورفيتش وبكانك١٩٨٠].

بطريقة التغطية المتكررة. أما في الطرائق الانكسارية عندما يكون الرصد على مسافات تزيد عن $4h - 3h$ ، فإن منطقة تحليل الحقل الموجي الانكساري تمتد أكثر من الحقل الموجي بالطريقة الانعكاسية. وهنا-كذلك الأمر - يتم تقدير النسبة J_0 وهناك اهتمام خاص لتحديد أجزاء التداخل ، أجزاء تداخل الأمواج المختلفة، ضمن الحدود التي يصعب فيها متابعتها. انظر- على سبيل المثال- الحالة المبينة في الشكل(٣-٥)، نلاحظ أن لكل موجة منطقة متابعة محددة ، حيث في الجزء BC يمكن متابعة كل من الأمواج

II ، III ، IV ، لذلك يمكن اختيار هذا الجزء في هذه الحالة كمنطقة الرصد المطلوبة.في الطرائق السيسمية الانكسارية غالباً لا يمكن اختيار منطقة رصد واحدة لرصد جميع الأمواج ، وهذا مرتبط بالعدد الكبير لمناطق التداخل والتراكب و التخامد السريع لبعض الأمواج الانكسارية مع البعد عن المنبع، ويكون أحياناً طول جزء الرصد محدوداً ، حيث يقلل تأثير فعالية نفاذ الأمواج.



الشكل (٣ – ٥) مثال حالة لاختيار منطقة الرصد في المسح الانكساري[كورفيتش وبكانك ١٩٨٠].

٣ .٣ .٤ . تمثيل أنظمة الرصد

يمكن تمثيل أنظمة الرصد السيسمية بأساليب مختلفة.ولتمثيل أنظمة الرصد على البروفيل من المريح استخدام الشكل المستوي، حيث نحدد البروفيل ضمن منطقة قياس ما على شكل قطعة مستقيمة X الشكل(٣-٦ -a). ونرسم شبكة مربعة الإحداثيات محورها يميل بزاوية ٤٥ درجة عن خط البروفيل . لنفرض أنه عند التفجير في النقطة O_1 من البروفيل يستقبل اللاقط موجة في النقطة A_1 ، ولنفرض أن مثل هذا الرصد يمثل على شكل دائرة لها الرمز Q_1 ، ويقع على تقاطع إحداثيات الخطوط المشادة من

النقاط O_1 و A_1 ، ونفرض أن الخط القاطع للدائرة يشير إلى اتجاه المنبـــع، والآن إذا كان لدينا على البروفيل مجموعة من نقـــاط الالتقـــاط المتجـــاورة A_1 ، A_2، A_3 ،...A_n، حيث يتم فيها التسجيل عند نقاط التفجير O_1 ، عندها تتقـــاطع نقـــاط الرصد مع Q_1 ، Q_2 ، Q_3 ،...Q_n، والتي تمثل دوائر مستمرة مرتبطة بخط مستقيم باتجاه نقطة المنبع O_1 . الجزء Q_1Q_n يمثل منطقة الرصد على مستوي الرصد[٣].

لنفرض أنه يوجد لدينا منبعان مستقلان O_1 و O_2 وتتطابق معهما نقطتـــا استقبال B_1 و B_2 كما في الشكل(٣-٦-b)، عندها ستتطابق نقاط الرصد O_1 و O_2 وتمثل نقاط رصد متبادلة، بحسب مبدأ التبادل.

أما إذا كان لدينا نقطة الالتقاط C تسجل الاهتزاز الناتج عن المنابع المتجاورة في النقاط O_1 ، O_2 ،... O_m من البروفيل، فإن جزء الرصد من البروفيل يمثل على الشكل(٣-٦-c)، وبهذا الشكل يُمَكن التمثيل المستوي من تصور أية مجموعة رصد محددة . ويصح العكس، لأية مجموعة رصد ممثلة على المستوي يمكن تحديـــد نقـــاط الترابط أي نقاط ترابط المنبع وترابط اللواقط على البروفيل التابعة لها. لـــذلك يمكـــن رسم تمشيرات صغيرة باتجاه البروفيل تدل على المنابع، والاتجاه الآخر يدل على وضـــع نقاط اللواقط أي الاستقبال.

عندما تكون نقاط المنابع أو اللواقط المتوضعة على البروفيل قريبة من بعضـــها بشكل كاف؛ فإن نقاط الرصد المتجاورة والناتجة ضمن الظروف الأولية يمكن ربـــط أمواجها على طول أجزاء الرصد. وأجزاء الرصد يمكن أن تكون مترابطة مع بعضـــها البعض بنقاط ترابط مشتركة، وعندما تكون نقاط الرصد كثيفة على أجزاء بروفيـــل الرصد، فإنه بدلاً عن الدوائر المذكورة والتي تمثل نقاط الرصد المستقلة ،يمكـــن تمثيـــل جزء الرصد على شكل خط متصل كما في الشكل(٣-٦-d)، وكذلك الأمر في حال كانت نقاط التفجير متوضعة بشكل كثيف على جزء من بروفيل الرصد، يمكن تمثيلها

على شكل خط متصل ووضع خطوط صغيرة مقاطعة له أي عمودية عليه؛ كما في الشكل(٣-٦ e—) والتي تشير إلى اتجاه المنبع.

نشير الآن إلى خاصية واحدة من خصائص تمثيل الرصد بالطريقة الانعكاسية على مستو، عندما يكون السطح العاكس أفقياً فإن الإحداثيات الأفقية $X_{refl.}$ لنقاط الانعكاس تساوي نصف مجموع إحداثيات نقاط التفجير X_S ونقاط الالتقاط X_G على البروفيل. والإحداثيات الأفقية للرصد X_H في هذه الحالة تساوي كذلك الأمر نصف المجموع، ومنه نقاط الرصد تتوضع فوق نقاط الإسقاط العمودي لنقاط الانعكاس على البروفيل.

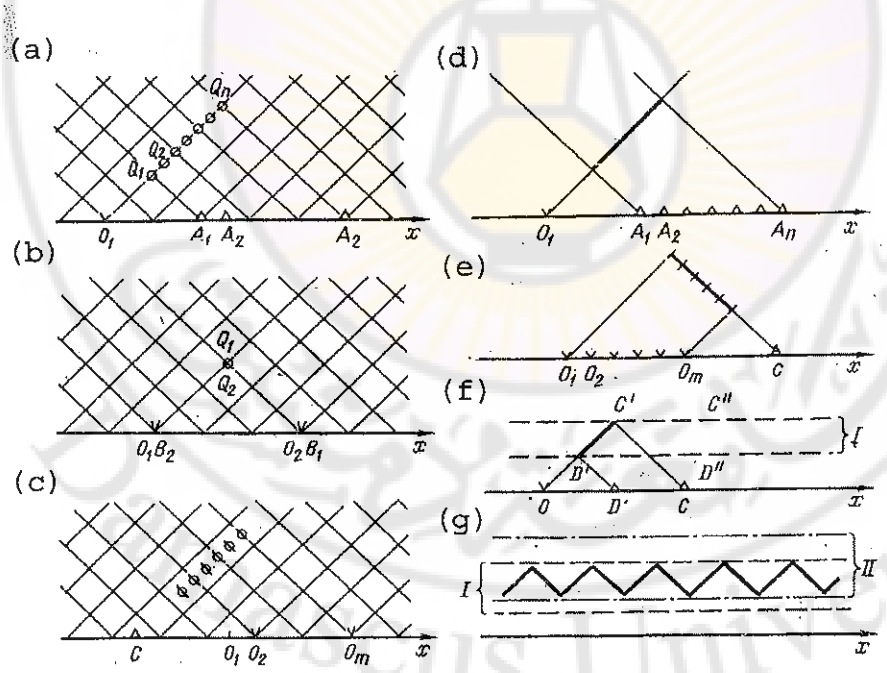
وكلما زادت مسافات أجزاء الرصد الأفقية، زادت أجزاء مسافات مسح السطوح العاكسة. و لدراسة السطح العاكس على عدة أجزاء يجب توزيع الرصد بالتساوي؛ حيث تتم الإزاحة على البروفيل فوق الجزء المطلوب رصده من السطح العاكس. وهذه الخلاصة تنطبق كذلك الأمر على الأعمال في الدراسات السيسمية الانكسارية.

يمكن تحديد متابعة موقع مناطق ظهور كل الأمواج على مستوى التمثيل العام. ليكن لدينا منبع في النقطة O الشكل(٣-٦ f-)، تم التوصل بنتيجة تحليل الحقل الموجي؛ إلى أن كامل الموجة يمكن متابعتها ضمن الجزء DC من البروفيل.

عندها تحدد نقاط الرصد D` و C` جزء السطح المُتابع أو الظاهر على مستوي التمثيل العام. لنفرض أن ظروف متابعة الأمواج على طول البروفيل لم تتغير، عندها يجب أن لا يتغير وضع أجزاء السطح المُتابع أو الظاهر بالنسبة لخط القياس. ومنه الخط C`C`` و D`D`` الموازي لخط البروفيل، والتي تحدد المنطقة I تسمى منطقة الرصد أو منطقة المتابعة لتلك الأمواج " منطقة رصد ومتابعة الأمواج". ولمتابعة هذه الأمواج بالضرورة نحتاج إلى نظام رصد يتوضع ضمن المنطقة I .

أي نظام رصد يؤمن الترابط المستمر لتلك الأمواج ،يجب أن يتوضع بشكل كامل ضمن منطقة الرصد لمتابعة تلك الأمواج. وإذا كان لدينا موجتان ولهما منطقتا متابعة وظهور مختلفة ،فإنه يفضل اختيارهما على نظام رصد ومتابعة يشملهما معاً كما في الشكل(٣-٦- g). وعندما تكون مسافة ووضع أجزاء المتابعة والظهور متغيرة على طول البروفيل؛ فإن الحدود C`C`` أو D`D`` يمكن أن تكون غير موازية للخط X [٣].

ومن الكم الكبير والعدد اللامحدود لأنظمة الرصد التي تؤمن المتابعة الصحيحة للعواكس ضمن منطقة ظهور الأمواج، يجب اختيار تلك الأنظمة التي توفر نوعية جيدة للأعمال الحقلية بأقل كلفة ممكنة وزمن ممكن، لاحظ الشكل(٤-٩)و الشكل (٤ -٢٣).



الشكل (٣- ٦) تمثيل أنظمة الرصد في مستوي[كورفيتش وبكانك،١٩٨٠].

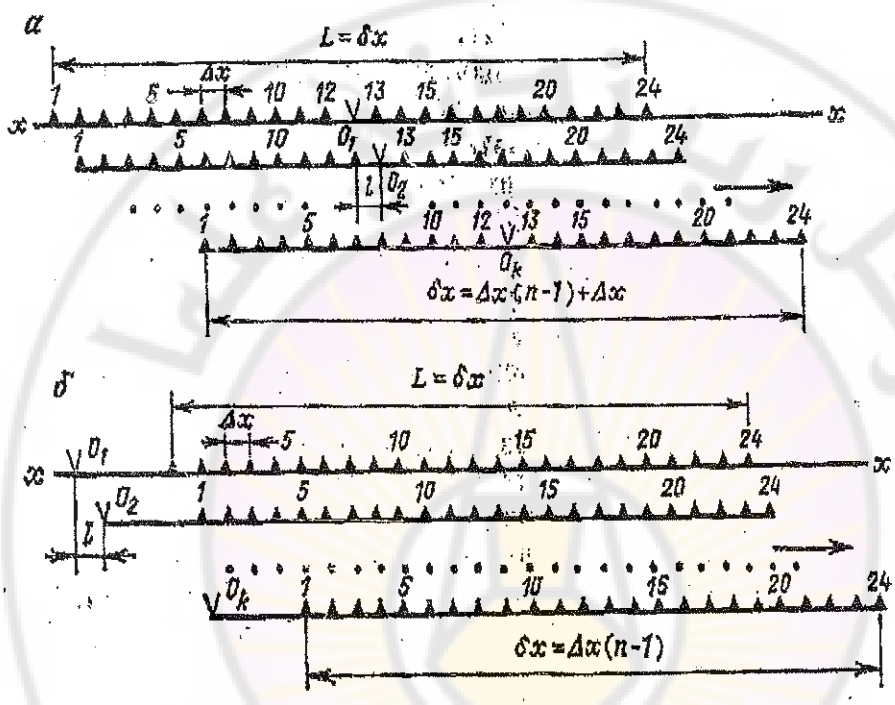
٣ .٣ .٥ . بروفيل الرصد وتمثيله في التغطية المتكررة

طول تشكيلة القياس (قاعدة الرصد) L والفاصل المنبعي ℓ ومقدار التغطية N هي من العناصر الأساسية لبروفيلات الرصد. طول تشكيلة القياس عادة تساوي أو تضاعف المسافة بين اللواقط؛ والتي بدورها تحدد بعدد قنالات التسجيل n للمحطة السيسمية والمسافة ΔX بين اللواقط المتجاورة (مراكز مجموعات اللواقط)على البروفيل. من مسافات اللواقط المتساوي البعد يمكن حساب L : $L = (n-1)\Delta X$

علاقة طول تشكيلة اللواقط بضعف مقدار الفاصل المنبعي $N = \frac{L}{2\ell}$ تسمى نظام التغطية السيسمية (أو التغطية المتكررة لمنحنيات الأمواج). في الطرائق السيسمية تستخدم نظام التغطية المتكررة ١٢ مرة وأكثر، والتي تسمح بتنفيذ طرق معالجة مختلفة للمعطيات الحقلية السيزمية[٩].

المهم في نظام الرصد ذي التغطية المتعددة أو المتكررة أن قاعدة اللواقط أكبر بكثير من قيمة المسافة بين التفجير. وبشكل عام نقاط التفجير وقاعدة اللواقط L تنزاح بالتتالي على طول البروفيل كل مرة بمقدار الفاصل المنبعي الشكل(٣-٧). وبعد إزاحة جزء من قاعدة اللواقط ستقع ضمن حدودها السابقة، وكلما كانت التغطية أكثر كانت نسبة L/ℓ أكبر. ومن الضروري إنجاز عدد من الازاحات على البروفيل قبل أن يحدث أن تكون قاعدة اللواقط خارج حدود الوضع الأولي. على سبيل المثال عند التغطية ١٢ مرة، من الضروري أن يكون نظام الرصد كما في الشكل (٣-٧- a) مؤلفاً من ٢٤ تبديلاً، بينما نحتاج في نظام التغطية الوحيدة فقط إلى تبديلين، حيث قاعدة اللواقط تغطي للنصف.إن نقطة التفجير O_k في النظام المركزي في الشكل(٣-٧ -a) متوضعة دائما في مركز قاعدة اللواقط . أما في النظام الجناحي نقاط التفجير متوضعة على نهاياتها أو مزاحة عن حدود قاعدة اللواقط الشكل(٣-٧- b). إن نظام الرصد الجناحي مع إزاحة نقاط التفجير في طريقة CDP تسمح بتخميد

الأمواج متكررة الانعكاس في حالة منحني المسافة – الزمن ذي الطول الصغير بالمقارنة مع النظام المركزي[٢١].



الشكل (٣-٧) أنظمة الرصد السيزمية a- نظام مركزي b- نظام جناحي[زنامينسكي١٩٨٩]

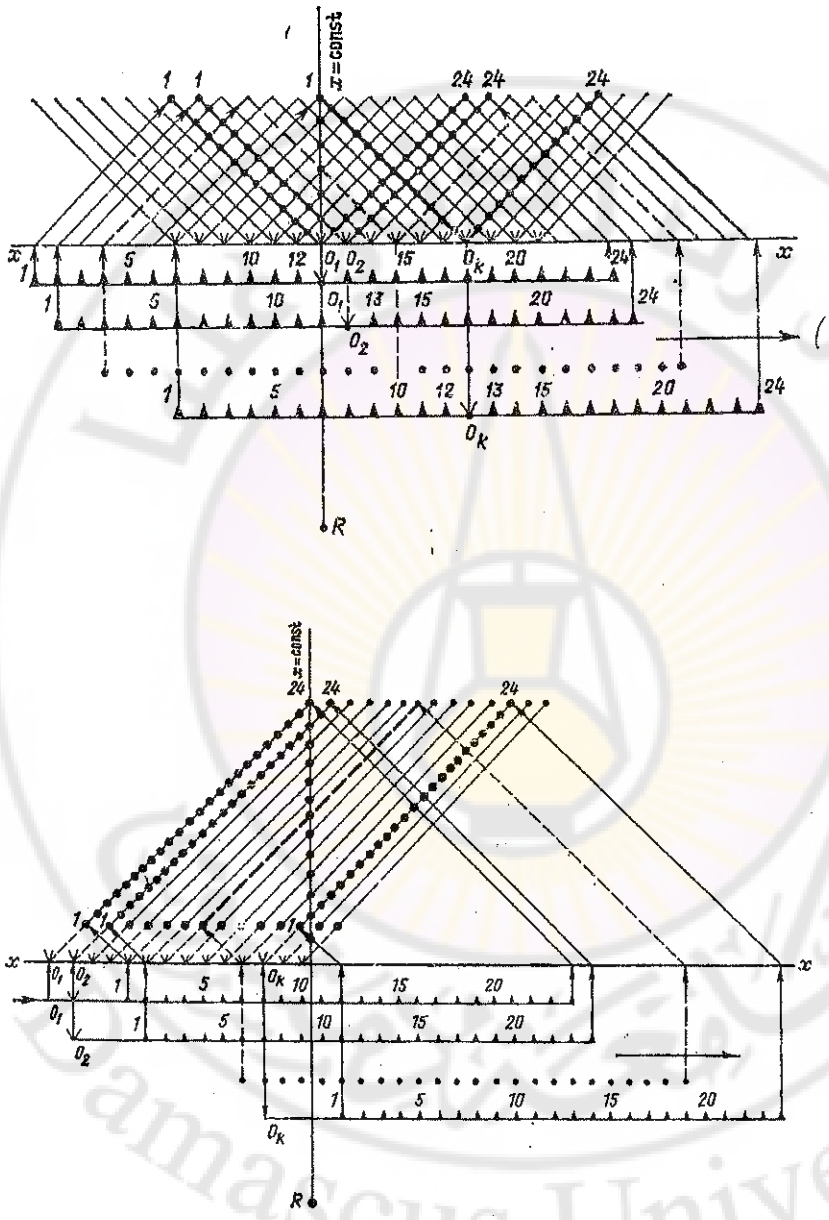
إذاً التمثيل المناسب والمريح اكثر من غيره وخاصة لأنظمة الرصد المعقدة هو نشر وتبسيط العمل السيسمي في مستوي تمثيل الشكل(٣-٨). وكما ورد أعلاه عند استخدام هذه الطريقة أفقيا؛ يمكن تمثيل خط البروفيلات و إزاحات نقاط التفجير. ومن قاعدة اللواقط على البروفيل تسقط خطوط عمودية على الأشعة الصادرة من المنابع المطابقة تحت زاوية ±45 درجة من خط البروفيل. في النظام المركزي، قاعدة اللواقط تسقط على خطين ناتجين من المنبع المطابق تحت الزاوية +45 درجة و -45 درجة الشكل(٣-٨ -a). في نظام الرصد الجناحي الخطوط تسقط على الشعاع

تحت الزاوية +45 درجة إذا كانت قاعدة الرصد متوضعة على اليمين من نقاط التفجير الشكل(٣-٨- b)، وعلى الشعاع تحت الزاوية -45 درجة، إذا كانت قاعدة اللواقط على اليسار[٢، ٣، ٢١].

يجب الإشارة إلى الأهمية الكبيرة في ربط أنظمة الرصد بما يسمى النقاط المشتركة أو المتبادلة. وهما نقطتان متبادلتان، حيث تم في النقطة الأولى التسجيل للطاقة القادمة من المنبع الثاني، والتسجيل في النقطة الثانية للطاقة القادمة من المنبع الأول، أي التسجيل الأول ينتمي إلى نقاط الالتقاط O_1 ونقاط التفجير O_2، أما التسجيل الثاني ينتمي إلى نقاط الالتقاط O_2 ونقاط التفجير O_1 لاحظ الأشكال (٤-٢ و٤-٥).

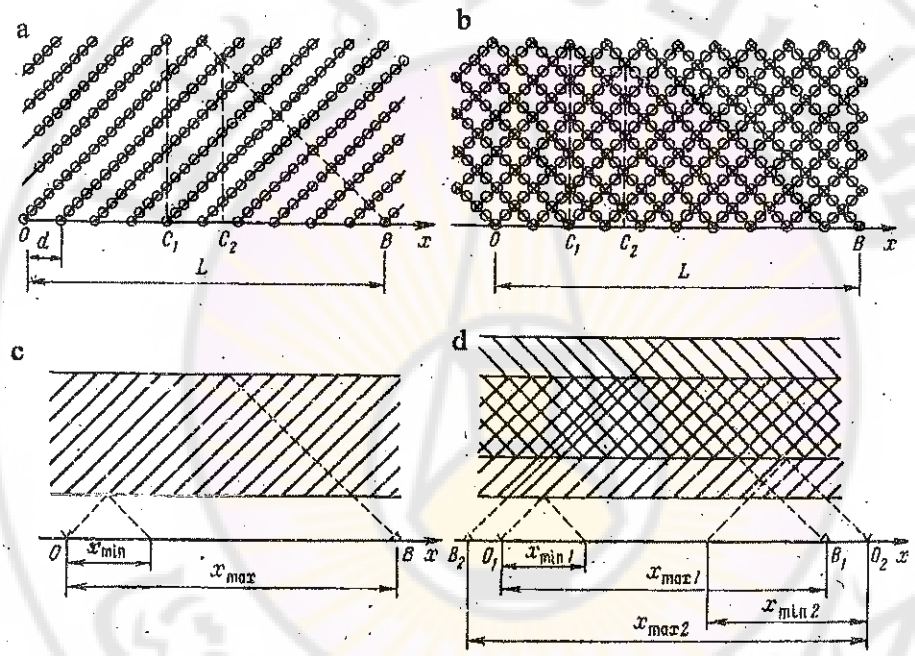
إن الأمواج ذات النوع الواحد ـ في نقاط الترابط ـ ترد من الوسط العاكس نفسه. وحسب مبدأ التبادل، فعند تسجيل النوع نفسه من الأمواج وفي نقاط الترابط فإنه لا يحدث تغيير لزمن ولشكل الموجة. يتم في الواقع التطبيقي وبشكل دقيق متابعة تساوي أزمنة الترابط الموجي، أما شكل الأمواج عادة فيتغير وخاصة عند التباعدات الكبيرة بين نقاط الترابط. وربما كان هذا أحد الأسباب التي تعيق أعمال التسجيل السيسمي أثناء التباعدات الكبيرة بين نقاط الترابط.

يلاحظ على مستوى التمثيل أن كل زوجين من نقاط الترابط والتي تمثلها نقاط تقاطع الأشعة نابعة من المنابع المشتركة. الأزواج المختلفة المتباعدة من نقاط الترابط، والتي تمثلها الأمواج المنعكسة القادمة من نقاط العمق نفسها تتوضع على خط شاقولي مستقيم $X = CONST$ انظر الشكل(٣-٨ - a). عدد أزواج النقاط على هذا الخط الشاقولي مرتبط مباشرة بنظام التغطية المتكرر، و يمثل هذا الشكل نظام تغطية ذا ١٢ تكراراً، حيث يوجد عند كل خط شاقولي ست نقاط مزدوجة مترابطة. إن النظام الذي يمثل رصداً و فيه زوج من نقاط الترابط هو عبارة عن نظام تغطية



الشكل (٣-٨) تمثيل أنظمة الرصد المركزية والجناحية R- النقطة العاكسة المشتركة [زنامينسكي١٩٨٩]

أحـــادية مستمرة. إذا كانت المسافة بين نقاط الترابط تساوي مسافة الفاصل المنبعي، هذا النظام يسمى التغطية المستمرة البسيطة. ويبين الشكل (٣-٩) تمثيل بعض أنظمـــة الرصد المستخدمة في التغطية المتكررة مثل الرصد الجنـــاحي دون إزاحـــة؛ والرصـــد الجناحي مع إزاحة؛ والرصد المركزي دون إزاحة؛ والرصد المركزي مع إزاحة.



الشكل(٣-٩) بعض أنظمة الرصد المستخدمة في التغطية المتكررة a- رصد جناحي دون إزاحة b- رصد مركـــزي دون إزاحـــة c- رصد جناحي مع إزاحة d- رصد مركزي مع إزاحة [كورفيتش وبكالك١٩٨٠].

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصـــل الرابـــع

أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانعكاسية

٤ . ١ . مقدمة

٤ . ٢ . طول قاعدة الرصد L والفاصل المنبعي ℓ

٤ . ٣ . التسجيل بطريقة التغطية الأحادية المستمرة

٤ . ٤ . تمثيل أنظمة الرصد في المسح المستمر

٤ . ٥ . النقطة العاكسة المشتركة و النقطة الوسطى المشتركة

٤ . ٦ . الرصد المساحي

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانعكاسية

٤ . ١ . مقدمة

إن الأمواج المنعكسة كما هو معروف يمكن تسجيلها بدءاً من المنبع على طول خط القياس؛ وهو الجزء المناسب لرصد تلك الأمواج .لذلك نسعى إلى تطبيق أنظمة الرصد عند استخدام الطرائق السيسمية الانعكاسية اعتباراً من المنبع وعلى مسافات ليست بعيدة كثيراً عنه. يستثنى من ذلك حالة الرصد لتخميد تأثير الأمواج المتكررة؛ وخاصة أثناء معاملة المعطيات المعتمدة على اختلاف السرعة الظاهرية للأمواج المتكررة والمنعكسة لمرة واحدة. وبما أن هذا الاختلاف لا يظهر إلا على المسافات البعيدة من المنبع ، لذلك يمكن اختيار مسافات أكبر بعيداً عن المنبع في هذه الظروف، حيث يمكن فرز الأمواج المنعكسة من الحقل الموجي.

٤ . ٢ . طول قاعدة الرصد L والفاصل المنبعي ℓ .

لابد من توزيع عدد كبير من نقاط المنابع لرصد سطح عاكس بشكل مستمر على طول خط قياس الرصد. وإن الجزء من خط القياس الموجود بين المنبع والآخر، أو بين منبعين متتاليين نسميه الفاصل المنبعي ℓ . والمسافة L بين المنبع وأبعد لاقط عنه والذي يسجل الاهتزاز من هذا المنبع تسمى طول تشكيلة الرصد أو طول المنحني. تفضل المحافظة على استخدام طول ثابت لتشكيلة الرصد و الفاصل المنبعي في منطقة الدراسة الواحدة نفسها، بقدر ما تسمح به الظروف الجيولوجية و الطبوغرافية للمنطقة، ويمكن اختيار الطول بحيث يساوي مضاعفات المسافة بين اللواقط أو مسافة الرصد .

إن اختيار طول قاعدة الرصد L مشروط بعدة أسباب، منها عمق الاستكشاف. حيث كلما زاد عمق الاستكشاف أو عمق السطح العاكس ازداد طول قاعدة الرصد. وإذا كان الطول L صغيراً بالمقارنة مع العمق ، ستكون هناك صعوبة

في تخميد الأمواج المضاعفة (المتكررة) وصعوبة حساب السرعة الفعالة من منحنيات الأمواج المنعكسة[٢ ،٤٠ ،٩].

وإذا تم اختيار طول قاعدة الرصد L بشكل كبير نسبياً، فإن ذلك يؤدي إلى ظهور الأمواج الانكسارية على التسجيل، ويؤدي إلى صعوبة متابعة ورصد الأمواج المنعكسة وتقليل فعالية تخميد الأمواج المتكررة.

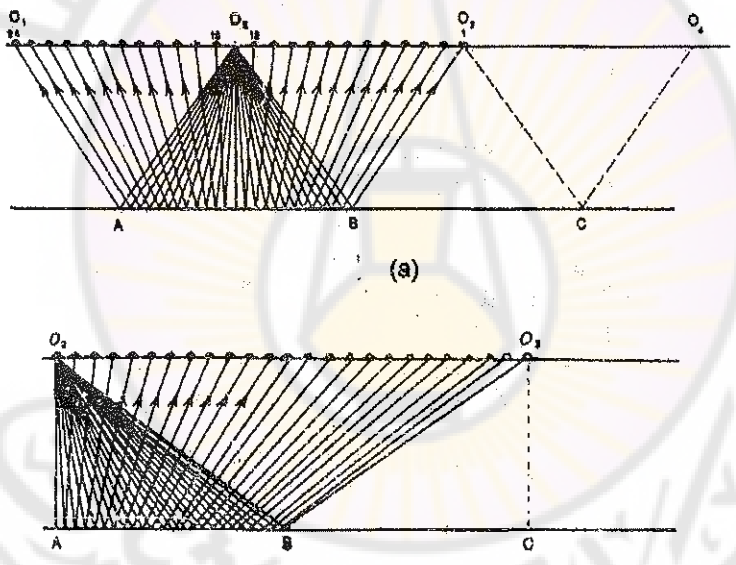
٤. ٣ . التسجيل بطريقة التغطية الأحادية المستمرة

عمليا كل أعمال المسح السيزمي النموذجية والتقليدية تتم بطريقة البروفيلات المستمرة، أي إن المنابع ومجموعات اللواقط تتوضع على خط بحيث لا يكون هناك فراغات تؤدي إلى انقطاع بالمعلومات الحاصلة، عدا تلك المشروطة بالتقطيع، بسبب الفواصل بين مجموعات اللواقط. قبل عام ١٩٦٠، كل نقطة انعكاس كانت تسجل لمرة واحدة فقط، والحصول على تسجيل وحيد التغطية، يستثنى من ذلك نقاط الترابط التي على طرفي التسجيل، حيث تسجل مرة ثانية بين البروفيلات، وذلك لتخفيف احتمالية الخطأ عند متابعة وملاحقة العواكس من تسجيل إلى آخر.

وبالمقابل فإنه يتم في طريقة نقطة العمق المشتركة أو النقطة الوسطى المشتركة تسجيل الانعكاس عن كل نقطة أكثر من مرة.

إن التسجيل بالتغطية المستمرة وفق نظام الرصد المتناظر،موضح في الشكل (٤-١-a). حيث المنابع متوضعة وفق فواصل منتظمة على طول خط القياس وهي غالباً بحدود ٤٠ – ٥٤٠ م. ويستخدم كبل سيزمي يشغل الفاصل بين منبعين. يتم الاستعداد لوصل مجموعات اللواقط (مثال ٢٤ مجموعة) وفق مسافات متساوية على طول خط القياس (وتسمى فاصل المجموعة أو الخطوة الفاصلة) وبالتالي، من اجل فاصل منبعي ٤٠٠م، وتوزيع ٢٤ مجموعة على كبل طوله ٨٠٠ م فإن المسافة بين مراكز المجموعات تساوي حوالي ٣٥ م[١٣ ،١٥].

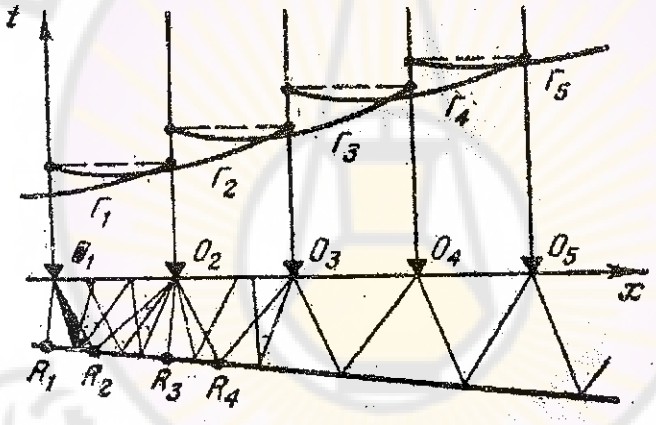
ومن اجل خط القياس الممتد من النقطة O_1 إلى O_3 تستخدم النقطة O_2 كمنبع للطاقة، وهذا يسمح بتغطية السطح العاكس بين النقطتين A و B، ومن ثم ينقل الكبل الممتد بين O_1 و O_2 إلى المنطقة الممتدة بين O_3 و O_4، منبع الطاقة عندها ستكون في النقطة O_3، وهذا يؤمن تغطية تحت سطحية بين B و C . مسارات الأشعة الموجية من المنبع O_3 هي عكس مسارات الأشعة من المجموعة الأولى من المنبع O_2، عندها تتم تغطية مستمرة على طول البروفيل. وغالبا لا تُفَعَّل اللواقط التي بجانب المنابع للتسجيل.أما التسجيل بالتغطية المستمرة وفق نظام الرصد الجانبي، فهو موضح في الشكل(٤- ١-b).



الشكل(٤-١)مخطط انتشار الأشعة في نظام الرصد المستمر[شيريف وكلدارت١٩٩٥]

الرصد المستمر للسطح الفاصل يسمح بالحصول على المعلومات التفصيلية عن البنية الجيولوجية للمنطقة؛ وتستخدم لاختبار المنطقة باتجاهات مختلفة أي بالشكل المساحي، في ابسط طرائق المسح المستمر عادةً ما تتوضع المنابع O_1 ، O_2 وهكذا على طول الخط القياس وعلى مسافات ثابتة بين بعضها البعض الشكل (٤- ٢).

عند التفجير في المنبع O_1 وانتشار اللواقط بالتتالي ضمن المسافة بين O O_2، والتي تؤمن تسجيل الانعكاسات عن السطح العاكس للجزء بين R_1 و R_2 .وعند إجراء التفجير في المنبع O_2 وانتشار اللواقط بالتتالي ضمن المسافة بين O_1 O_2 و O_2 O_3، عندها يمكن الحصول على المعلومات من السطح العاكس للجزء المتوضع بين R_2 وR_3 ، R_3 و R_4 . وبالمتابعة إلى المنبع O_3 والرصد ضمن الفاصل المنبعي O_2 O_3 و O_3 O_4 ، فإنه يتم الحصول على المعلومات من السطح العاكس من النقطة R_4 وإلى اليمين وهكذا . مثل هذا النظام يسمح بالرصد المستمر للسطح العاكس على طول الرصد المختار[٢].



الشكل(٤-٢) نظام رصد بسيط يبين مسارات الأشعة والمنحنيات الناتجة [كورفيتش١٩٧٥]

نظام الرصد المستمر البسيط يسمح بترابط أو بتطابق الأمواج المنعكسة ذات الصنف الواحد ،والناتجة من منابع في مواقع مختلفة. مثل هذه الحالة عندما يكون المنبع في النقطة O_1 واللاقط يقع في النقطة O_2 ،فإن زمن انتشار الأمواج على طول الشعاع O_1 R_2 O_2 يساوي زمن انتشار الأمواج على طول الشعاع O_2 R_2 O_1، وكأن التفجير في المنبع O_2 واللاقط في النقطة O_1 . النقاط O_1 و O_2 في مثل هذه الحالة من نظام الرصد تسمى **نقاط الترابط**. وأزواج النقاط O_2 و O_3، O_3 وO_4

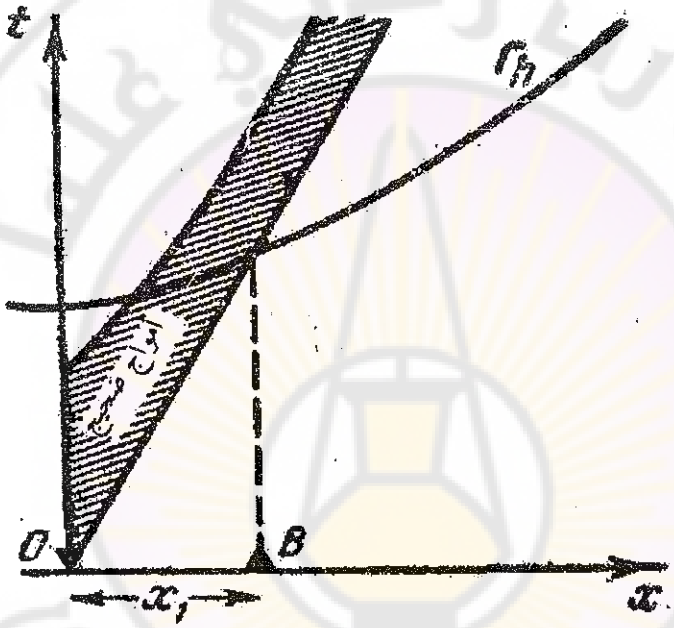
إلخ .. هي كذلك الأمر نقاط ترابط. من مقارنة زمن الانعكاس في نقاط الترابط يمكن أن يطابق الانعكاس هذا أو ذلك السطح العاكس.

عند وصف أنظمة الرصد للأمواج ذات الصنف الواحد يمكن رسمها على شكل منحنيات **مسافة – زمن** ، ممثلة في الشكل (٤-٢) حيث Γ_1 - المنحني الناتج من المنبع في O_1 ، Γ_2 – المنحني الناتج من المنبع O_2 وهكذا.

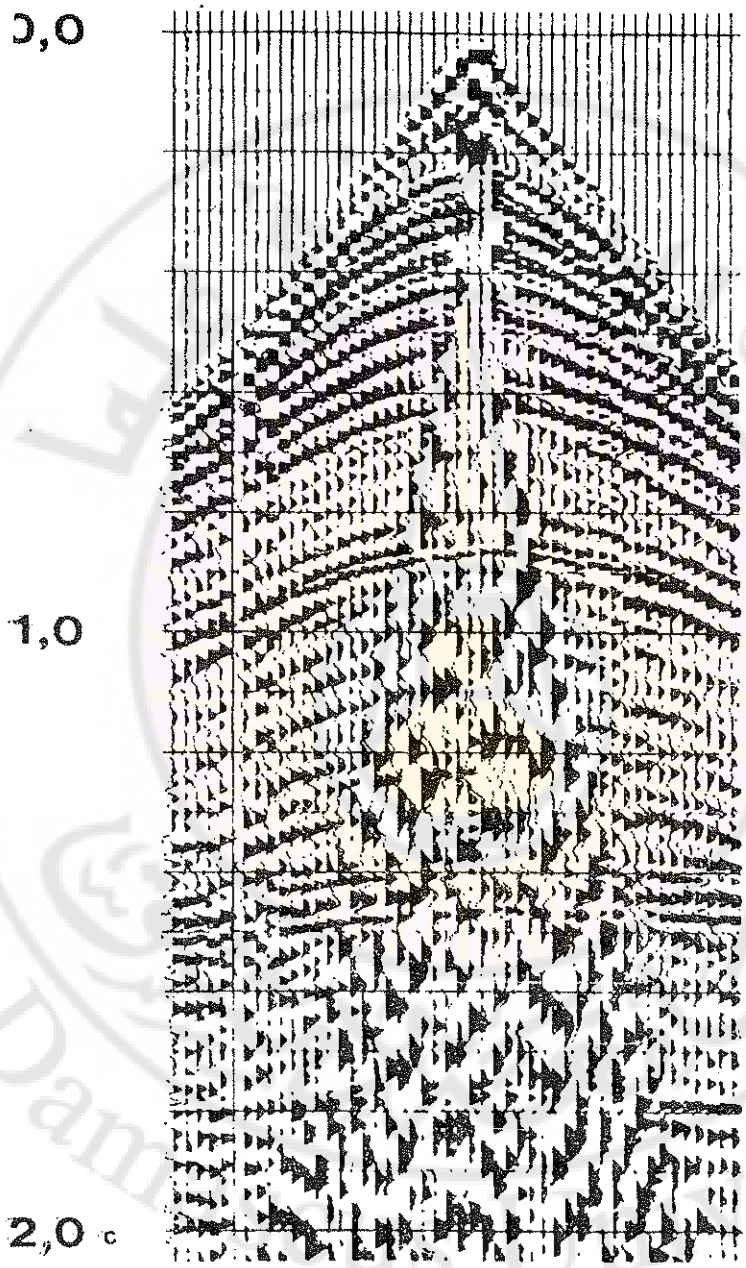
يصعب في كثير من الحالات تحقيق نظام الرصد المستمر البسيط بسبب عدم إمكانية تسجيل الأمواج المنعكسة ضمن المسافات القريبة من المنبع.ويعود ذلك لشدة أمواج الشغب السطحية، والتي تظهر في مناطق متعددة ، أو لشدة الأمواج الصوتية الناتجة جراء التفجير بالهواء أو في الحفر الخاصة بذلك أو في الآبار السطحية. في مثل هذه الظروف يمكن تسجيل الأمواج المنعكسة فقط بوضع اللواقط على مسافة بعيدة نسبياً عن المنبع . ويمكن تحديد هذه المسافة كما يلي.

لنتصور على مستوي منحني المسافة – الزمن (x - t) ومن بداية الإحداثيات في المنبع O ، وجود منحنيات لمقدمة ولمؤخرة أمواج الشغب .وهذه تحدد المنطقة التي يصعب فيها رصد الأمواج الانعكاسية بسبب الانتشار القوي لأمواج الشغب أو الضجيج كما في الشكل(٤-٣). ونرسم كذلك منحني الأمواج الانعكاسية ونفرض أنه يدخل في المسألة رصد الأمواج الانعكاسية من الأعماق الأقل من العمق المعطى h. عندها يمكن الحصول على منحنيات الأمواج الانعكاسية فقط ضمن نطاق الانتشار في المنطقة الأقل من المنحني Γ_h ، المطابق للسطح العاكس المتوضع على العمق h. كما هو واضح من الشكل(٤-٣-a) تبدأ هذه الانعكاسات من مسافة $x_1 = OB$ من المنبع O، حيث تبدأ بالوصول قبل أمواج الشغب وعندها يمكن تسجيلها، أما الشكل (٤-٣-b) فهو يمثل حقلاً موجياً تطبيقياً يبين أماكن وجود أمواج الضجيج في المنطقة المدروسة، حيث لكل منطقة أمواج ضجيج تختلف عن الأخرى، وهذا الحقل الموجي

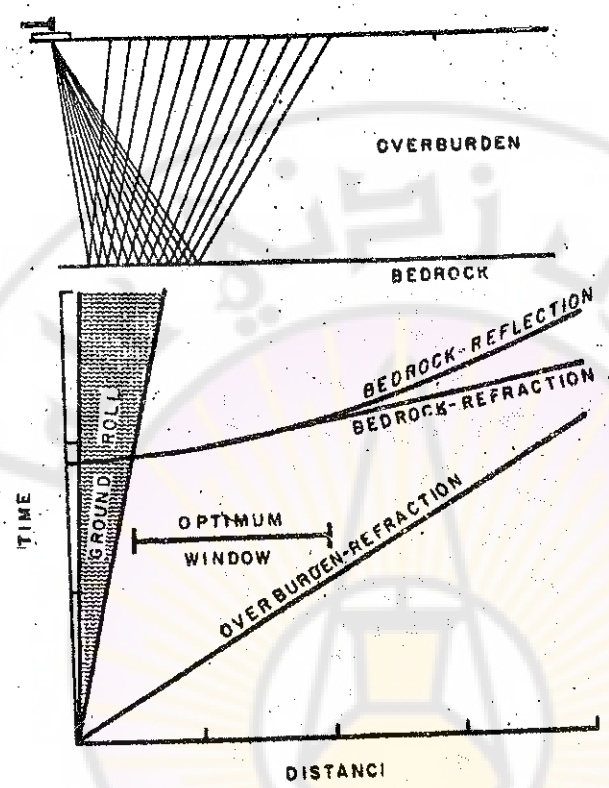
يساعد في اختيار النافذة المثالية وأماكن الرصد اللاحقة. ويبين الشكل (٤-٤) كيفية اختيار النافذة المثالية للرصد على خط القياس السيسمي الخاص بالدراسات السيسمية السطحية[٢].



الشكل(٤-٣) اختيار منطقة الرصد نظرياً بوجود الضجيج المبين على الشكل[كورفيتش١٩٧٥].



الشكل(٤ –٣– b) حقل موجي تطبيقي يبين وجود أمواج الضجيج[كيري وبروكس١٩٨٨] .



الشكل(٤- ٤) اختيار النافذة المثالية للرصد[رايلي وستيلس١٩٨٦]

ويمكن تحديد المسافة x_1 – والتي هي إحداثيات نقطة تقاطع منحني أمـــواج الشغب مع منحني الأمواج الانعكاسية، $t = \frac{x}{v_o}$ حيث v_o – سرعة انتشار أمـــواج الشغب (الأمواج السطحية أو الأمواج الصوتية) .

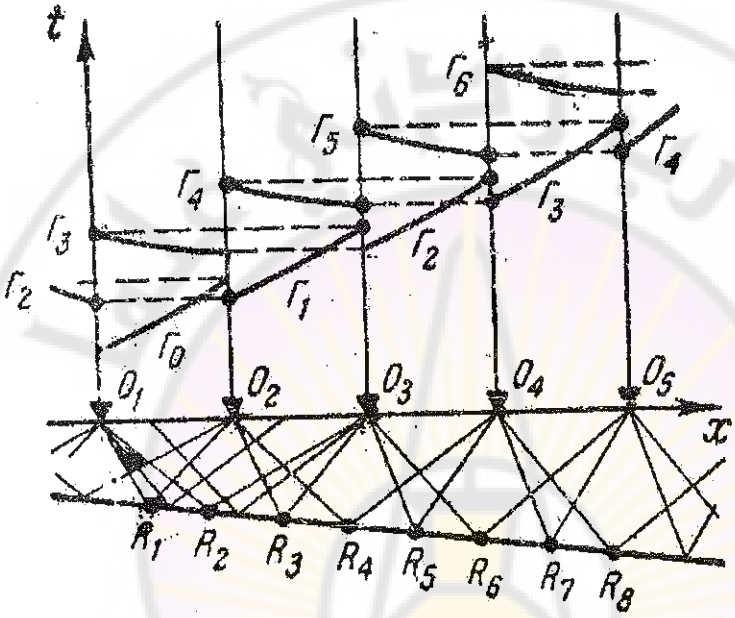
معادلة منحني المسافة – الزمن للأمواج الانعكاسية في حالة السطح العـــاكس الأفقي لها الشكل المعروف التالي: $t = \frac{1}{v}\sqrt{4h^2 + x^2}$.وبمساواتها مع المعادلة أعـــلاه يمكن تحديد قيمة x_1 :

$$x_1 = \frac{2h}{\sqrt{(v/v_o)^2 - 1}}$$

وبهذا الشكل يمكن نشر اللواقط على طول قاعدة رصد واحدة أو اثنتين إلى اليمين من النقطة x_1 ، وعندها يمكن متابعة العاكس المطلوب على هذا الجزء من البروفيل. في المثال المبين أعلاه تم رصد موجة شغب واحدة ، وبالطبع هناك حالات كثيرة توجد فيها وبوقت واحد موجتا شغب، ذات سرعات انتشار مختلفة. وبرسم منحنيات المسافة – الزمن لتلك الأمواج يمكن إيجاد الجزء من الخط القياس والذي يسمى منطقة متابعة الأمواج المنعكسة ،حيث تنعكس من الجزء الذي لا تتداخل فيه أمواج الشغب.

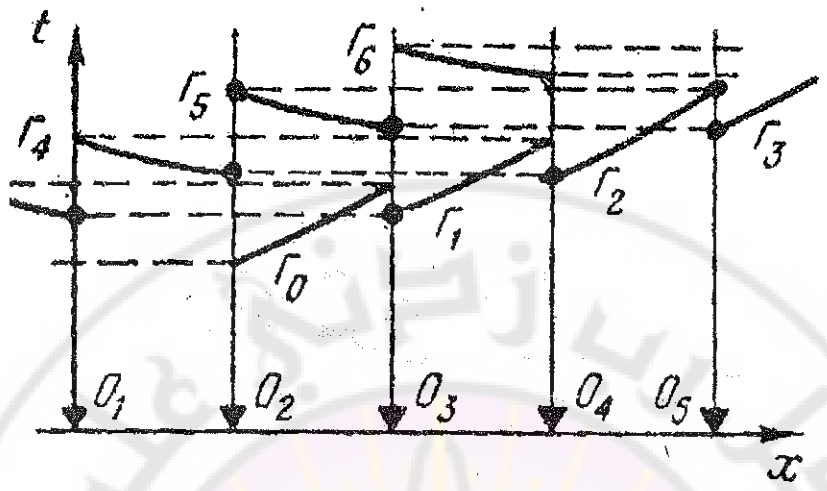
لرصد السطح العاكس بشكل مستمر في مثل هذه الحالات يتم استخدام نظام رصد آخر ، يسمى **نظام رصد مستمر خلال فاصل منبعي واحد** كما في الشكل(٤-٥)، في هذه الطريقة عند التفجير في المنبع O_1 يتم وضع اللواقط ضمن الفاصل المنبعي O_2 O_3 . وعند وضع المنبع في النقطة O_2 توضع اللواقط ضمن المسافةO_4O_3، وعند وضع المنبع في O_3 توضع اللواقط ضمن المسافة O_2O_1 وO_5O_4 وهكذا .وبهذا الشكل عند التفجير في النقطةO_1 يتم رصد الجزء R_2 R_1 من السطح العاكس ، وعند التفجير في النقطة O_2 يتم رصد الجزء R_4 R_3 من السطح العاكس،وعند التفجير في النقطة O_3 يتم رصد الجزء R_3 R_2 وR_6R_5، وعند التفجير في المنبع O_4 يتم رصد الجزء R_5R_4 وR_8R_7 وهكذا إلخ ، هذا يعني رصد السطح العاكس بشكل مستمر. وكذلك الأمر يوجد هنا زوج من نقاط الترابط، حيث يمكن ملاحظتها عند متابعة الأشعة $O_2R_1O_1$ ، $O_3R_2O_1$،$O_3R_3O_2$، $O_4R_4O_2$، $O_4R_5O_3$ وهكذا . مقارنة أزمنة خروج الأمواج الانعكاسية في نقاط الترابط متماثلة للأمواج الانعكاسية ذات النوع الواحد،كما ورد أعلاه. يبين الشكل(٤-٥) منحنيات المسافة– الزمن الانعكاسية مرتبطة فيما بينها بنقاط الترابط. يتطابق رمز المنحني مع رمز نقاط المنبع، عند التفجير

لرصد تلك المنحنيات[٢].



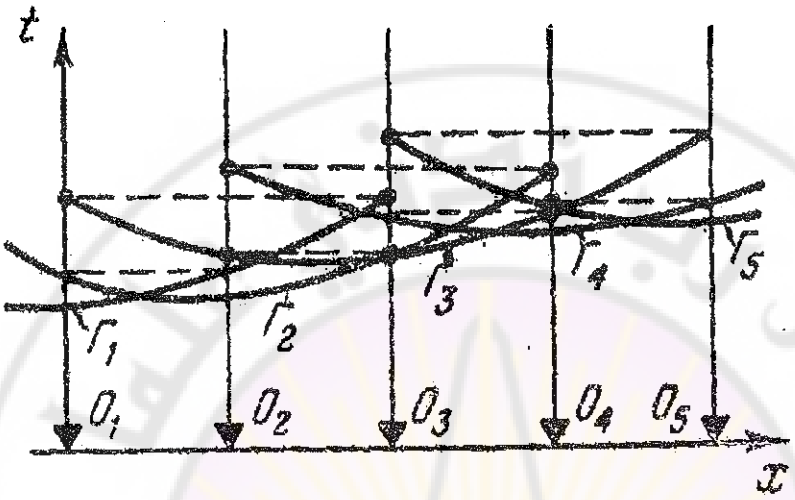
الشكل(٤-٥) نظام رصد مستمر بترك فاصل منبعي واحد[كورفيتش١٩٧٥]

ويمكن تنفيذ نظام رصد مستمر لمتابعة سطح عاكس ليس فقط خلال فاصل منبعي واحد؛ وإنما كذلك الأمر خلال فاصلين منبعيين؛ أي نترك قاعتي رصد فارغتين دون وجود لواقط ضمنها، كما ورد أعلاه، عند ذلك يمكن إجراء نظام رصد مستمر خلال فاصلين منبعيين كما في الشكل(٤-٦). ويمكن إزاحة نقاط الرصد كذلك الأمر أبعد من ذلك أي خلال ثلاثة أو أربعة فواصل منبعية أي ثلاث أو أربع قواعد رصد اعتبارا من المنبع. ومثل هذه الأنظمة تنفذ عندما تكون منطقة الرصد ليست كبيرة .إلا أن هذه الأنظمة تتطلب عدداً أكبر من المنابع ومكلفة أكثر.

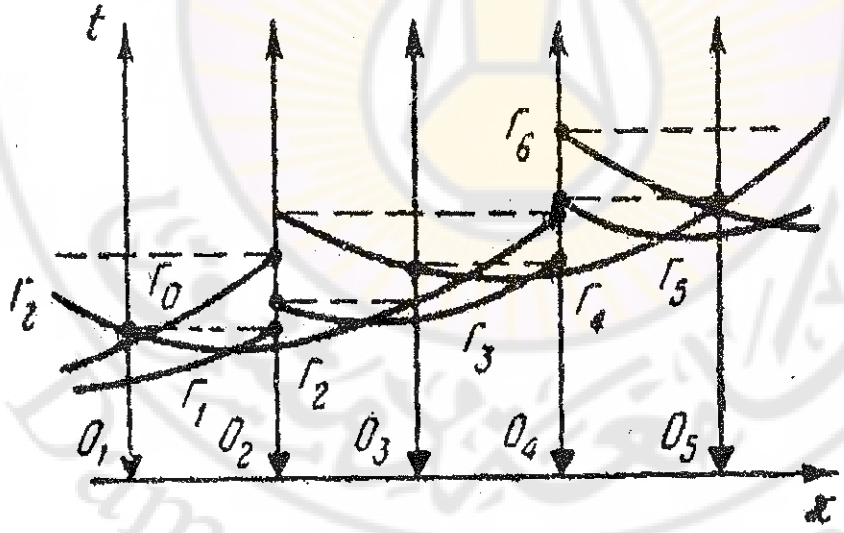


الشكل (٤- ٦) نظام الرصد خلال فاصلين متبعين[كورفيتش١٩٧٥]

يمكن استخدام نظـــام رصـــد مســـتمر ذا تغطيـــة ثنائيـــة في الظـــروف السيزموجيولوجية الصعبة ، حيث صعوبة رصد ومتابعة الأمواج الانعكاسية، ولزيـــادة دقة المسح.مثل هذا النظام يمثله الشكل(٤-٧) الذي يسمح برصد مســـتمر للســـطح العاكس نفسه مرتين، وذلك باستخدام نظامي منحنيات مسافة — زمن مستقلة. حيث إذا ظهر في أحد هذه الأنظمة خلل ما أو انقطاع أدى إلى تشويه نوعية الانعكاسات، فإنه يمكن الحصول على المعطيات عن السطح العاكس أو السطوح العاكسة من نظـــام الرصد الثاني . والتغطية الثنائية ستكون مكلفة اقتصادياً أكثر من نظام المسح الأحادي المستمر. في بعض الحالات يمكن إجراء رصد مستمر ذي مرة ونصف، كما هو واضح من الشكل(٤-٨). مثل هذه الأنظمة يمكن استخدامها في الحالات التي تتطلب رصد السطوح العاكسة القريبة أي (غير العميقة) والسطوح العميقة. وأجـــزاء منحنيـــات المسافة- الزمن البعيدة أي ضمن المسافة التي تلي قاعدة الرصد الأولى ، تستخدم لزيادة دقة حساب السرعة الوسطى ورسم المقطع للسطوح الأعمق.



الشكل(٤-٧) نظام رصد متضاعف[كورفيتش١٩٧٥]

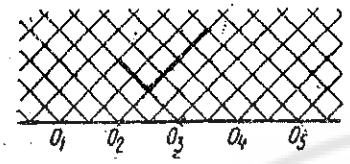


الشكل(٤- ٨) نظام رصد مرة ونصف[كورفيتش١٩٧٥]

٤ . ٤ . تمثيل أنظمة الرصد في المسح المستمر

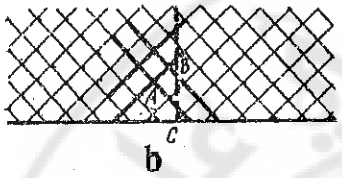
في الفقرة السابقة تم تمثيل مواقع اللواقط عند مواقع مختلفة للمنابع؛ وذلك من خلال تمثيل منحنيات المسافة – الزمن الناتجة على مستو. مثل هذا التمثيل مريح وسهل فقط لأنظمة الرصد البسيطة، ولكنه في حالة الأنظمة الصعبة والمعقدة يفقد هذا التمثيل وضوحه وبيانه. يبين الشكل (٤-٩) نماذج تمثيل أنظمة الرصد على مستو للحالات الواردة في الأشكال من (٤-٢حتى ٤-٨) وغيرها. الشكل (٤- ٩-a) يمثل حالة الرصد عند التفجير في النقطة O_2 حيث يتم الرصد هنا في الجزء O_3 O_4 O_5 من البروفيل، وعند التفجير في النقطة O_3 سيتم الرصد في الجزء O_1 O_2 . يبين الشكل (٤-٩) من c حتى g تمثيل أنظمة رصد انعكاسية مستمرة مختلفة تطابق الأشكال أعلاه[٢].

Damascus University



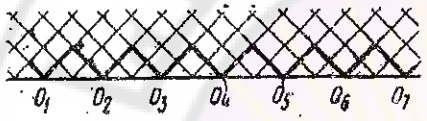
a

a - طريقة تمثيل أنظمة الرصد



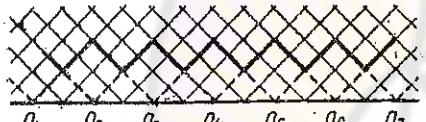
b

b - تحديد موقع النقاط العاكسة المشتركة



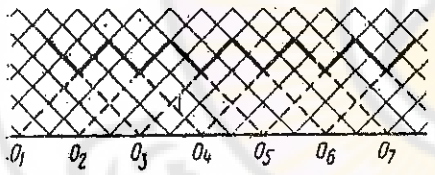
c

c - بروفيلات مستمرة بسيطة



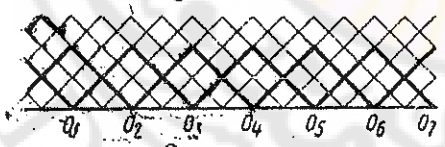
d

d- بروفيلات مستمرة لكن بترك فاصل منبعي واحد



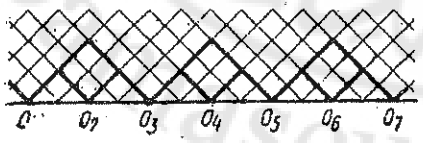
e

e - بروفيلات مستمرة لكن بترك فاصلين منبعيين



f

f - بروفيلات ذات تغطية مضاعفة



g

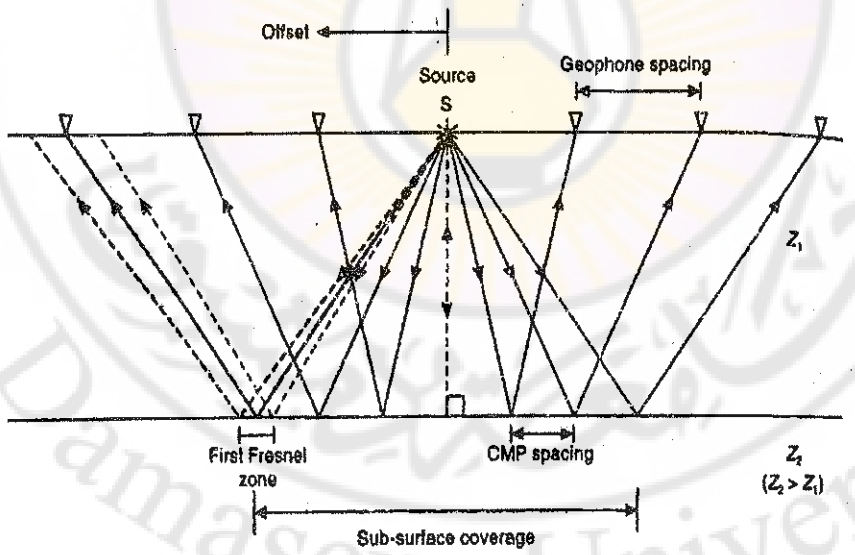
g - بروفيلات ذات تغطية مرة ونصف

الشكل (٤-٩) تمثيل أنظمة الرصد في مستو [كورفيتش١٩٧٥]

٤. ٥ . النقطة العاكسة المشتركة CDP أو النقطة الوسطى المشتركة CMP

٤. ٥ .١ . تعريف CDP و CMP

إذا كان لدينا مجموعة من اللواقط منتشرة على طول خط الخط القيـــاس؛ و بفرض وجود منبع يصدر الطاقة من نقطة تفجير معلومة S واقعة في منصف المســـافة بين مجموعات اللواقط المنتشرة على هذا البروفيل، فإن مسارات الأشعة ستكون كمـــا هو مبين بالشكل(٤-١٠). من كل نقطة ورود إلى السطح الفاصل تنعكس الأمواج إلى سطح الأرض على شكل حزمة تمثل منطقة فرينيل (Fresnl zone).نقطة الانعكاس كما هو معروف تقع في منتصف المسافة بين المنبع واللاقط.ونقاط الانعكـــاس عـــن السطح الفاصل تساوي دائماً إلى نصف تباعدات اللواقط. وهكذا فإن مجموع منطقة تغطية السطح الفاصل تساوي نصف طول مجموع اللواقط على البروفيل، والمسافة من المنبع إلى أي لاقط تعرف بالمسافة منبع – لاقط (offset)[٦].



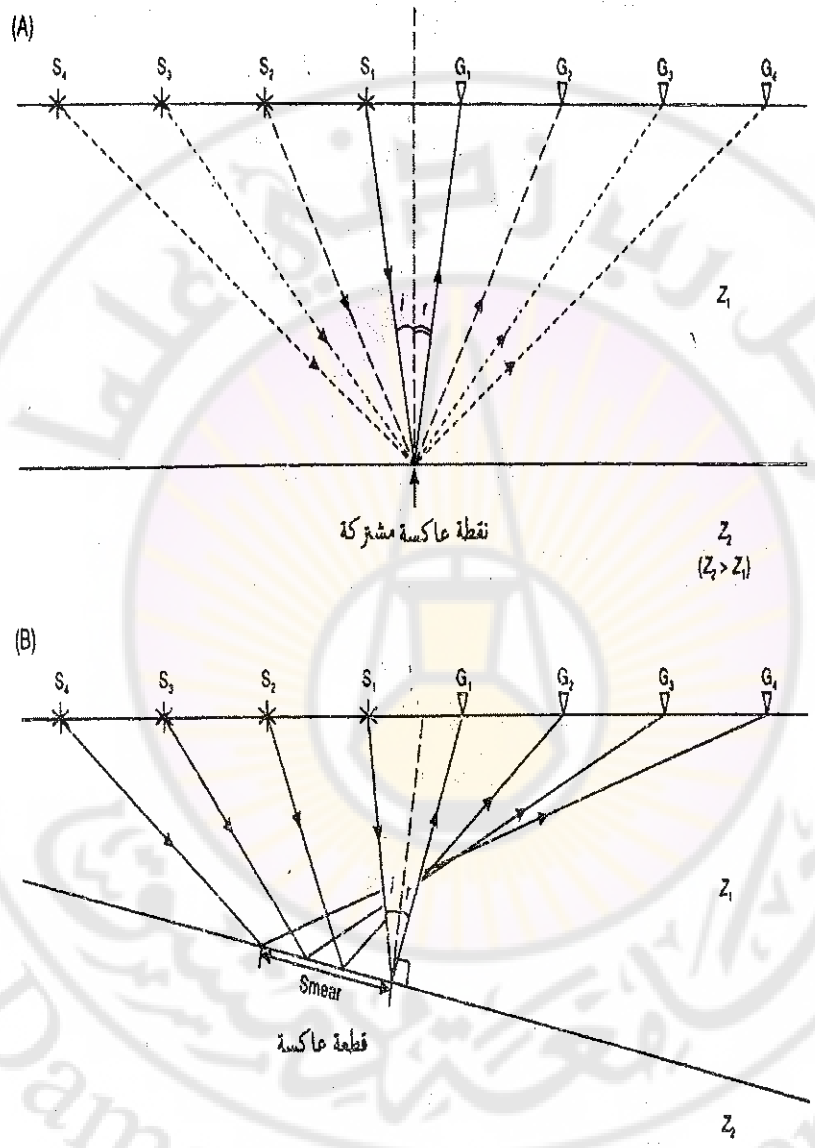
الشكل(٤-١٠)مخطط الأشعة السيسمية الواردة والمنعكسة عن سطح فاصل،لاحظ تمثيل منطقة فرينيل(First fresnel zon)
[رينولد ١٩٩٨]

وإذا استخدمنا أكثر من منبع موزعة بالتساوي على مواقع مختلفة من البروفيل، وسجلنا الآثار من كل لاقط مقابل ومناظر لكل منبع، فإننا نحصل على الانعكاس من النقطة العاكسة نفسها ولكن من اللواقط المختلفة الشكل(٤-١١). هـذه النقطـة المشتركة من الانعكاس تعرف بـ:

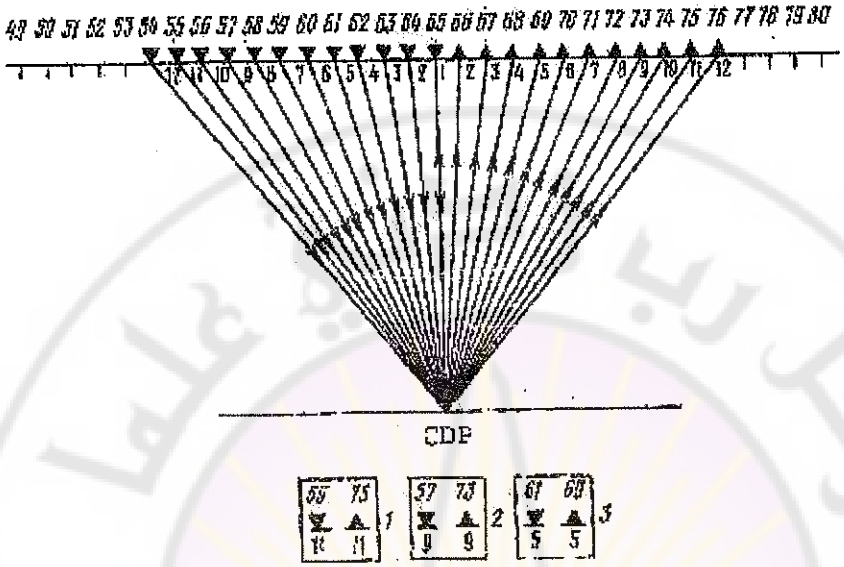
- النقطة الوسطى المشتركة (CMP common midpoint) أو
- نقطة العمق المشتركة (CDP common depth point) أو
- نقطة الانعكاس المشتركة (CRP common reflection point)

وكل هذه المصطلحات تساوي CMP ، وهذا صحيح فقط في حالة العاكس الأفقي وعدم وجود تغييرات جانبية في السرعة .أما إذا كان العاكس مـائلاً ، فـإن نقـاط الانعكاس تمتد على مسافة معينة من السطح الفاصل الشكل (٤-١١) وتشكل قطعـة عاكسة مشتركة وليست نقطة واحدة؛ ويطلق على هذه البقعة العاكسـة المشـتركة (Smear). وحسب قانون سنيل إن زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس ، ولهـذا السبب فإن نقاط الانعكاس تتحرك باتجاه الجزء الصاعد للسطح الفاصـل لتباعـدات المنبع اللاقط نفسها. لذلك ينصح باستخدام مصطلح النقطـة الوسـطى المشـتركة (CMP)[٦].

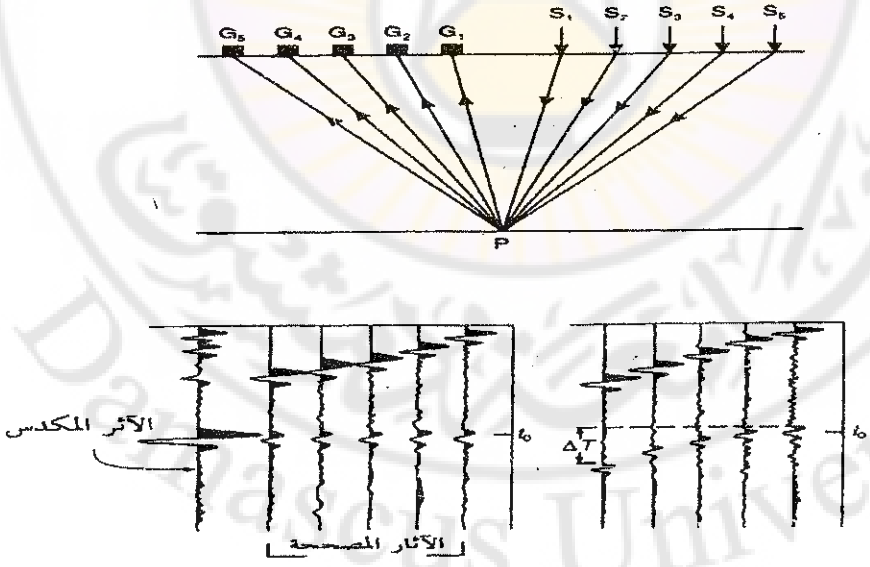
إذاً النقطة العاكسة المشتركة أو نقطة العمق المشتركة هي النقطـة العاكسـة الواقعة على السطح العاكس الأفقي، والتي وردت إليها وانعكست عنها الأمواج، من المنابع إلى اللواقط التي تبعد عن بعضها البعض مسافات متساوية عن مسـقط النقطـة على السطح المستوي والأفقي. أما النقطة الوسطى المشتركة فيمكن أن تعرف بأنهـا نقطة من السطح الفاصل زاوية الوزود فيها تساوي زاوية الانعكاس، وتقع متحركـة في الاتجاه الصاعد للجزء من السطح الفاصل.وعند التوضع الأفقي للسطح العاكس فإن النقطة الوسطى المشتركة تتطابق مع نقطة العمق المشتركة الشكل(٤-١٢)(٤-١٣).



الشكل(٤-١١) مبدأ النقطة العاكسة المشتركة A حالة العاكس الأفقي و القطعة العاكسة B حالة السطح المائل[رينولد ١٩٩٨]



الشكل(٤-١٢) مخطط تشكيل سيسموغرام النقطة العاكسة المشتركة تحت الموقع ٦٥ من خط القياس،لاحظ وجود تغطية ١٢مرة، أرقام المربعات ١، ٢ ، ٣ تشير إلى مرات التغطية ١١ ،٩ ،٥ وإلى أرقام منابع الإرسال ولواقط الاستقبال المقابلة[بكدانف١٩٨٢]



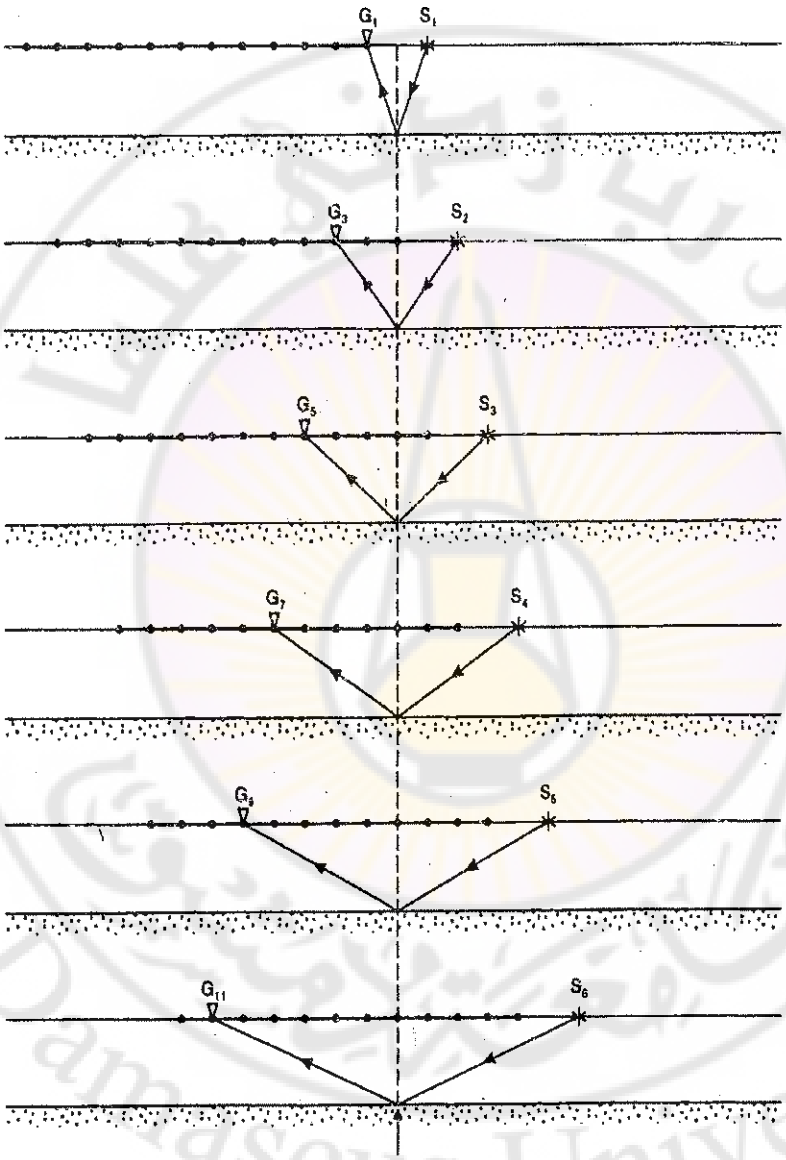
الشكل (٤-١٣) في الأعلى توزع المنابع و اللواقط التي تشكل النقطة العاكسة المشتركة وتطابق النقطة الوسطى المشتركة مع نقطة العمق المشتركة، في الأسفل تصور الآثار السيسمية الناتجة غير المصححة إلى اليمين والمصححة إلى اليسار مع الأثر المكدس[٦].

يطلق على عدد مرات الانعكاس عن النقطة العاكسة نفسها ومن أماكن مختلفة للمنابع و اللواقط التغطية المضـــاعفة أو المتكـــررة (fold &fold of coverage). وإذا حصلنا على نقطة عاكسة واحدة ولمرة واحدة ومن منبع – لاقـــط واحـــد ، في هذه الحالة نسميها : تغطية أحادية (single-fold) أو تغطيـــة ١٠٠% .أمـــا إذا حصلنا على سبيل المثال على نقطة الانعكاس نفسها ١٢ مرة من ١٢ حالـــة لمواقـــع مختلفة للمنبع – اللاقط، عندها نطلق على هذه الحالة التغطية ذات ١٢مرة(12-fold) أو تغطية ١٢٠٠% . ويمكن استخدام التغطية مـــن ٦ ،١٢ ،٢٤،٤٨، ٩٦، وحـــتى ١٠٠٠ تغطية، وذلك أثناء البحث و الكشف عن الهيدروكربونات. يـــبين الشـــكل (٤-١٤) كيفية إجراء نظام رصد ذي تغطية ٦ مرات بالتفصيل.كما يـــبين الشـــكل (٤-١٥) حالات[٧]:

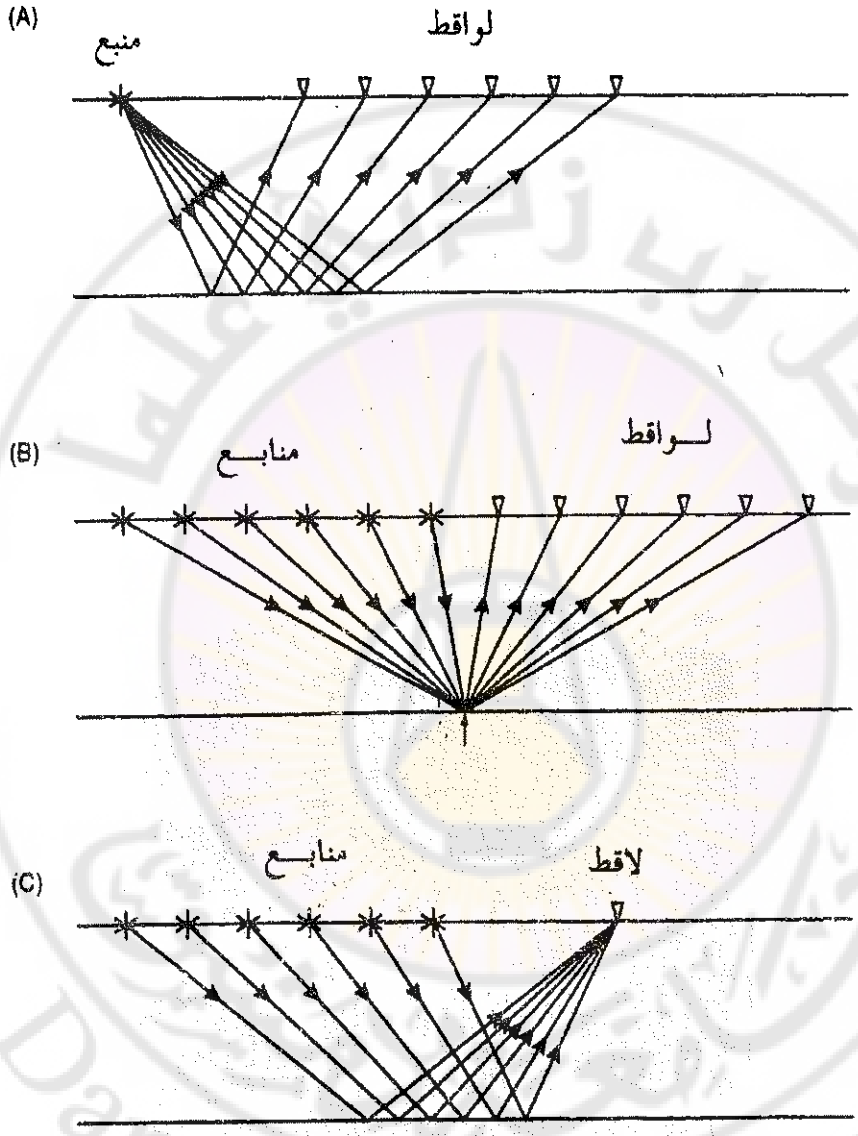
- **نقطة التفجير المشـــتركة** (common-shot gather) الشـــكل(٤-١٥- a) حيث التفجير في نقطة والالتقاط في عدة لواقط على طول البروفيل.

- **النقطة الوسطى المشتركة**(ommon midpoint gather) الشكل(٤-١٥-b) التفجير في عدة منابع والالتقاط في عدة لواقط كما ورد أعلاه.

– **نقطة الالتقاط المشتركة** (common receiver gather) الشـــكل(٤-١٥-c) التفجير في عدة منابع والالتقاط في لاقط واحد أي نقطة واحدة،ومن عـــدد مـــرات التفجير نستطيع معرفة عدد مرات التغطية، ويمكن جمع جميع الآثار الناتجة من النقطـــة الوسطى المشتركة؛ لنحصل على ما يسمى تجميع النقطة الوسطى المشتركة أو نقطـــة العمق المشتركة (common midpoint gather **CMG**) يبين الشكل(٤-١٦) أسلوب العمل بطريقة نقاط العمق المشتركة؛ والحصول على حقل موجي نـــاتج مـــن منطقة انعكاس واحدة على الرغم من تغير مواقع المنابع و اللواقط.

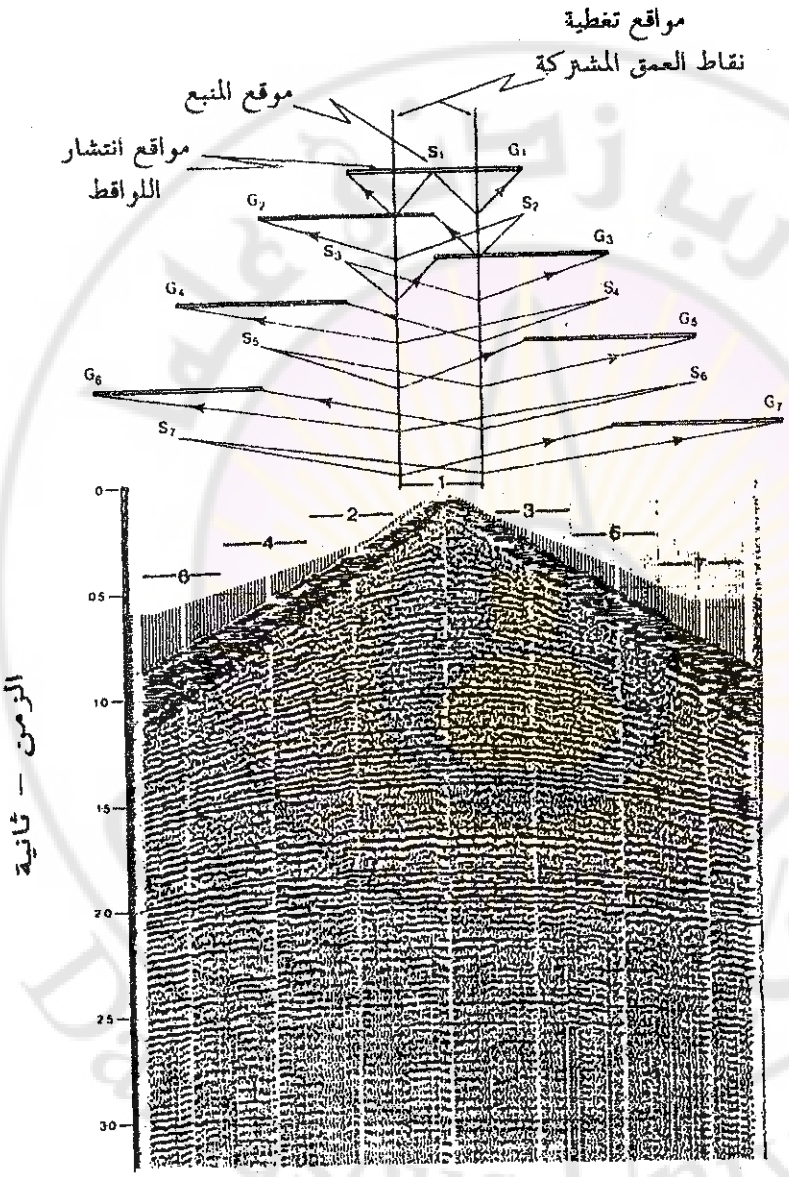


الشكل(٤-١٤) النقطة العاكسة (الوسطى) المشتركة. مخطط لنظام رصد حقلي يؤمن تغطية من الدرجة ٦ ، S- تشير للمنبع ، G- تشير للاقط[كيري وبروك ١٩٨٨]



الشكل (٤–١٥) أساليب الرصد الحقلي a التفجير المشترك b–النقطة العاكسة (الوسطى) المشتركة c– نقطة الالتقاط المشتركة

[كيري وبروك١٩٨٨].



الشكل(٤-١٦) حقل موجي مثال للحصول على نقاط العمق المشتركة [رينولد ١٩٩٨]

٤. ٥ .٢ . اختيار أنظمة الرصد بطريقة CDP أو CMP

عند إجراء الأعمال السيسمية بطريقة نقطة العمق المشتركة أو النقطة الوسطى المشتركة ،يجب استخدام نظام رصد يؤمن الانعكاسات المتعدد عن الجزء من السطح الفاصل المرصود .إن اختيار هذا النظام أو ذاك مرتبط **بالعوامل الجيولوجية – الجيوفيزيائية والعوامل الاقتصادية**. تنسب إلى **العوامل الجيولوجية – الجيوفيزيائية** الخصائص السيسموجيولوجية لمنطقة الدراسة (البنية التكونية، الظروف السطحية ، مواصفات الحقل الموجي والمسائل الجيولوجية – الجيوفيزيائية المطلوب حلها، وبارامترات ولغاريتمات معالجة المعطيات المتوفرة).

الوضع التكتوني يحدد اختيار نظام الرصد إما خطي أو مساحي. على سبيل المثال عند وجود حالة تكتونية ناتجة عن قبة ملحية، فهذا يتطلب نوعاً خاصاً من نظام الرصد ويكون مساحياً غالباً .

وتشمل **الظروف السطحية** عدة عوامل منها ١- الوضع الطبوغرافي ، ٢-وجود المصانع والمعامل والمزارع وتأثيرها على كيفية نشر وهندسية خطوط العمل السيسمية ونوعية التسجيل السيسمي،٣- إمكانية استخدام المنابع التفجيرية في الآبار أو استخدام المنابع غير التفجيرية السطحية مثل الرجاج أو الدينوسوز وغيرها، ٤- سماكة الطبقة القليلة السرعة LVL ، ٥- مواصفات الطبقة القليلة السرعة وكيفية انتشار وسرعة انتشار الأمواج فيها.كل عامل من هذه العوامل مفردة أو مجتمعة تؤثر على نظام الرصد وكيفية اختياره؛على سبيل المثال وجود مصنع أو أي عائق أمام الانتشار المستقيم لخطوط الرصد، إن أي تغير من اتجاه الخط القياس تؤدي إلى انحراف خط الرصد في تلك المنطقة؛ مما يؤدي إلى تغير بعض العوامل في نظام الرصد ولحل مثل هذه المسألة، ربما يتم الرصد على طول خط منحني مثلا،واستخدام أنواع معينة من المنابع تناسب الوضع الراهن واستبدال المنبع التفجيري بمنبع غير تفجيري.

إن طبيعة **الطبقة قليلة السرعة** LVL يتطلب حساب تأثيرها الدقيق، والذي يمكن أن تكون سبباً في زيادة عدد مرات التغطية، أو تغير طول مسافة الرصد، وبالتالي تؤثر وتدخل في تغير مواصفات وشروط المنبع.

أما **خصائص الحقل الموجي** (مثل وجود أمواج شغب نظامية، تركيب الطيف، ،السرعة الظاهرية، نسبة الإشارة المفيدة إلى الضجيج على طول خط القياس وعلى طول المقطع العمقي)، والتقييم الكمي لتلك المواصفات تحدد درجة التغطية وطول مسافة الرصد والمسافة بين اللواقط.

ولكل **حالة خاصيتها** حيث يجب حساب كل العوامل الجيوفيزيائية مجتمعة لاتخاذ القرار الصحيح عند تحديد عوامل أنظمة الرصد المطلوبة.

أما **العوامل الاقتصادية** يفهم منها الكلفة المادية والمصاريف التي تنفق على الأعمال الحقلية . وكلما زاد تعقيد أنظمة الرصد ومتطلباتها زادت الكلفة المادية المصروفة عليها، ولتقليل الكلفة المادية يمكن استخدام أنظمة رصد بسيطة ونموذجية، وتجهيز كل المتطلبات لإجراء الرصد، مثل المحطة السيسمية متعددة القنالات متوفرة حاليا، واختيار العوامل الأسهل والتي تحقق الشروط المطلوبة، واختيار المنابع الاقتصادية الأسهل.

يمكن اختيار أنظمة الرصد الطولية وغير الطولية، ويمكن أن تكون على خطوط مستقيمة أو منكسرة(متعرجة) ، حيث يعد كل خط منكسر بحد ذاته خط قياس طولي. والمسافة بين نقاط المنابع $\Delta \ell$ عادة يتم اختيارها أضعاف المسافة بين اللواقط، أو المسافة بين مركز مجموعات اللواقط Δx . لذلك يمكن تحديد العدد n ولأي نظام تغطية[٨].

$$\Delta \ell = \frac{s \Delta x}{2 n}$$

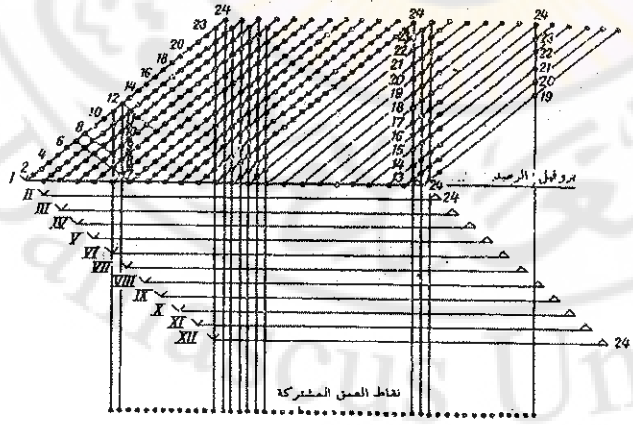
S– عدد قنالات المحطة السيزمية.

المسافة بين المنابع $\Delta\ell$ يمكن أن تكون ثابتة على طول خط القياس، ومن مضاعفات مرات التغطية n ويمكن أن تتغير قيمتها.

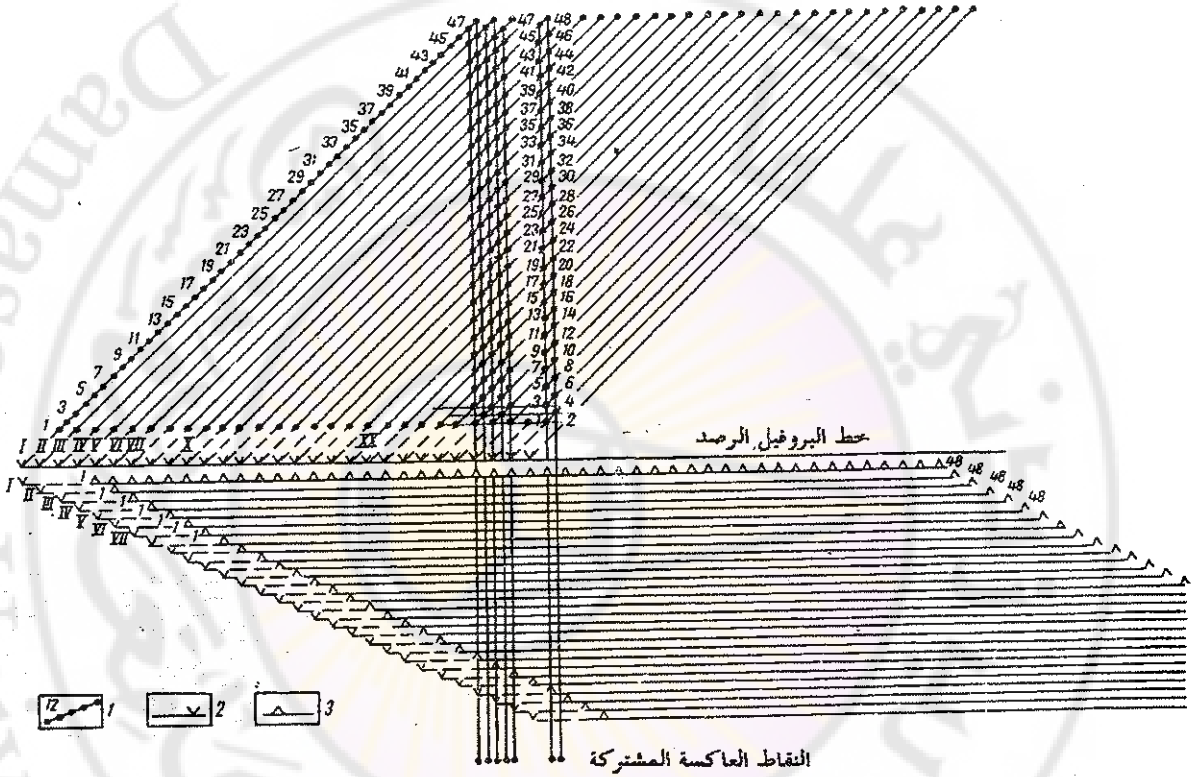
لننظر إلى نظام رصد نموذجي يعتمد على استخدام محطة سيزمية ذات ٢٤ قنالاً، عندها يمكن الحصول على نظام رصد ذي تغطية ١٢مرة؛ الشكل(٤-١٧)باستخدام نظام رصد جانبي دون إزاحة، وللحصول على تغطية ٢٤ مرة لابد من محطة سيسمية ذات ٤٨ قنالاً على الأقل. يبين الشكل (٤-١٨) نظام رصد ذا تغطية برتبة ٢٤مرة، وباستخدام نظام الرصد الجناحي أو الجانبي مع إزاحة، حيث تمت الإزاحة باستخدام فاصل منبعي واحد. ويبين الشكل (٤-١٩) نظام رصد جانبي ذا تغطية ١٢ مرة مع إزاحة، ويبين الشكل(٤-٢٠) نظام رصد مركزياً ذا تغطية ١٢ مرة دون إزاحة.

وإن السيسموغرامات CDP ناتجة عن تسجيل الانعكاس ذي التغطية الأحادية المستمرة من النقاط العاكسة المشتركة، ولتغطية من الدرجة n بنظام رصد ما ، يجب أن يتألف من n سيسموغرام على طول البروفيل.

يمكن تمثيل أنظمة الرصد على مستو كما في الأشكال الواردة أعلاه، ويمكن رفد الشكل بالجدول المطابق، والذي يبين النقاط العاكسة المشتركة بالتتالي من خلال إجراء الرصد، ويبين أرقام البروفيلات وعددها الشكل(٤-٢١).

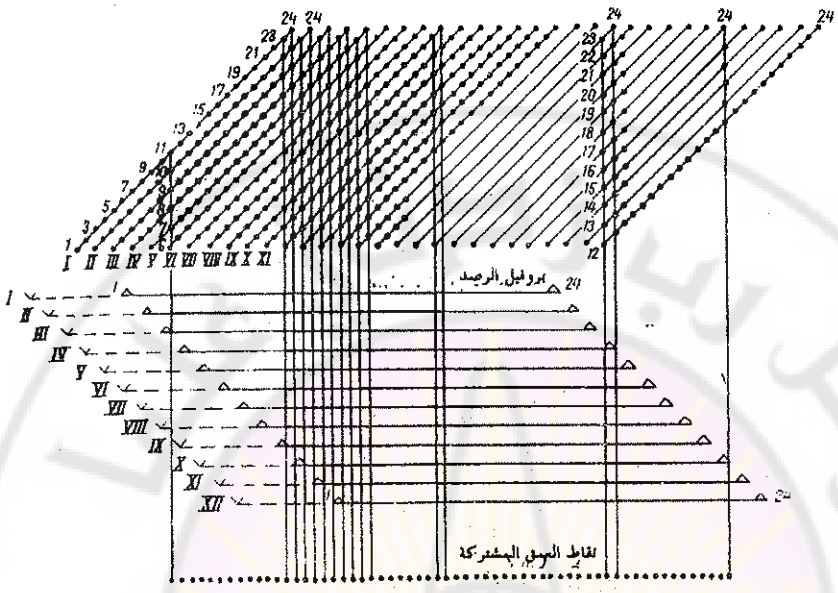


الشكل(٤-١٧) نظام رصد جانبي دون إزاحة، ذو تغطية ١٢ مرة[ميشي ١٩٨٥].

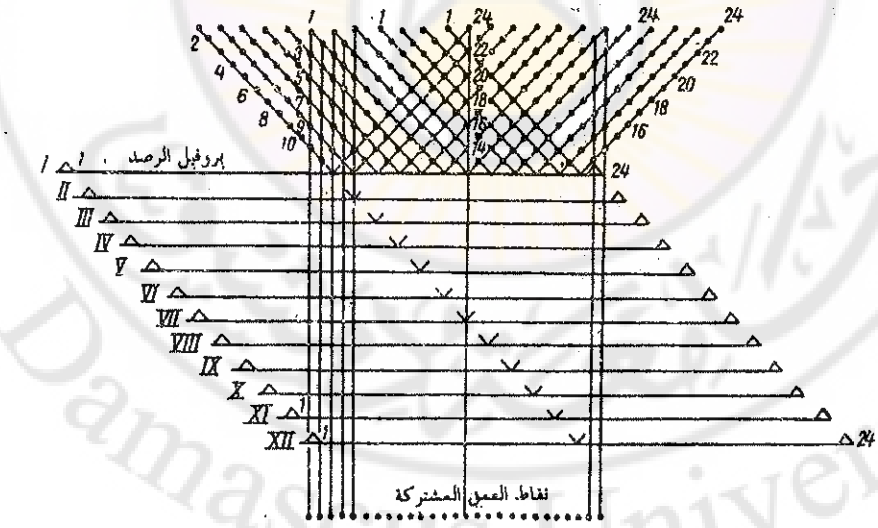


الشكل (4 -18) نظام رصد ذات تغطية 24 مرة

1- تمثيل نقاط منحني المسافة الزمن على مستوي التمثيل , 2 - نقاط التفجير أو المنابع ,3 - نقاط اللتقاط



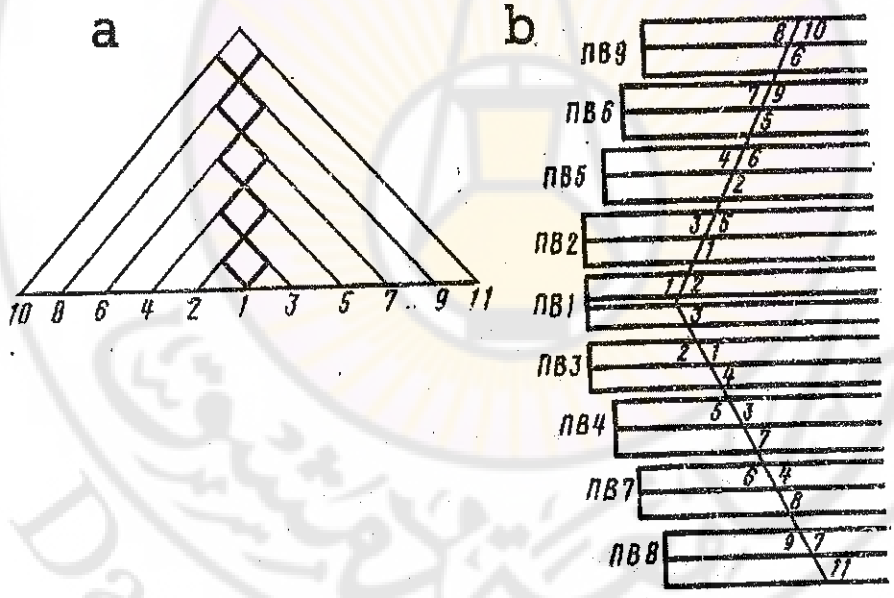
الشكل(٤-١٩) نظام رصد جانبي مع إزاحة ، ذو تغطية ١٢ مرة[ميشبي ١٩٨٥].



الشكل(٤-٢٠) نظام رصد مركزي، ذو تغطية ١٢ مرة[ميشبي ١٩٨٥]..

الشكل(٤-٢١) جدول يمثل نقاط المنابع و النقاط العاكسة المشتركة الناتجة[ميشيي ١٩٨٥]

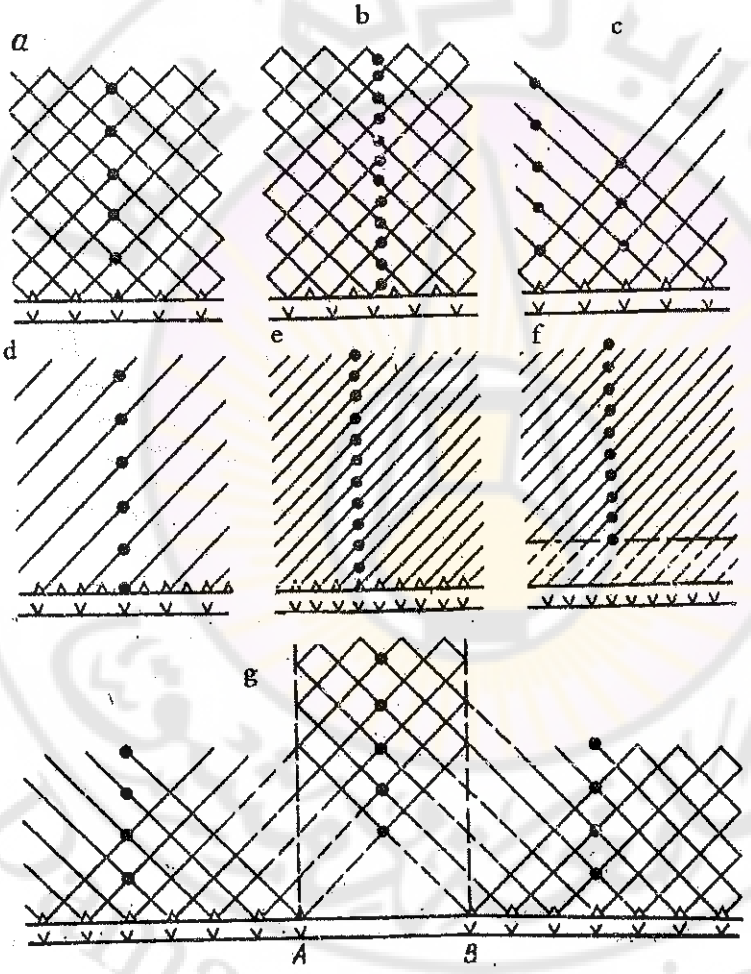
سنعرض بعض نماذج أنظمة الرصد بطريقة CDP، حيث تعد هذه الطريقة عنصر أساس من عناصر خطوط القياس ذات التغطية المتكررة. إن علاقة توضع نقاط التفجير ونقاط الرصد يتم اختيارها بحيث تُسجل الأمواج المنعكسة عن الجزء العاكس نفسه من السطح المدروس الشكل(٤ – ٢٢–a). عندها يطبق السيسموغرام الناتج كما في الشكل (٤–٢٢ – b). والشكل (٤–٢٣) يوضح بعض أنظمة الرصد الأكثر شيوعا مثال النظام المركزي يبينه الشكل(٤–٢٣– a و b)،ونظام الرصد مع تغير نقاط التفجير ضمن حدود قاعدة الرصد الشكل(٤–٢٣– c)،النظام الجناحي بدون إزاحة الشكل(٤–٢٣– dو e)،النظام الجناحي مع إزاحة نقاط التفجير الشكل(٤–٢٣–f)، نظام جناحي مزدوج متقابل بدون إزاحة ومع إزاحة نقاط التفجير الشكل(٤–٢٣–g)



الشكل(٤–٢٢) a– نظام الرصد بطريقة CDP ، b– ترتيب السيسموغرامات[تموكونف ١٩٩٠].

مخططات الجمع مهمة لإجراء التصحيحات الساكنة والديناميكية (NMO) ولمراقبة صحة جمع الآثار الناتجة. كل إشارة X على مخطط الجمع في الشكل(٤–٤٣–b) تمثل

تسجيلاً لأثر سيسمي كتابع للزمن.يمكن اختبار المعلومات في اتجاهات مختلفة، كما هو مشار إليه بخطوط متقطعة وهذا مفيد لدراسة الضـــجيج، كالاضـــطرابات القـــرب السطحية العشوائية، أمواج الأشباح، الأمواج المتكررة، والأمواج المتحولة.



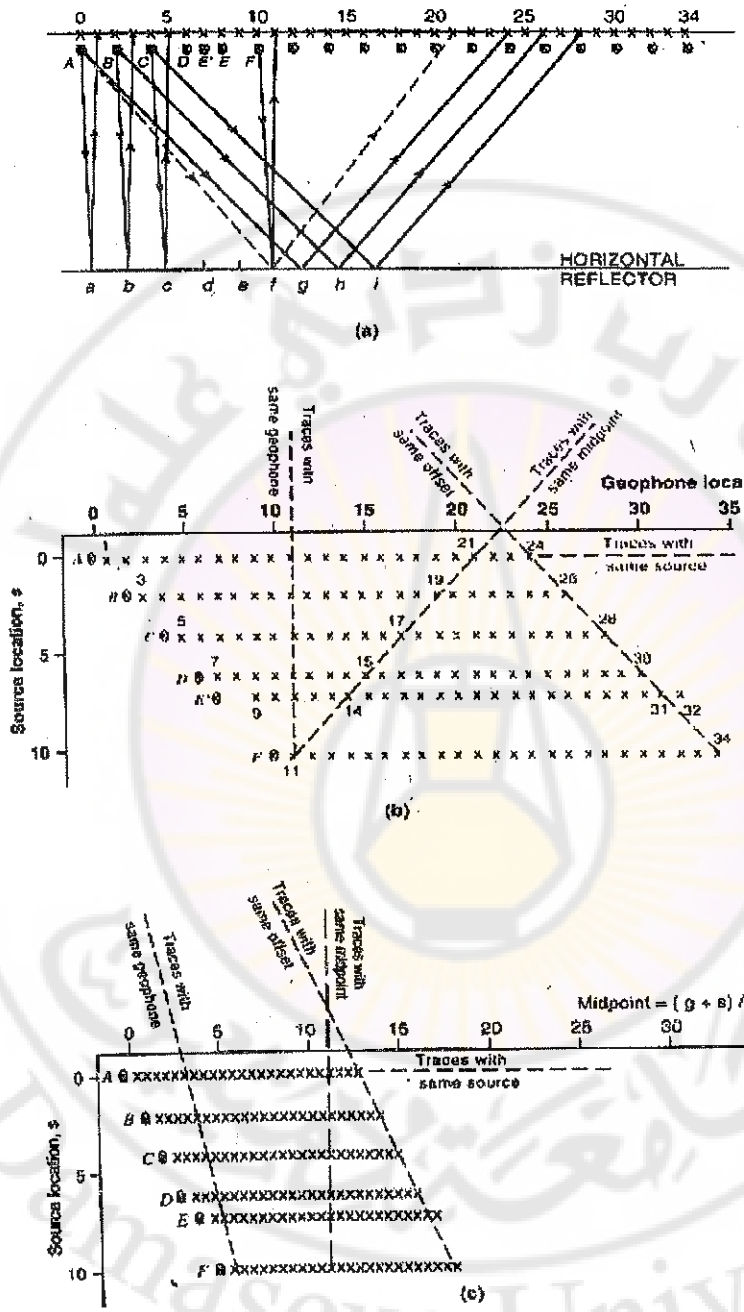
الشكل(٤- ٢٣) نماذج أنظمة الرصد بطريقة CDP[غوكونف ١٩٩٠].

المخطط التفصيلي للتسجيل بطريقة CMP يمثله الشكل(٤-٢٤) حيث يمثل الشكل (٤-٢٤ – a) توزع مجموعات اللواقط بالتساوي ، مرقمة بالتتالي على طول البروفيل، وليس برقم الأثر الذي سيتطابق معها على التسجيل السيسمي. مجموعات اللواقط من ١ حتى ٢٤ موصولة إلى مداخل المضخم للمحطة السيسمية واستخدام المنبع في النقطة A. بفرض أن السطح العاكس أفقي، فهذا يؤمن تغطية تحت سطحية من a حتى g. وبعدها يتم وصل خرج مجموعات اللواقط من ٣ حتى ٢٦ إلى مداخل المضخم، وهذا الانتقال(الازاحة) يتم بمساعدة مفاتيح القنالات؛ وليس الإزاحة الفيزيائية للكبل السيسمي واللواقط. عندها يستخدم المنبع B والذي يؤمن تغطية تحت سطحية من b إلى h. المنبع C يستخدم الآن لتسجيل مجموعات اللواقط من ٥ حتى ٢٨، والتي تؤمن تغطية تحت السطحية من c حتى i وهكذا على طول البروفيل السيزمي. لاحظ أن نقطة الانعكاس f هي الناتجة عن طاقة المنبع من النقطة A إلى مجموعة اللواقط ٢١، وهي أيضا نقطة الانعكاس للطاقة الصادرة من B إلى مجموعة اللواقط ١٩، وأيضا من C إلى المجموعة ١٧، ومن D إلى المجموعة ١٥، ومن E إلى المجموعة ١٣، ومن F إلى المجموعة ١١، بعد حساب تصحيحات التباعد الأفقي الطبيعي (NMO) في أثناء عملية معالجة المعطيات، فإن هذه الآثار الستة تجمع مع بعضها البعض (تكدس). في هذه الحالة النقطة f تسجل ست مرات، وهذا يسمى سداسي التغطية، ويرمز لها أحيانا ٦٠٠ %. من الواضح أن درجة التغطية تقل عند أطراف خطوط القياس. وفي أغلب التسجيلات الحديثة تستخدم تغطية ١٢ مرة على الأقل، كما أن درجات التغطية الشائعة هي ٢٤ و٤٨ مرة، والآن تزيد عن ٥٠٠ مرة. لتميز المواقع التي تم منها الحصول على آثار سيسمية من منابع معينة، عند جمع المعطيات بطريقة CMP، يتم استخدام مخططات الجمع[١٥].

يحتوي مخطط الجمع السطحي الشكل أعلاه على مواقع اللـواقط g كأحـد الإحداثيات، ومواقع المنابع s كالإحداثي الآخر ، حيث تضم كل منها رقم اللاقط g ورقم المنبع المقابل له s أي (g , s). وتعديل هذا المخطط يظهر المخطط العمقـي للجمع، حيث الأثر يطابق النقطة [(g+s)/2, s] الشكل(٤-٢٤-c).

يحدث أحيانا خلل في بعض توزيع نقاط التفجير المتساوية، حيث إنها لا تقـع في مكان المنبع نفسه المقرر لها، وذلك بسبب بعض الخطورة التي قد تصـيب البنيـة المجاورة على سبيل المثال، وبالتالي يتم اللجوء إلى تباعدات غير منتظمـة للمنـابع أو مجموعات اللواقط. على سبيل المثال إذا كانت النقطة E غير مناسبة لانتشار المنبـع، يمكن إزاحة المنبع إلى النقطة `E، عندها تنعكس الطاقة مـن النقطـة f، وتسـجلها مجموعة اللواقط ١٤ بدلا من ١٣. الشكل(٤-٢٤- b).

كما يبين مخطط الجمع السطحي، استخدام النقطة `E بمكـان النقطـة E ، لاحظ كذلك أن الآثار الستة التي تُميز النقطة f الوسطى المشتركة تمتد على طول خط قطري،و النقاط الواقعة على طول الخط القطري الآخر أو المقابل تصف أثر التباعـد المشترك، والنقاط على طول الخط الأفقي والتي لها المنابع نفسها تسمى نقاط التفجير المشترك،والنقاط على طول الخط العمودي، تسمى نقاط الالتقاط المشتركة.



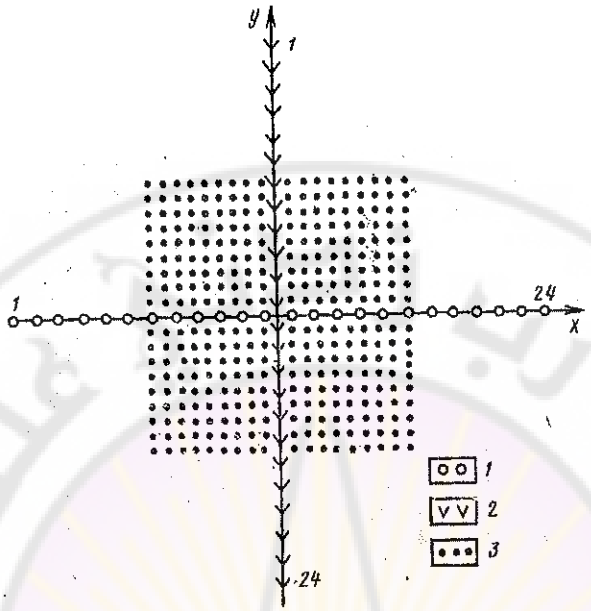
الشكل(٤-٢٤) النقطة الوسطى المشتركة CMP ، (a)- مقطع عمودي يمثل تسجيل CMP ،(b)- خريطة التكديس السطحية ،(C)- خريطة التكديس العمقية. O - رمز المنبع، X- رمز اللواقط[شريف وكلدارت ١٩٩٥].

٤. ٦ . ١ الرصد المساحي

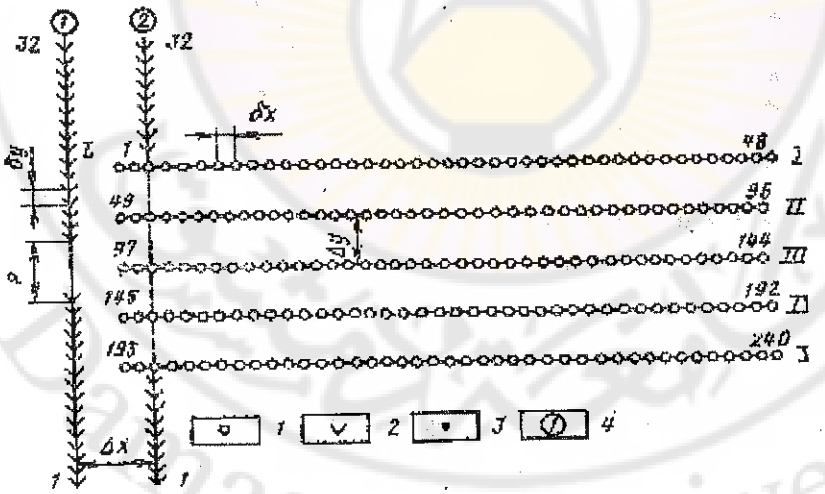
في المناطق ذات البنية السيسموجيولوجية العميقة و المعقـــدة (مثـــال ذلـــك، السطوح العاكسة المقعرة المائلة وغير المتوافقة) يجب التعامل مع مواصـــفات الحقـــل الموجي بالشكل ثلاثي الأبعاد، وذلك لحل المسألة المطروحة. وإذا لم تؤخذ بالحســـبان خصائص الحقل الموجي ثلاثي الأبعاد في تلك المناطق، فإنه يمكن الوقـــوع في أخطـــاء جسيمة وجدية عند معالجة وتفسير المعطيات.

نظام الرصد المساحي مبني على أساس القواعد المتصالبة أو المسافات المتقاطعة، إذا كانت خطوة المنابع δy و اللواقط δx متساوية، والإشارات المتولدة عـــن كـــل المنابع، تستقبلها كل اللواقط، بالنتيجة يتشكل حقل من ٥٧٦ = (٢٤X٢٤)نقطة متوسطة، كما في الشكل(٤-٢٥) . إذا أزحنا قاعدة اللواقط بشكل متتابع وتقاطعت مع خط المنابع على طول المحور x وبخطوة δx مع تكرار التســـجيل لكـــل مـــرة، فالنتيجة تُحقق شريط تغطية ذا ١٢ تكراراً، عرضه يساوي نصـــف قاعـــدة المنـــابع. وبمتابعة إزاحة قاعدة المنابع و اللواقط على طول المحور y وبخطوة δy نحقق تغطيـــة إضافية بمقدار ١٢ مرة، وتصبح التغطية الكلية ١٤٤. عمليا تطبيق الأنظمـــة الأكثـــر اقتصادية والأكثر تقنية، على سبيل المثال ١٦ تكراراً كما في الشكل(٤-٢٦).لتحقيق ذلك يُستخدم ٢٤٠ قنال تسجيل و ٣٢ نقطة تفجير. يبين الشكل (٤-٢٦)تثبيـــت مواقع المنابع و اللواقط والتي تسمى بلوك أو مجموعة أو وحدة. بعد استقبال الإشـــارة من كل ألـ ٣٢ منبعاً، تنقل المجموعة بخطوة δx، ويعاد التسجيل مـــرة ثانيـــة مـــن ألـــ٣٢ منبعاً وهكذا. بهذه الحالة يتم العمل على طول المحور x من البداية حتى نهايـــة مساحة الدراسة[٩].

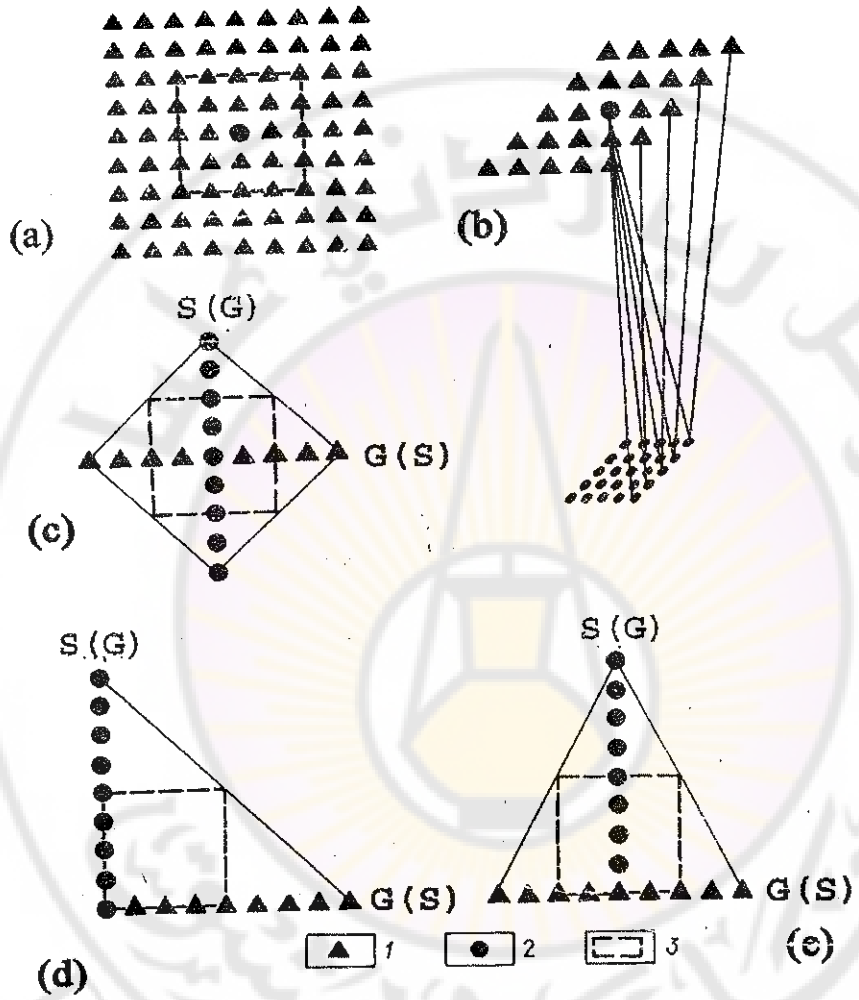
بعض الأشكال العامة لأنظمة الرصد المساحية يبينها الشكل(٤-٢٧).



الشكل(٤-٢٥) نظام الرصد المساحي بأسلوب التقاطع أو التصالب ١- اللـواقط أو مركـز مجموعـات اللـواقط ٢- المنـابع ٣ - النقاط المتوسطة لكل زوج من منبع – لاقط [غوكونف ١٩٩٠].



الشكل(٤-٢٦) نظام رصد مساحي ذو ١٦ تغطية بطريقة التصالب ، ١و٢ – نقاط اللواقط والمنابع، ٤- أرقام البروفيلات [غوكونف ١٩٩٠].



الشكل(٤-٢٧) أنظمة الرصد المساحية

a- منبع (لاقط) وحيد b- الشكل الهندسي الفراغي لنقاط الانعكاس c- نظام رصد متصالب d- نظام رصد على شكل حرف L ، e- نظام رصد على شكل حرف T ، 1- يمثل اللاقط G 2- يمثل المنبع S ، 3- يمثل مساحة السطح المدروس[بوتابف ١٩٨٩].

الفصـــل الخامـــس

أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانكسارية

٥ . ١ . مقدمة

٥ . ٢ . أنظمة الرصد الأساسية

٥ . ٣ . اختيار أنظمة الرصد في الطرائق الانكسارية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أنظمة الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانكسارية

١.٥ . مقدمة

قبل البدء بشرح أنظمة الرصد لابد من الإشارة إلى بعض الأفكار الأساسية التي تميز طرائق المسح الانكساري، مثل مجال الترددات المستخدمة في المسح الانكساري وظاهرة التداخل و التخامد، وشكل المنحنيات الناتجة؛ والتي تميز عملياً طرائق المسح الانكساري عن طرائق المسح الانعكاسي.

يتم تسجيل الأمواج الانكسارية ضمن **الترددات** ٣٠-٤٠ هرتزاً على مسافة ٨-١٠ كم من منبع ذات طاقة كبيرة(تفجيري غالباً)، وتقل ترددات تسجيل الأمواج الاهتزازية على مسافة تزيد عن ١٠ – ١٥ كم، ولهذا سببان، **الأول** يجب تنفيذ التفجير بكمية كبيرة عند العمل على مسافات كبيرة عن المنبع، عندها تزيد شدة الاهتزازات ذات الترددات المنخفضة مباشرة، وكذلك تزيد الترددات العالية ولكن بدرجة ليست كافية لتعوض عن انخفاض الطاقة مع المسافة . **الثاني** يبدأ الامتصاص الكبير للترددات العالية على مسافات كبيرة مقارنةً بالترددات المنخفضة.

أما بخصوص تغير **شكل الأمواج** الانكسارية مع المسافة، فيُرصد عادةً بشكل عام نقصان كبير في سعة الوصول الأولي مع المسافة، وكذلك نقصان في حدة الوصول الأولي (ظهور نبضة الوصول الأولي ليست على جميع اللواقط).

وضمن مفهوم **تداخل الأمواج السيسمية الانكسارية** نعني الظواهر التي تحصل من نتيجة تراكب موجتين أو أكثر من الأمواج السيسمية؛ والتي تؤدي إلى تشوه شكل وسعة جمع الأمواج و السرعة الزاوية الشكل(٣-٣). إن ظروف التداخل الفيزيائية في الدراسات السيسمية كثيرة جداً وترتبط بعوامل كثيرة، ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين : المجموعة الأولى تنسب إلى العوامل التي ترتبط بشكل منحني المسافة – الزمن للأمواج المتداخلة على سبيل المثال، وضع نقاط تقاطع المنحنيات والفاصل الزمني

الأصغري بين منحنيين متجاورين. أما المجموعة الثانية فتنسب إلى بعض الخواص الفيزيائية للأمواج كدور الأمواج وطول الاهتزازة لكل موجة و نسبة شدة الأمواج، وبتغير هذه النسبة مع المسافة أثناء وجود ظواهر التداخل؛ فإنها تؤدي إلى ضياع ترابط الطور لتلك أو لكلا الأمواج المتداخلة، أو حتى تؤدي إلى عدم إمكانية فرز الأمواج قبل وبعد منطقة التداخل.

في طرائق الأمواج الانكسارية لا مكان يذكر للأمواج الصوتية و السطحية. إن تداخل الأمواج الانكسارية مع بعضها البعض يمثلها تقاطع المنحنيات الناتجة حتى في الحالات البسيطة لتراكب الوسط. إن عدد نقاط التقاطع بشكل عام تزيد عن عدد السطوح الكاسرة. وهذه الحالة تصادف كثيراً.

٥. ٢ . أنظمة الرصد الأساسية

تختلف طرائق الرصد الحقلية في الأعمال السيسمية الانكسارية بشكل كبير عن طرائق الرصد الحقلية في المسح الانعكاسي. حيث تستخدم في المسح الانعكاسي بشكل أساس البروفيلات الطولية ،كذلك في المسح الانكساري تستخدم البروفيلات الطولية إلى جانب البروفيلات غير الطولية .

وتأتي صعوبة المسح الانكساري مقارنةً بالمسح الانعكاسي؛ لأن الأمواج الانكسارية لا يمكن رصدها بالقرب من المنبع الموجي، بل تبدأ بعد مسافة معينة منه. عدا عن ذلك نحتاج من أجل رسم السطح الفصل الكاسر إلى وجود نقطتي تفجير على الأقل في نظام الرصد،ش لذلك لا تستخدم في المسح الانكساري أنظمة الرصد البسيطة المستخدمة في المسح الانعكاسي[II].

هناك أنواع مختلفة للمسح في الطرائق الانكسارية؛ كما في الطرائق الانعكاسية منها: ١ – المسح وفق خط طولي ٢ – المسح بشكل مساحي

يتم اختيار الشكل النهائي لنظام الرصد بناءً على نتائج الأعمال الأولية المبدئية، والتي تعطي المعلومات الأساسية عن السطوح الكاسرة في المنطقة المدروسة نذكر منها: العمق التقريبي وقيمة السرعة الحدية ومنطقة ظهور الأمواج الانكسارية. ومن خلال تلك الأعمال الأولية تُحل أيضاً المسألة التكنولوجية والمرتبطة بشكل أساس بشروط المنبع الموجي، وبشكل أقل بظروف وضع اللواقط على البروفيل.

٥. ٢. ١ . بروفيلات القياس الانكسارية

البروفيلات الطولية : في طرائق المسح الانكسارية البروفيلات الطولية تطلق على أنظمة الرصد التي تتوضع فيها اللواقط ونقاط التفجير على خط واحد مستقيم، كما في الشكل (٥-١) .وهذا الشكل أو النموذج يعد أساساً، حيث يمكن انطلاقاً منه تحديد العمق وشكل السطح الكاسر وقيمة السرعة الحدية.

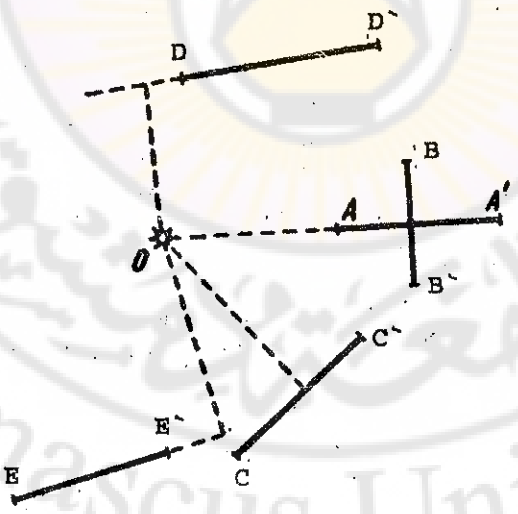
الشكل (٥-١) بروفيل طولي O1 ، O2 ،O3 – نقاط المنبع

خطوط القياس غير الطولية : تطلق على أنظمة الرصد التي تكون فيها نقاط التفجير وخط توضع اللواقط ليس على استقامة واحدة ، وبشكل عام والأكثر انتشاراً من هذه الخطوط هي **خطوط القياس العرضية**. **خطوط القياس** غير الطولية تدعى **عرضية** إذا كان الخط العمودي الواصل بين المنبع وخط توضع اللواقط واقعاً على خط اللواقط نفسه؛ وليس على امتداده كما في الشكل(٥-٢) حيث تمثل `CC و `BB خطوط قياس عرضية.

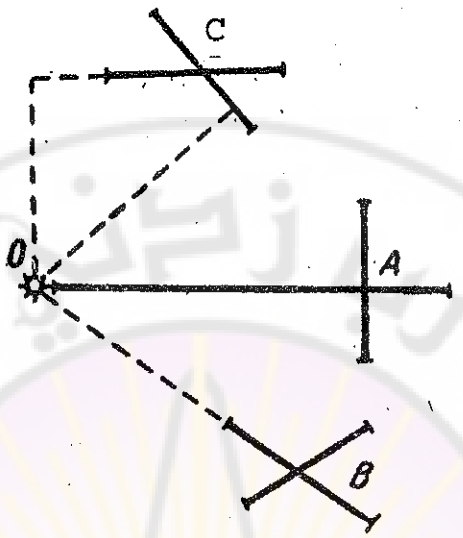
خطوط القياس غير الطولية و المتوضعة بعيداً بشكل متعامد على امتداد خط القياس؛ أو اللواقط يسمى أحياناً **جانبي** `DD و `EE ما في الشكل(٥-٢). هذه التسميات تبقى شرطية وفرضية في بعض الحالات.

البروفيلات غير الطولية هي إحدى أنظمة الرصد التي تعطي إمكانية تحديد الأعماق النسبية فقط للسطوح الكاسرة وشكلها. ولكن عندما يكون الرصد بالبروفيلات غير الطولية مرتبطاً بالبروفيلات الطولية؛ عندها يمكن تحديد الأعماق بشكل دقيق للسطوح الكاسرة. كما أن البروفيلات غير الطولية هي العنصر الأساس للرصد المساحي، ولكن لحل بعض المسائل البنيوية والهيكلية مثل متابعة محور الفالق وتحديد الجزء الصاعد منه أو الهابط مثلاً أو معرفة السطوح شديدة الانحدار، عندها يمكن استخدام البروفيلات غير الطولية (العرضية) والتي تحل مثل هذه المسائل بسرعة.

مزيج خطوط القياس الطولية وغير الطولية يحدد انتشار توضع السطوح الكاسرة حيث تستخدم **خطوط القياس المتصالبة** كما في الشكل (٥-٣) A - خطوط القياس طولي و خطوط القياس عرضي، C - خطي قياس غير طوليين (خطوط القياس عرضي وآخر جانبي) ، B- خطوط القياس غير طولي تحديداً جانبي وخطوط القياس طولي.



الشكل(٥-٢) خطوط القياس غير الطولية `AA- خط قياس طولي ، `BB و`CC – خطوط قياس عرضية، `DD و `EE – خطوط قياس غير طولية (جانبية).



الشكل(٥-٣) خطوط القياس المتقاطعة A- خطوط قياس طولية وعرضية B - خطوط قياس طولية وجانبية C - خطوط قياس غير طولية (جانبية وعرضية).

٥. ٣. اختيار أنظمة الرصد في الطرائق الانكسارية

٥. ٣. ١. نظام الرصد المستمر

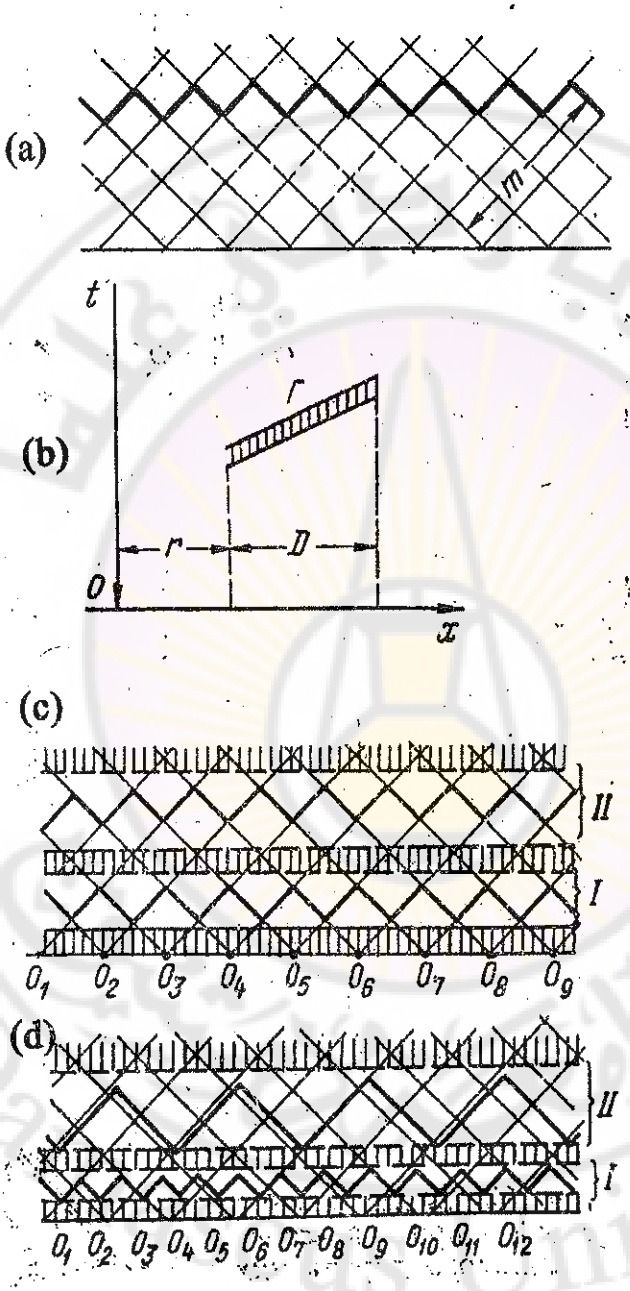
في الطرائق السيسمية الانكسارية تستخدم غالباً أنظمة الرصد المستمرة على طول خط القياس، والتي تؤمن متابعة مستمرة وترابطاً مستمراً للأمواج الانكسارية الأساسية. تقع دائماً منطقة رصد الأمواج الانكسارية على مسافة كبيرة عن المنبع ،لأنه لا يمكن رصد الأمواج الانكسارية بالقرب من المنبع ،لذلك في الطرائق الانكسارية غالباً ما يتم اختيار أنظمة الرصد على طول خطوط القياس؛ بترك فاصل مقداره ١ ، ٢ ، ....m الشكل(٥-٤-a). ومن المناسب اختيار جزء الرصد للأمواج في منطقة الوصولات الأولية. وللاختيار الصحيح لأجزاء الرصد يمكن رسم المنحنيات النظرية على أساس النموذج التجريبي والخبرة في الأعمال الحقلية.وإن تحليل الحقل الموجي يسمح بوضع مناطق وأجزاء الوصولات الأولية،وكذلك مناطق

التداخل لمختلف الأمواج.

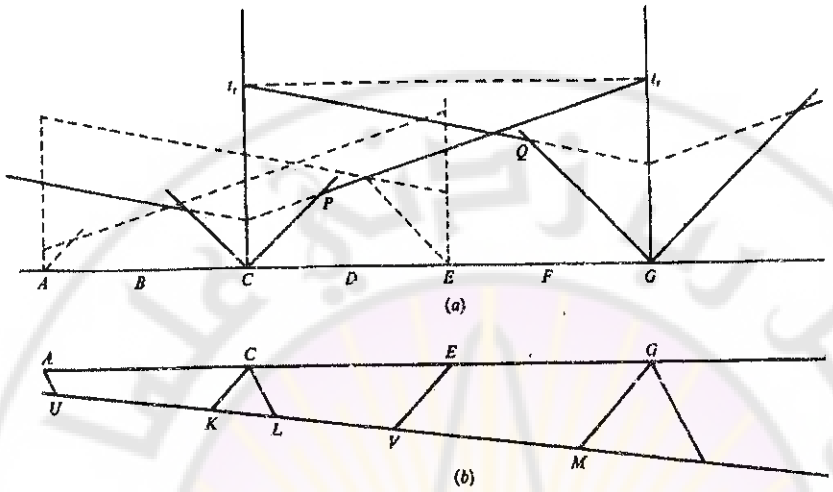
عدد المسافات التي يجب تركها فارغة يمكن اختياره ΔL ،بفرض أن R هي المسافة التي لا تظهر فيها الأمواج الانكسارية اعتباراً من المنبع ،و D هي طول الجـزء المرصود كما في الشكل(٥-٤-b) أي ظهور الأمواج الانكسارية في هذا الجزء،فـإن طول الفاصل المنبعي ΔL يجب أن يحدده الشرط التالي[٣]:

$$R < \Delta L < \frac{R+D}{2}$$

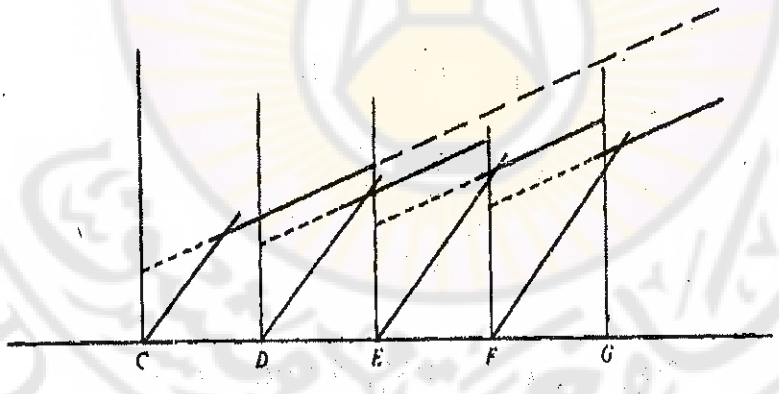
إذا كان D>R عندها يمكن إجراء نظام رصد مستمر يترك فاصلاً واحداً .أما إذا كان D<R يتم اعتماد أقل قيمة للعدد الكامل m (الكسور تجبر للقيمـة الأعلـى) الـتي تربطها العلاقة غير المتساوية التالية : $m > \frac{R}{D}$. مثال ذلك إذا كان r =1.9 km و D =1.1 km فإن m = 2 وطول الفاصل المنبعي ΔL = 1 km . فإذا لم تتطابق مناطق ظهور الأمواج المختلفة ،فإنه يجب إظهار مناطق متابعة كل الأمواج علـى مسـتوي التمثيل. يبين الشكل(٥-٥) أحد أساليب الرصد الانكسـاري المتعـاكس للمسـح المستمر للسطح الفاصل على طول خط القياس كما ين الشكل (٥-٦) نظام رصـد أحادي لمتابعة سطح كاسر وحيد على طول خط القياس، ويـبين الشـكل (٥-٧) حالات لتمثيل أنظمة الرصد الانكسارية ومناطق المتابعة الناتجة.يبين الشكل(٥-٤-c) منطقتي متابعة I وII التي تطابق نظام رصد يؤمن ترابطاً مستمراً لتلك الأمـواج في هذه الحالة. أما الشكل (٥-٤-d) فيبين متابعة الأمواج الانكسارية عن التوضـعات قليلة العمق، أي السطوح غير العميقة والتوضعات العميقة أي السـطوح الكاسـرة العميقة. وإذا تطابقت وبشكل جزئي مناطق المتابعة للسطوح الكاسرة، فإنه يمكن رسم نظام رصد بسيط كما في الشكل (٥-١١-a)، حيث منطقة التطابق يمكـن تمييزهـا بشبكة المربعات الصغيرة على الشكل.



الشكل(٥-٤) أنظمة الرصد في الطرائق السيسمية الانكسارية ،a و b- اختيار منطقة الرصد c و d - اختيار نظام الرصد، [كورفيتش وبكانك ١٩٨٠].



الشكل (٥– ٥) خط قياس انكساري متعاكس a – منحنيات المسافة – الزمن للحصول على مسح مستمر على طول خط القياس b – مقطع يبين سطح كاسر وحيد [شيريف وكلدارت١٩٩٥].



الشكل (٥–٦) خطوط قياس بنظام رصد أحادي لسطح كاسر وحيد[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

الكثير من الأمواج يمكن رصدها في مناطق الوصول الأولي، والتي تسهل عملية متابعتها وذلك لغياب الأمواج التشويشية التي يصدرها المنبع . لذلك عند اختيار أنظمة الرصد نسعى لتسجيل الأمواج الانكسارية الأساسية في مناطق وصولاتها

الأولية. وعلى مستوي تمثيل الرصد يمكن تحميل مناطق الوصولات الأولية للأمـــواج الانكسارية، والتي تسهل عملية اختيار نظام الرصد.

عند الدراسات غير العميقة أي السطحية والدراسات العميقة فـــإن الســـرعة الوسطى للطبقات المغطية يمكن تحديدها من نقاط تقاطع البروفيلات .في هذه الحالـــة يجب وبشكل جزئي متابعة الأمواج الانكسارية للطبقات المتوضـــعة فـــوق المنـــاطق المدروسة . ولذلك يمكن توسيع أجزاء الرصد وتمديدها باتجاه المنبع لكل أو لجزء مـــن الفواصل المنبعية الشكل(٥-٧-b) .

عند متابعة الأمواج الانكسارية هناك إمكانية الـــربط المتبـــادل للمنحنيـــات السابقة (أي المنحنيات المتقدمة التي نبدأ بتسجيلها أولاً، ومنها نستمر بالتسجيل مـــن خلال المنابع المتتالية) مع المنحنيات المسبوقة أو التالية(هي المنحنيات الـــتي نســـجلها بشكل لاحق أو تالٍ للتسجيل الأول)، وذلك لأنها تملك الشكل نفســـه أي متماثلـــة الشكل على خلاف الأمواج الانعكاسية التي لا تتوفر فيها تلك الإمكانية. درجة تماثل المنحنيات السابقة تستخدم كثيراً عند اختيار أنظمة الرصد في الطرائق الانكســـارية، وخاصة في الظروف البنيوية الصعبة، والتي تسبب صعوبة وعدم يقين في متابعة أطـــوار الأمواج،ولذلك يمكن وضع نظام رصد يضاف إليه منحنيات الرصد السابقة الشـــكل (٥-٧-c). نظام الرصد المستمر مع اعتبار المنحنيات السابقة في بعـــض الحـــالات يستخدم لتقييم فعالية نفاذ الأمواج.

في الظروف التي يمكن فيها تسجيل الأمواج الانكسارية القوية أو الشـــديدة، والتي يمكن فرزها بشكل جيد على السجلات وتحديد سرعتها الظاهرية، عندها يمكن اختيار نظام رصد بسيط جداً، يسمى نظام رصد غير كامل أي متقطع حيـــث يـــتم الترابط جزئياً أو كلياً من درجة تماثل المنحنيات السابقة.مثل هذه الظروف توجد عند متابعة الأمواج الانكسارية عن سطح الركيزة البلورية ،الحجر الكلسي وغيرها. ومثل

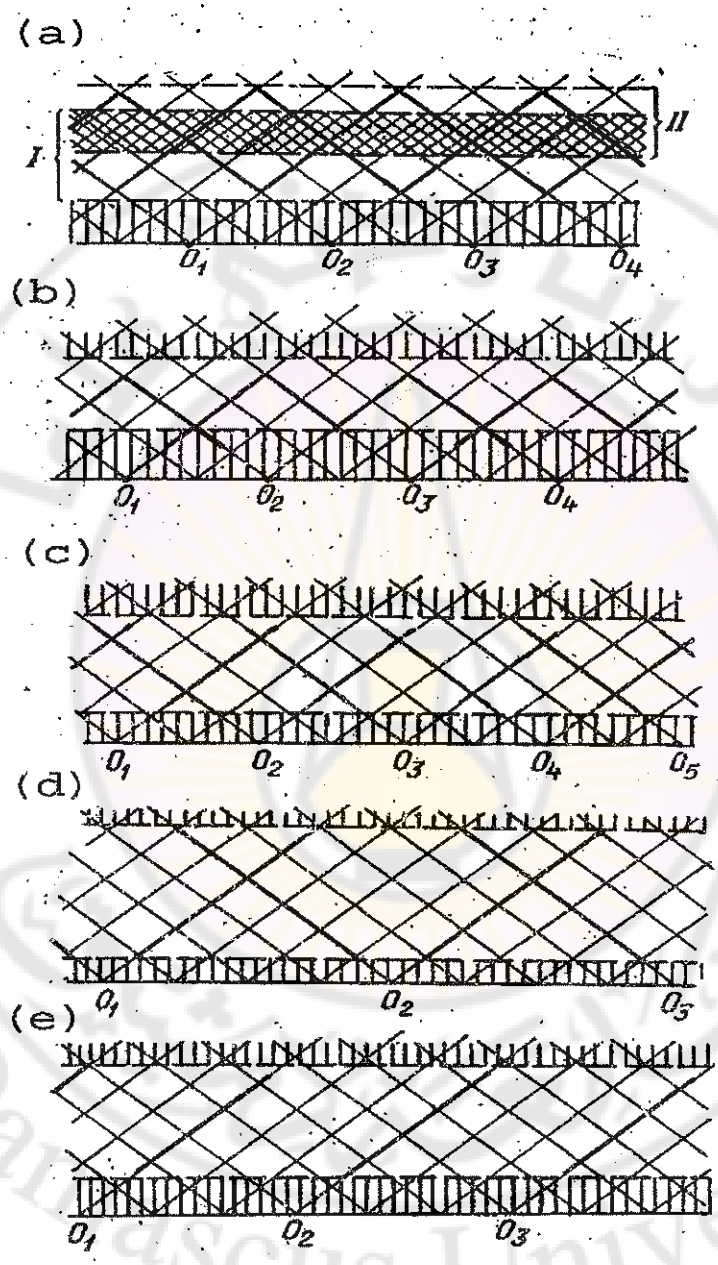
هذه الأنظمة يمثلها الشكل(٥-٧-d) . زوج المنحنيات المتقابل مرتبط بنقاط تـرابط، وللربط بينهما تستخدم المنحنيات السابقة. وبهذه الأنظمة يتم وضع المنحنيات المباشرة والعكسية، ومنها يمكن تحديد السرعة الحدية في كل نقطة من نقاط البروفيل .في نظام الرصد الممثل على الشكل(٥-٧-e) يتم الربط فقط بمساعدة المنحنيات السابقة[٣].

عند استخدام المنحنيات السابقة، فإن طول الجزء الذي تظهر فيـه الأمـواج يتطابق مع المنحنيات التالية(المسبوقة)، ويجب أن يكون كافياً للتحديد الجيد لشـكل المنحنيات. يتألف عادةً طول جزء التغطية من ٢٠% - ٣٠ % من طـول الفاصـل المنبعي، و عندما تستخدم المنحنيات السابقة فإن التغطية يمكن أن تكون أكبر وتصـل حتى التغطية المضاعفة.

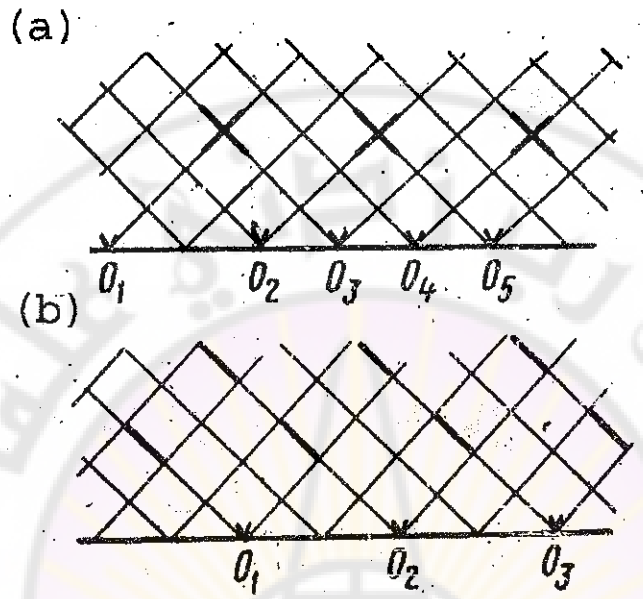
لمتابعة أحد السطوح الكاسرة الأساسية لمساحة معينة أو على طول بروفيـل ذات امتداد كبير يمكن استخدام طريقة السبر النقطي، وبطريقة السبر النقطي يستخدم نظام الترابط غير الكامل والمؤلف من المنحنيـات المتقابلـة الشـكل(٥-٨-a) أو المنحنيات السابقة الشكل(٥-٨-b).

في الطرائق الانكسارية تستخدم غالباً البروفيلات غير الطولية لحـل بعـض المسائل الخاصة مثل دراسة الطبقات المائلة بشكل كبير أي كبيرة الميـل، وخطـوط التشقق وغيرها. عدا عن ذلك فإن خطوط القياس غير الطولية مع خطوط القيـاس الطولية تستخدم عند الدراسات المساحية لإجراء ترابط خطوط القياس الطولية.

Damascus University



الشكل(٥-٧) تمثيل أنظمة الرصد في الطرائق الانكسارية[كورفيتش وبكانك ١٩٨٠].



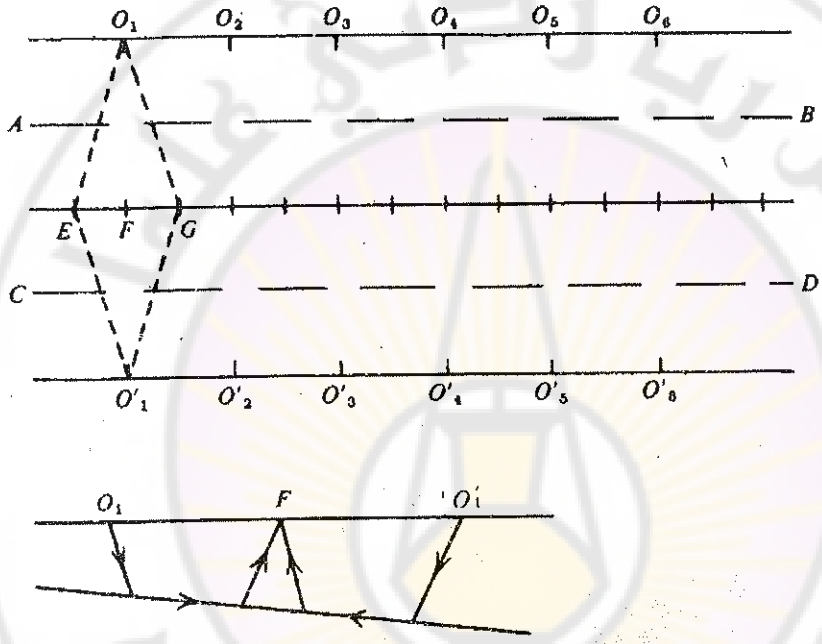
الشكل (٥-٨) تمثيل انظمة الرصد الانكسارية النقطية [كورفيتش وبكانك ١٩٨٠].

٥. ٣. ٢. خطوط القياس غير الطولية (Broad side)

ونظام الرصد المروحي(fan-shooting)

عند العمل في نظام البروفيلات غير الطولية فإن المنابع و اللواقط تقع على طول عدة خطوط متوازية كما في الشكل(٥-٩)، ويتم اختيارها حيث يمكن تسجيل ورصد كامل الموجة وبشكل مناسب وبأقل تداخل ممكن مع باقي الأمواج. وكذلك حيث الفرز الجيد لوصول أطوار الموجة الانكسارية ضمن الوصولات الأولية الأخرى ، وهذه الطريقة اقتصادية جداً لأن كل التسجيلات تعطي معلومات عن السطح الكاسر . إلا أن مقياس تحديد الأمواج الانكسارية مبني على عملية الرصد الطولية (كما في تحديد السرعة الظاهرية أو العلاقة مع الأمواج الأخرى) ولا تصح في حالة الرصد غير الطولية ، حيث تبعد اللواقط مسافات ثابتة عن المنبع.

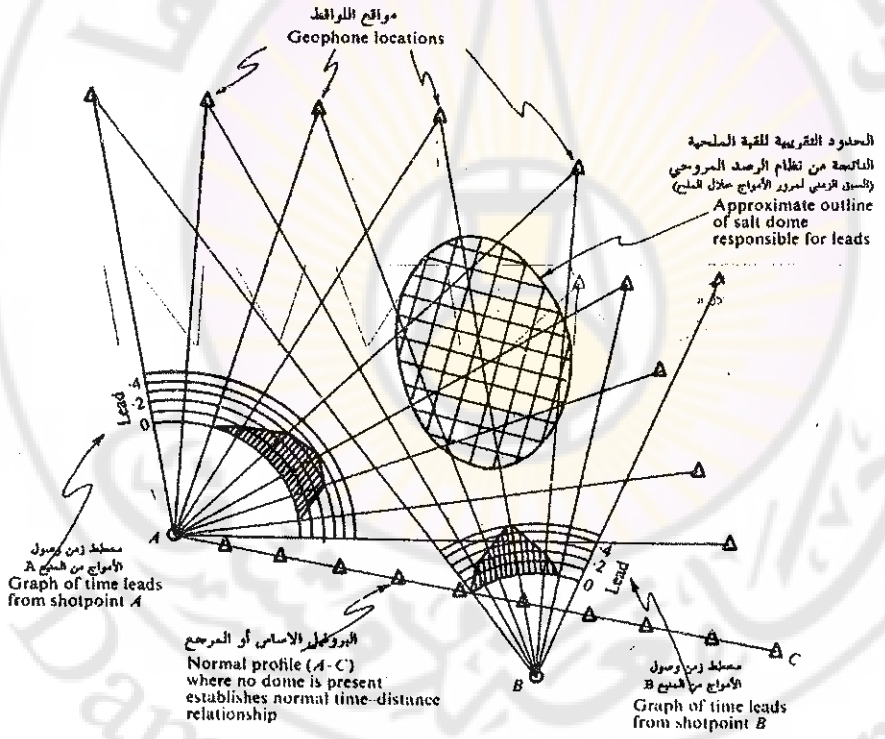
لذلك إذا تغير عمق السطح الكاسر فجأةً أو ظهر وصول من سطوح كاسرة أخرى ، فإن المفسر يمكن أن يتعامل بشكل خاطئ مع سطوح أخرى. عندها لتأكيد صحة تحديد الأمواج الانكسارية من السطح المطلوب بطريقة البروفيلات غير الطولية يمكن مقارنته مع تحديد السطح الكاسر بطريقة البروفيلات الطولية .



الشكل(٥-٩) خطوط القياس غير الطولية في المسح الانكساري حيث اللواقط منتشرة على طول الخط المركزي والمتابع على طول الخطوط الجانبية ، ونقاط الانكسار تنسب بشكل عام على الخطوط AB و CD[شريف وكلدارت١٩٩٥] .

كانت بدايات استخدام الطريقة الانكسارية بشكل واسع في مجال البحث عن القبب الملحية، وذلك باستخدام أسلوب الرصد المروحي،(انظر فصل الاستخدامات المبكرة للطرائق السيسمية). حيث تكون سرعة انتشار الأمواج في القبب الملحية أكبر منها في الوسط الموجودة فيه ، لذلك عند وجود القبة الملحية فإن انتشار الطاقة أفقيا يصل إلى اللواقط بوقت أقصر من عدم وجود الملح. إن الفرق الزمني لوصول الأمواج بين أزمنة الرصد في الوسط الطبيعي أو الحقيقي وبين الوسط الذي لا يتوقع فيه الملح

يسمى زمن السبق (lead) أي زمن الوصول الأسبق للأمواج أو التسريع الزمني أثناء مرور الأمواج ضمن الملح. عند الرصد المروحي الشكل (٥-١٠) تنشر اللـواقط في اتجاهات مختلفة من المنبع وعلى تباعدات تقريباً متساوية، علماً بأنه يمكن عدم التقيـد بنظام الرصد ووضع اللواقط في الأماكن المناسبة. زمن السبق (lead) يظهر في المنطقة التي تتخطى فيها الأشعة السيسمية القبة الملحية؛ أو التي تعبر فيهـا خطـوط القيـاس المروحية القبة الملحية، والتي تحدد تقريباً مكان الكتلة ذات السرعة الكـبيرة . هـذه الطريقة لا تستخدم للتحديد الدقيق للقبة الملحية[١٥].



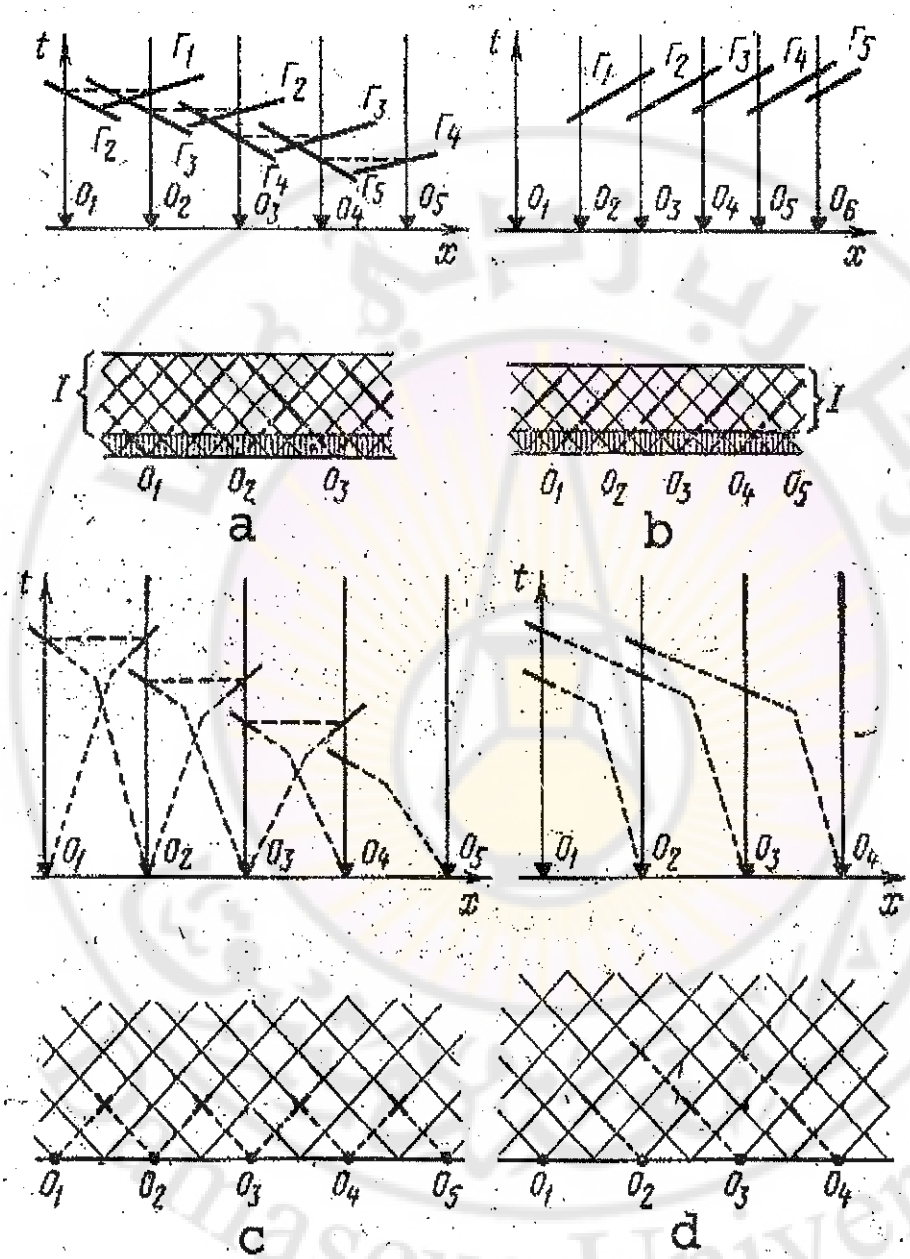
الشكل(٥-١٠) نظام الرصد المروحي[شريف وكلدارت١٩٩٥] .

٥. ٣. ٣. نظام الرصد المتقطع (الرصد غير المستمر)

في ظروف البحث السهلة وبحالة وجود الأمواج الانكسارية القوية، والتي يمكن تمييزها بشكل جيد على السجل السيسمي، ويمكن تحديد قيمة السرعة الظاهرية، عندها يمكن استخدام أنظمة رصد أكثر بساطة وسهولة، حيث يمكن إجراء ترابط الأمواج بشكل جزئي أو كلي من خلال المنحنيات السابقة(التي تتقدم على غيرها). ومثل هذه الحالات تصادف بشكل كبير في الطبيعة، مثل الانكسار عن سطح الركيزة ، وجود الطبقات الملحية وغيرها.إن أنظمة الرصد المستخدمة في مثل هذه الحالات وللأمواج المتماثلة تسمى أنظمة الرصد المتقطع أو غير المستمر.

يمثل الشكل(٥-١١- a) نظام رصد متقطعاً، مؤلفاً من المنحنيات المتقابلة والمنحنيات السابقة. كل زوج من المنحنيات المتقابلة مرتبطة مع بعضها بنقاط ترابط أي نقاط تساوي الزمن. تظهر العلاقة بين أزواج النقاط المختلفة بمساعدة المنحنيات السابقة أو المتقدمة. ومثل هذا النظام يسمح بوضع مجمل منحنيات الأمواج الانكسارية المتقابلة[٢].

نظام الرصد المتقطع والمؤلف فقط من المنحنيات السابقة(المتقدمة) يمثله الشكل (٥-١١- b). وفي هذه الحالة تظهر علاقة الترابط من مؤشرات المنحنيات السابقة وتماثلها. وعند معالجة المعطيات في هذه الأنظمة يتم اعتبار السرعة الحدية ثابتة عند حدود كل منبع، ومنه يمكن تحديد قيمة السرعة الحدية لكل جزء مرصود ورسم السطح الكاسر بشكل مستمر على طول البروفيل. حيث يمكن استخدام نظام الرصد المتقطع و المنحنيات السابقة في المناطق التي تتميز بـ:١- أمواج انكسارية أساسية يمكن تمييزها من بعضها البعض بالسرعة الظاهرية ٢- عدم تغير السرعة الحدية بشكل فجائي على طول البروفيل. ولدراسة تغيرات السرعة الحدية يمكن إضافة نظام الرصد المتقابل أثناء العمل الحقلي؛ ولكن خلال فواصل منبعية متباعدة.إن استخدام المنحنيات



الشكل(٥-١١) أنظمة الرصد المتقطعة[كورفيتش١٩٧٥]

a – نظام الرصد المتفابل والسابق b – نظام المنحنيات السابقة c و d – نظام السير النقطي، حيث المنحنيات المتقابلة والسابقة.

السابقة (المتقدمة) في أنظمة الرصد المتقطعة تعد من ابسط الأنظمة وأقلها كلفة مادية من بقية الأنظمة ، وتسمح بتحديد ورسم مستمر للسطوح الكاسرة.

عند استخدام الترابط في أنظمة الرصد المتقطعة يجب الحصول على المنحنيات السابقة والتالية، أو اللاحقة على الجزء المرصود نفسه حيث يسمح طول المنحنيات بمقارنة أشكالها مع بعضها. وهذا الطول يمكن أن يتغير ضمن حدود واسعة، وذلك مرتبط بالمسافة بين اللواقط وعمق الاستكشاف؛ ودرجة تغير السرعة الظاهرية للأمواج وغيرها. ولمعرفة طول هذا الجزء يجب أن يكون من ٢٠- ٣٠% من طول الجزء المرصود والمفيد ولكل بروفيل.

يجب استخدام طريقة السبر النقطي لرصد ومتابعة سطح كاسر رئيس وعلى مساحة معينة. وبالمقارنة مع الطرائق الجيوفيزيائية الأخرى ، تسمح هذه الطريقة بالسبر بكلفة قليلة، حيث السطوح السيسمية ذات ميول ليست كبيرة . وعند السبر النقطي تستخدم أنظمة الرصد المتقطعة باستخدام نظام المنحنيات المتقابلة الشكل(٥-١١-c)، أو نظام المنحنيات السابقة المتقدمة الشكل (٥-١١-d)[٢].

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس
منابع الطاقة السيسمية للأغراض الجيوهندسية

٦ . ١. مقدمة

٦. ٢. منابع الطاقة الضغطية الجيوهندسية

٦. ٣. منابع الطاقة غير الضغطية الجيوهندسية

٦. ٤. اختيار المنابع الأرضية .

جامعة دمشق Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منابع الطاقة السيسمية للأغراض الجيوهندسية

٦ . ١. مقدمة

المنبع المطلوب (المرغوب): يجب أن تتوفر في المنبع السيسمي المثالي الـذي سـيولد الأمواج المواصفات التالية[١٥]:

١-يولد طاقة كافية يمكن اكتشافها بسهولة و استقبالها بعد انتشارها مسافات كبيرة.

٢- فترة إطلاق الطاقة قصيرة .

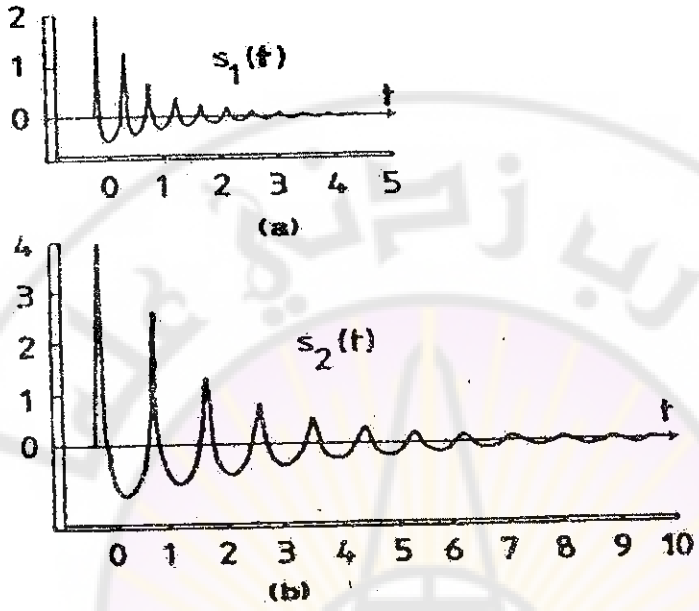
٣-يمكن تكرار إصدار الطاقة بسهولة.

٤- لا يولد ضجيجاً يتداخل مع الأمواج المنعكسة المسجلة.

ويشير قانون المنابع أنه بازدياد طاقة المنبع، يزيد كل من سعة الإشارة وقياس الزمن، ولكن لا يغير شكل الموجة إذا كانت بيئة المنبع نفسها الشكل(٦ -١)، ويعـبر عن هذا القانون كما يلي:

$$w_B(t) = \alpha w_A(\frac{t}{\alpha}) \qquad (٦,١)$$

حيث w(t) هي سعة الموجة المتولدة من المنبع A، والطاقة من المنبع B تكـون α^3 مرة من المنبع A. وبالتالي تميل المتطلبات (١)و(٢) إلى التناقض، فإن زيادة الطاقة تطيل الإشارة السيسمية وبالنتيجة يقل التمييز. يوفر التكديس الشاقولي طريقة بديلة بمكـان زيادة الطاقة وبدون إطالة الإشارة السيزمية في حالة تكرار المنبع (المنـابع الجمعيـة). يمكن أن تحل مشاكل التداخل من المنابع القريبة من معالجـة المعطيـات، إذا كانـت صفات المنبع معروفة، أو من تصميم المنبع.



الشكل(٦-١) إشارات من مدفعين هوائيين طاقة الثاني(b) تعادل ثماني مرات طاقة الأول (a)

٦. ٢. منابع الطاقة الضغطية (Impulsive energy sources)

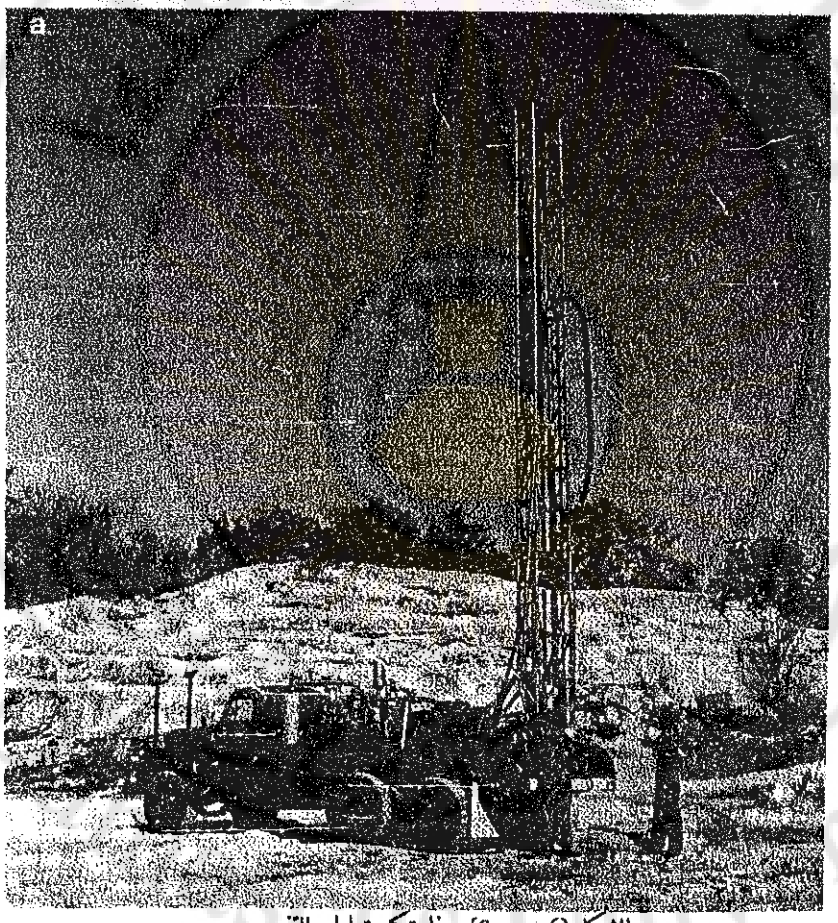
٦. ٢. ١. المنابع التفجيرية للأغراض الجيوهندسية

وردت المنابع التفجيرية في السنة الثالثة بالتفصيل وذلك للدراسات السيسمية العميقة؛ وسنأتي على ذكر بعضها للمقارنة بينها وبين المنابع المستخدمة للأغراض الجيوهندسية. كانت المواد المتفجرة المصدر الوحيد للطاقة المستخدمة في الاستكشاف السيسمي إلى أن أدخلت طريقة الوزن الهابط حوالي عام ١٩٥٤. استمرت المواد المتفجرة على أهميتها كمصدر طاقة سيسمية في الأعمال على اليابسة.

عندما يكون الديناميت هو المادة المستخدمة كمنبع للطاقة، تحفر بئر بحيث يمكن وضع المادة المتفجرة تحت الطبقة السطحية القليلة السرعة(LVL-LowVelocityLayer).وعادة تكون الحفارة محمولة على عربة،ولكن أحياناً على جرار أو شاحنة برمائية للعمل في المناطق الصعبة. وبعض الحفارات الخفيفة يمكن أن

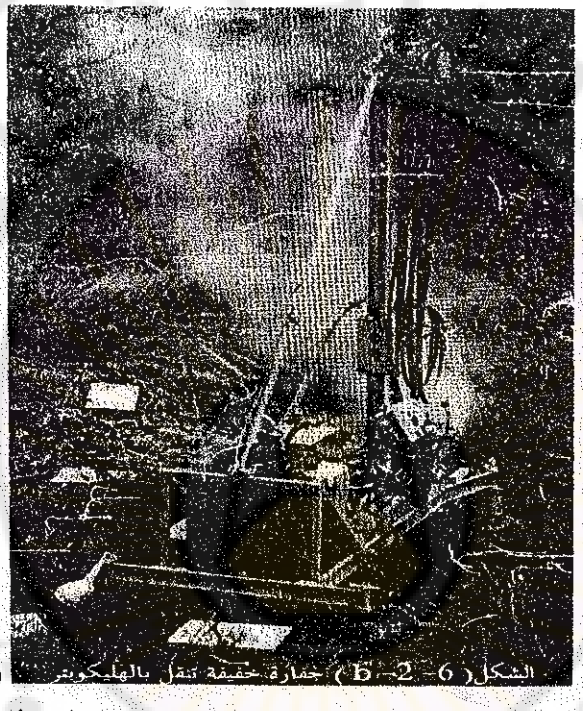
تقسم إلى وحدات صغيرة بحيث يمكن حملها، و يمكن استعمال المثاقب أحيانا. وفي المستنقعات الطرية؛ يمكن استخدام المضخات الهيدروليكية لتفريغها من المياه. أجهزة الحفر الدورانية النموذجية يبينها الشكل (٦-٢) والشكل (٦-٣)[١٥].

الحفر الدوراني يتم بواسطة رأس الحفر متوضع أسفل الأنابيب التي تدور على السطح مدورة معها رأس الحفر. يضخ سائل الحفر عبر مواسير الحفر لتخرج من الأسفل من فتحات رأس الحفر،وتعود إلى السطح ضمن الفراغ الحلقي حول الأنابيب.



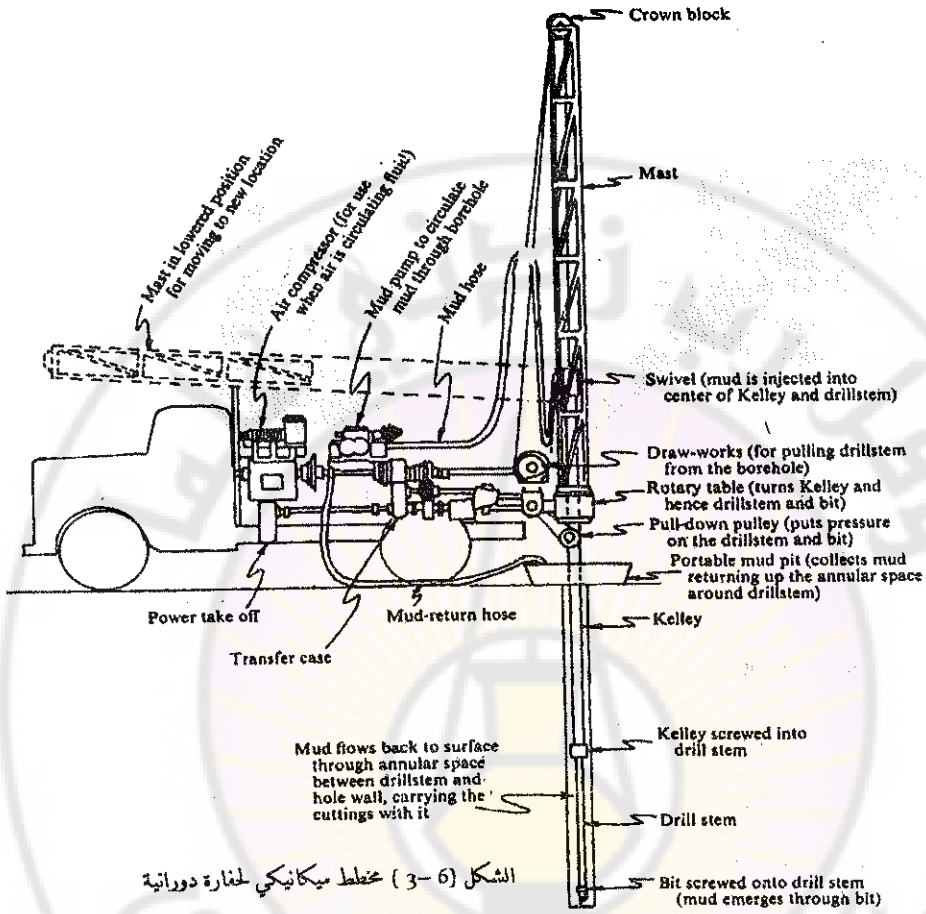
الشكل (6 -- 2 -- a) حفارة كبيرة لمنابع التفجير

ووظيفة سائل الحفر هي رفع الفتات المحفور إلى السطح وتبريد رأس الحفر وتشكيل طبقة رقيقة على جدار البئر (كعكة)وذلك لمنع تهدم جدار البئر؛ ولمنع سوائل الطبقات من التدفق إلى البئر. سائل الحفر الأكثر انتشارا هو **الطَفلة** والتي تتكون من مواد معلقة من البينتونايت، الكلس و الباريت في المياه.



الشكل(6 -2- b) حفارة حفيفة تنقل بالهليكوبتر

يوجد نوعان من المتفجرات كانت تستخدم بشكل أساس: الديناميت الجيلاتيني ونترات الأمونيوم؛ المكون هو مزيج من نتروغليسرين ونتروكوتن (التي تشكل الجيلاتين المتفجر) والمادة الحامدة التي تضم المزيج مع بعضه، والتي يمكن أن تستخدم لتغيير قوة المادة المتفجرة. نترات الأمونيوم أرخص وأقل خطورة لأنها تنفجر بصعوبة أكثر من الديناميت الجيلاتيني. نترات الأمونيوم وNCN (نتروكاربو نتريت)هي المواد المتفجرة المسيطرة هذه الأيام، وأحيانا تستعمل نماذج أخرى من المتفجرات.



الشكل (6 –3) مخطط ميكانيكي لحفارة دورانية

أما بالنسبة للمنابع التفجيرية المستخدمة للأغراض الجيوهندسية لأعماق تصل حتى ٥٠٠م، توضع المواد المتفجرة في علب معدنيـــة أو أصـــابع مـــن الكرتـــون أو البلاستيك بقطر حوالي ٥ سم؛ كما هي الحال في الدراسات العميقة، ولكنها تحتـــوي عادة كمية أقل من المواد المتفجرة تقريباً من ٠,٥ – ١كغ. الأصابع والعلب مصـــممة بحيث يمكن بسهولة وصل النهايات مع بعضها البعض للحصول على كميات متعددة من المتفجرات الشكل (٦-٤).

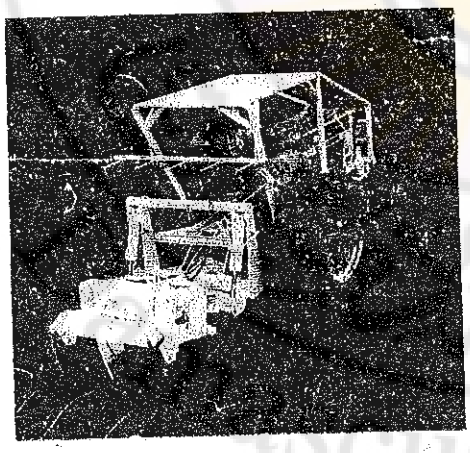
الشكل (6 – 4)a – المواد المتفجرة
على شكل أصابع b–علبة المواد المتفجرة

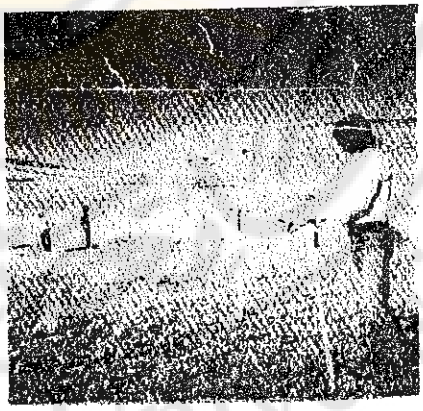
تكون سرعة الانفجار (أي السرعة التي ينتقل فيها الانفجار بعيدا من نقطة البدء في جسم الانفجار الممتد لطول معين) كبيرة بالنسبة للمتفجرات المستخدمة في العمل السيسمي،وهي حوالي ٦٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ م/ثا، وجراء تلك النبضات السيسمية المتولدة يتشكل عن التفجير جبهة موجية قوية مقارنة بالنبضات المتولدة من منابع أخرى. هذا التمركز العالي للطاقة مطلوب ومرغوب من وجهة نظر تحليل الأمواج السيسمية، ولكنه بالوقت نفسه ضار من وجهة نظر أذى وتخريب الوسط المجاور.

إن ترددات الأمواج السيسمية الناتجة عن عدة شحنات متفجرة صغيرة عادة ما تكون أكبر من تلك الناتجة عن شحنات كبيرة. وكذلك الأمر فإن استخدام شحنات صغيرة متعددة منفصلة عن بعضها البعض بأمتار قليلة يتم تفجيرها في الوقت نفسه، سوف تولد موجات لها تردد أكبر من تلك الناتجة عن الحشوات المركزة المجتمعة الحاوية على الكمية نفسها من المادة المتفجرة.

تستخدم أحيانا شحنات متفجرة على سطح الأرض أو بالقرب منه في المناطق البعيدة عن السكن. توضع في التفجير الهوائي مواد متفجرة صغيرة "عديمة الوميض "

(بحيث لا تشعل النار بالأعشاب) على قضبان بارتفاع ١-١,٥ م منتشرة ضمن تشكيلة منبعية معينة كما في الشكل (٦ –٥)، وغالبا ما تكون متصلة معاً بواسطة حبل متفجر لبدء الانفجارات؛حيث تتولد موجة هوائية قوية جدا تسبب صدمة على سطح الأرض تولد الموجة السيزمية. ويجب الحذر عند استخدام مثل هذه المنابع لأنها تؤدي إلى أذية في طبلة الأذن. إن حبل التفجير المستخدم هنا يمكن أن يطمر تحت سطح الأرض على عمق ٠,٣ -١ متر في التربة أو يوضع في ماء ضحل. يستخدم لطمر حبل التفجير المحراث الهزاز الشكل (٦ – ٦) حيث يمكن طمر الحبل حتى مسافة ١٠٠ متر. سرعة انفجار الحبل حوالي ٦,٥ كم /ثا، ويمكن التحكم بزمن ومدة التفجير من خلال طول حبل التفجير. يمكن الاستفادة من حبال التفجير الطويلة المشتعلة من نهاية واحدة في توجيه طاقة المنبع، والتي يمكن أن تعد بطريقة ما حيث يكون اتجاه الانحدار السائد معروفاً في المنطقة. كما يمكن وضع الحبل المتفجر أحيانا في قاع المياه كمنبع في المياه الضحلة وعمليات المسح البحري(أو سايزمك المياه) وتستعمل أحيانا بطرق أخرى كمنبع للطاقة[١٥].





الشكل (٦–٥) التفجير في الهواء [شريف وكلدارت١٩٩٥] الشكل(٦–٦) طمر حبل التفجير في التربة بواسطة المحراث الهزاز

إن مصادر الطاقة السطحية غالبا ما تكون ضعيفة، لذلك تُجرى عـــدد مـــن القياسات وتكدس معا بشكل عمودي للاستعاضة عن تأثير قوة المنبع. تولد هذه المنابع أمواجاً سطحية ملحوظة، لذلك يمكن إزاحة المنابع مسافة صغيرة (٣-٥ م)فيما بينـــها لتخفيف أمواج الضجيج السطحية من التكديس الشاقولي.

٦ .٢ .٢. المنابع الضغطية الجيوهندسية

قبل التسجيل على الشريط المغناطيسي في بدايات ١٩٥٠، كانـــت طريقة التكديس العمودي أساساً في تقييم إمكانية وفاعلية المنبع، وكانت فقط المـــواد المتفجرة هي المستخدمة كمنبع للطاقة السيسمية، حتى طُورت عدد من المنابع الضغطية البديلة عام ١٩٦٠، حيث اختفى اغلبها الآن. يمكن التنويه إلى أن المنـــابع الضـــغطية المستخدمة للدراسات العميقة وردت بالتفصيل في السنة الثالثة ويمكن أن ذكر منها:

١ – الوزن الهابط

٢- الدينوسايز(Dinoseis)

٣- المدافع الهوائية الأرضية

وقد حصلت تعديلات متعددة لمنابع الطاقة الرئيسة المســـتخدمة في الطرائـــق الجيوهندسية والمياه الجوفية، حيث إن الكثير من المسوحات لا تتطلب منابع ذات طاقة كبيرة، بل منابع صغيرة كما هي مبينة في الجدول (٦-١)، و لكن هذه المنابع مكلفـــة وذات فعالية أكبر، وإن استخدم الأجهزة والأنظمة التي تجمع آثار عدة صـــدمات أو طَرَقات (مجموعات المنابع) عزز أهمية وانتشار هذه المنابع. وهناك الوزن الهابط المعـــزز الذي يستخدم لتوليد موجات عرضية S عن طريق الاصطدام بحافة السطح القاعـــدي بزاوية معينة عن الشاقول. هذا يولد كلاً من أمواج (P,S) ويمكن أن يـــدار اتجـــاه الجهاز ١٨٠ درجة بحيث تملك الموجة S المتولدة قطبية مقلوبـــة والتســـجيل الثـــاني مطروح من الأول أي جمع تأثيرات الموجة S ، طرح تأثيرات الموجة P الأشكال

(١١-١) و (١١- ٢)[١٥].

إن كثيراً من أنواع المنابع السطحية الجيوهندسية والتي يمكن استخدامها في الآبار أو في مياه المستنقعات الضحلة، يمكن استرداد الأجهزة الخاصة بها لإعادة استخدامها.وهنا لابد من الإشارة إلى أن شكل الموجة المولدة من المنابع السطحية يمكن أن تتأثر بطبيعة السطح في المنطقة.

٦. ٣. منابع الطاقة غير الضغطية (Nonimpulsive energy sources)

٦. ٣. ١.المنبع الجيوهندسي الرجاج Sosie

ورد الرجاج (Vibroseis) كمنبع للطاقة السيسمية في السنة الثالثة بالتفصيل ونورد لمحة مختصرة عن هذا الرجاج على سبيل المقارنة بينه وبين المنبع الرجاج(Sosie) المستخدم للأغراض الجيوهندسية. على عكس معظم منابع الطاقة التي تحاول إيصال الطاقة إلى باطن الأرض في أقصر وقت ممكن، المنبع فيبروسايز يرسل الطاقة إلى داخل الأرض لعدة ثوانٍ. وهنا يتم توليد جهود ضغط متغيرة (عادة ضغط هيدروليكي) على صفيحة معدنية توضع على تماس مع الأرض وتكون مثبتة عن طريق ثقل الآلية التي تحملها. يتم التحكم في عملية الرج المطبقة هنا عن طريق إشارة تحكم خاصة ضمن الرجاج. إن الضغط المولد بهذه الطريقة يتغير حسب العلاقة[١٥]:

$$p(t) = A(t)\sin 2\pi t[v_0 + (dv/dt)t]$$

حيث – (dv/dt) تكون إما موجبة (رجة للأعلى) أو سالبة (رجة للأسفل) وتكون ثابتة في الحالة العادية للرجة الخطية. السعة A(t) هي عادة ثابتة ما عدا بداية ونهاية الإشارة (٠,٢ ثانية) من البداية والنهاية ؛ أو عندما تزداد السعة من الصفر أو تتناقص إلى الصفر الشكل (٦–٧). والهزة تستمر عادة من ٧ إلى ٣٥ ثانية وبترددات تتراوح بين ١٢ إلى ٦٠ هرتزاً أو بالعكس.

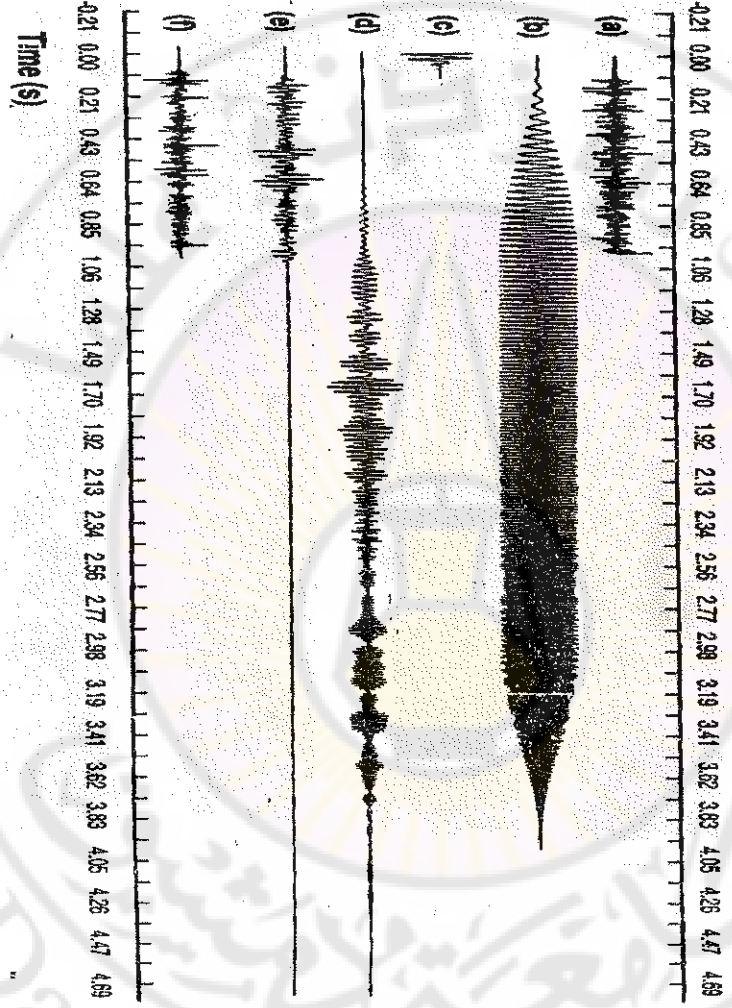
بسبب أن الفواصل الزمنية بين الانعكاسات تكون أقل من زمن طول الرجة، فإنه يحصل تراكب في الإشارات على السجل السيسمي؛و لا يمكن تفسير هذه التسجيلات في هذه الحالة إلا بعد تطبيق طرائق معالجة لاحقة (الارتباط المتصالب بين الآثار السيسمية وإشارة الرجاج)، بعد تطبيق الارتباط المتصالب يتم تحويل إشارة الرجاج إلى إشارة ذات زمن قصير، وبالتالي يتم التخلص من عملية التداخل أو التراكب على التسجيل السيسمي. الشكل (٦-٨) يوضح آلية تطبيق الارتباط المتصالب بين الأثر المسجل و إشارة المنبع، و يوضحان كذلك نتائج تطبيق الارتباط المتصالب. الارتباط المتصالب يتطلب تواترات لا تتكرر خلال الرجة، وإذا تكررت، فإن الارتباط المتصالب سيجد أكثر من ارتباط واحد للتكرارات المتعاقبة للتواترات، مولدا أحداثا وهمية.

أما المنبع الصادم (Sosie) على شكل رج يمكن أن يستخدم كما هو مبين في الشكل (٦ – ٩) كمصدر للطاقة السيسمية للدراسات غير العميقة (حتى ثانية واحدة) وتسمى (SosieTM method) الصادم يضرب الأرض من ٥ إلى ١٠مرات في الثانية، وينفذ التسجيل بحوالي ٣ دقائق (أي ٩٠٠ إلى ١٨٠٠ صدمة).

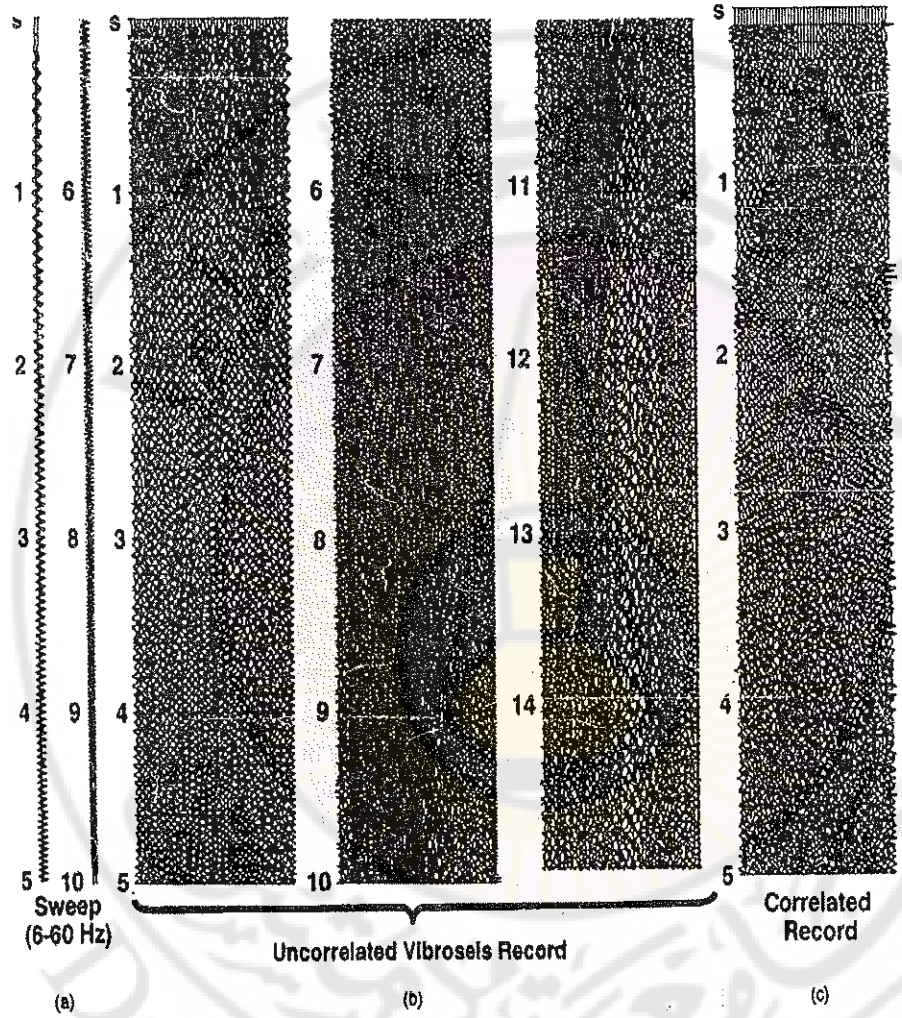
أزمنة الصدمات تأخذ بالحسبان عشوائية الترددات السيسمية.يزود الصحن القاعدي بحساس يسجل زمن كل صدمة لاستعمالها في الارتباط. الإطلاق العشوائي المتكرر للمنابع الصغيرة الأخرى مثل وحدات الفيبوركوك (Vaporcohoc) في المسوحات البحرية، يمكن استخدامها أيضا كمنابع sosie.

إن خرج مجموعات اللواقط- بطريقة سوزي - يضاف إلى التسجيل كل مرة تكرر فيها الصدمة على الأرض (أي بالنتيجة تحصل على سجل سيسمي واحد ناتج عن تجميع تلك الصدمات). بما أنه تحدث نبضات كثيرة على طول زمن التسجيل وفي أثنائه، فإن خرج كل مجموعة من اللواقط تضاف إلى التسجيل في الوقت نفسه

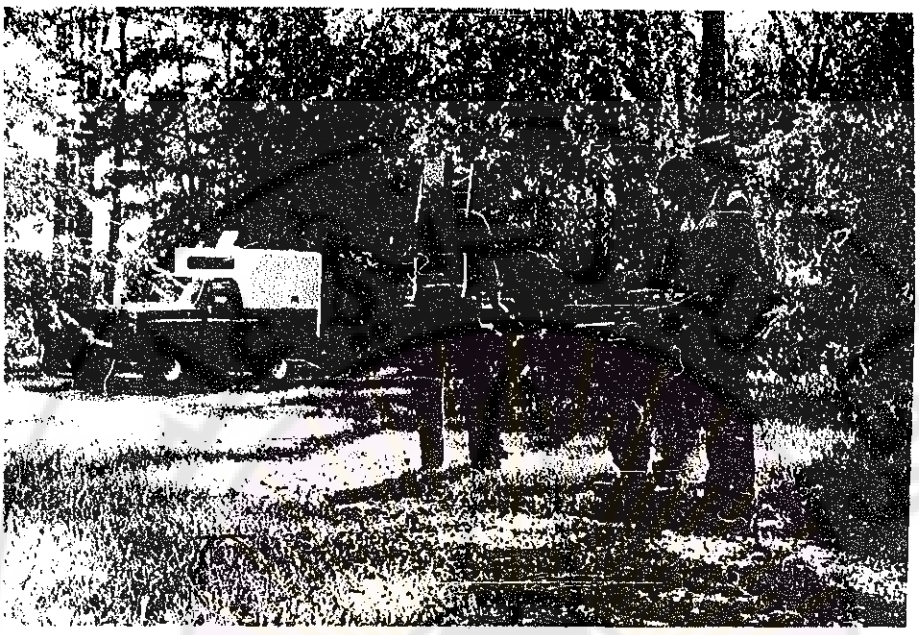
من أماكن عدة. تضاف منابع إصدار الطاقة بالطور مع المحافظة على زمـــن الوصـــول المناسب، وتضاف بشكل عشوائي أحيانا.



الشكل(٦-٧) تركيب إشارة الرجاج والتصفية العكسية ، a- الانعكاس الناتج، b- الإشارة المرسلة ذات ترددات من ١٠ حـــتى ١٢٠ هرتز، c – المصفي السطحي الوهمي ذو الطور الأصفري، d – التأثير الوهمي الناتج من التصـــفية المباشـــرة ل a و b و c، e – الارتباط المتصالب لـــ b مع d ، f – تصفية الحالة a بطور صفري من ١٢٠ –١٠ هرتز[بلماز١٩٩٨].



الشكل(٦-٨) تسجيل حقلي من رجاج والتسجيل بعد الارتباط المتصالب مع الإشارة المرسلة . a – إشارة مرسلة ذات تردد من ٦-٦٠ هيرتز؛ b- تسجيل غير مفسر بالارتباط المتصالب؛ c – تسجيل مفسر[يلماز١٩٩٨].



الشكل (٦-٩) المنبع سوزي(Sosie). في الشكل منبعين صغيرين من Sosieلاحظ اللواقط على قاعدة المنبع لتسجيل زمن الرجة[شيريف ركلدارت١٩٩٥]

توزع طاقة المنبع : إن الطاقة المنبعثة من هزة موجة طولية درست من قبل **Miller** و **Pursey** (١٩٥٦) اللذين حسبا توزع هذه الطاقة فكانت على الشكل التالي: ٧ % أمواج طولية (متركزة في الاتجاه الأسفل)، ٢٦ % أمواج عرضية (تصدر بزاوية ٣٠ْ عن الشاقول)، و ٦٧ % أمواج سطحية. إن الطبقة القريبة من السطح هي التي تسبب بشكل رئيس تحول معظم طاقة الأمواج العرضية إلى طاقة أمواج سطحية.لذلك و بسبب النسبة الكبيرة لطاقة الأمواج السطحية يتم عادة توزيع مجموعات المنابع و اللواقط وفق أنظمة رصد مناسبة؛ وذلك للتخفيف من هذه الموجات. مجموعات اللواقط النشطة عادة لا تتوضع قرب الرجاجات، ولذلك فإن هناك فجوة منبعية واسعة (مسافة منبعية أي مسافة بين المنبع واللاقط، تزيد عادة عن

٣٠٠ م) راجع الملحق (١) تطبيقات عملية. باستعمال نظام الإزاحةلمجموعات اللواقط والتي تبعد مسافة عن المنبع الرجاج فإن مجال السعات المسجلة يكون أكثر صغرا، وهذا يسهل التحقق من الانعكاسات العميقة، والتي - لولا ذلك - يمكن أن تفقد عندما تتراكب على القطارات الموجية للانعكاسات القليلة العمق. و يمكن أن تحد من تسجيل الانعكاسات الضحلة القليلة العمق، وذلك باختيار فاصل منبعي كبير نسبيا و اختيار نظام رصد مناسب؛ و يمكن تجميع الطاقة السيزمي باستخدام عدة رجاجات (عادة ٣ أو ٤) وبأسلوب التكديس الشاقولي، بالإضافة إلى طول الرجة. المنابع تحرك بين الرجات وذلك لإخماد تأثير الأمواج السطحية بالتكديس[١٥].

الرجاجات كمنابع تنتج كثافة طاقة منخفضة، ونتيجة لذلك فإنها تستخدم في المدن والمناطق الأخرى التي يصعب فيها استخدام المتفجرات والمنابع الأخرى؛ والتي تسبب أضرارا كبيرة. إن نصف حجم الأعمال السيسمية المنفذة على اليابسة هذه الأيام، تستخدم الرجاجات كمنابع للطاقة. وبشكل عام إن الوزن الكبير للعربات الحاملة للرجاج تحد من استعمالاتها في بعض المناطق. إن آليات الوسائد الهوائية(بطريقة الحوامة التي تسير على مخدات هوائية)، يمكن أن تستخدم على طول مساحات المد المنبسطة والمناطق الأخرى التي يقتصر فيها تطبيق قواعد الضغط الأرضي (الضغط على الأرض ضمن حمل معين)، ولجعل الآلية صالحة كرجاج سيزمي، فإن جريان الهواء يعدل من الرجة.

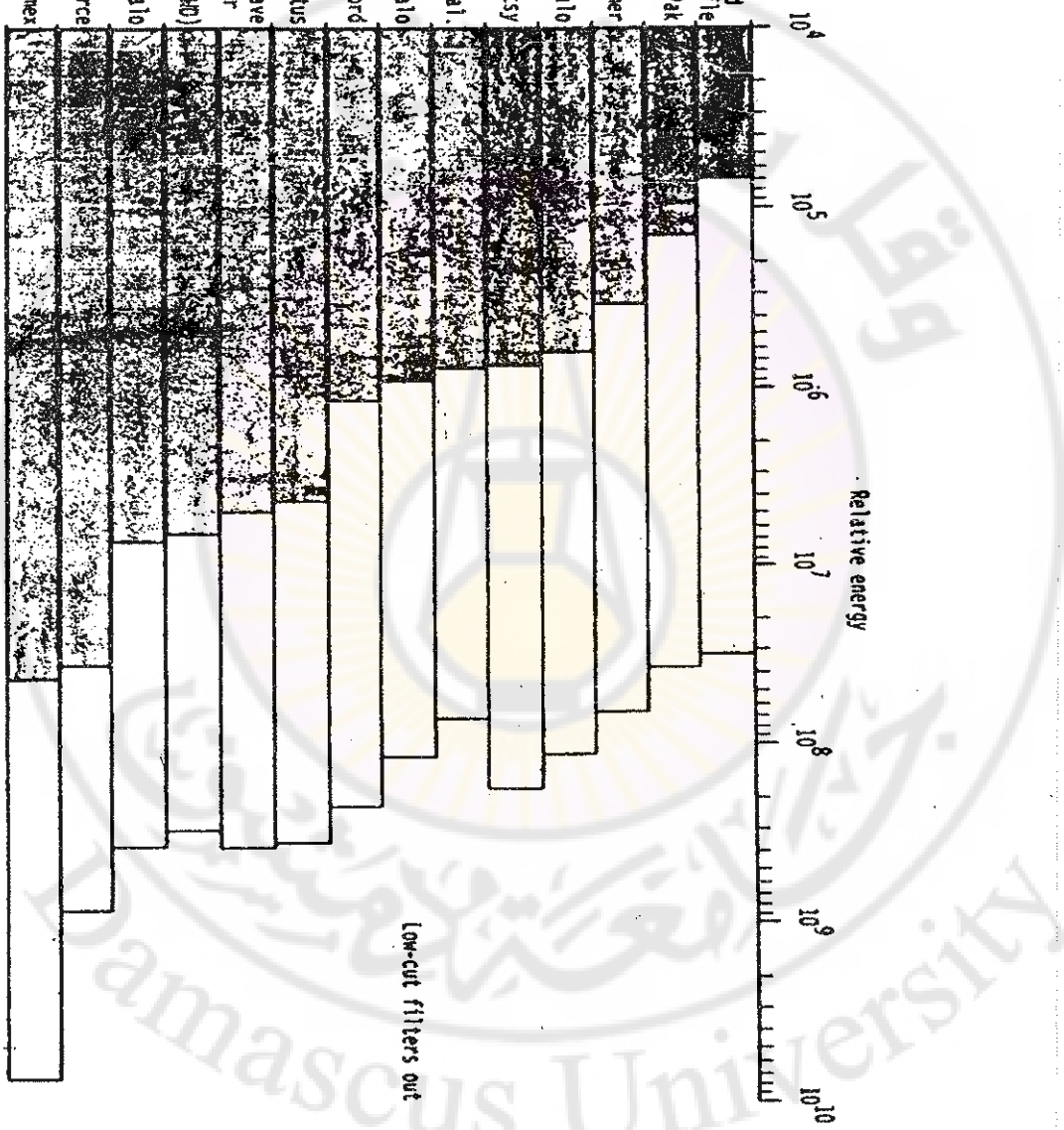
٦. ٤. اختيار المنابع الأرضية .

لقد تم في الفقرات السابقة التعرض إلى معظم منابع توليد الطاقة السيسمية، والسؤال الذي يطرح نفسه الآن، أي المنابع أفضل لتنفيذ الأعمال الحقلية السيسمية؟ وأي المنابع اكثر مناسبة للاختيار؟ هنالك عدة عوامل تتحكم في اختيار المنبع بشكل عام، وغالبا يتم اختيار المنبع السيسمي الأكثر اقتصادية، حيث المنبع المرفق بالحفر هو

عادة الجزء الأكبر والأثقل من الأجهزة، و يتطلب طاقماً سيسمياً كبيراً نسبياً. لذا، إذا وصل المنبع إلى المكان المطلوب، فإنه يحقق الكثير من المكاسب.

إن التفجير في الآبار مفضل تقريبا لأغلب الجيوفيزيائيين، ما عدا العمل في المناطق صعبة الحفر أو الغالية جدا، أو حيث يمنع القانون، أو وجود سكن أو تحول وتغير لبنية من استخدام كمية كبيرة من المتفجرات. بعض المنابع السطحية الكبيرة ثقيلة بما يكفي بحيث تتطلب عربة نقل أكبر واثقل، وهذا عائق رئيس. أن معظم الأجهزة يمكن وضعها على منصات مختلفة (مثل قارب، عربات النقل، أو عربات المستنقعات، والقوارب الهوائية المدفوعة بدافع هوائي) وذلك لاستخدامها في مختلف المناطق، متضمنة المستنقعات و السبخات والمياه الضحلة. إن صعوبة موقع العمل عرضة لتقرير مصير حجم العمل وجعله صغيراً.

معظم المنابع الواردة في الجدول ٦-١ قورنت من قبل Miller و آخرين (١٩٨٦). يبين الشكل(٦- ١٠) علاقة الطاقة النسبية للصدمة المفردة (المنبع وحيد). المنابع الأقوى توفر ترابطاً جيداً للانعكاسات من الرمل – الغضار المتطبقة والمتماسة على أعماق ٨٠ – ٢٠٠ م وباستخدام مصفي القطع المنخفض ٣٤٠ هرتزاً (Low- cut filters) .



الشكل(٦-١٠) مقارنة الطاقة النسبية للمنابع المختلفة المبينة في الجدول (٦-١) أسماء المنابع وردت بأسمائها التجارية [شريف وكلدارت١٩٩٥] .

الجدول (٦– ١) أسماء وتصنيف بعض أنواع المنابع السيسمية الصغيرة[١٥]			
اسم المنبع	وصف المنبع	ملاحظات	السعر $
Projectiles قذائف			
Silenced rifle بندقية دون صوت	بندقية معدلة باستخدام كاتم صوت.الإطلاق يتم باتجاه الأرض أو بئر مملوءه بالماء .	—	٥٠٠ | ٥٠٠٠
Betsy seisgun™ بتسي سايزكن	بندقية صيد عيار ٨ خاصة لتلك الأعمال	تُطلق من خلال قاعدة معدنية وكذلك من خلال منبع بئري	٥٠٠٠ ١٥٠٠٠
Buffalo gun بندقية لصيد الجاموس	قصبة صيد تغرس على عمق ١ م ضمن قضيب معدني ليتم التفجير تحت سطح الأرض	يتم حفر بئر قطره ٤ سم بعمق ١م ضمن الأرض وتوضع البندقية ضمن البئر ويملأ بالماء	٥٠٠>
Weigh drops (Impactors) الأوزان الهابطة (الصدم)			
Sledge hammer مطرقة ثقيلة	مطرقة وزنها ٧,٣ كغ تضرب على صفيحة فولاذية بشدة متناسبة مع الوزن	توضع الصفيحة في منطقة ترابية غير قاسية ولعدة طرقات	٥٠٠>
Brutus بروتس	وزن ١٣٦ كغ يرفع حتى ١م بواسطة مضخة هيدروليكية تعمل على ضغط البرين ويسقط على صفيحة فولاذية – تركب على مقطورة	توضع الصفيحة على طبقة ترابية ولعدة طرقات	٥٠٠٠ | ١٥٠٠٠
Bean Bag™ بين باك	وزن ١٣٦كغ يسقط من ارتفاع ٣م	لا شروط لتحضير موقع الصدم	—
Soursile™ سورسايل	وزن ٢٠٠ كغ يسقط من ارتفاع ١م	يولد الأمواج الطولية والعرضية	—

تابع الجدول (٦-١)

اسم المنبع	وصف المنبع	ملاحظات	السعر $
Elastic wave generator™ مولد الأمواج المرنة	وزن ١١٤ كغ يتسارع بواسطة رباط مرن ويعاد إلى وضعه بواسطة رافعة إلكترونية – يركب على مقطورة	توضع الصفيحة على طبقة ترابية ولعدة طرقات	٥٠٠٠ | ١٥٠٠٠
Hydrapulse™ إشارة هيدروليكية	وزن هابط يعمل بواسطة ضغط الغاز	لا شروط لتجهيز الموقع	ـــــ
Dynasource دينا سورس	هبوط وزن ٤٥كغ عن طريق تفريغ الهواء بواسطة ضغط البترين – يركب على مقطورة	توضع الصفيحة على طبقة ترابية ولعدة طرقات	٥٠٠٠ | ١٥٠٠٠
Primarysource المنبع المباشر	هبوط وزن ١٣٦كغ عن طريق الهواء المضغوط- يركب على عربة نقل ، تحكم هيدروليكي	توضع الصفيحة على طبقة ترابية ولعدة طرقات ويولد الأمواج الطولية والعرضية	<١٥٠٠٠
Hydraulic hammer™ مطرقة هيدروليكية	هبوط وزن على صفيحة قاعدية بواسطة الهيدروليك	لا شروط لتجهيز موقع الصدم	ـــــ
Yumatsu Impactor™ الصادم يوماتسو	هبوط وزن ٢٠٠ كغ بواسطة الهيدروليك	لا شروط لتجهيز موقع الصدم	ـــــ
Electrical المنابع الكهربائية			
Piezoelectric كهر إجهادي	عن طريق شحن ناقل الطاقة الاجهادي الخزفي بفولطات عالية	توضع صفيحة الصدم على الأرض	٥٠٠٠ | ١٥٠٠٠
Spark Pak™ توليد طاقة بواسطة شرارة (سبارك باك)	توليد نبضة بواسطة شحن ٥ – ٢٠ كيلوجول للطاقة بين الكترودين في الماء المالح ،تعمل بواسطة مولد ١ كيلوفولط	تحفر بئر طولها ٥٠ سم في الأرض وتملأ بماء مالح مع مواد أخرى	> ١٥٠٠٠

تابع الجدول (٦-١)

Explosive التفجير			
<500	أنبوب صغير يُدق ١م ضمن الأرض وتدك المادة المتفجرة حتى القاع وتملأ فوقها رمال	١٠ سم من ٢٠٠ (غراين)grain من مادة متفجرة توضع على عمق ١م تحت سطح الأرض، تفجر بواسطة تفجير نموذجي	**Mini-primacord ™** (ميني بريما كورد)
<500	تحفر بئر قطرها ١٠ سم على عمق ١م وتوضع فيها المتفجرات وفي أسفلها الكبسولة المفجرة ويتم حشو البئر فوقها	نترات الأمونيوم ونيتروميثان تمزج مع بعضها أثناء العمل وتفجر بواسطة كبسولة تفجير سيزمية خاصة	**Explosives** متفجرات
___	___	توضع كمية من هذه المواد في اسفل بئر التفجير	**POP(Propane-Oxygn detonator** تفجير الأوكسيجين - بروبان
___	يولد الأمواج الطولية والعرضية	___	**Omnipulse™**

أسماء هذه المنابع أكثرها أسماء تجارية Trade names[١٥]

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصـــل الســـابع
أجهزة التسجيل السيسمية الجيوهندسية

٧ .١. لمحة عن مبدأ تسجيل الأمواج السيسمية

٧ .٢. قنال التسجيل السيسمي

٧ .٣. الأجهزة الرقمية الجيوهندسية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أجهزة التسجيل السيسمية الجيوهندسية

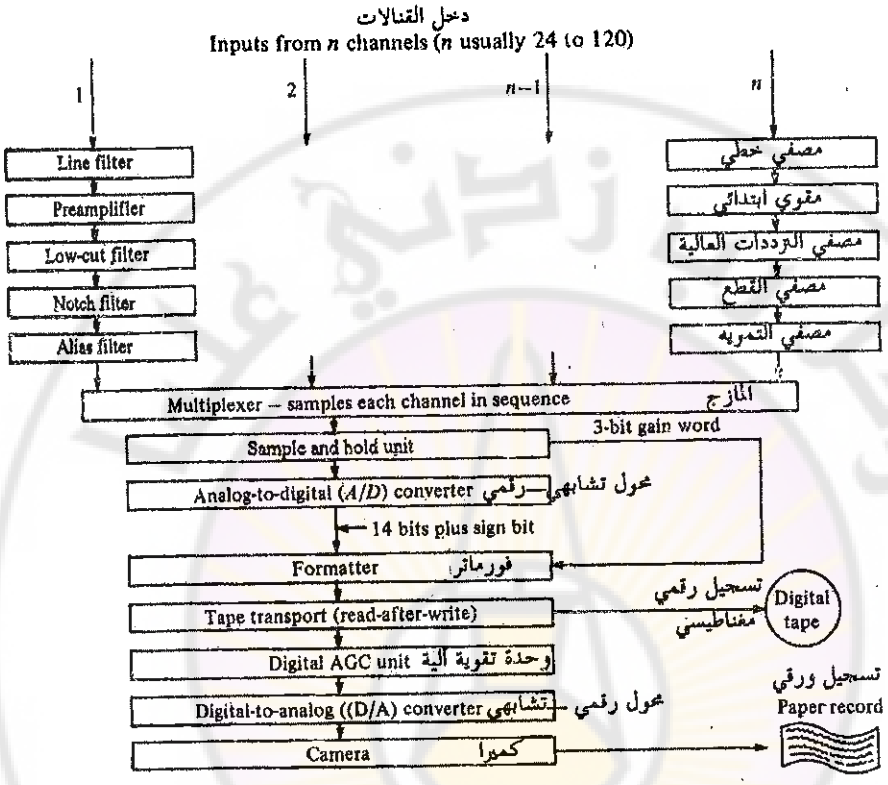
نستخدم لدراسة البنية الجيولوجية بالطرائق السيسمية أجهزة لتسجيل الاهتزازات الميكانيكية لوسط الانتشار، والمسجلة على السطح أو في الآبار أوفي المناجم كما ذكر سابقاً. ولتسجيل تلك الاهتزازات الناتجة عن المنبع تستخدم أجهزة تسجيل معقدة. هذه الأجهزة يجب أن تكون ذات حساسية كافية لتستقبل كل الاهتزازات الناتجة عن الوسط وخاصة الضعيفة منها، وتسجلها كما هي قدر الإمكان بعيداً عن أمواج الضجيج، أو بنسبة أفضل للإشارة إلى الضجيج.

٧ . ١. لمحة عن مبدأ تسجيل الأمواج السيسمية.

يتم التسجيل الحقلي للأمواج السيسمية بوقت واحد على طول خط القياس المدروس أو المنطقة المرصودة، وذلك بمساعدة محطات سيسمية متعددة القنالات. في الوقت الحاضر هناك محطات سيسمية متنوعة منها ذات ٢٤ و٤٨ و٩٦ و١٢٠قنالاً، حيث توفر بوقت واحد تسجيل ٢٤، ٤٨، ٩٦ ،١٢٠ نقطة رصد. وهناك محطات ذات قنالات تحوي أكثر من ١٢٠ قناةً وخاصة المحطات المصممة للدراسات السيسمية ثلاثية الأبعاد (3D)،حيث يمكن أن تصل من ٦٠٠ إلى ١٠٠٠قنال وأكثر. يمكن مراقبة التسجيلات المغناطيسية الحقلية مباشرة في الحقل بعرضها على شاشة إلكترونية أو على شريط ورقي.

٧ . ٢. قنال التسجيل السيسمي

يعد قنال التسجيل السيسمي العنصر الأساس في أجهزة التسجيل السيسمية؛ فضمن هذا المفهوم تنطوي مجموعة الوحدات والتكوينات التي تؤمن استقبال وتسجيل الاهتزازات السيسمية الشكل (٧ -١). وكل قنال تسجيل يحتوي بشكل عام على لاقط (Geophone) و مقوي سعة الإشارة أو المضخم (Amplifier) و مصفي الترددات (Frequency filtering) و وحدات تسجيل.

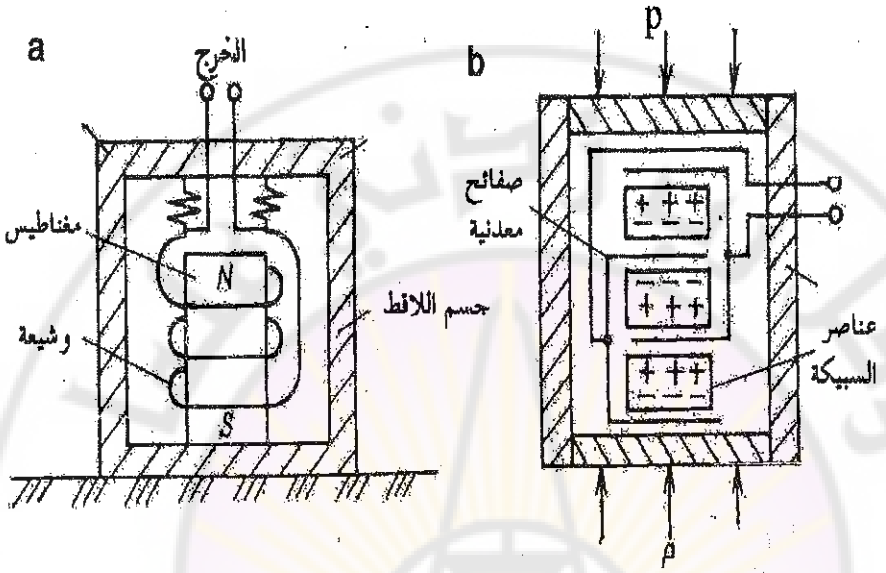


الشكل(٧ – ١) مخطط أنظمة التسجيل الرقمية[شريف وكلدارت١٩٩٥].

٧ . ٢ . ١. اللاقط

تعد إزاحة التربة الأصغرية الناتجة عن مرور الأمواج السيسمية في نقطة الرصد قليلة جداً ولا تزيد عن ١٠$^{-٦}$ — ١٠$^{-٧}$ مم. والسعة الأصغرية للاهتزاز التي يمكن أن نبحث عنها على السجل السيسمي هي بحدود ١ – ١,٥ مم، هذا يعني أن قنال التسجيل السيسمي يجب أن يؤمن تقوية للإشارة بمقدار مليون مرة، وهذه التقوية الكبيرة للإشارة يمكن أن تتم بمساعدة دارة تضخيم إلكترونية. ولهذا يجب أولاً تحويل

الإزاحة الميكانيكية للتربة إلى إشارة كهربائية. ندعومحول الحركة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية أو جهد كهربائي باللاقط الشكل (٧-٢)[١، ٧، ٩، ١٥].



الشكل (٧ – ٢) مخطط اللاقط الكهروميكانيكي (a) والكهراجهادي (b)

٧ .٢ .٢. العمليات الانتقالية للاقط

وردت في السنة السابقة معادلة حركة اللاقط والتي لها الشكل العام التالي :

$$X'' + 2hX' + \omega_0^2 X = -VZ''$$

حيث $h = \frac{G}{2M}$ و $\omega_0^2 = \frac{K}{M}$ ومنه $\omega_0^2 = 2\pi\nu_0 = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}}$

وبعدحل المعادلة التفاضلية للاقط والتي تعد اهتزازات ذاتية لكتلة اللاقط تكون من الشكل أدناه:

$$U'' + (\omega_0^2 - h^2)U = 0$$

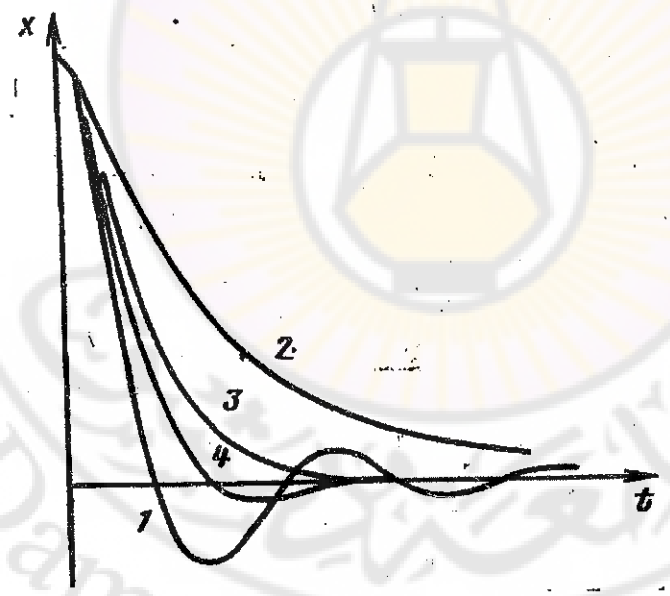
ومنها يمكن اختيار التخامد المثالي للاقط واختيار مواصفات اللواقط المستخدمة للأغراض الجيوهندسية. كما ويبين الشكل (٧ – ٣) التالي العمليات الانتقالية للاقط عند تخامدات مختلفة[٩]:

١ – تخامد ضعيف عند $h < \omega_0$ ،

٢– تخامد لادوري عند $h > \omega_0$ ،

٣– التخامد الحرج عند $h = \omega_0$ ،

٤– التخامد المثالي عند $h = \frac{\omega_0}{\sqrt{2}}$ ، وترددات التخامد الحر للاهتزازة $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}$ ،عندما $h = 0 \Rightarrow \omega_1 = \omega_0 \;\&\; h \to \omega_0 \Rightarrow \omega_1 = 0$



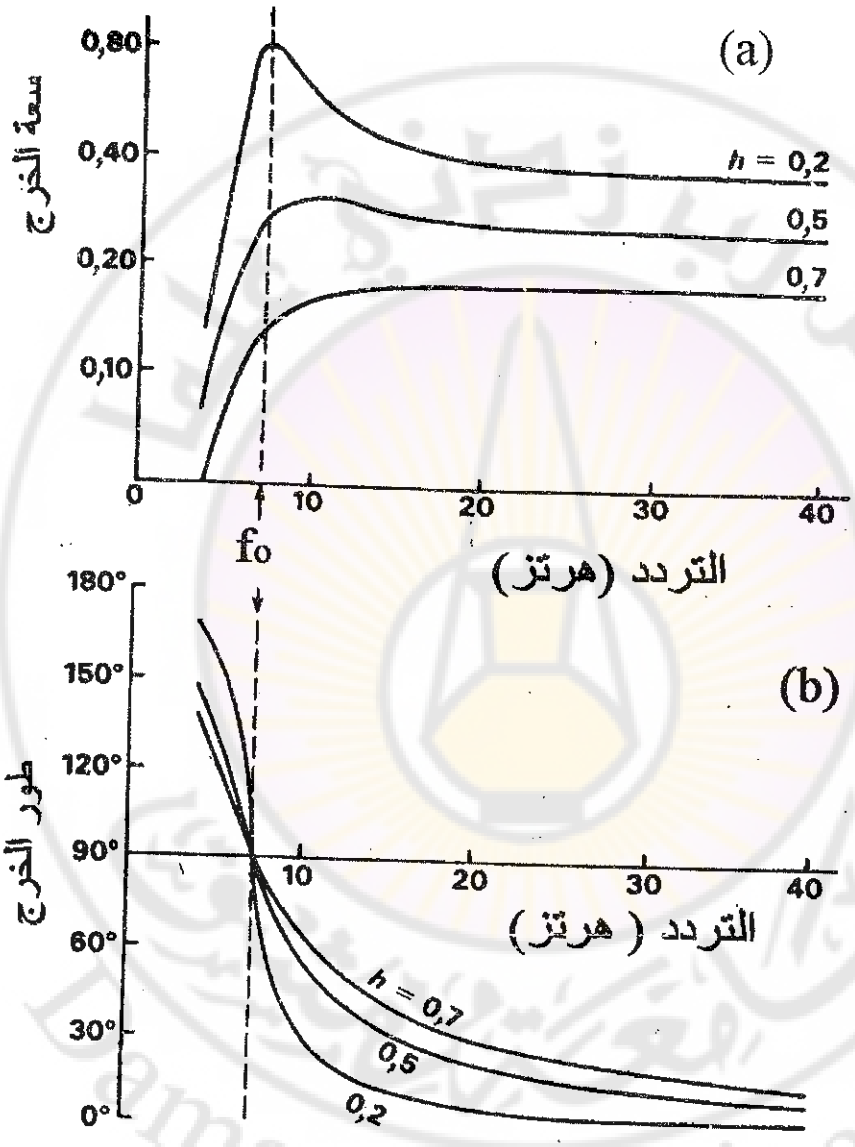
الشكل(٧–٣) العمليات الانتقالية لتخامد حركة اللاقط ١– تخامد ضعيف ٢– تخامد لادوري ٣– تخامد حرج ٤– تخامد مثالي [غوكونف ١٩٩٠].

نموذجياً شكل إشارة خرج اللاقط تقريباً تكرر وتعيد شكل اهتزاز التربة، وهذا يتم بالاختيار الدقيق لقيمة عامل التخامد. فإن التخامد الضعيف يقود إلى ذبذبة الإشارة على خرج اللاقط عند الترددات الذاتية، والتخامد الكبير والسريع يقود إلى انخفاض الحساسية. ولكن التخامد يتم اختياره عادة تقريباً عند ٠,٧ من القيمة الحرجة، حيث لا تظهر الذبذبة على المواصفات السعوية – الترددية، والتي تكون عندها الإشارة الميكانيكية المؤثرة على شكل نبضة كما في الشكل (٧-٤) حيث المنحني h=0.7، وعند تلك القيمة فإن المواصفات السعوية الترددية لتخامد اللاقط تكون عملياً مستوية عند ترددات أعلى من الترددات الذاتية كما هو واضح من الأشكال(٧-٤).

عند $h=0$ فإن الخرج يصبح لانهائياً عند التردد الطبيعي أي اللاقط غير متخامد، الإشارة لها نهاية حادة للترددات الذاتية للاقط، وهذه النتيجة نظرية لأن التخامد لا يمكن أن يكون صفراً. وعند زيادة عامل التخامد تصغر النهاية الحادة وتتناقص في الشدة وتتجه نحو الترددات الأعلى.

أما عند اختيار عامل التخامد $h=0.7$ فإن القمة تختفي ويكون التخامد مثالاً،لأنه يؤمن تسجيل الإشارة السيسمية بأقل تشوه ممكن لها. أما عندما تزداد h عن هذه القيمة تقل الاستجابة للترددات المنخفضة وتقل حساسية اللاقط.إذاً من الواضح أن عامل تخامد اللاقط يلعب الدور الهام في تحديد مواصفات ونوعية اللاقط المطلوب وتحديد أدائه واختيار التردد الطبيعي.

يتم تحديد حساسية اللاقط للأغراض العملية من خلال العوامل (M,K,h) ضمن المعادلة f_0 أي من خلال نصف القطر، وعدد لفات الوشيعة و شدة الحقل المغناطيسي.



الشكل(٧-٤) المواصفات السعوية و الطورية للاقط ذات تردد طبيعي ٧ هرتز عند قيم مختلفة لعامل التخامد h [كيري وبروك ١٩٨٨].

٧ .٢ .٣. المجال الديناميكي وتضخيم الإشارة

المجال الديناميكي يحدد بنسبة السعة العظمى إلى السعة الصغرى للإشارة المسجلة. فكلما كان المجال الديناميكي أكبر كان تغير السعة للاهتزاز التشاهي ضمن المجال المضمون لتحويلها إلى تسجيل رقمي.حيث يقاس المجال الديناميكي بالديسيبل: الديسيبل هو وحدة قياس الطاقة أو السعة وتحدد بـ $20 \log_{10}$ لنسبة السعة أو $10 \log_{10}$ لنسبة الطاقة لدخل وخرج النظام حيث :

$$10 \lg \frac{p_1}{p_2} = 10 \lg(\frac{A_1}{A_2})^2 = 20 \lg \frac{A_1}{A_2}$$

يستخدم الجيوفيزيائيون السيسميون عادة السعة{وحدة قياس مستوى الصوت لوغاريتمياً هي البل (b) وتصادف غالباً (db)ديسيبل والتي تساوي ٠,١ بل $[decibel = 0.1bel]$} على سبيل المثال، إذا تم تسجيل السعة في المجال من ١ حتى ١٠٢٤ وحدة سعة فإن المجال الديناميكي يحدد بـ :

$$20 \lg \frac{A_{\max}}{A_{\min}} = 20 \lg 1024 \approx 60\,db$$

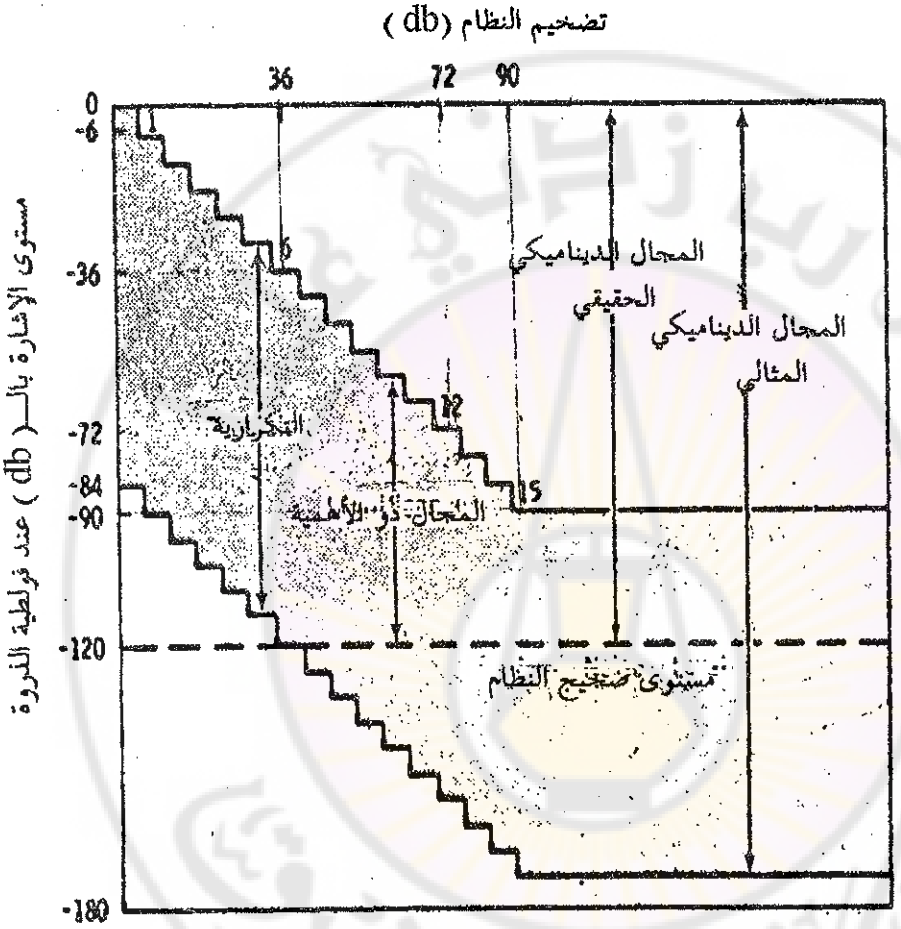
يستخدم في الأجهزة الرقمية عادة وللسهولة النظام الثنائي،كل ثنائية تسمى بت(bit)، إذاً المجال الديناميكي ذو الـ ٦٠ ديسيبلاً يتطلب ١٠ بت حيث $1024 = 2^{10}$، وهو يحدد بعدد البت bit ، $60/6 = 10bit$ ،حيث $[20\lg\frac{2}{1} = 6db]$ و هذا يعني أن كل بت يعادل ٦ ديسيبل. يبين الشكل(٧-٥) مخططاً يوضح ميزات النظام الرقمي[٥، ١٠، ١٤، ١٥].

المجال الديناميكي ذو ٨٤ ديسيبلاً يطابق نسبة السعة 2^{14} بت، فإن زيادة البت للنظام يزيد من المجال الديناميكي. إذاً:

١ - زيادة الإشارة إلى ٦ ديسيبل تقود إلى ضعف السعة

وعند زيادة الإشارة إلى ١٢ ديسيبلاً تقود إلى زيادة السعة بمقدار ٤ مرات

وعند زيادة الإشارة إلى ١٨ ديسيبلاً تقود إلى زيادة السعة بمقدار ٨ مرات



الشكل (٧-٥) ميزات النظام الرقمي

٢- بزيادة الإشارة إلى ٢٠ ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠ مرات أي رتبة واحدة
بزيادة الإشارة إلى ٤٠ ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠٠ مرة أي رتبتين
بزيادة الإشارة إلى ٦٠ ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠٠٠ مرة أي ٣ رتب
بزيادة الإشارة إلى ٨٠ ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠٠٠٠ مرة أي ٤ رتب

بزيادة الإشارة إلى ١٠٠ديسيبل السعة تزيد بمقدار ١٠٠٠٠٠ مرة أي ٥ رتب

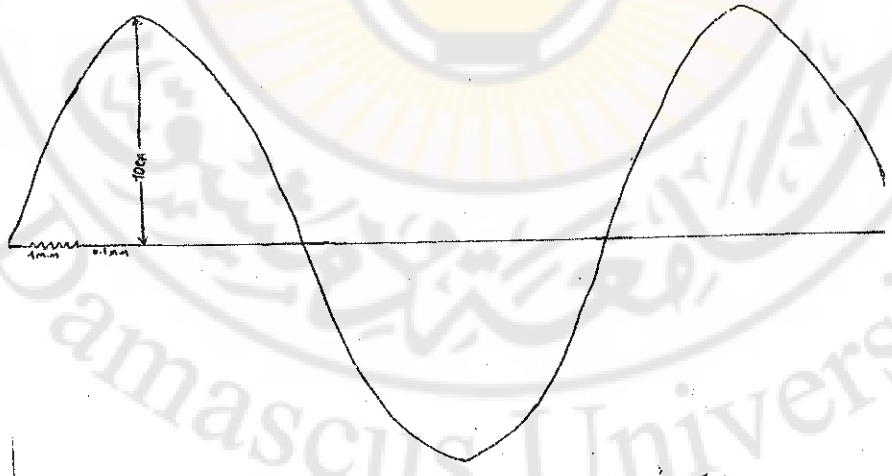
بزيادة الإشارة إلى ١٢٠ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠٠٠٠٠٠ مرة أي ٦ رتب

بزيادة الإشارة إلى ١٤٠ديسيبلاً السعة تزيد بمقدار ١٠٠٠٠٠٠٠ مرة أي٧ رتب

ومنه : $20\lg_{10} A = B \Rightarrow A = 10^{\frac{B}{20}}$ مثال ذلك

$$20\lg_{10} 1000 = 60 \Rightarrow 1000 = 10^{\frac{60}{20}}$$

إذا كان لدينا تضخيم بمقدار ١٠٠ ديسيبل فإن الإشارة الداخلة ذات الجهد ٥ ميكروفولت تظهر على الخرج بمقدار ٠,٥ فولت، أي تكبر ١٠٠٠٠٠ مرة (١٠٠ ديسيبل) والـ ١٢٠ ديسيبلاً تصبح ٥ فولت أي تكبر مليون مرة. للتوضيح أكثر نورد مثال المجال الديناميكي لعين الإنسان والذي يساوي إلى ٦٠ ديسيبلاً. حيث يمكن أن نرى و نميز إشارتين بوقت واحد اكبر إشارة ذات مطال ١٠٠ مم واصغر إشارة ذات مطال ٠,١ مم مرسومة على ورقة عادية وتبعد ٣٠سم عن العين، وهو التقدير النموذجي لإمكانية الإنسان الشكل(٧-٦).

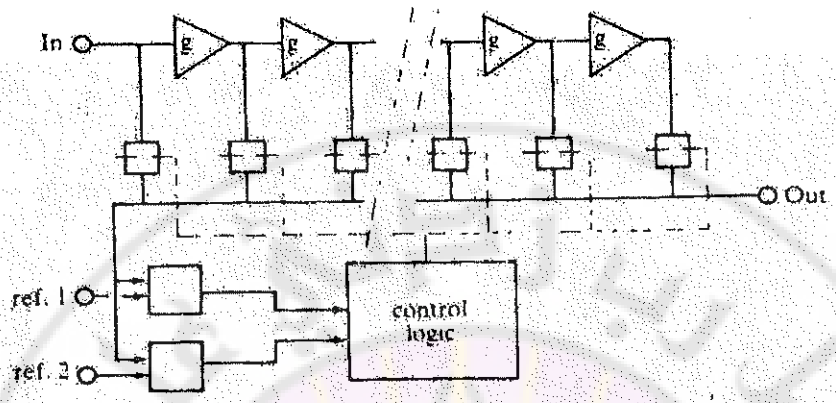


الشكل (٧- ٦) المجال الديناميكي لعين الإنسان Eye dynamic range

٣.٧ . الأجهزة الرقمية الجيوهندسية

إن مراحل التضخيم الرقمي هي تشابهية قبل وحدة الترقيم.وهذه أحياناً تتضمن كما في الشكل (٧-١)مضخماً خطياً لإنقاص الضجيج الراديوي ومصفي القطع لإزالة الإشارات الناجمة عن خطوط القدرة العالية التوتر ذات الترددات ٥٠ —٦٠ هرتزاً، حيث إن المعطيات قرب اللواقط تكون غير رقمية. المضخم الأولي يزيد الربح بكمية ثابتة قبل المزج و الرقمنة. يساعد قاطع الترددات المنخفضة اللواقط للتخلص من تأثير الأمواج السطحية القوية، ومصفي التمويه لمنع ترددات التمويه المرآتية. يربط المازج عدة قنالات متتالية للمرقم، وهناك قنال واحد لترقيم الشريط المغناطيسي. يأخذ المازج (أو المحول التشابهي – الرقمي A/D) فولطات الإشارة في عينات ويأخذ الدارة ككل ويقارن الفولطات مع النماذج على التوالي لقياس تلك القيم. يمكن أن تكون قياسات الخرج شكلاً من الربح بالإضافة إلى قيم أخرى. وقد نظمت عندها المعطيات ورتبت وسجلت على شريط مغناطيسي. تتم هذه الأيام الرقمنة في كثير من الأنظمة المختلفة بجانب اللاقط (الجيوفون- Geophone) أو الهيدروفون ضمن وحدات صغيرة تتعامل كل منها مع عدة قنالات.

تظهر نتائج التسجيل من الشريط على شاشة التسجيل التشابهي، قيم الشريط تقرأ بواسطة رأس قراءة بعد الكتابة، و إعادة الفك، لتصنيفها كل واحدة في قنالها، ويطبق عادة AGC وغالباً التصفية، وتذهب قيم الفولطات إلى الكاميرا. وهذه الإجراءات تأخذ غالباً ٨ بت (8-bit) لأن المجال الديناميكي محدد جداً (حوالي ٢٠ ديسيبلاً) من ورقة الإظهار . في بداية السبعينيات أصبحت الاستجابة سريعة بشكل كاف لمعايرة السعة بدون فترة توقف حيث وضعت في الاستخدام مضخمات الفاصلة العائمة المتحركة أو الفاصلة اللحظية المتحركة(*IFP*) لاحظ الشكل (٧-٧)[١٥].



الشكل(٧- ٧) مخطط بياني للفاصلة المتحركة اللحظية[شريف وكلدارت١٩٩٥].

تتوفر في الوقت الحالي أجهزة سيسمية مدمجة ومحمولة مؤلفة من ١٢-٢٤ قناةً تحسن و تكدس إشارة التسجيل السيسمية، وهي متوفرة في العديد من المصانع أحدها واضح في الشكل (٧-٨) ويتألف من ١٠١٦ قناةً وذات محمول تشابهي رقمي ٢٤ بتاً، والآخر الشكل(٧-٩) جهاز محمول يتألف من ٢٤ قناةً . تحسين الإشارة يعني القدرة على التكديس الشاقولي لعدد من التسجيلات المفردة. هذه التسجيلات تتكون محولاتها الرقمية من ١٢-١٥ بتاً وتسجل المعلومات على أقراص لينة. والمجال الترددي لها من ٣- ٥٠٠٠ هرتز واكثر، ويمكن أخذ العينات بفترة نصف ميلي ثانية. وطريقة عرض المعلومات تتم في وقت واجد على شاشة عرض وطباعة باستخدام طابعة حرارية. وزن هذه الأجهزة من ١٥ -٢٥ كغ والكثير منها يصل عدد قنالاتها إلى ١٢٠ قناةً، والبعض منها يتضمن بعض أنواع المعالجة لتسهيل التفسيرات الانكسارية وتطبيق التصحيحات الديناميكية (NMO) للمعطيات الانعكاسية.

الشكل(٧-٨) أجهزة تسجيل حقلية محمولة ، جهاز تسجيل ذو ٢٤ بتاً و وأكثر من ١٢٠ قناةً،[شريف وكلدارت١٩٩٥].

Damascus University

(b)

الشكل(٧-٩) جهاز سيسمي محمول ذات ٢٤ قناةً وشاشة عرض في وطابعة حرارية[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

Damascus University

٧. ٣ . ١ . تحويل سعة الإشارة التشابهية إلى رقمية – قيمة سعة الإشارة التشابهية

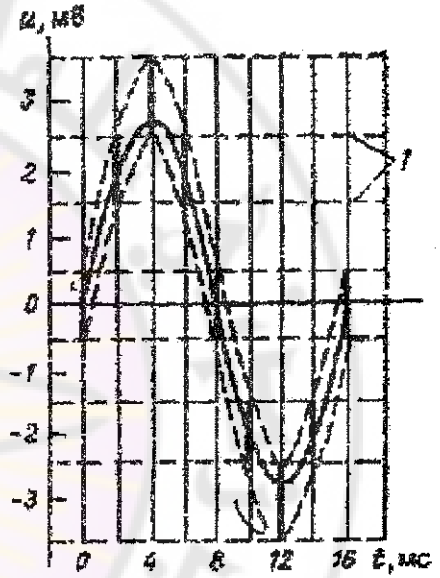
القياس اللحظي لقيمة الإشارة التشابهية ووضعها بشكل رمز رقمي (على سبيل المثال ثنائي) يسمى كمية السعة أو التحويل الرقمي الكمي للسعة. كل المحطات السيسمية الحديثة عادة تسجل الإشارة السيسمية رقمياً؛ وبالقياس الآني لقيمة الإشارة وبشكل مستمر.

مبدأ التحويل الكمي لسعة الإشارة السيسمية موضح في الشكل (٧-١٠) والذي يمثل نبضة أو إشارة ذات تردد ظاهري ٦٠ هرتزاً وفترة تقطيع زمني ٢ ميلي ثانية. قيمة الجهد اللحظية للإشارة تتغير من ± ٢,٩ ميلي فولط. معيار مستوى الجهد مأخوذ خلال ١ ميلي فولط ، بداية المستوى + ٥ و – ٥ ميلي فولط. اختيار القيمة اللحظية للإشارة كان خلال ٢ ميلي ثانية، القيمة الكمية في الميلي فولط وبالترميز الثنائي المعطى بالجدول المرفق[٢١].

في مثالنا هناك عملية تقريب الكمية ضمن ٠,٥ والتي عملياً تشوه الإشارة وتعد تقريبية كما هو واضح من الشكل السابق. تدل قطع الخطوط السوداء الشاقولية على أن القيمة اللحظية للإشارة لها القيمة الكمية نفسها. إذاً هناك عدد كبير من الإشارات المتماثلة، والتي تقع قيمتها ضمن المنطقة المحددة بالخطوط المنقطة، والتي ترمز بالقيمة الكمية نفسها، والتي نعدها كلها إشارة واحدة وهذا خطأ كبير.

يتحقق التحديد الدقيق للإشارة إذا اخترنا مجال قيمة الكمية اصغر من القيمة السابقة، و نحصل على النتيجة نفسها بزيادة عدد سويات القياس أو المعايرة، حيث تصبح على سبيل المثال معيار مستوى الجهد ٠,٥ ميلي فولط أو ٠,٢٥ ميلي فولط أو أقل بكثير، بدلا من ١ ميلي فولط. في مثالنا مستوى الكمية ١ ميلي فولط لترميز الإشارة ذات السعة العظمى ± ٢,٩ ميلي فولط ، اكتفينا بثلاث بيتات (bit٣) ثلاث رتب (اثنتان للعد وواحدة للإشارة ±).

في الأجهزة السيسمية الرقمية الحديثة تستخدم للتسجيل اللحظي لقيمة كل إشارة في النظام الثنائي ١٥ رتبة ثنائية (١٤ رتبة لتسجيل الأعداد و واحدة لرمز الإشارة ±) ، والتي لها مجال ديناميكي لتسجيل الاهتزاز حوالي ١٥٠ ديسيبلاً ، والتي تؤمن التسجيل بدون تشوه الإشارات ضمن المجال الديناميكي ١٢٠ – ١٤٠ديسيبلا.



أ- مستوى معيار الجهد

زمن التقطيع M.S (ميلي ثانية)	القيمة اللحظية للإشارة MB (ميلي فولت)	القيمة الكمية اللحظية للإشارة MB (ميلي فولت)	تسجيل الإشارة في الترميز الثنائي				الشريط
			رمز الإشارة	2^3	2^2	2^0	
0	0	0	0	0	0	0	
2	2,1	2	0	0	1	0	
4	2,9	3	0	0	1	1	
6	2,1	2	0	0	1	0	
8	0	0	0	0	0	0	
10	—2,1	—2	1	0	1	0	
12	—2,9	—3	1	0	1	1	
14	—2,1	—2	1	0	1	0	
16	0	0	0	0	0	0	

مفهوم كمية سعة الإشارة السوزمية

الشكل (٧-١٠) كمية سعة الإشارة [زاميسكي ١٩٨٩].

الفصـــل الثـــامن

المسح السيسمي البحري والمعدات البحرية

٨. ١. مقدمة

٨. ٢. تأثير الفقاعة

٨. ٣. المدفع الهوائي

٨. ٤. المنابع البحرية الأخرى

٨. ٥. اختيار المنابع البحرية.

٨. ٦. اللواقط المائية أو البحرية

٨. ٧. الأكبال

٨. ٨. تحديد الموقع في البحر

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

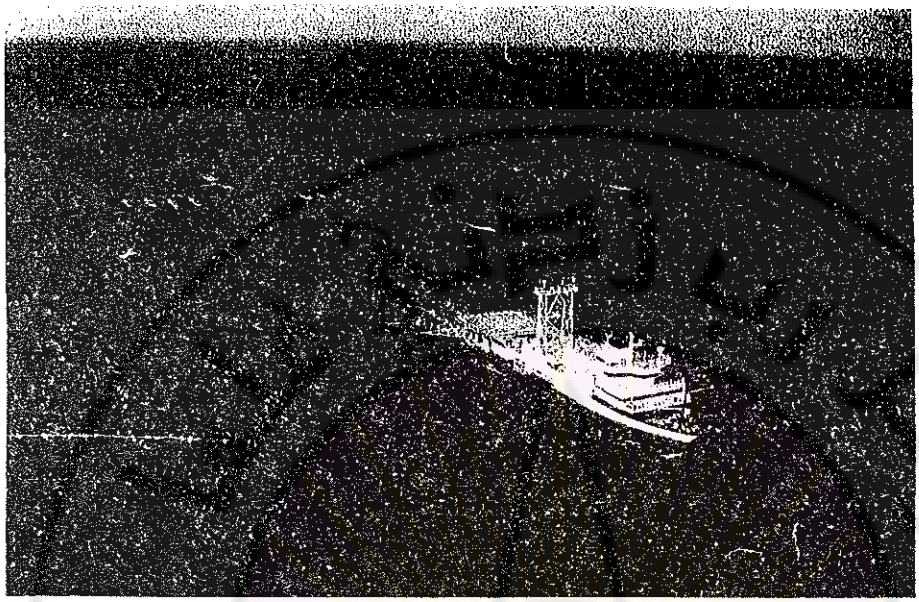
المسح السيسمي البحري Marine seismic survey

والمعدات البحرية Marine equipment

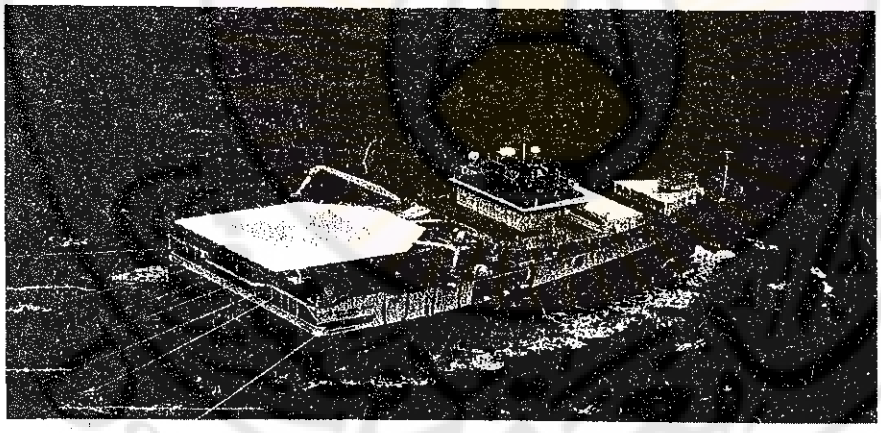
٨. ١. مقدمة

إن السفن المستخدمة لعمليات جمع المعطيات السيسمية البحرية عادة تكـــون كبيرة، حيث يتراوح طولها من ٣٠-٩٥ م وعرضها من٥ —٢٠ م. في الشكل(٨-١) نلاحظ سفينة نموذجية ترتفع حتى ٦ م، تحمل السفينة كميات كافية من الوقود والماء والتجهيزات الأخرى اللازمة للعمل في البحر لمدة (٣٠-٦٠)يوماً، وتتسع الســفينة عادة لـــ (٢٥ — ٦٠) شخصاً. إن استكمال المؤونة وعمليات تبادل الموظفين تتم في البحر، وبذلك فإن الأعمال تستمر بشكل ثابت. ويوجد عادة رصـــيف في الســـفينة يمكن أن تهبط عليه طائرة مروحية. ويمكن أن تصنع في السفينة المياه العذبة بواســـطة التناضح العكسي (reverse osmosis)أي الانتشار (بالتنافذ الغشائي العكسي). تزود السفينة كالمعتاد بعدد من أجهزة الراديو ومعينات الملاحة والرادار، وذلك لتأمين الاتصالات وتحديد الموقع، وكذلك فاكس ومستقبل معلومات الرصد الجوي. وتكون سرعة السفينة أثناء عملية جمع المعطيات بحدود(٥-٦) عقدة في الساعة أي(٢,٥— ٣) م/ثا أو(٩ —١١)كم /سا، وإذا لم تكن هناك عملية جمع للمعطيات فيمكن أن تســـير السفينة بسرعة (١٥)عقدة في الساعة (٢٨)كم/سا. إن درجة عالية مـــن الأتمتـــة تم تطبيقها على السفينة وذلك للقيام بالعمليات المستمرة ذات الفعالية العالية.

يبين الشكل(٨-٢) مشاهد على متن سفن سيسمية، هناك عدة كيلومترات من الأكبال السيسمية البحرية مخزنة في بكرات كبيرة وضخمة الشكل(٨-٢-a) حيث ترمى هذه الأكبال من فوق مؤخرة السفينة إلى المياه. وتشكيلة المنابع (المدافع الهوائية) تعلق أحيانا فوق التوربينات بالحوامل السطحية كما في الشـــكل(٨-٢-b)، ويـــبين الشكل(٨-١-c) غرفة تحوي أجهزة حاسوب ضخمة[١٥].



(a)



الشكل(٨-١) a – سفينة سيسمية تجر خلفها ثلاثة أكبال و منبعين، b– سفينة سيسمية أثناء العمل يمكن أن تجر خلفها حتى ١٢ كبلاً [رينولد ١٩٩٨].

الشكل(٨-٢) مناظر ضمن السفينة، a – بكرة الكبل السيزمية ، b – مكان المدافع الهوائية، c- غرفة الأجهزة [شيريف وكلدارت١٩٩٥].

وكما هو الحال في المسوح على اليابسة، فإن عملية جمع المعطيات السيسمية البحرية المبكرة استخدمت المواد المتفجرة كمصادر للطاقة. وعلى الرغم من أن فعالية التفجير في الماء تتزايد مع العمق؛ فإنه تم مؤخرا اكتشاف بأن الغازات المتبقية تتذبذب في الماء بما يسمى تذبذب الفقاعة، كل ذبذبة تولد بشكل فعلي تسجيلاً سيسمياً جديداً يتم تسجله فوق التسجيل السيسمي الأسبق، وبذلك يصعب تفسير مزيج التسجيل الناتج. وللتغلب على هذه المشكلة تعلق شحنة المتفجرات ببالون طافٍ على عمق ٢ م من السطح بحيث تسمح للغازات المتبقية بالانفلات إلى الغلاف الجوي قبل تلاشي الفقاعة؛ وتولد موجة سيسمية ثانية.

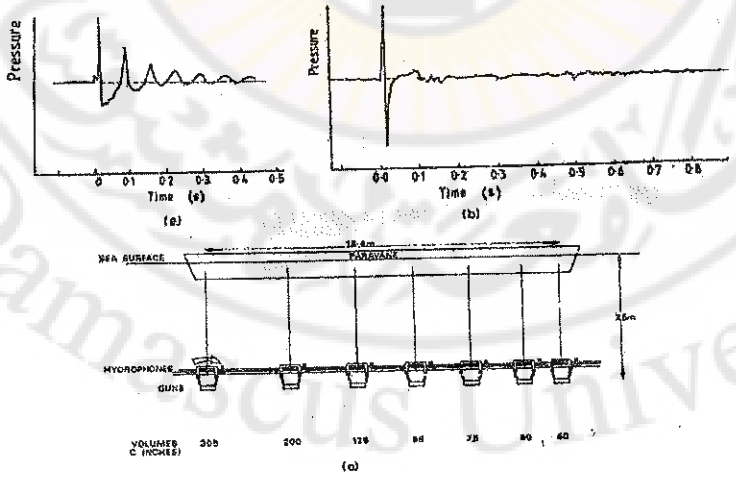
عوامل الأمان تتطلب بأن توضع على السفينة مادة متفجرة وحيدة، وهذا يعني أن الطلقات لا يمكن إطلاقها خلال فواصل زمنية قصيرة، لذلك فإن طريقة النقطة العاكسة المشتركة (CMP)لا يمكن استخدامها بشكل فعّال في البيئة البحرية. وما أن أصبحت المصادر البحرية غير التفجيرية متوفرة، فإن استخدام المتفجرات كمصادر بحرية تلاشى بشكل سريع.

8. ٢. تأثير الفقاعة الغازية(Bubble effect)

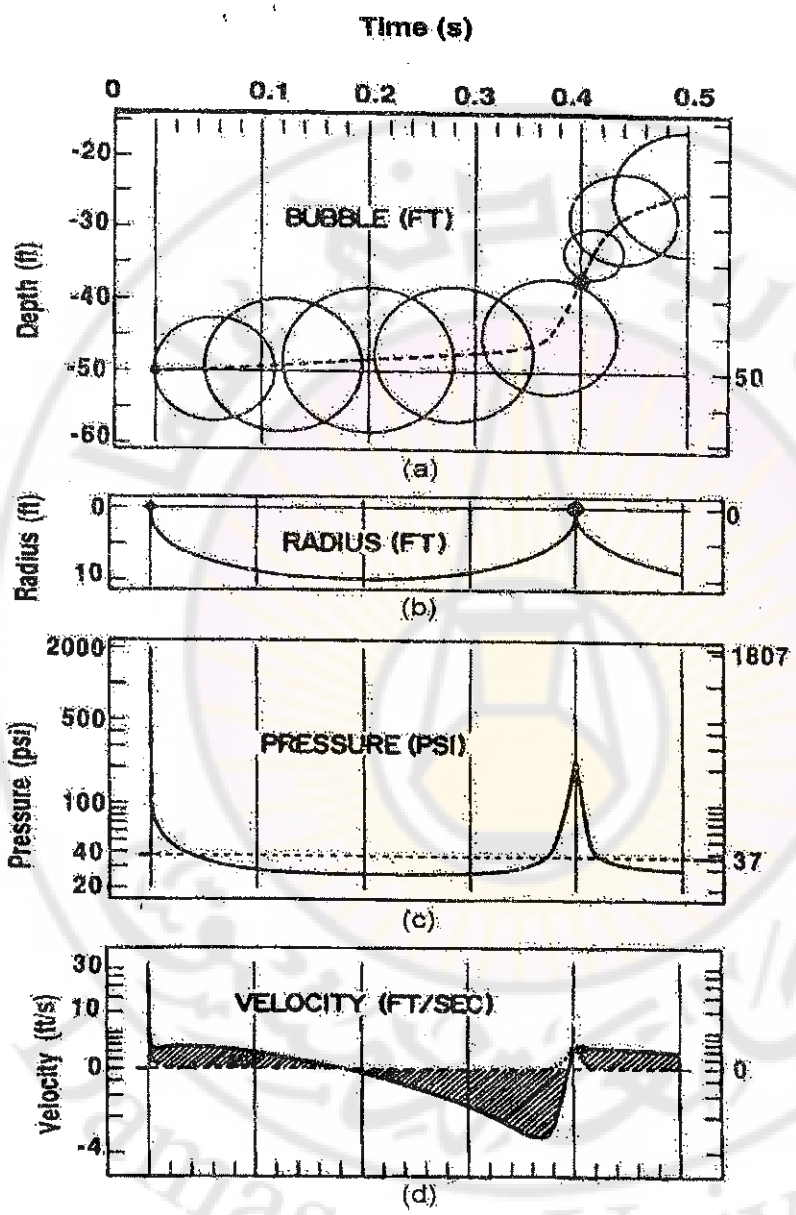
تأثير الفقاعة هو مجرد وصف يستعمل لأي مصدر يقوم بحقن غازات ذات ضغط عالٍ جدا في الماء، كما هو موضح في الشكل (٨-٤). وبما أن الضغط في فقاعة الغاز يفوق الضغط الهيدروستاتيكي للماء المحيط؛ فإن القوة الدافعة تؤدي إلى تسارع الماء نحو الخارج. تتناقص هذه القوة مع تمدد الفقاعة وتصبح القوة مساوية للصفر ، وذلك عندما يقهر تمدد الفقاعة ضغط الغازات إلى الضغط الهيدروستاتيكي. ويكتسب الماء سرعة عظمى نحو الخارج، حتى يصبح الضغط داخل الفقاعة أصغر من الضغط الهيدروستاتيكي عندها تتلاشى الفقاعة وتنعكس القوة نحو الداخل، حيث يتجمع الماء نحو مركز الفقاعة حتى يصبح حجم الفقاعة محدوداً جداً، وهكذا يتم بشكل سريع

ضغط الغاز إلى درجة عالية من الضغط، حيث يصبح الضغط أعظميا عندما يصل حجم الفقاعة إلى أصغر حجم ممكن، ومن هذه اللحظة تبدأ العملية بالتحول وتأخذ الفقاعة بالتمدد ثانية. تستمر هذه العملية مع ارتفاع الفقاعة نحو الأعلى، حيث يتم ضياع جزء من الطاقة مع كل عملية تذبذب جديدة. تتلاشى الفقاعة أخيراً عند وصولها إلى سطح الماء حيث تنطلق الغازات على الغلاف الجوي، وبالتالي تنتهي دورة الفقاعة. تتشكل الأمواج السيسمية من الضغط العالي المرافق لتلاشي كل فقاعة. يعتمد دور تذبذب فقاعة الغاز، على الطاقة المختزنة في الفقاعة الشكل (٨-٤) ويمكن أن يحدث ضمن مجال الترددات السيسمية في حالة المنابع الصغيرة، وبالتالي هذه الذبذبات تسهم في فعالية المنابع. إن طاقة الفقاعة تقريبا تتناسب مع الحجم الأعظمي للفقاعة عندما يبدأ الانفجار الداخلي[I، ٦، ١٥].

تأثير الفقاعة هام في تحديد أشكال موجة المصدر على الغالب في معظم المصادر البحرية حتى في تلك المصممة خصيصا لتصغير التأثير من خلال تشتيت طاقة الفقاعة بعد التلاشي الأول، يبين الشكل (٨-٣-a) شكل الموجة المتولدة عن مدفع هوائي صغير.



الشكل(٨-٣) شكل الإشارة المولدة من مدفع هوائي[شيريف وكلدارت١٩٩٥].



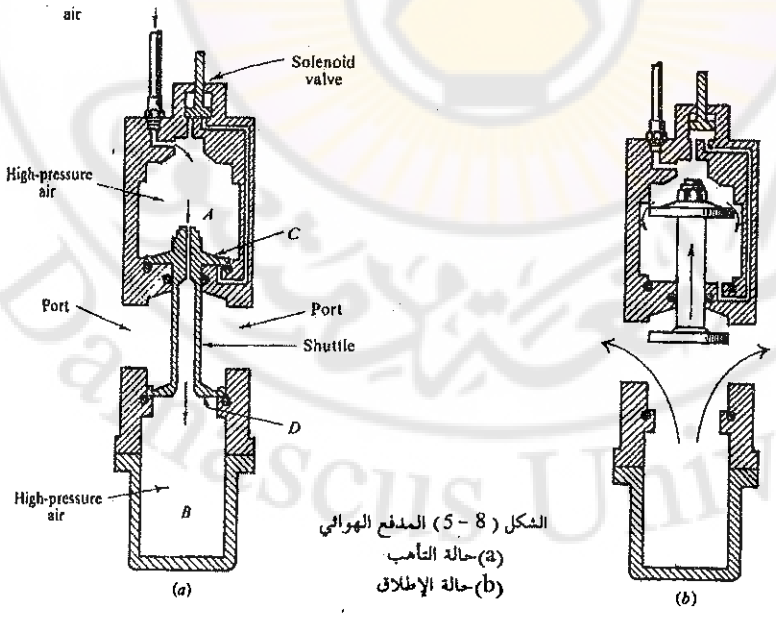
الشكل (8 ـ 4) تأثير الفقاعة.(a)عمق الفقاعة،(b)نصف قطر الفقاعة، (c)ضغط الفقاعة،(d)سرعة المياه بالقرب من الفقاعة

٨ . ٣. المدفع الهوائي (Air gun)

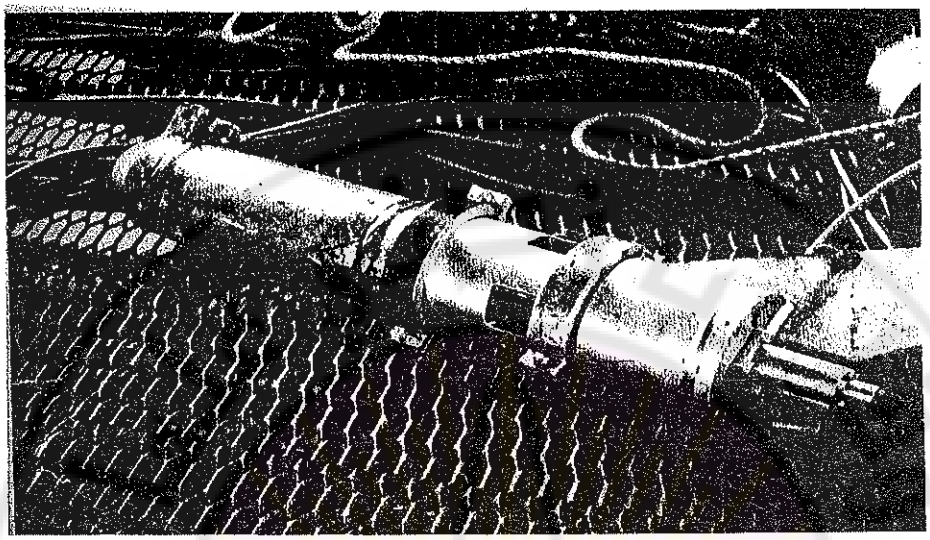
المدفع الهوائي :هو منبع للطاقة السيسمية في المياه وهو المنبع البحري الأكثر شيوعا، حيث إنه أداة تطلق هواء ذا ضغط عالٍ جداً ضمن الماء الشكل(٨-٥) يتم استخدام الضغوط العالية حتى ١٠٠٠٠ أي(٧٠ Mpa) على الرغم من أن الضغوط الأكثر شيوعا هي ٢٠٠٠ ضغط جوي (psi-pound per square inch) أي (١٤ Mpa) . يبين الشكل(٨-٥-a) المدفع الهوائي وهو في وضع التأهب حيث إنه جاهز للإطلاق، إن الحجرتين A و B مملوءتان بهواء ذي ضغط عالٍ، يدخل الهواء إلى الحجرة العلوية A عبر المنفذ الموجود في أعلى ويسار الحجرة، وينتقل إلى الحجرة السفلية B من خلال فتحة محورية موجودة في الذراع الذي يربط بين المكبسين العلوي والسفلي، المكبس العلوي (مكبس الإطلاق) يوجد في الحجرة العلوية، و المكبس السفلي (مكبس التفجير) يوجد في الحجرة السفلية، (إن الجناح العلوي C أكبر من الجناح السفليD، لذلك فإن محصلة القوى تؤدي إلى تحريك المكبسين باتجاه الأسفل). عند لحظة إطلاق المدفع فإن الصمام الموجود في قمة المدفع (صمام بملف لولبي) يقوم بفتح صمام يسمح للهواء ذي الضغط العالي بالوصول إلى اسفل المكبس C عن طريق أنبوب على يمين المكبس، وبالتالي يختل التوازن الحرج للنظام وتتحرك المجموعة باتجاه الأعلى بسرعة كبيرة، وبالتالي ينطلق الهواء المحصور في الحجرة السفلية بصورة مفاجئة ضمن المياه مولداً فقاعة غازية شبيهة بتلك المولدة عن طريق تفجير الديناميت. على أية حال، و بسبب كون الطاقة أصغر فإن ترددات الذبذبة يكون ضمن مجال الترددات السيسمية، ولذلك يمتلك تأثير إطالة النبضة الأولية (بدلا من توليد نبضات جديدة كما في حالة الديناميت).إن حركة الذراع نحو الأعلى تتوقف قبل اصطدامها بأعلى الحجرة A، وذلك لأن القوة تتناقص بسرعة باتجاه الأعلى عند دخول الهواء إلى الماء، و كذلك تزداد قوة الهواء باتجاه الأسفل، في الحجرة العلوية،

عندئذ فإن الذراع (shuttle) تعود إلى وضع التأهب، وتملأ الحجرة السفلية بالهواء ثانية. إن التفجير الذي يحرر الهواء يحدث خلال ١ –٤ ميلي ثانية، بينما دورة الإطلاق الكلية تتطلب ٢٥–٤٠ ميلي ثانية. إن الأنواع الأخرى من المدافع الهوائية تعمل بشكل أساس بالطريقة نفسها، منها **المدفع الهوائي من نوع " sleeve gun "** (**Harrison and Giacoma 1984**) حيث تفتح حجرة المدفع بشكل أسرع بكثير وبذلك فإن الهواء يتحرر بسرعة أكبر، وبالتالي يزداد الضغط ويزداد معه شدة الموجة السيسمية.

يمكن أن تقسم الحجرة السفلية للمدفع الهوائي إلى جزأين يتصلان ببعضهما بواسطة فوهة صغيرة (Mayne and Quay ,1971)، وبالتالي ينتج تأخير في تدفق الهواء في الحجرة الأعمق. يستمر جريان الهواء إلى الفقاعة لبعض الوقت بعد الجريان الأولي (الإطلاق الأولي)وبالتالي يؤخر التلاشي الشديد (العنيف) للفقاعة ويقلل من تأثير الفقاعة اللاحق، يبين الشكل(٨–٦) صورة المدفع الهوائي.



الشكل (8 – 5) المدفع الهوائي
(a)-حالة التأهب
(b)-حالة الإطلاق



الشكل(٨-٦) صورة المدفع الهوائي[شويف وكلدارت١٩٩٥].

يتذبذب شكل الموجة الذي ينتج عن إطلاقها من مدفع هوائي وحيد بسبب تأثير الفقاعة كما يبينه الشكل (٨ -٣ - a). إن أمواج الشبح المتأخرة المنعكسة عن سطح الماء تملك قطبية معاكسة وسعة إشارة قابلة للمقارنة مع تلك المتولدة عن المدفع الهوائي نفسه؛ وهي المسؤولة عن نصف الدور الثاني للإشارة السيسمية. عند ضغط الهواء نفسه فإن خرج الطاقة للمدفع الهوائي يتناسب مع جداء الحجم والضغط، وعادة يؤخذ حجمه على أساس حجم حجرته السفلية، وتتدرج أحجام المدافع الهوائية عادة من (١٠- ٢٠٠٠)بوصة مكعبة أي بين (٠,١٦ - ٣٣) لتراً. ويمكن أن تستخدم عدة مدافع (غالبا ستة أو سبعة) مع بعضها البعض ضمن مجموعة؛ بحيث يتم إطلاقها في اللحظة الزمنية نفسها كما في الشكل(٨-٣-c). وبذلك فإن القوة الدافعة الابتدائية تتداخل بشكل بنّاء، في حين أن نبضات الفقاعة اللاحقة تتداخل بشكل هدّام،شكل النبضة السيسمية الناتجة موضح في الشكل(٨-٣-b).إن طاقة كل مدفع هوائي تكون مختلفة عن المدافع الأخرى، وبالتالي فإن دور الفقاعة الغازية يكون أيضا مختلفا، وبالتالي

وعند جمع الإشارة الناتجة من المجموعة، فإن الإشارة الابتدائية لكل منها تدعم بعضها من أجل الحصول على إشارة جيدة؛ بينما يؤدي الجمع الناتج من مجموعة تفجيرات إلى تخفيف سعة الإشارات اللاحقة بسبب وصولها في أزمنة مختلفة في كل حالة.

يتأثر عمل المدفع الهوائي بالمدافع الهوائية المجاورة ما لم يكن التباعد بين المدافع أكبر من طول الموجة، وهذا يعني أن يكون أكبر من ١٠ م في حالة التردد ١٥٠ هرتزاً. على كل حال فإن التأثير يمكن أن يُحسب ويؤخذ بالحسبان، ولذلك يمكن أن يباعد بين العناصر بدقة عالية.

إن الهيدروفون الذي يقع على بعد ١ م من كل مدفع يمكن أن يقيس حقل الضغط، وهذا يسمح بحساب مركبة الحقل البعيدة. إن مراقبة حقل الضغط تسمح باتخاذ القرارات المناسبة في حالة تغير الظروف، مثل تعطل المدفع الهوائي.

٨. ٤. المنابع البحرية الأخرى

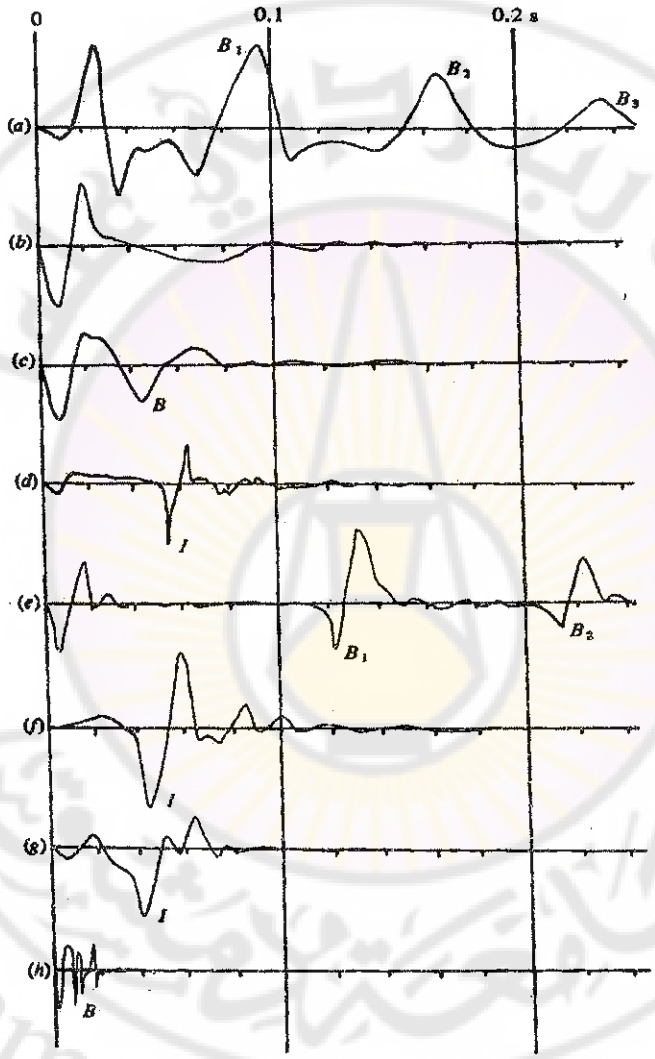
هناك عدة أنواع من المنابع تقوم بخلق فراغات في الماء وبسببها يندفع الماء بشكل انفجاري، منها[١٥] :

- Flexichoc (**فليكسيكوك**) :حجرة ذات حجم قابل للتغير يتم إفراغها، وتثبت جدران الحجرة بواسطة مقيّد آلي، وعند إزالة التقييد فإن الضغط الهيدروستاتيكي يضغط الحجرة بشكل مفاجئ عندئذ فإن الهواء يضخ نحو الحجرة لتوسيعها ولضمان التنشيط اللاحق، أثر الفليكسيكوك يبينه الشكل (٨-٧-f).

- Hydrosein (**هيدروسين**):صفحتان يتم إبعادهما فجأة بواسطة مكبس يعمل بقوة الهواء لخلق فراغ بين الصفيحتين.

-Boomer (بومر):يتم عن طريق تدفق كبير للتيار الكهربائي عبر وشيعة،يخلق على صفيحة (قرص)تيارات دوامية تجبر الصفيحة بالابتعاد بقوة، حيث تصطدم بالماء، وبالتالي تولد موجة ضغط قوية. وطاقة هذه الطريقة محدودة لذلك فهي مناسبة أكثر

للدراسات الضحلة والهندسية.



الشكل (8– 7)الإشارات الناتجة من مصدر سيزمي بحري

(a) Single 120-in.³ air gun, (b) array of air guns of different sizes, (c) sleeve exploder, (d) Vaporchoc™, (e) Maxipulse™, (f) Flexichoc™, (g) water gun, and (h) 5-kJ sparker. Curves show waveshape features, but amplitudes are not to scale. *B* indicates bubble effects, *I* implosion.

- Water gun (**المدفع المائي**):يحصل المدفع المائي على طاقته من الهواء المضغوط الشكل (٨-٨)،ولكن لا يتم حقن الهواء ضمن الماء، بل يستخدم لدفع الذراع بقوة نحو الأسفل الشكل(٨-٨- a) إن تحرير الذراع يجبر الماء في الحجرة السفلية بالاندفاع خارجا عبر الفتحات بسرعة عالية. إن الماء المتحرك خارجا يخلق خلفه فراغا، وبالتالي اندفاع الماء نحو الفراغات يولد انفجارا ومنه نحصل على الطاقة السيسمية الرئيسة. تذبذب الفقاعة قليل بسبب عدم وجود غاز للتذبذب. أثر المدفع المائي يظهر في الشكل(٨-٧-g).

-**الأقواس الكهربائية (الشرارات** sparkers) Electric arcs : تعتمد طريقة الشرارة على عملية التفريغ من مكثف كبير لخلق شرارة بين مسريين في الماء، مما يؤدي إلى تبخر الماء وتوليد انفجار صغير؛ وبالتالي تشكل الفقاعة.إن عمق الاختراق في حالة استخدام جهاز الشرارة من نوع (5-kJ) عموما يكون أقل من ٣٠٠ م في حين أن عمق الاختراق في حالة مجموعة الشرارات الأكثر من(٢٠٠ kJ) عند ترددات من ٥٠ —٢٠٠٠ هرتز يصل إلى ١٠٠٠ م.

- wassp (**وسب**):هي طريقة معدلة عن طريقة الشرارة بحيث يتم وصل المسريين بواسطة سلك رفيع بحيث يزول عند عملية الإطلاق، إن هذه الطريقة تزيد من بقاء الفقاعة ومن محتواها الترددي المنخفض، و تسمح أ يضاً بإجراء العمليات في المياه العذبة حيث الناقلية المنخفضة جدا.

أما الأنواع الأخرى من المصادر تستخدم في حالة أعماق الاختراق الضحلة، وتلك المصادر تتضمن محولات كهراجهادية ذات طاقة عالية وهي مصنوعة من تيتان-باريوم، زيركون-رصاص، أو من المواد الأخرى التي تتغير أبعادها عند تعرضها للحقل الكهربائي. إن الترددات ٢ -١٠ كيلوهرتز يمكن توليدها عند ١٠٠ واط للحصول على اختراق ٢٠-١٠٠ م.

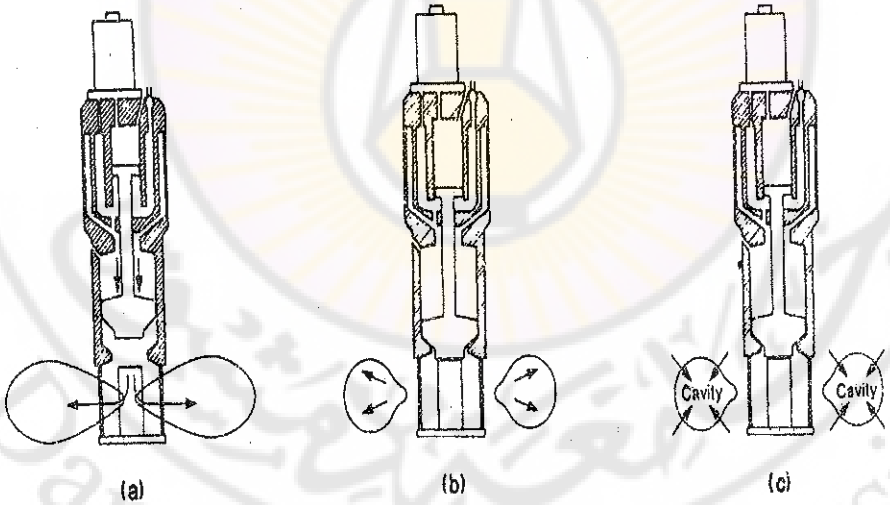
أما الأنواع الأخرى من المصادر البحرية المصممة لتجنب تأثير الفقاعة قد اختفت من الاستعمال تقريبا ونذكر منها :

- sleeve exploder أو Aquapulse :يعتمد على تفجير مزيج من البروبان والأكسجين ضمن حجرة مرنة مغلقة،إن الغازات المتبقية تنطلق إلى الغلاف الجوي.

- Vaporchoc أو steam gun **المدفع البخاري** :حيث يتم حقن فقاعة بخار فوق حرارية ضمن الماء.

-Flexotir :يتضمن تفجير مادة متفجرة صغيرة في مركز قفص فولاذي، وبذلك فإن تذبذب الفقاعة يتخامد عند حركة الماء من وإلى القفص عبر الفتحات التي توجد فيه.

-Maxipuls :يسجل تذبذب الفقاعة ويحاول إزالتها في المعالجة اللاحقة.



الشكل (٨-٨) مدفع مائي[رينولد ١٩٩٨].

٨. ٥. اختيار المنابع البحرية.

هناك بعض المميزات التي يجب أن تتوفر في المنبع السيسمي البحري وهي :
- توليد الضغط العالي؛- التذبذبات الثانوية تكون منخفضة، وهذا يمكن أن يحدد تجريبا باستخدام المصدر السيسمي في ماء عميق، (وبالتالي فإن الانعكاسات المتولدة اسفل الماء لن تشوش على النتائج) وملاحظة شكل الموجة الملتقطة بواسطة لاقط بحري (هيدروفون) معاير يقع على عمق ٧٥- ١٠٠م تحت المصدر السيسمي.و بالرغم من أن التجربة تبدو سهلة لكن تنفيذها صعب، حيث إنه من الصعوبة إبقاء اللاقط البحري على العمق المطلوب تحت المصدر عندما تكون السفينة متحركة، ونعلم أن ظروف الاختبار الثابتة(السكونية) تختلف عن الظروف العملية. يبين الشكل (٨ –٧) أشكال الإشارات الموجية المنبعثة من مصادر طاقة مختلفة.

أثناء دراسة رايلي (١٩١٧) للاصوات المنبعثة من فقاعات بخارية متذبذبة، ربط بين تردد الفقاعة وكلٍ من نصف قطر الفقاعة والضغط وكثافة المائع ؛ أما ويليز (١٩٤١) في أثناء دراسته للتفجيرات تحت الماء فقد عبّر عن العلاقة بدلالة طاقة المصدر، (علاقة رايلي–ويليز):

$$T = 36\ \rho^{\frac{1}{2}} p_0^{-\frac{5}{6}} E^{\frac{1}{3}}$$

حيث : T – دور تذبذب الفقاعة مقدراً بالثانية.

ρ – كثافة المائع مقدرة بالغرام /سم^3.

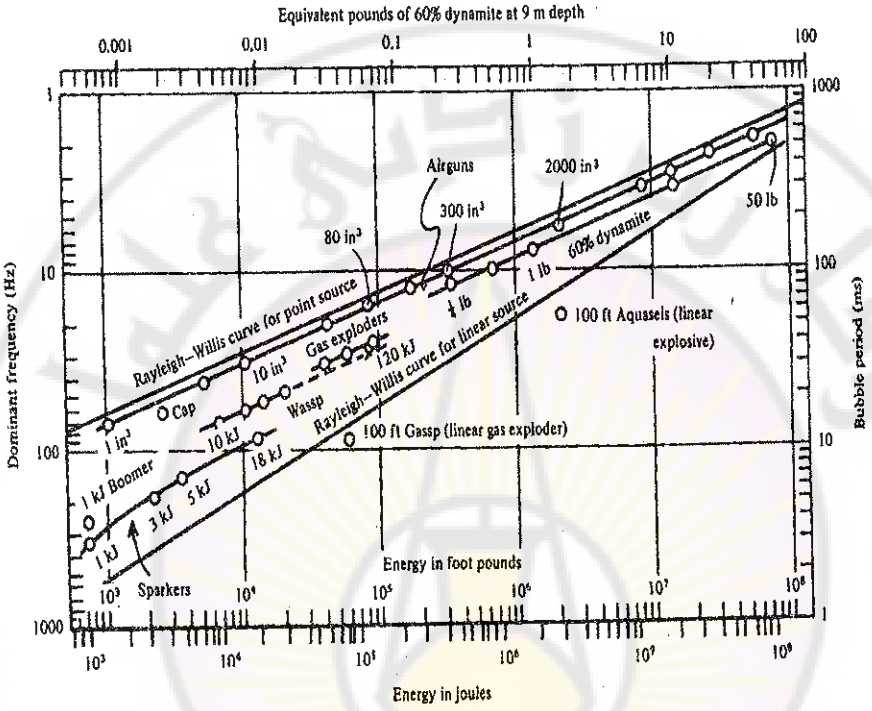
P_0 – الضغط الهيدروستاتيكي المحيط مقدراً بالباسكال (N/m^2).

E – الطاقة مقدرة بالجول.

بفرض أن الكثافة لماء البحر هي ١,٠٢٤ غرام /سم^3 وباستبدال P_0 بـ $h+10$ حيث h هي العمق بالأمتار (١٠ متر تقابل ١ جو) تصبح العلاقة :

$$T_. = 0.017 E^{\frac{1}{3}} (h+10)^{-\frac{5}{6}}$$

الشكل(٨– ٩) يبين طاقة عدة أنواع من المنابع البحرية والتردد المسيطر لها، بشكل عام المنابع الكبيرة تملك ترددات منخفضة والعكس بالعكس.



الشكل(٨–٩) علاقات الطاقة بالتردد لمنابع بحرية على عمق ٩ متر[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

٨. ٦. اللواقط المائية أو البحرية(hydrophones)

الهيدروفونات أو اللواقط المائية هي عادة من النوع الكهرإجهادي أو البيزوكهربائي(راجع فصل الأجهزة)، حيث تُستخدم فيها المواد الكهرإجهادية الصنعية كالباريوم – زيركون أو الباريوم – تيتانيوم. عندما تتعرض صفيحة من مادة بيزوكهربائية للإجهاد الميكانيكي، فإن هذه الصفيحة تولد فرقا في الكمون بين الأوجه المتقابلة، وتقوم مادة ناقلة كهربائيا (على سطوح الصفيحة) بنقل هذا الفرق في الكمون كي يتسنى لنا قياسه الشكل (٨–١٠)[٦، ١٥].

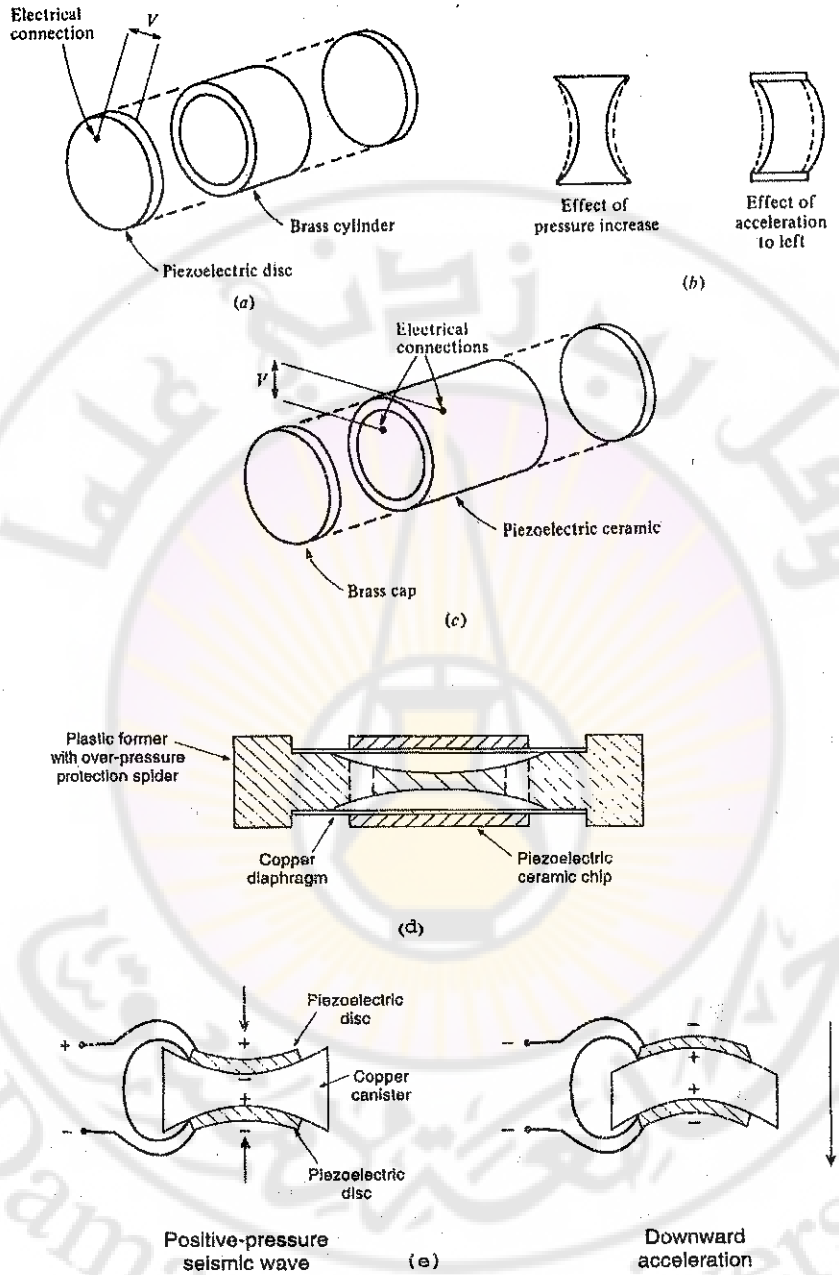
اللواقط المائية قرصية الشكل: تتألف بشكل رئيس من صفيحتين دائريتين من خزف بيزوكهربائي ومعلقتين عند نهايتي اسطوانة نحاسية مجوفة الشكل(٨-١٠-a). يتم إجراء التوصيلات الكهربائية بحيث إنه إذا انحنت كلتا الصفيحتين باتجاه الداخل، وذلك في حالة الاستجابة لازدياد ما في الضغط خارج الوحدة، فإن فرق الكمون المتحرض يتم جمعه، في حين أنه عندما تنحني الصفيحتان وفق الاتجاه نفسه ، وذلك في حالة الاستجابة للتسارع، يتم حذف فرق الكمون المتحرض(٨-١٠- b).

اللواقط المائية اسطوانية الشكل: كما هي موضحة في الشكل(٨-١٠-c) مؤلفة بشكل رئيس من اسطوانات رفيعة مجوفة مصنوعة من مادة خزفية بيزوكهربائية ومسدودة من الطرفين بسدادات نحاسية.

إن التغير في الضغط خارج الاسطوانة يحرّض اجهادات على المادة الخزفية، وبالتالي يتولد فرق في الكمون بين داخل وخارج الاسطوانة.

تتراوح حساسية كل عنصر من عناصر اللاقط من (٧٥ حتى ٢٥٠ $\mu V/P$) وهي قليلة لذلك يتم جمع من ثلاثة إلى خمسة عناصر تسلسليا، للحصول على مجموعة من اللواقط المائية، والتي تكون موزعة على مسافات تتراوح من ٣- ٥٠ متراً، وتكون الترددات الطبيعية للنظام من مرتبة 10^4 هرتز، وهي خارج المجال السيسمي. إن اللواقط المائية تكون ذات مقاومية ظاهرية عالية، لذا يتم في بعض الأحيان استخدام محول مكافئ مع كل مجموعة من مجموعات اللواقط. ويتم أحيانا استخدام مكثفات مشحونة بدلا من المحولات سابقة الذكر. تستخدم المحولات الرقمية بالقرب من اللواقط؛ وبذلك لن تضيع الإشارات أثناء نقلها إلى السفينة عبر أكبال النقل.

تستجيب اللواقط للتغيرات في الضغط، وبالتالي للتسارع في الوسط المائي، إضافة إلى ذلك، فإن الضغط والتدرج في الضغط يتناسبان طرداً مع المشتق الزمني للموجة السيزمية، وهذا يعني أنه من أجل موجة توافقية ذات سعة A فإن خرج اللاقط

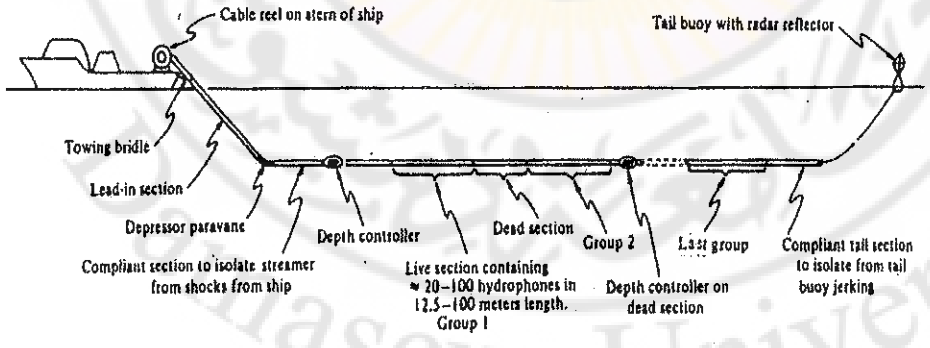


الشكل(٨-١٠) اللواقط المائية (الهيدروفونات) a- هيدروفون قرص ، b و e - ميزة إلغاء التسارع من الهيدروفون، c-.هيدروفون اسطواني ،c،a، d - مكونات الهيدروفونات[شيريف وكلدارت ١٩٩٥ و رينولد ١٩٩٨].

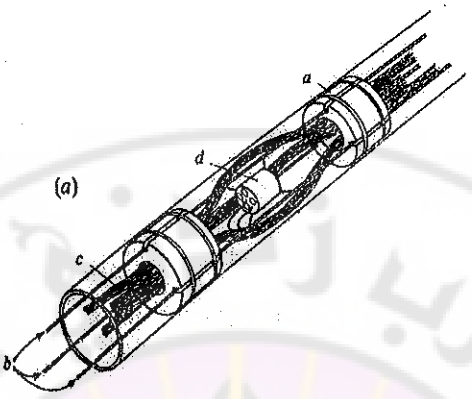
سيكون متناسبا مع $j\omega A$ ، أي إن الخرج سوف يتضاعف (سيزداد ٦ ديسيبل)من أجل كل أوكتاف (octave)، وبذلك فإن استجابة اللاقط المائي تختلف عن اللاقط البري بالعامل (j) الناتج عن فرق في الطور قدره ٩٠° ، والازدياد بالقيمة ٦ ديسيبل / أوكتاف (والناتج ω).

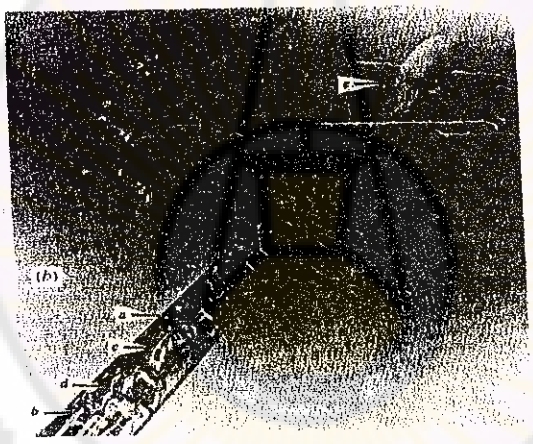
٨. ٧. الأكبال

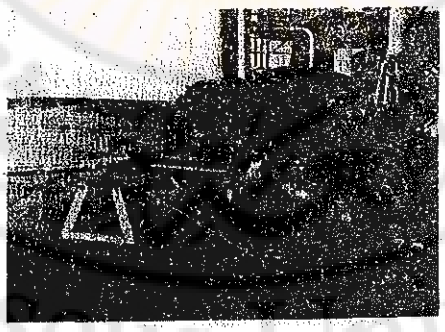
اللواقط المائية موصولة مع بعضها البعض بواسطة كبل طويل يُجر خلف السفينة السيسمية على عمق بين١٠– ٢٠متراً. مخطط هذا الكبل موضح بالشكل (٨–١١). منذ عام ١٩٩٤، أغلب الأكبال تملك ٩٦ حتى ٥٠٠ قنال سيسمي، وطول يصل إلى ٦٠٠٠ م. الأكبال تتكون من قطاعات طول كل منها من ٢٥ – ٧٥ م. وطول كل مجموعة من ٦,٥ – ٥٠ م، تحتوي حتى ٣٥ لاقطاً متشابهاً وضمن مسافات متساوية. المعلومات تُرقمن (تتحول إلى رقمية) بجانب اللاقط(كما ورد أعلاه) وذلك حتى ١٢ قنالاً لكل مُرقْمِن. ونقل المعلومات إلى السفينة يتم غالبا بواسطة أكبال ذوات ألياف ضوئية حيث معدل نقل المعلومات حوالي ٧ ميغابايت في الثانية.



الشكل(٨–١١) الكبل السيسمي البحري خلف السفينة[شريف وكلدارت١٩٩٥].







الشكل(٨-١٢) الكبل السيزمي. (a)- مكونات الكبل a- فاصل بلاستيكي يربط أسلاك الشد b، ويصر أسلاك الوصل الكهربائي c لنقل المعلومات إلى السفينة، d- الهيدروفون.(b)- الكبل السيزمي في الماء (c)- وصل أجزاء الكبل[شريف وكلدارت١٩٩٥].

إن اللواقط والحساسات الأخرى موصولة مع بعضها بأسلاك وأطراف جهد مساعدة (لتتحمل اجهادات الشد والجر) توضع داخل أنبوب من المطاط الصناعي بقطر من ٧,٥ – ٩ سم الشكل(٨-١٢). ويعبأ هذا الأنبوب بسائل أخف من الماء حتى يجعل الكبل يطفو بشكل طبيعي، بحيث يصبح معدل أو وسطي كثافة الكبل و محتوياته تساوي كثافة مياه البحر. يفصل الجزء الأمامي وبطول حوالي ١٠٠ م مؤخرة السفينة عن أول مجموعة من اللواقط[١٠، ١٥].

يدخل أحيانا بين مجموعات اللواقط الفعالة مجموعات فارغة (ميتة). يرافق المجموعة الأخيرة من الكبل ويتعلق بها الجزء الأخير من الكبل ويسمى الذيل؛ وفي نهايته وفوق سطح الماء معلقة الطافية مع علم إشارة لنهاية الكبل السيسمي انظر الشكل (٨-١٧). تستخدم الذيل الطافية مع الرادار العاكس المرفق بها لتحديد موقع المجموعات الأبعد من الكبل. اتجاه السفينة بالنسبة للطافية، يحدد إما بالنظر أو بالرادار. و تضم الذيل الطافية جهازاً لتحديد موقعها بنظام الملاحة البحرية عند الحاجة.وتساعد الطافية في إيجاد مكان الكبل في حال انقطاعه المفاجئ. وحدة مراقبة الأعماق، مبينة في الشكل(٨-١٢- b) وهي مثبتة على الكبل في عدة أماكن من ٥ – ١٢ مكاناً، وهي تتحسس الضغط الهيدروستاتيكي وميلان أجنحة التوجيه؛ حيث إنها تغوص أو تطفو حسب كمية المياه التي عليها، وبالتالي التحكم بعمق الكبل حسب الحاجة لذلك، وهذه الحالة غير فعالة في حالة عدم حركة الكبل. العمق المطلوب المحافظة عليه يمكن التحكم به عن طريق إرسال إشارة من خلال الكبل، وتغيير عمقه بما يتناسب وتغير عمق المياه، أو لجعل السفينة تعبر فوق الكبل. وفي حالة عدم الاستخدام يحفظ الكبل على بكرة خاصة تعمل عن طريق محرك كبير كما الشكل (٨-٢)[١٠، ١٥].

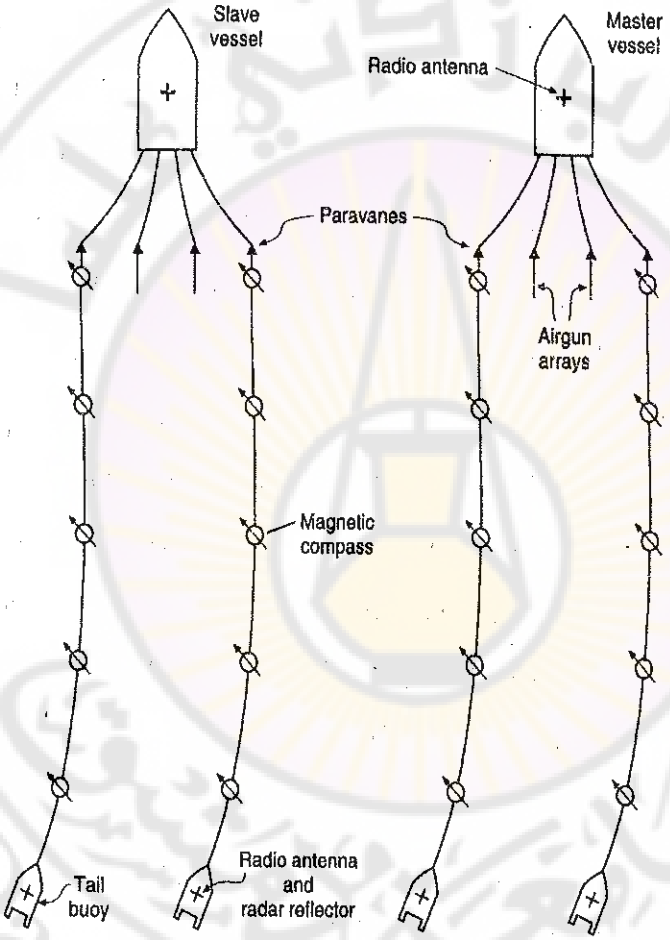
٨. ٨. تحديد الموقع في البحر

تتضمن الملاحة البحرية السيسمية وجهتي نظر :الأولى تحديد مكان السفينة في نقطة معينة، والثانية تحديد الموقع الحقيقي للسفينة وذلك للربط الصحيح للمعلومات. وعند تقييم دقة طرائق الملاحة، يجب التفريق بين الدقة المطلقة والنسبية. الدقة المطلقة هامة لربط الدراسات البحرية مع الدراسات على اليابسة وفي العودة إلى بعض النقاط، على سبيل المثال، لتحديد موقع بئر. الدقة النسبية هامة قبل كل شيء للحفاظ على مواقع البروفيلات السيسمية بالنسبة لبعضها البعض. الدقة المطلقة حوالي ± ٧٠ م غالبا تعد مقبولة، بينما الدقة النسبية حوالي ±٥ م تعد مرغوبة أو مطلوبة. الدقة التي يتم الحصول عليها في الحقل (والتي من الصعب تقييمها) ترتبط بعوامل عديدة منها نظام الرصد و بالأجهزة المستخدمة، وبطراز محطات المرجع، ومواقع المحطات النقالة بالنسبة لمحطات المرجع، وتبدل انتشار الأمواج الراديوية، وقصور الأجهزة، و أخطاء العمال، وغيرها. Spradley (1984) ناقش موضوع تحديد المواقع في المياه بالتفصيل.

تقيس أنظمة الملاحة عادة أحد العوامل التالية :١- الفاصل الزمني بين الإرسال والاستقبال، والتي منها تحدد المسافة ؛ ٢ – الفرق الزمني بين إشارتين، والتي تعطي فرق المسافة ؛ ٣- الفرق بالتردد المرتبط بتأثير دوبلر، والذي يعطي السرعة ؛ ٤- التسارع من معطيات توجيه التسارع؛ ٥- اتجاه الشمال يحدد عادة الجيروسكوب الشكل(٨-١٣).

إن أنظمة تحديد الموقع بأنواعها تطورت بشكل كبير مع التطور التقني في السنوات الأخيرة، حيث الساعات الذرية الآلية فائقة الدقة والرخيصة الثمن حاليا.ويتضمن تاريخ الدراسات الجيوفيزيائية الكثير من الأعمال التي ضاعت بشكل كلي أو جزئي؛ بسبب عدم إمكانية إعادة تحديد الموقع. وحالياً تستخدم وبشكل فعال جدا، النظام العالمي لتحديد الموقع (G P S)، بالإضافة للأنواع الأخرى التي ما زالت مستخدمة

حتى الآن، نذكر منها :أنظمة التحديد بالراديو، الصوتية، القصور الـذاتي، الأقمـار الصنعية . . الخ[١٣، ١٤، ١٥].



الشكل(٨-١٣) رسم تخطيطي لانتشار الأكبال بشكل مساحي، حيث كل كبل علية مجموعة من البوصلات المغناطيسية لتحديد عدة مواقع من الكبل السيزمي[ريينولد ١٩٩٨].

٨. ٨. ١. تحديد الموقع راديويا :

تعتمد هذه الطريقة على استخدام الأمواج الراديوية والتي تساعد في تحديد موقع في البحر بالنسبة لمحطة ذات موقع ثابت على الساحل. وبشكل عام يمكن استخدام الأمواج ذات الترددات العالية، من ٣ – ٩ غيغاهيرتز (أطوال الأمواج من ٣ – ١٠ سم) ومحدودية هذه الترددات ضمن ٤٠ كم. ويمكن استخدام الترددات المتوسطة من ١,٥ – ٣ ميغا هرتز (أطوال الأمواج من ١٠٠ – ٢٠٠ م) لكن محدودية هذه الترددات ضمن مجال ١٥٠ كم. وكذلك يمكن استخدام الترددات المنخفضة ١٠٠ كيلوهرتز (أطوال الأمواج ٣ كيلومتر) ومجال قياسها ٢٠٠ كم.

ويمكن أن تقسم هذه الطريقة إلى نظامين يتبعان لأسلوب القياس :

١- نظام يقيس الزمن اللازم لمرور إشارات الأمواج الكهرمغنطيسية القصيرة من المحطة المتحركة إلى المحطة الثابتة على الشاطئ.

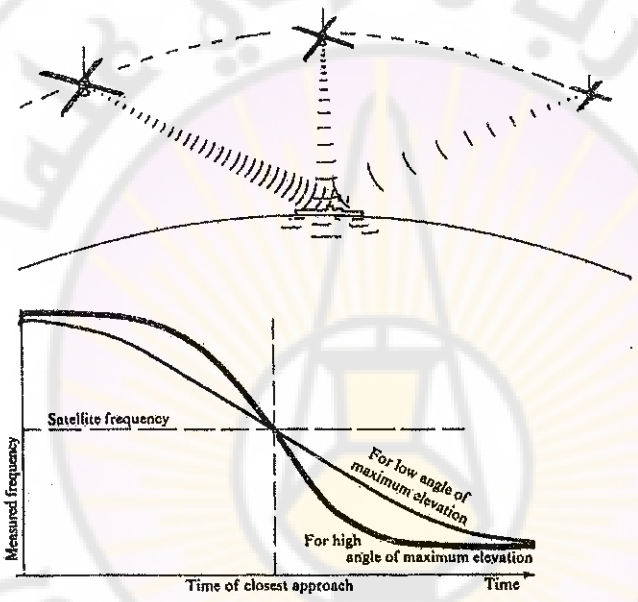
٢- نظام يقيس فرق الزمن أو (الطور) للإشارات من محطتين أو أكثر ثابتتين. وبهذه الطريقة هناك صعوبة تحديد زاوية الاتجاه.

٨. ٨. ٢. تحديد الموقع عن طريق الأقمار الصنعية السيارة.

يمكن تحديد موقع السفينة من حركة الأقمار (التوابع) الصنعية والتي غالباً تدور على ارتفاع ١٠٧٥ كم فوق سطح الأرض. يدور كل تابع حول الأرض دورة كل ١٠٧ دقيقة، ويكون على مرأى البصر لحوالي ١٨ دقيقة من الأفق إلى الأفق. كل تابع صنعي يرسل بشكل مستمر أمواجاً ذات ترددات ١٥٠ و٤٠٠ ميغاهرتز. تقاس الترددات بمستقبل على السفينة يسمى محول دوبلر، لأن نسبة حركة التابع إلى السفينة يعاني من انزياح دوبلر. وبما أن الأمواج الراديوية تسير بسرعة الضوء V،فإن نسبة تأثير انزياح دوبلر يظهر في المعادلة (٨-١)، اذا كانت سرعة المنبع هي Vs وسرعة المشاهد (المراقب) هي V0، فإن الترددات الملاحظة هي:

$$\nu_0 = \nu_s \left(\frac{V + V_0 - V_s}{V - V_0 + V_s}\right) \qquad (١ - ٨)$$

حيث VS – هي ترددات المنبع. إن الفرق بين إحداثيات التابع والسفينة الطولية والعرضية في نقاط التقارب أو الالتقاء تسمى انزياح دوبلر الشكل(٨-١٤). يرسل



الشكل (8 -12) تحديد الموقع من الأقمار الصنعية المتحركة

التابع معلومات كل دقيقتين. يمازج الحاسوب الصغير على السفينة المعلومات مع قياس انزياح دوبلر وسرعة واتجاه السفينة لتعطي موقع السفينة. كل تابع يمكن أن يراقب من أربعة مدارات أو أكثر كل يوم (عدا عن القريب من خط الاستواء) لذلك بأربعة إلى خمسة توابع يمكن تحديد عشرين موقعاً أو أكثر كل يوم. إلا أن التوابع ليست لها سرعة متشابهة (واحدة) وليس لها فترة المدار نفسها بدقة، لذلك أحياناً يمكن أن يشاهد أكثر من تابع، بينما في أوقات (أطوار)أخرى، وخلال عدة ساعات لا يشاهد أي تابع . يمكن اعتبار ثلثي عبور التوابع يعطي تقاطعاً أو تحديد مواقع مقبولة.

تقاطع التوابع يمكن أن تحدد دقة ضمن حدود ±٥٠ م، إذا كانت سرعة السفينة معروفة بدقة. من المساوئ الرئيسة لهذه الطريقة أنها لا تعطي معلومات عن المواقع بين التقاطعات.

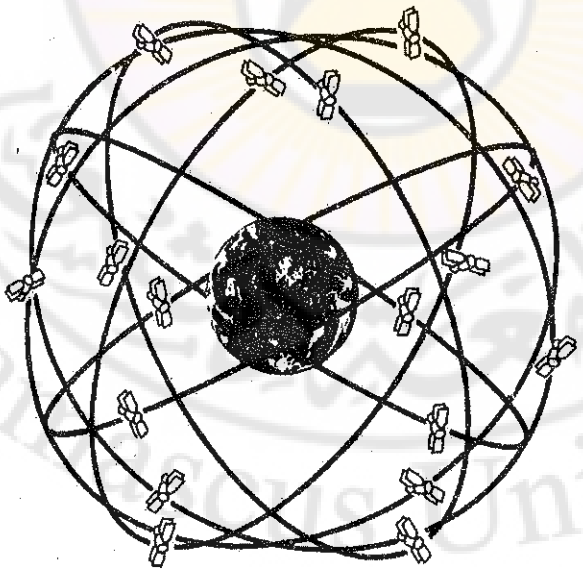
٨. ٨. ٣. النظام العالمي لتحديد الموقع (Global Positioning System GPS)

يتألف هذا النظام من ٢١ إلى ٢٤ تابعا صنعيا على ارتفاعات ٢٢٢٠٠ كم، ويتم تشغيلها من قبل حكومة الولايات المتحدة،حيث تسمح بتحديد خط العرض وخط الطول والارتفاع. يستخدم النظام ذو الـ ٢٥ تابعا صنعيا منذ عام ١٩٩٤ بشكل واسع في تحديد الموقع للأغراض الجيوفيزيائية في البيئة البحرية. كما استخدم أيضا لتعيين مواقع المحطات على اليابسة. هناك أربعة توابع على مسافات متساوية في كل ستة مستويات مدارية والتي تصنع مع المستوي الاستوائي للأرض زوايا ٥٥° الشكل (٨-١٥)، ويدور كل تابع حول الأرض في حوالي ١٢ ساعة.

يحتوي كل تابع على أربع ساعات ذرية تسمح بالضبط الفائق للزمن، كما أن الاضطرابات في مدارات التوابع يتم رصدها بواسطة محطات في مناطق متعددة من الولايات المتحدة الأمريكية، وبعض المحطات يساعد التوابع بالحفاظ على مواقعها المناسبة وعلى تزامن الدوران. يبث كل تابع على الترددات المحمولة ١٥٧٥,٤٢(L1) و ١٢٢٧,٦ (L2) ميغاهرتز. إن المعلومات ذات الـ ٥٠ هرتزاً تتراكب على حوامل من خلال انزياح في الطور من نمط ثنائي الطور، وذلك باستخدام (+٩٠°) للإشارة إلى واحد و (− ٩٠°) للإشارة إلى الصفر. المعلومات المتراكبة تتضمن كلمة السر (التسليم) والتي تجيز تزامن زمن المستخدم مع زمن التابع الصنعي، والتي تعطي مواقع الأقمار لمدة ١٨ يوماً قادماً، وعوامل التصحيح لشواذ التروبوسفير، ومعلومات أخرى. المعلومات التي تبث من الأقمار كل على حدة قابلة للتمييز، لأن هناك برنامجاً لبث المعلومات وفق فواصل زمنية مختلفة تصل بعد كلمة التسليم. وهناك

نمطان من التشفير يستخدمان في هذا المجال، نمط التشفير P وهو المستخدم للأغراض العسكرية والذي يعطي دقة عالية تفوق تلك الأنماط المستخدمة للأغراض المدنية.

يمكن استخدام عدة أنماط من المستقبلات، ومنها تلك المحمولة باليد، ويتم تحديد موقع المُستخدِم من خلال الحل المتزامن المشترك لمجال المعلومات الذي تقدمه أربعة توابع. وعلى المُستقبِل أن يتحرى من بين جميع إشارات التوابع عن الإشارات الواضحة في أي وقت، والتي يمكن أن تقدم أفضل معلومات عن الموقع. ثلاثة توابع بالإضافة إلى المستخدِم يمكن أن يشكلوا رباعي سطوح، وتكون المعلومات أكثر دقة كلما كان حجم رباعي السطوح أكبر. التحري عن التابع الرابع ضروري لمعايرة الاختلافات في الأنظمة الزمنية لكل من المستخدم والتابع. إذا كان لدى المستخدم معلومات أولية حول التوابع التي يمكن أن تعطي معلومات أفضل، فعليه البحث عن إشارات من هذه التوابع، فهذا يساهم في تحديد الموقع بسرعة.



الشكل(٨-١٥) تحديد الموقع عالمياً (GPS) رسم تخطيطي يبين الأقمار في مداراتها حول الأرض[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

يسمح نظام GPS بتوفير أنماط أخرى من القياس، إضافة لما ذكر أعلاه. اختلاف الطور بين إشارات التابع والمستقبل يمكن أن يستفاد منه في الحصول على الاختلافات في الإحداثيات بين المحطات المتعاقبة. انزياح تردد دوبلر يمكن أن يتم قياسه لتحديد المواقع بالأسلوب المتبع نفسه في طريقة التوابع السيارة. إن استخدام ترددين يسمح بإجراء التصحيحات من الانكسار ضمن الأينوسفير و الأتموسفير. تغير القيم المقيسة بالـ GPS (التفاضل بين القيم) وذلك بأخذ القراءات من محطات ثانية ثابتة تفصلها مسافة ٥٠٠ كم يستفاد منها في التخلص من الاضطرابات قصيرة الدور للتابع. يحدد GPS للاستخدامات الجيوفيزيائية بدقة تمييز عالية تتراوح من ٢ – ٥ م. تعتمد الدقة في الحصول على القياسات على طريقة الاستخدام، أي :

-مدة (زمن)أخذ القياس.

-وضع الهدف اللاقط إذا كان ساكناً أو متحركاً.

-إذا كان تحديد الموقع مطلوباً في الزمن الحقيقي أو من أجل معالجة لاحقة.

-إذا كان المطلوب تحديداً مطلقاً للموقع أو تحديداً نسبياً فقط أو بالنسبة لمَعْلم ما.

وتحذر الحكومة الأمريكية من أن نظام الـ GPS قد يتم تخفيض دقته إلى ٥٠ – ١٠٠م لأسباب أمنية.

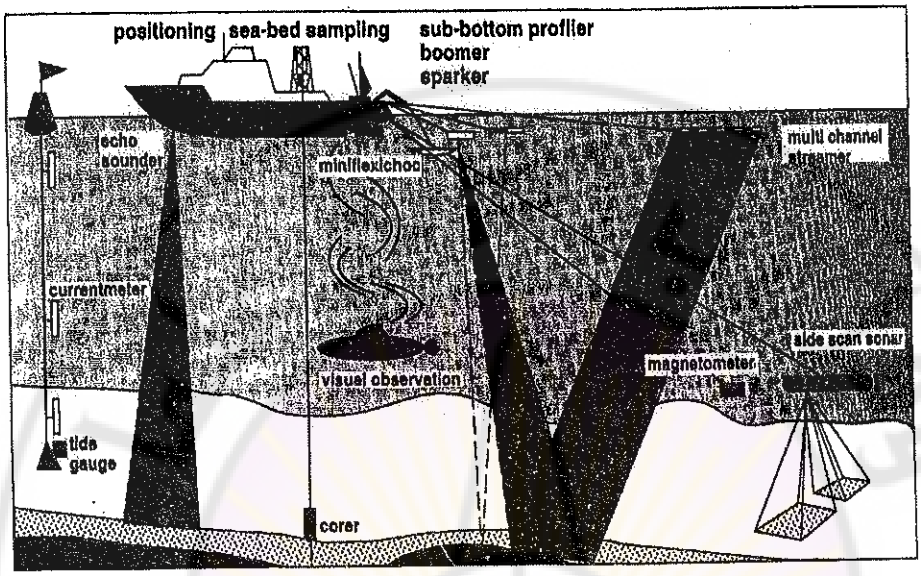
٨. ٨. ٤. التحديد بالأمواج الصوتية وقصورها

تحديد الموقع بالاعتماد على الأمواج الصوتية يعتمد على أمرين :مجال الجهاز المرسل و قياسات الانزياح في التردد. ويتم استخدام محولات الإشارة الصوتية عالية التردد، ويسمى هذا بمولد الإشارات الصوتية، هذه المولدات تطلق نبضات من مرتبة الكيلوهرتز، والتي يمكن التقاطها من قبل مولدات أخرى وذلك لتحديد المسافة بينها. يتم دمجها في بعض الأحيان كنظام (منبع – لاقط) لتحديد مواقع المولدات و الكبل السيسمي بالنسبة للسفينة وبالنسبة لبعضها البعض.

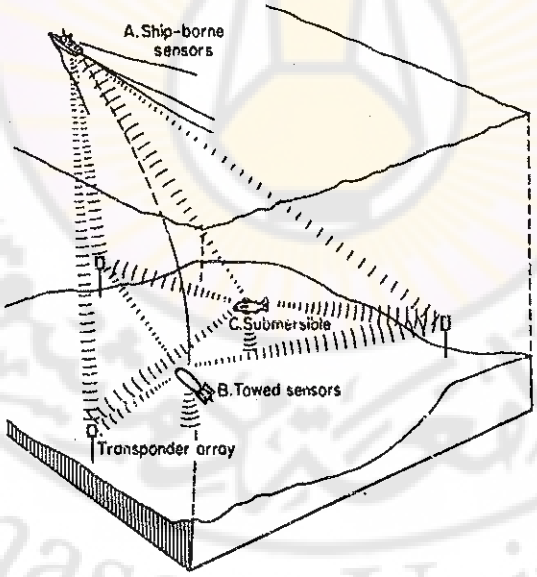
من أجل المسح في المناطق المقيدة الشكل (٨- ١٦- a و b) يتم استخدام مرسل – مستقبل مثبت، ولتحديد موقع السفينة يتم إرسال نبضة صوتية؛ ويقوم جهاز مرسل ـ مستقبل بدوره بإطلاق شيفرات استجابة عندما يحس بالنبضات المرسلة. إن معظم الأنظمة تقيس زمن الذهاب والإياب، وبعضها يقيس الاختلاف في الطور بين عدة حساسات على ظهر السفينة، وذلك لتحديد الاتجاه نحو جهاز المرسل – مستقبل (الموجود غالبا أسفل الماء). هناك أربعة أجهزة أو أكثر (مرسل – مستقبل)يتم وضعها على مسافات تتراوح من ١ – ٦ كم، في مناطق يكون فيها عمق الماء بين ٢٠ – ٥٠٠ م. وتتحسن النتائج عندما تكون أجهزة المرسل – مستقبل على ارتفاعات ٥ – ١٠ م فوق قعر الماء، ولهذه الأجهزة أعمار تقدر بحوالي ٥ سنوات.

إن تحديد مواقع أجهزة المرسل ـ مستقبل الثابتة ينبغي أن يتم التأكد من صحتها، ليس فقط بسبب الارتياب وعدم الدقة في تحديد الموقع، إنما بسبب تغيرات ظروف انتشار الأمواج والسرعة المحلية أيضاً. يتم التأكد من صحة المواقع بمعاملة البروفيلات المتقاطعة للمنطقة المدروسة، وذلك باستخدام بعض الأنظمة الملاحية الأخرى. كما أن مواقع هذه الأجهزة يمكن أن يتم التأكد منها بشكل دوري، لأن هذه الأجهزة قد تتحرك في بعض الأحيان وخاصة خلال العواصف. أجهزة المرسل – مستقبل الصوتية تمكن من تحديد الموقع النسبي بدقة ± ٥ م، في حين تعتمد الدقة المطلقة بشكل رئيس على الطريقة المتبعة في تحديد مواقع أجهزة المرسل – كمستقبل.

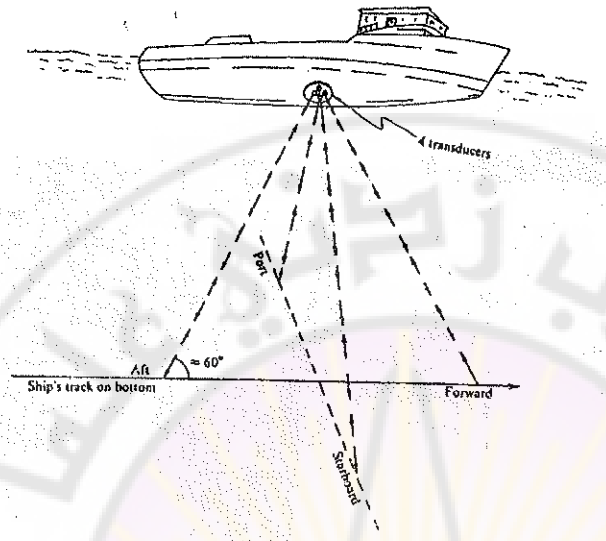
نظام دوبلر للقياس بالصدى: هو نظام تحديد موقع السفينة، بالعلاقة مع نقطة البدء من خلال قياس وتكامل سرعة السفينة مع الزمن. يتم تقدير سرعة السفينة بإطلاق حزمة أمواج صوتية عبر قاع المحيط في أربعة اتجاهات اعتبارا من السفينة انظر الشكل (٨- ١٦-C). تنعكس هذه الحزم عائدة إلى السفينة، لكن ترددها تعاني من انزياح دوبلر بسبب حركة السفينة بالنسبة لقاع المحيط. إزاحة الطور لكل إشارة


positioning
sea-bed sampling
sub-bottom profiler
boomer
sparker
echo sounder
miniflexichoc
multi channel streamer
currentmeter
side scan sonar
magnetometer
visual observation
tide gauge
corer

(a)


A. Ship-borne sensors
C. Submersible
B. Towed sensors
Transponder array

(b)



(c)

الشكل(٨-١٦) a– b – استخدام عدة نماذج من الحساسات على طول خط القياس،c– اتجاهات إطلاق الأمواج[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

تعطي إحداثيات سرعة السفينة بأحد الاتجاهات الأربعة. إن تأثير دوبلـــر يـــؤدي إلى ضغط مقدمات الأمواج لمقدمة المنبع المتحرك أو يعطي تأثير حركة المشاهد (المراقب). إذا كانت V– سرعة انتشار الأمواج في الوسط و V_s – مركبات ســـرعة حركـــة السفينة في اتجاه الشعاع الصوتي، فإن طول الموجة المرسلة يساوي إلى: $\nu_s/(V-V_s)$، ولكنها بالنسبة للمراقب الثابت تساوي إلى: $V/\nu_.$ ومنه :

$$\nu_0 = \nu_s \frac{V}{(V - V_s)}$$

إذا كان المراقب له إحداثيات سرعة الحركة V_0 يسير باتجاه المنبع الثابـــت، عنـــدها نطبق عليه المعادلة التالية : $\nu_o = \nu_s(V + V_0)/V$. وعند حركة المراقب والمنبع يكون لدينا ما يلي : $\nu_o = \nu_s \frac{(V + V_0)}{(V - V_s)}$. عندما يكون المراقب على السفينة ويتحركان معا فإن نقطة الانعكاس V_0 تصبح V_s وعندها لدينا المعادلة :

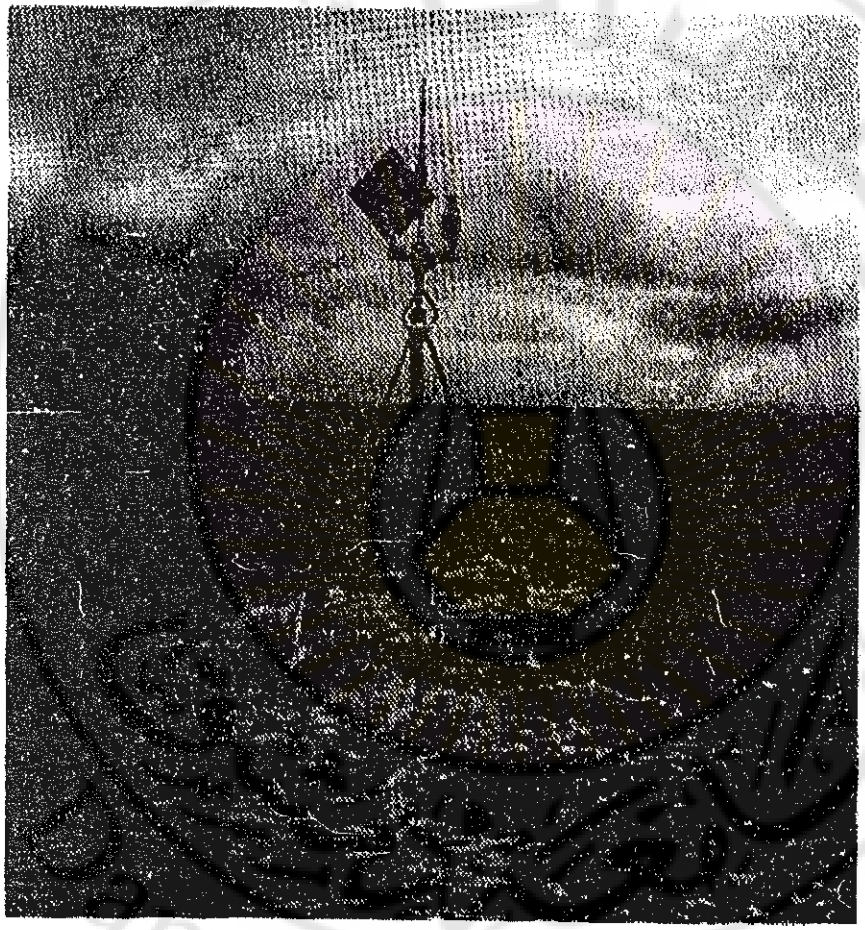
$$v_0 = v_s(V + V_s)/(V - V_s)$$

عمليا توضع أربعة أجهزة تصدر الأشعة في اتجاهات بزاوية ٤٥ درجة ضمن مسار السفينة، والتي تزيد من حساسية نظام العمل بالمقارنة مع القياس على طول مسار السفينة وعمودي عليه. وهذه القياسات تسمح بقياس سرعة السفينة الحقيقية (مع الأخذ بالحسبان معلومات الاتجاه من البوصلات)، ويمكن تحديد موقع السفينة من تكامل السرعة.

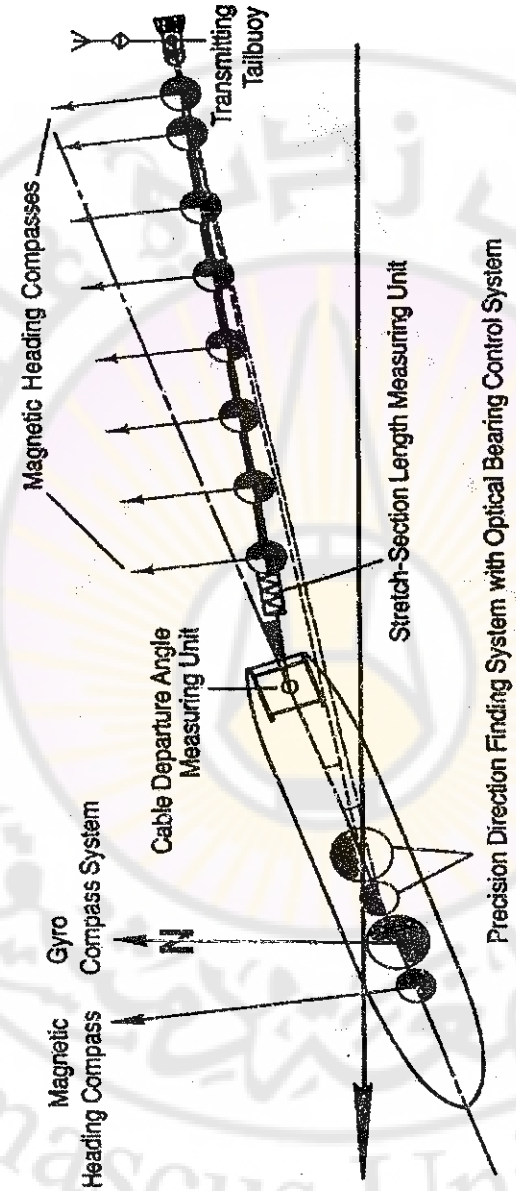
٨. ٨. ٥. تحديد موقع الكبل

تجر السفينة السيسمية خلفها عادة كبلاً طويلاً يصل إلى ٥ كم أو أكثر. وإن موقع السفينة معلوم كما ورد. وهذا الكبل يمكن أن ينزاح أو ينحرف مقدار ما يمكن تقديره. وفي نهاية الكبل هناك ذيل طافية نطلق عليها الطافية أو العائمة الشكل (٨-١٧) حيث يعتليها رادار عاكس، واتجاهات الانعكاس يمكن قياسها برادار السفينة. ولكنه من الصعب جدا في البحر العاصف تمييز انعكاسات رادار الذيل الطافية، وذلك من تطاير أمواج مياه البحر وخاصة إذا كانت الطافية في بطن الموجة المائية. بهذه الحالة مستقبل الراديو أو GPS يمكن أن يركب على الطافية؛ ومنه يمكن معرفة الموقع من نظام الراديو أو GPS المستخدم لتحديد موقع السفينة. توزع بوصلات مغناطيسية عادة من ٨ — ١٢ بوصلة ضمن ٥ كم يتضمنها الكبل السيزمي الشكل (٨-١٨)، تحول القراءات من هذه البوصلات رقميا وترسل إلى السفينة. وكذلك الأمر يتضمن الكبل السيزمي اللواقط عالية التردد التي تسجل وصول الأمواج المباشرة والمنتشرة في المياه من المنبع إلى اللاقط، وهذه تقيس موجة القنال التي تسير في المياه بسرعة الصوت فيه، و تعطي المسافة عن المنبع السيسمي. وكذلك الأمر مولدات الإشارة الصوتية العالية التردد أحيانا مدمجة بالنظام، وخصوصا عندما يكون أكثر من منبع أو أكثر من كبل سيزمي في العمل الشكل (٨-١٩). لتحديد موقع المنابع و

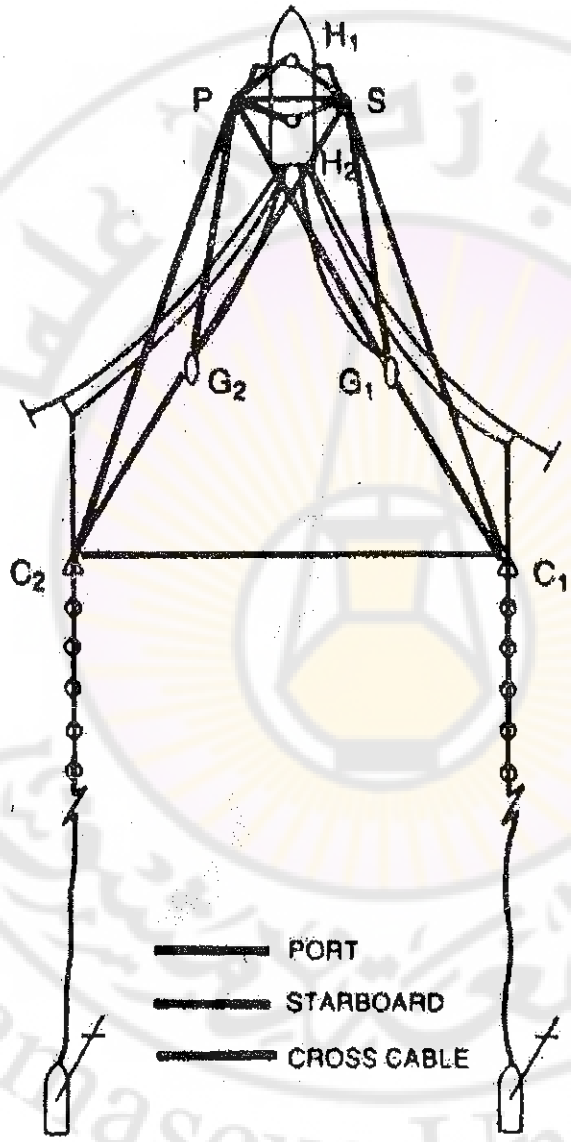
الأكبال بالنسبة للسفينة وبالنسبة لبعضها البعض، كما في المسح السيسمي ثلاثي الأبعاد. يتم استقبال المعلومات من المنابع المختلفة من قبل خوارزميات الحاسب لتعطي النقطة الوسطى بين مجموعة النقاط المملوءة بالمعلومات.



الشكل(٨-١٧) الطافية وتحتوي على رادار عاكس بزاوية معينة ومستقبل راداري إلى السفينة[شريف وكلدارت١٩٩٥].



الشكل(٨–١٨) موقع الكبل البحري a–الحساسات لتحديد موقع الكبل بالنسبة للسفينة وخط المسح السيسمي[رينولد ١٩٩٨]



الشكل(٨–١٩) النظام الصوتي لمولد الإشارة لتحديد موقع المنابع G1 وG2 والأكبال C1و C2 بالنسبة لمولد الإشارة P وS [ريتولد ١٩٩٨].

الفصل التاسع
نظرية المجموعات

٩. ١. مقدمة

٩. ٢. مجموعات اللواقط

٩. ٣. التطبيقات الحقلية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

نظرية المجموعات

٩. ١. مقدمة

المجموعات أو (التجميع ضمن المجموعات) هي عبارة عن أسلوب التقاط جيد لزيادة سعة الأمواج المفيدة بالنسبة لمستوى الضجيج. والفعالية الكبيرة تكون باستخدام مجموعات اللواقط والمنابع، وخاصة في الظروف السيسموجيولوجية المعقدة. إلا أنه عند اختيار طرائق وأساليب المجموعات من الضروري حساب درجة تشوه المطال والطور التي تسببها المجموعة عند جمع الإشارة المفيدة، وخاصة في ظروف عدم التجانس المفاجئ للطبقات السطحية.

مجموعات اللواقط :تطلق اسم مجموعات اللواقط في الأعمال الحقلية السيسمية على مجموعة n من اللواقط المتشابهة $(n\geq 2)$ والتي توصل معاً إلى دخل كل قنال من القنالات ويؤمن الوصل تجميع القوة المحركة الكهربائية أو التيار الناتج. يمكن أن تكون طريقة الوصل على التوازي أو على التفرع أو على شكل مختلط؛ وفي كل الحالات يجب أن يتم تأمين توافق ممانعة المجموعة مع دخل مكبر القنال.

مجموعات المنابع: أيضاً يطلق اسم مجموعات المنابع على مجموعة من منابع توليد الطاقة $(n\geq 2)$ والتي يتم وصلها معاً حيث يتم تولد الطاقة دفعة واحدة (بالوقت نفسه) أو كلاً على حدة بفاصل زمني محدود.

مجموعات المنابع و اللواقط : يطلق اسم مجموعات المنابع و اللواقط على مجموعة من منابع توليد الطاقة $(n\geq 2)$ وعلى مجموعة من اللواقط المتشابهة $(n\geq 2)$ تستخدم بوقت واحد على خط القياس.و تشكل هذه المجموعات نظام تداخل يتمتع بالخصائص الأساسية العامة التالية :الاتجاه، تصفية الترددات، تخميد الأمواج العشوائية نسبياً(أي غير المترابطة). هذه الخصائص تبدأ بالظهور عمليا عند $L\geq \lambda/2$ أو $\Delta x > r$.

حيث L – المسافة بين أبعد العناصر في المجموعة(اللواقط أو المنابع)أو قاعدة المجموعة ؛

Δx – المسافة بين كل عنصرين من المجموعة (المنابع أو اللواقط).

r – نصف قطر ترابط الأمواج العشوائية .

λ – طول الأمواج النظامية السائد أو المسيطر.

المجموعات المتركزة على قاعدة صغيرة $(L \leq \lambda \text{ و } \Delta x \leq r)$:

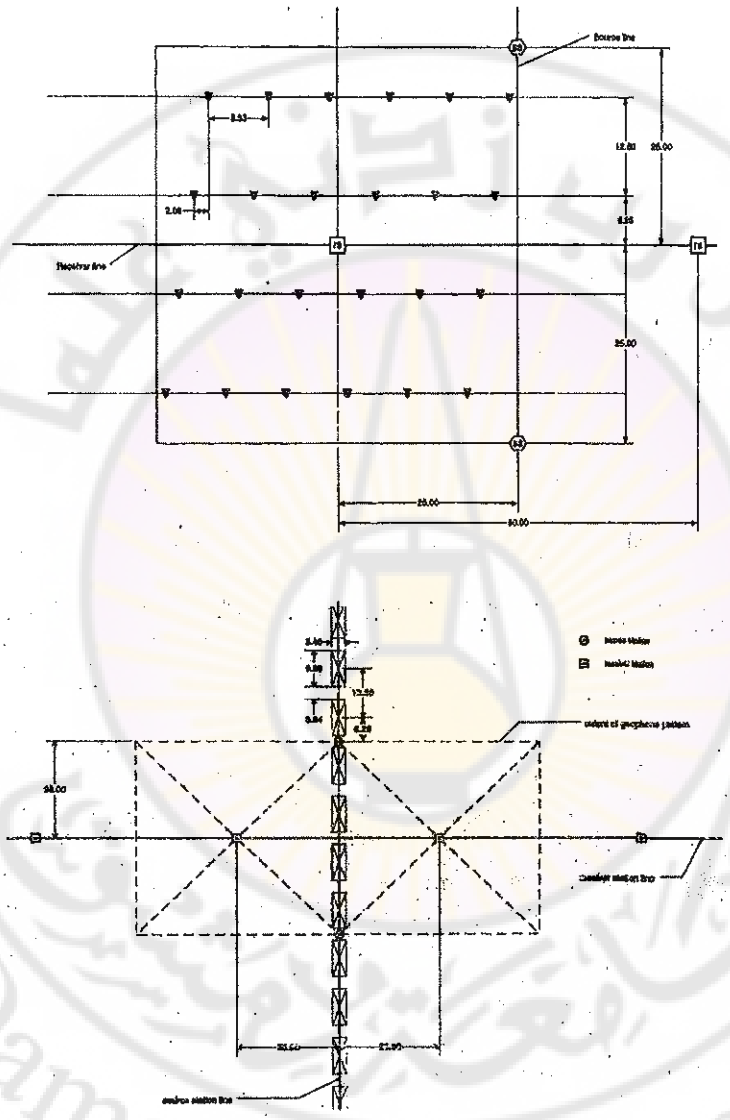
عند الالتقاط:تستخدم لأخذ متوسط شروط وضع اللواقط وزيادة الحساسية المطلقة على دخل القنالات.و **عند توليد الأمواج** : تكون زيادة الفعالية السيسمية من التفجير المتكرر التجميعي أو التفجير دفعة واحدة .

أشكال المجموعات :من شكل وتوزع اللواقط على البروفيل يمكن تمييز **المجموعات الخطية** أو **المساحية**. عندما تُوزع اللواقط على طول البروفيل؛ فإنها تشكل **مجموعة طولية خطية**، وعندما توزع اللواقط بشكل عرضي على خط البروفيل فإنها تشكل **مجموعة عرضية خطية**. وهناك شكل خاص للمجموعات الخطية :هي المجموعة الشاقولية في الآبار أو المياه العميقة[٩].

والمجموعات من العناصر التي تتوضع على مساحة ثنائية البعد تسمى **المجموعة المساحية**. وكذلك يمكن أن نعرف **المجموعة بالمتجانسة أو غير المتجانسة**. **المجموعة المتجانسة** :هي عبارة عن عناصر متشابهة الحساسية ضمن المجموعة (شدة المنابع في حال توليد الطاقة). في **المجموعة غير المتجانسة** تتوضع عناصر ذات حساسية وشدة غير متساوية، تؤخذ القيمة العظمى عادة في وسط المجموعة. المجموعة المتساوية لها Δx متساوٍ. في طريقة CDP تستخدم حاليا مجموعات كبيرة من اللواقط وسطياً أكثر $n = 24$ الشكل (٩- ١- a ، b).

يمكن القول إن أبسط أشكال أنظمة التداخل هي في مجموعات اللواقط والمنابع. عند النظر إلى تأثير اتجاه مجموعات اللواقط أو المنابع نعتمد، على البروفيل

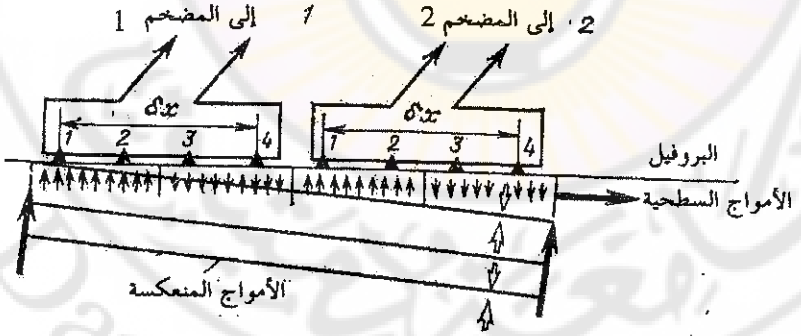
المدروس والذي فيه نظام تداخل، إن مقدمة الأمواج مستوية وإن الأمواج تحافظ على شكل الاهتزاز.



الشكل(٩--١) a مجموعة مؤلفة من٢٤ لاقطاً لاحظ توزيع اللواقط b- توزيع مجموعات اللواقط على خط القياس(الخط المنقط) ،مركز المربع هو مركز المجموعة والمستطيلات هي مواقع المنابع .

٩. ٢. مجموعات اللواقط

لنفترض أن الاهتزازات السيسمية المسجلة من مجموعات اللواقط، ترصف بالتساوي على بعض أجزاء البروفيل (قاعدة مجموعات اللواقط)،تُجمع وتُسجل على شكل سجل مستقل "شريط سيسمي ". يمكن أن تكون الاهتزازات التي جمعت على سبيل المثال اتحاد خرج اللواقط حيث يظهر تعقيد في كل من القوة المحركة الكهربائية. مثل مجموعات هذه اللواقط السيسمية هدفها تخميد الأمواج القادمة إلى البروفيل عند زوايا مختلفة بالنسبة للأمواج الانعكاسية القادمة عموديا، أي إن لها ميزة اختيار الاتجاه العمودي. نعرف خصائص اختيار توجيه مجموعة اللواقط من خلال مثال الأمواج السطحية التي تنتشر على طول بروفيل الرصد. يبين الشكل (٩-٢) مجموعتين من اللواقط، كل واحدة منها مؤلفة من أربعة لواقط (١-٤)،موزعة على مسافات متساوية Δx عن بعضها البعض، على جزء من البروفيل δx (قاعدة المجموعة) وتساوي طول الأمواج السطحية. في أي لحظة وعلى خرج المجموعة جمع اهتزازات الأمواج السطحية تبين أنها قريبة من الصفر. واضح من النتيجة أنه من اللاقطين



الشكل (٩-٢) تخميد الأمواج السطحية بواسطة مجموعات اللواقط[زنامينسكي١٩٨٩].

الأوليين – من المجموعة المؤلفة من أربع لواقط- المتوضعان على طول النصف الأول للموجة حيث تم في هذا الزمن استقبال الإزاحة لجزء من الإشارة (الموجب أو السالب)، عندها نجد اللاقطين الباقيين المتوضعين على طول النصف الثاني للموجة

يستقبلان في الزمن نفسه الجزء الثاني من الإشارة (السالب أو الموجب). تأتي الأمواج الانعكاسية باتجاه قريب من الشاقولي وتعطي إزاحة ذات إشارة واحدة لكل اللـــواقط وفي الوقت نفسه، أي تتجمع على خرج المجموعة الاهتزازات الناتجة متطابقة بالطور، وجمع المطالات يكون أكبر بأربع مرات من مطال الموجة القادمة إلى اللاقط الواحد.

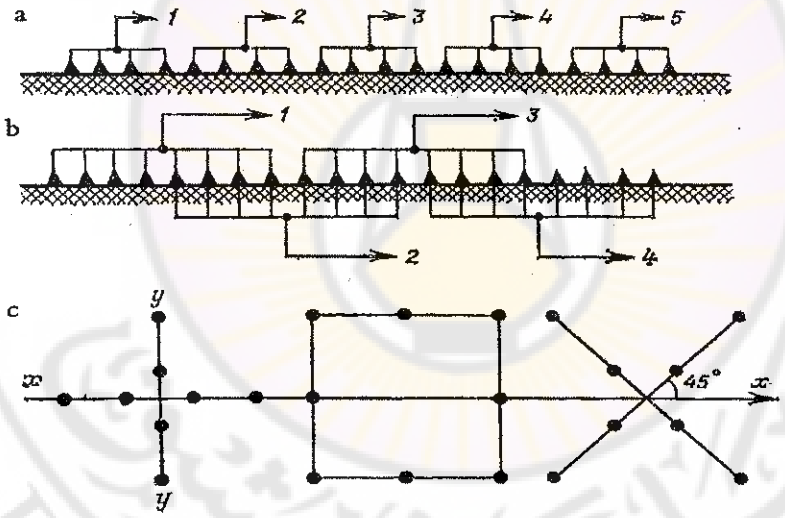
من معرفة سرعة انتشار الأمواج السطحية والدور الظاهري لها يمكن حساب مقدار قاعدة المجموعة δx وعدد اللواقط، التي تتضمن تخامد تلك الأمواج. إن عـــدد اللواقط في المجموعة يتعلق بشدة أمواج الشغب وعادة تكون بحدود من ٣ إلى ١٠– ١٥ لاقطاً، علماً بأنه توجد أمثلة خاصة استخدمت فيها مجموعات ذات عشرات اللواقط، في كل منها[٩].

إن اتجاه مجموعة اللواقط السيزمية لا يؤثر فقط على تخميد الأمواج السطحية المنتشرة في الاتجاه الأفقي؛ وإنما أيضاً وحسب نظرية أنظمة التداخل تلعب دور تخمد الأمواج القادمة إلى البروفيل من أي اتجاه عدا الاتجاه الشاقولي. هذا يسمح باســـتخدام مجموعات اللواقط لتخميد أمواج أخرى مثل أمواج الشغب ذات السرعات الصـــغيرة. لحساب مجموعة اللواقط بهدف إخماد أمواج الشغب ذات الســـرعات الصـــغيرة مـــن الضروري تحديد معاملاتها مثل السرعة الظاهرية $V_a \equiv V^*$ ، الطور المسيطر T. هـــذه المعاملات عادة يتم تحديدها بالتجربة، لهذا يمكن الحصول على سجل سيسمي نـــاتج عن لواقط أحادية متباعدة عن بعضها البعض مسافات صغيرة (١-٣ م) والذي يظهر عليه أمواج الشغب بسهولة، ويمكن تحديدها من قيمة السرعة الظاهرية الصغيرة[٩].

تستخدم مجموعات اللواقط كذلك الأمر بهدف تخميد أمواج الشـــغب غـــير النظامية :فعالية تخميد الأمواج غير النظامية يحدد بـــ $\sqrt{N}$ ، حيث N عدد اللواقط في المجموعة، و للحصول على التأثير الإحصائي للمسافة بين اللواقط في المجموعة يجب أن تزيد عن نصف قطر ترابط الاهتزازات العشوائية. عمليـــاً يمكـــن اســـتخدام عـــدة

احتمالات لوصل اللواقط ضمن المجموعة. يبين الشكل(٩-٣-a) ربط اللواقط ضمن مجموعات تفصل بين مراكزها مسافات صغيرة، أي إن قاعدة الربط بين المجموعات غير متداخلة وبدون ربط.

إذا كان مقدار قواعد المجموعات يزيد بشكل ملحوظ عن المسافة بين مراكز تلك المجموعات (تغطية للقواعد)فمن المريح استخدام ربط مركب بين مجموعات اللواقط، مثال ذلك تركيب أو توحيد مجموعة اللواقط المبين في الشكل(٩-٣- b)، فاللواقط الأربعة الأخيرة من كل مجموعة، الموجودة في الكل مركبة مع اللواقط الأربعة الأولى من المجموعة التي تليها. أي إن قواعد المجموعات تغطى بنسبة ٥٠ %.



الشكل(٩-٣) مجموعات اللواقط .a و b- مجموعات خطية ،c- مجموعات مساحية[زامينسكي١٩٨٩].

بالإضافة إلى المجموعات الخطية للواقط (أي جمع اللواقط على خط واحد)، هناك في الطرائق السيسمية طرائق وصل أخرى مثل التوضع المساحي، أو المجموعات ثنائية البعد، وبعض هذه المجموعات ممثل بالشكل (٩-٣- c).

تتميز المجموعات المساحية بإمكانية تخميد الأمواج التي يكون مسارها ضمن المستويات المائلة (الأمواج الجانبية). يمكن أن تأتي الأمواج الجانبية إلى خط القياس بوقت واحد أو بتأخير صغير، وهذه الأمواج تعمل على تشويه المقطع الزمني، لذلك لا يسمح التشكيل الخطي للواقط بتخميدها. إن استخدام المجموعات المساحية في المناطق المتوقع فيها تسجيل الأمواج الجانبية يمكن أن يحسن ويزيد من نوعية النتائج السيزمية.

عند استخدام مجموعات اللواقط يجب الانتباه إلى ظروف التضاريس :قاعدة مجموعات اللواقط يجب أن تنتشر في شروط تضاريس هادئة حسب الإمكان. إذا كانت التضاريس متفاوتة جدا فإن النتيجة من مجموعات اللواقط يمكن أن تكون أقل من المتوقعة؛ في حال عدم الأخذ بالحسبان الانحناء ضمن حدود قاعدة اللواقط ومقدمة الأمواج. تستخدم في المناطق المعقدة مجموعات اللواقط فقط ضمن مسافات صغيرة، وذلك لرفع حساسية تسجيل القنال السيسمي و تخميد الأمواج السطحية وأمواج الشغب غير النظامية.

٩. ٢. ١. مواصفات استجابة المجموعات الخطية

لنفترض وجود مجموعة مؤلفة من n لاقط متماثل متوضعة على مسافاتΔx فيما بينها، هذه المجموعة تستقبل موجة مستوية توافقية تصل بزاوية α إلى اللاقط اليساري في الزمن t الشكل(٩-٤)، وأن خرج اللاقط سجل على شكل $A \sin \omega t$. وستصل هذه الموجة إلى اللاقط r في الزمن $t + \Delta t$، حيث $\Delta t = (\Delta x \sin \alpha)/V$، خرج إشارة اللاقط r سيكون :

$$A \sin \omega(t - r\Delta t) = A \sin(\omega t - r\gamma) \qquad (١ .٩)$$

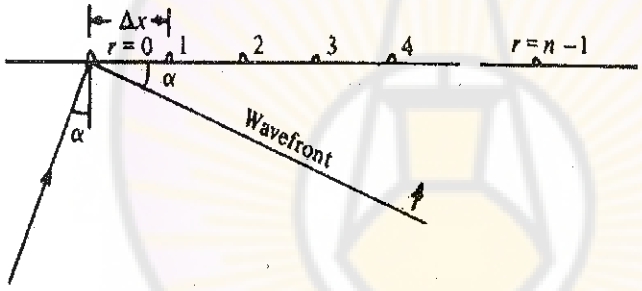
حيث :γ-الإزاحة أو الفرق في الطور بين إشارة اللواقط المتتالية أي إنه:

$$\gamma = \omega\Delta t = 2\pi f\Delta t = 2\pi\frac{\Delta t}{T} = 2\pi\frac{\Delta x}{V_a T} = 2\pi\frac{\Delta x}{\lambda_a} = 2\pi\aleph\Delta x =$$

$$\frac{\omega}{V_a}\Delta x = \frac{\omega}{V}\Delta x\sin\alpha =$$

$$= 2\pi\frac{\Delta x}{\lambda}\sin\alpha = 2\pi f(\Delta x\sin\alpha)/V \qquad (٢ .٩)$$

$\lambda_a = V_a T = \lambda/\sin\alpha$ الطول الظاهري للموجة، $\aleph = 1/\lambda_a$ العـــدد المـــوجي، ω –الترددات الزاوية، f –التردد، λ – طول الموجة، T– الدور، V_a – الســـرعة الظاهرية[٣، ٩، ١٥].



الشكل(٩– ٤) مقدمة الأمواج الواردة إلى خط القياس[شريف وكلدارت١٩٩٥].

أما إشارة خرج المجموعة المؤلفة من n لاقط تحدد بالعلاقة التالية :

$$h(t) = \sum_{r=0}^{n-1} A\sin(\omega t - r\gamma) \qquad (٣ .٩)$$

$$= A[\sin(\tfrac{1}{2}n\gamma)\ /\sin(\tfrac{1}{2}\gamma)]\sin[\omega t - \tfrac{1}{2}(n-1)\gamma]$$

وعلى هذا النحو، إشارة خرج المجموعة تتأخر بالطور عن إشارة اللاقـــط الأول. إذا كان عدد اللواقط في المجموعة (n) مفرداً فإن مقدار التأخير هـــو كمـــا في اللاقـــط

المركزي، أما إذا كان عدد اللواقط في المجموعة (n) زوجياً فإن التأخير يكون مساوياً لوسطي التأخير بين اللاقطين المركزيين.

مواصفات المجموعة P تتعلق بالعدد n وبالقيمة γ ولها الشكل التالي[٩]:

$$P = \frac{1}{n}\left|\frac{\sin\frac{n\gamma}{2}}{\sin\frac{\gamma}{2}}\right| \qquad (٤.٩)$$

إذا كانت **الترددات** هي المتغير في العلاقة γ فإن P تفسر كمجموعة مواصفات ترددية ويرمز لها $P(\omega)$ وتسمى المواصفات الترددية للمجموعة، محددة بذلك التشوه الترددي، الذي تصنعه المجموعة في الإشارة المنتشرة على طول المجموعة؛ مع ثبات السرعة V_a.

أما إذا كانت **الزاوية** α هي المتغير في العلاقة γ فإن P تفسر كمواصفات اتجاهيه، محددة بذلك حساسية المجموعة للأمواج ذات الأطوال الثابتة λ استناداً إلى درجة وصولها إلى مجموعة اللواقط.

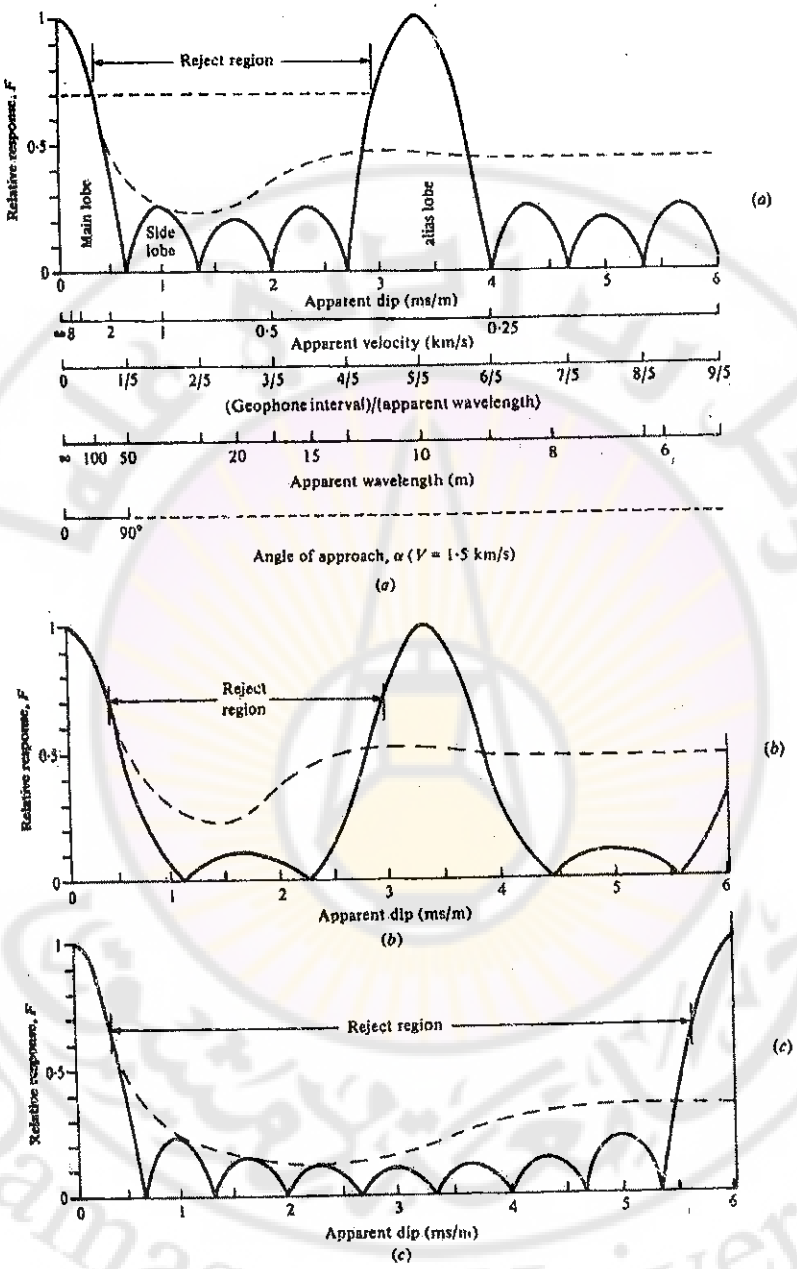
يعبر عن مواصفات المجموعة غالباً بشكل منحنٍ كما في الشكل (٩-٥) ، حيث يستخدم على محور السينات المقادير Δx، λ_a ، α، $V_a=V/\sin\alpha$ و ($\Delta t/\Delta x=\sin\alpha /V$) الإزاحة الحركية الزاوية الظاهرية وغيرها[٢، ٤، ٩، ١٥].

يتألف المنحني عادةً من مجموعة من القمم (الوريقات)، تفصل بيهامناطق ذات قيم صغيرة. عند $\lambda_a = \Delta x$ يكون $P = 1$ أو وريقة مرآتية (متكررة)، وبعدها تتكرر الصورة، بالتضاعف. الوريقات التي بين الوريقات الرئيسة ($\alpha =0$) والوريقات المرآتية تسمى الوريقات الجانبية.بالنسبة للمجموعات المتساوية وضع الصفر الأول أو

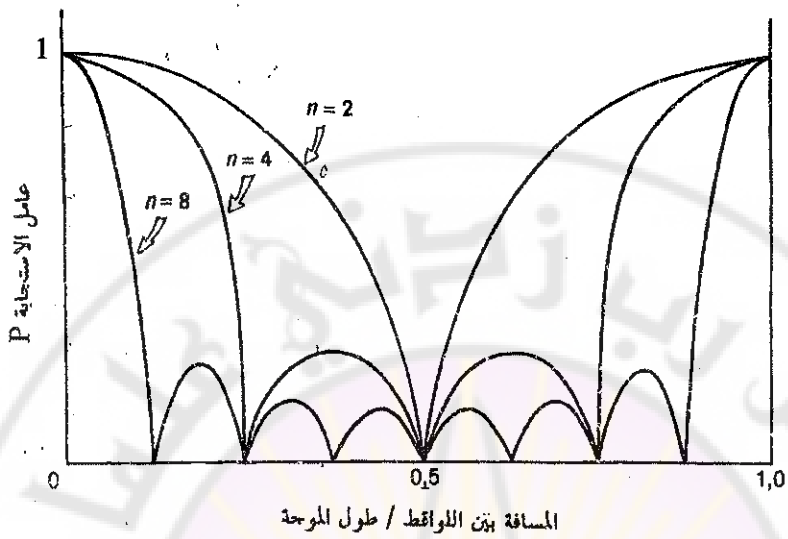
طول الوريقة الأساسية يكون مرتبطاً بـ $n\,\Delta x$ ، حيث إنها تزيد خطوة واحدة عن المسافة بين اللواقط النهائية Δx (n-1)، حيث المقدار $n\,\Delta x$ يسمى الطول الفعال للمجموعة.

أما بالنسبة للمجموعات غير المتساوية، فيُحدَد الطول الفعال كما للمجموعات المتساوية حيث الطول $n\,\Delta x$ ، الوريقة الأساسية التي لها العرض نفسه (الامتداد) عند $P = 0.7$. إن المجال بين النقاط حيث المواصفات تنخفض إلى 3dB، أي حيث $P = 0.7$ تسمى منطقة التخميد (أحياناً منطقة التخميد هذه تُحدد بنصف القيمة $P = 0.5$ أي تنخفض إلى ٦ ديسيبل(6dB)، وفي حالات خاصة تقبل القيم مساوية المسافة بين الأصفار و التي تفصل الوريقات الجانبية من الوريقات الأساسية والوريقة المرآتية الأساسية).

إن أبسط تمثيل لمواصفات أية مجموعة خطية يمكن أن يحدد العلاقة بين الطول الظاهري للأمواج الواردة λ_a والمنتشرة في اتجاه المجموعة؛ وعدد العناصر في المجموعة n ؛ والمسافة بين عناصر المجموعة Δx . ونسمي هذه الحالة مواصفات اتجاه المجموعة، من المعادلة (٩ .٤) و المعادلات (٩. ٢) حيث $\gamma = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda_a}$ فإن P يحدد ضمن الفاصل من الصفر إلى الواحد $0 \le \frac{\Delta x}{\lambda_a} \le 1$ وتكون متناظرة بالنسبة للقيمة $\frac{\Delta x}{\lambda_a} = 0.5$. ويبين الشكل (٩-٦) المخطط النموذجي البسيط لمواصفات اتجاه مجموعات اللواقط السيسمية[٢، ٣، ٤، ٧].



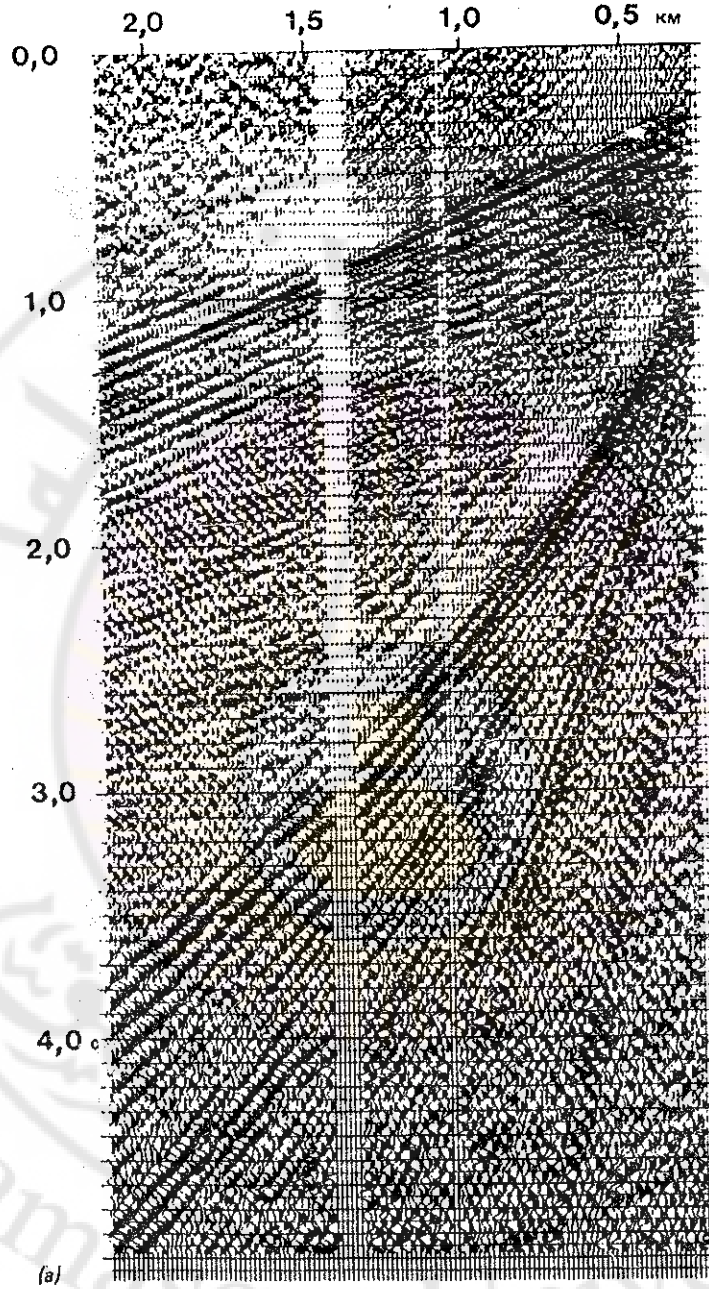
الشكل(٩–٥) مواصفات استجابة المجموعة لإشارة ذات تردد ٣٠ هرتزاً a– مجموعة مؤلفة من خمسة لواقط بتباعد ١٠ م بين اللاقط والآخر،b– مجموعة مؤلفة من خمسة لواقط بتباعد ١٠ م بين اللاقط والآخر موزعة بنظام ١،٢،٣،٢،١، c– مجموعة من تسعة لواقط بتباعد ٥,٥ م [شيريف وكلدارت١٩٩٥].



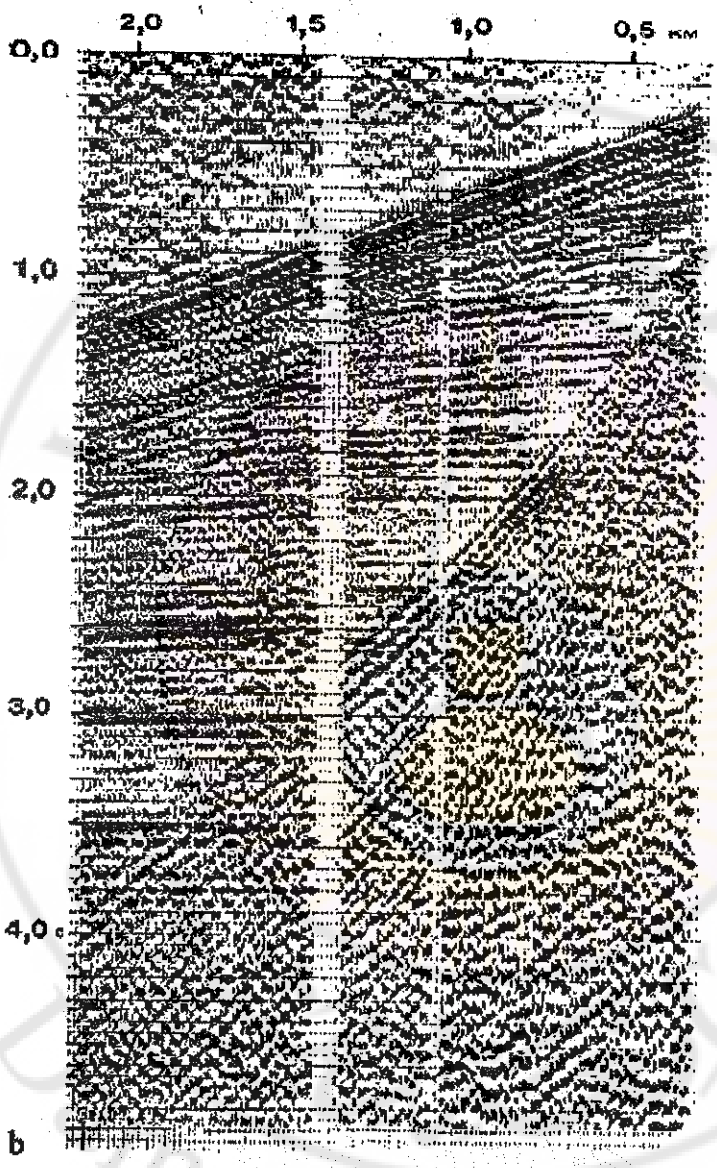
الشكل (٩-٦) المخطط النموذجي لعامل استجابة الاتجاه لثلاث مجموعات مختلفة من اللواقط السيزمية ٢و٤و٨ [كيري وبروك ١٩٨٨].

وتبين الأشكال (٩-٧- aوb) حقلاً موجياً تم إجراؤه بشكل خاص لتحليل أمواج الضجيج في منطقة الدراسة، ولتحديد العدد الأمثل من اللواقط التي يجب استخدامها في المجموعة والمسافة بين تلك اللواقط، وذلك بناءً على طبيعة أمواج الضجيج وأطوالها وما الأمواج التي يمكن التخلص منها ؟

يبين الشكل(٩-٧-a) حقلاً موجياً تم تسجيله باستخدام لواقط إفرادية، لاحظ عدم وجود أمواج مفيدة وسيطرة أمواج الشغب والأمواج السطحية والصوتية.ويبين الشكل (٩-٧-b) حقلاً موجياً تم تسجيله باستخدام مجموعات من اللواقط لاحظ وجود الأمواج المفيدة خاصة في الجزء اليساري الأوسط منه، حيث الزمن ١,٥ ثانية حتى ٣,٥ ثانية. كما يلاحظ زيادة نسبة الإشارة المفيدة إلى الضجيج وتخميد نسبي للأمواج التشويشية.



الشكل(٩-٧-a) تسجيل سيسمي مخصص لدراسة أمواج الشغب باستخدام لواقط مفردة [كيري وبروك١٩٨٨].



الشكل(٩-٧-b) تسجيل سيسمي مخصص لدراسة أمواج الشغب باستخدام مجموعات من اللواقط[كيري وبروك١٩٨٨].

٩. ٢. ٢. المجموعات الموزونة

هي المجموعة التي تتألف من أعداد مختلفة من اللواقط ضمن المجموعة نفسها، ويمكن تعريفها كذلك بالمجموعة غير المتساوية، و بالمقارنة مع المجموعة الخطية والتي لها الطول نفسه فإن الورقة الرئيسة والوريقة الثانوية الأساسية هي أعرض في المجموعة الموزونة،ولكن الاستجابة في منطقة التخميد " reject region" تكون بشكل عام أقل. والطول الفعال للمجموعة أقل من الطول الحقيقي. يبين الشكل(٩-٥-b) مواصفات مجموعة مؤلفة من ١، ٢، ٣، ٢، ١، تشير الأرقام إلى عدد العناصر الموزعة على المواقع بالتتالي.إن استجابة المجموعة الموزونة أو غير المتساوية يمكن أن تتشكل بطريقة تغير خرج كل لاقط (من تغير وزنه) أو تغيير المسافة بين اللواقط. ويمكن تشكيل مجموعة غير متساوية من نهاية المجموعة لتخميد بعض الأمواج أو الإشارات الطويلة[I، ١٥].

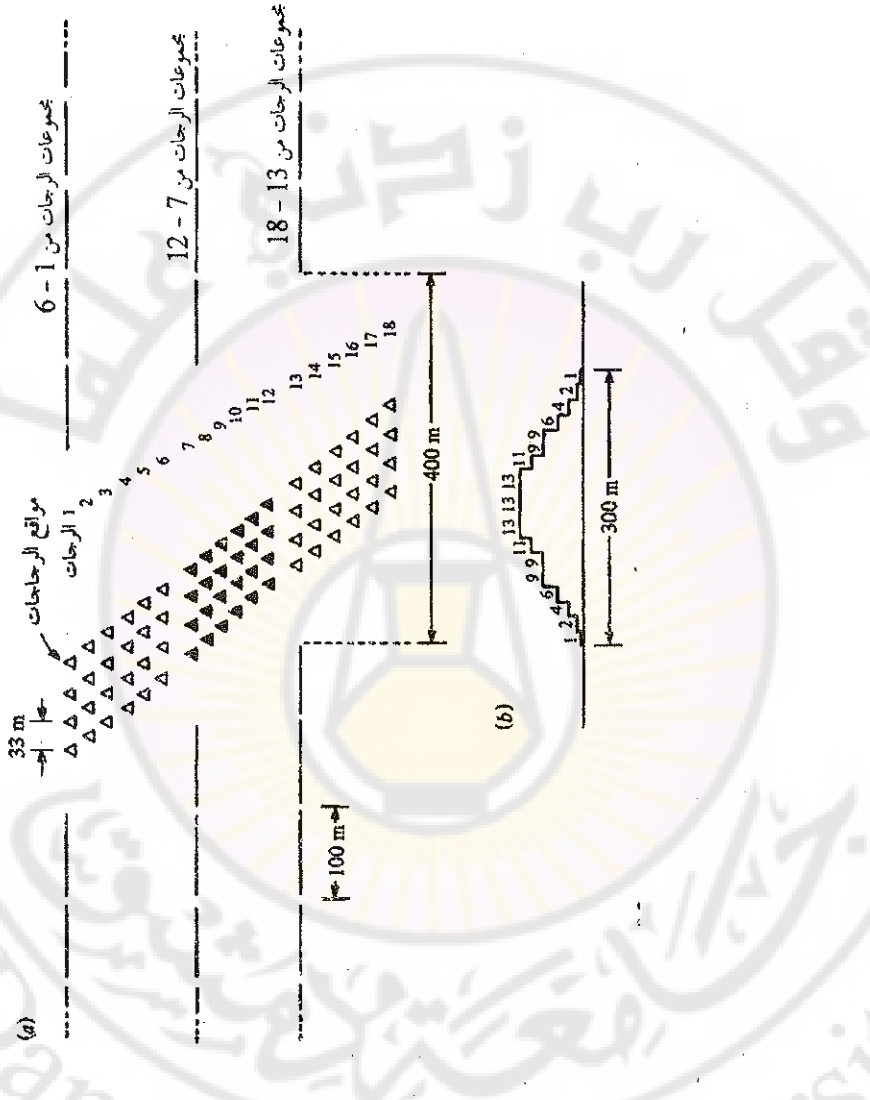
ويمكن الحصول على المجموعة الموزونة بمساعدة مجموعات اللواقط والمنابع ، حيث مواصفات الاتجاه أو فعالية المجموعة هي عبارة عن ثني مجموعات اللواقط ومجموعات المنابع، مثال على هذه المجموعات حيث يتم العمل الحقلي باستخدام الرجاج كمنبع للطاقة واختيار نظام الرصد المناسب يبينه الشكل(٩-٨)،حيث يبين هذا الشكل نظام رصد في حالة استخدام أربعة رجاجات يبعد عن بعضها البعض ٣٣ متراً ويسير الواحد تلو الآخر من اليسار إلى اليمين على طول خط القياس السيزمي، وتولد الرجاجات الطاقة بوقت واحد كل ١٦,٥ متراً. لتجنب التداخل في مواقع الرجات كما في الشكل ولنجاح الرجات تتم الإزاحة بشكل شاقولي. ويتم جمع التسجيلات (التكديس الشاقولي) من مواقع الرجات الستة والحصول على تسجيل حقلي واحد. وإن مجموعات اللواقط الأربع (طول كل مجموعة خطية ١٠٠ متر) لا تستخدم للتسجيل بسبب الضجيج من الرجاجات القريبة منها. وبعد الانتهاء من

المجموعة الأولى يتم تفعيل المجموعة الثانية من ٧ – ١٢ والممثلة في الشكل بالمثلثات السوداء. الشكل (٩-٨-a) يبين مواقع المنابع المتتالية والمجموعات الفعالة من اللواقط على طول خط القياس.أما الشكل (٩-٨-b) يبين المجموعة الفعالة التي تضم مجموعات اللواقط والمنابع حيث الأرقام تشير إلى عدد الرجات في كل جزء، والمكان يشير إلى مواقع المنابع ١٣-١٨.

٩. ٢. ٣. المجموعات المساحية

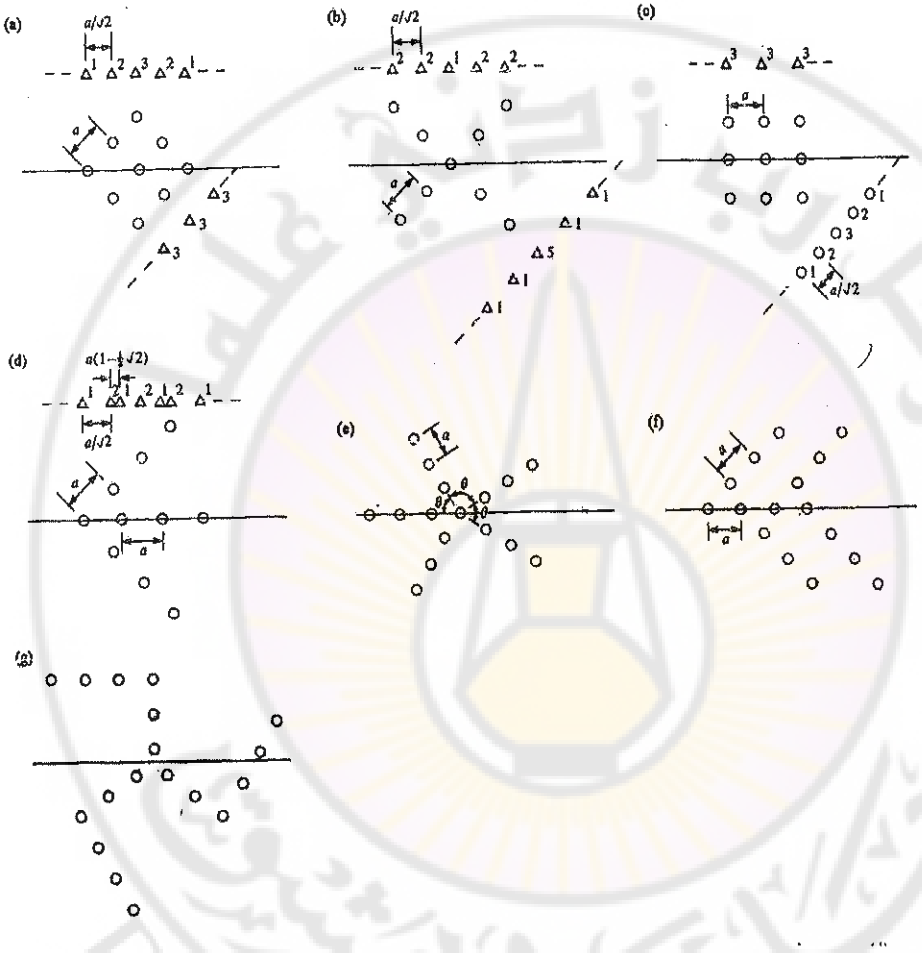
إن التطبيق الأساس للمجموعات الخطية هو لتحميد أمواج الضجيج المترابطة و التي تنتشر في المستوي الشاقولي تقريباً، والقادمة إلى مجموعات اللواقط.أما أمواج الضجيج المترابطة والمنتشرة خارج هذا المستوي يمكن تحميدها بواسطة المجموعات المساحية. بعض هذه المجموعات يبينه الشكل(٩-٩). فعالية المجموعة في الاتجاه المعطى يمكن أن تُحَدد من إسقاط مواقع اللواقط على الخط في ذلك الاتجاه، وذلك للمجموعات المعينية الشكل(٩-٩-a). فعالية المجموعة في اتجاه البروفيل تعد المجموعة الموزونة أو غير المتساوية **١، ٢، ٣، ٢، ١**، ذات خطوة أو مسافة بين العناصر $\Delta X = \frac{a}{\sqrt{2}}$ ، وفي الاتجاه 45^{o} على خط البروفيل نحصل على المجموعة الفعالة **٣، ٣، ٣**، (أو مجموعة متجانسة ثلاثية العناصر) بخطوة $\Delta X = a$ [٩، ١٥] .

في المسح ثلاثي الأبعاد حيث إن المنابع تقع على سموت مختلفة؛ فهذا يؤدي إلى الاختلاف في استجابة المجموعات و الاختلاف في الاتجاه الفعال للمجموعة،فإذا المركبات داخل المجموعة مختلفة فهذا يؤدي إلى اختلاف غير مرغوب فيه فيما بين المجموعة واستجابة هذه المجموعات. فإن المجموعة مثل مجموعة الطاحونة الشكل (٩-٩-g) والتي تستجيب تقريباً بشكل متماثل من كل الاتجاهات هي مناسبة لمثل هذه المسائل.



الشكل(٩-٨) نظام رصد باستخدام الرجاج كمنبع سطحي،في الشكل أربعة رجاجات.

a- مواقع المنابع المتتالية، والمجموعات الفعالة من اللواقط على طول خط القياس.b- المجموعة الفعالة التي تضم مجموعات اللـــواقط والمنابع ،الأرقام تشير إلى عدد الرجات في كل جزء ، والمكان يشير إلى مواقع المنابع ١٣- ١٨، [شريف وكلدارت١٩٩٥].



الشكل(٩–٩) نماذج المجموعات المساحية. الدوائر تشير إلى مواقع اللواقط والمثلثات تشير إلى فعالية المجموعة في الاتجاهات المختلفة والارقام تشير إلى وزن المجموعة. (a)– مجموعة معينية الشكل مؤلفة من ٣x٣، (b)– مجموعة على شكل حرف X، (c)– مجموعة على شكل مربع ،(d)– مجموعة على شكل رجل إوزة، (e)– مجموعة على شكل لجمة، (f)– مجموعة على شكل عظم سمك الرنكة، (g)– مجموعة على شكل طاحونة الهواء،[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

٩. ٣. التطبيقات الحقلية

مواصفات الاستجابة المبينة في الشكل (٩- ٥)و(٩-٦) تتماثل في التطبيق على مجموعات المنابع ومجموعات اللواقط. ويمكن تطبيقها لحساب جمع الآثار في التكديس الشاقولي أو أي استخدام أثناء معالجة المعطيات على شكل جمع. نظرياً نحصل على النتيجة نفسها إذا استخدمنا منبعاً واحداً و ١٦ لاقطاً أو لاقط واحد و ١٦ منبعاً، موزعة بأسلوب واحد أو مماثل ، وتُفعل بوقت واحد. إلا أنه في الواقع التطبيقي العملي تستخدم مجموعات اللواقط أكثر من استخدام مجموعات المنابع لان التكلفة أقل بكثير.وفي المناطق الصعبة يتم استخدام كلا النظامين؛ مجموعات اللواقط ومجموعات المنابع بوقت واحد. ويتم استخدام اثنين أو أربعة من المنابع السطحية بوقت واحد. والتسجيلات من المنابع الناجحة المختلفة والقريبة من بعضها البعض، كثيراً ما تجمع لنحصل على نظام الجمع (array sum) التكديس الشاقولي (vertical stack) ويمكن الحصول على الفعالية الكبيرة لنظام المنابع من هذه الطريقة كما في الشكل(٩-٨). ومن نظام جمع مجموعات المنابع يمكن إحراز تخميد أمواج الشغب العشوائية أكثر من استخدام مجموعات من المنابع في وقت واحد (المنابع الجمعية دفعة واحدة). مسألة تخميد أمواج الشغب بمساعدة مجموعات المنابع و اللواقط هي أصعب بكثير من تخميد الشغب العشوائي.

عند الشغب النظامي ،فإن حجم ومسافات وتوجيه المجموعة يجب أن يتم اختياره بناءً على خصائص أمواج الشغب حتى يتم تخميدها.وإذا كان الشغب على شكل قطار من الأمواج الجيبية الطويلة ،فيمكن تخميدها عن طريقة مجموعة مؤلفة من n عنصر منتشرة على طول اتجاه مسار الأمواج بمسافة λ/n ، حيث λ - الطول الظاهري للأمواج . ولكن أمواج الشغب في الواقع تتألف من أنواع مختلفة ،واردة أو قادمة من اتجاهات مختلفة وزوايا مختلفة ،وكل نوع يحتوي اهتزازات مختلفة الأطوال ،

وعلاوة على ذلك فإن طبيعة الشغب تتغير من نقطة إلى أخرى على طول خط القياس. في المناطق التي تعاني من مشكلة الشغب بشكل حاد ، إن الملجأ الأخير عادة هو استخدام المجموعات المساحية (مع أن الانتشار الخطي للعناصر على طول البروفيل هو غالبا أساس أنظمة الرصد) .

بالإضافة إلى صعوبة تحديد طول أمواج الشغب غير النظامية ، والتي من الضروري تخميدها، فإن أنظمة الرصد الحقلية الحقيقية نادراً ما تتطابق مع الحسابات النظرية. إن قياس موقع كل لاقط على حدة عملية صعبة جداً وتحتاج إلى زمن كبير. في ظروف العمل في الأدغال أو أثناء وجود الغابات أو النباتات القاسية وأثناء توزيع اللواقط يمكن وبسهولة حدوث انزياح في خط اللواقط عن الخط المستقيم المفروض، وغالباً لا نرى استقامة اللاقط عن الآخر ، و لذلك وبالنتيجة فإن اتجاه خط اللواقط يمكن أن يكون غير نظامي. في الأوضاع الطبوغرافية الصعبة ، وعند المحافظة على نظام الرصد المعتمد يمكن أن يتطلب وضع اللواقط على ارتفاعات مختلفة، وهذا يعطي سبباً لتأثيرات أسوأ منها فيما لو سعينا للتخميد بمساعدة نظام المجموعات . وتظهر مسألة مشابهة عندما تتغير شروط وضع اللواقط ضمن المجموعة ، مثال ذلك : الرمل الطري أو الرخو، التربة الطينية ،أو في حالة ظهور أو انتشار موضعي للصخور على سطح الأرض.

وبشكل عام أفضل طريقة أو قاعدة لاختيار المجموعة وحساب أبعادها وعدد وتوزيع اللواقط فيها هي غالباً:١-تحديد الحجم الأعظمي للمجموعة، والذي يمكن تحقيقه دون تشويه محاور تماثل أطوار الأمواج وبالميل الأعظمي المعطى.

٢- توزيع أكبر عدد ممكن من اللواقط وبأقل كلفة اقتصادية، بحيث يغطي المساحة المطلوبة ويفي بالغرض مع المحافظة على شروط ومستوى وضع كل اللواقط بشكل ثابت قدر الإمكان حتى لو أدى ذلك إلى تشويه حساب وضع نظام الرصد.

الفصل العاشر

تقنيـــات ســـيسمية خاصـــة

١٠. ١. مقدمة

١٠. ٢. الاستكشاف بواسطة الأمواج العرضية

١٠. ٣. تسجيل المركبات الثلاث

١٠. ٤. الطبقة ذات السرعة القليلة (توليد النمط الطبيعي)

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تقنيات سيسمية خاصة

١٠. ١. مقدمة

سنعرض في هذا الفصل بعض التقنيات الخاصة المستخدمة في الدراسات السيسمية وخاصة تقنيات استخدام الأمواج العرضية من حيث توليد الطاقة ونوعيته والتقنيات الخاصة بها، وكذلك اكتشاف هذه الأمواج وطبيعتها والتعامل معها. ويجب أن تكون بعض التقنيات الخاصة معروفة بالنسبة للسيسمولوجيين، وذلك لأنهم يقومون بتقديم أفضل الوسائل للحصول على المعلومات التي نحتاجها في الظروف الخاصة.

تعتمد الأمواج العرضية على خواص مرونة تختلف عن خواص مرونة الأمواج الطولية، ولذلك قدمت هذه الأمواج معلومات إضافية عندما درست مجتمعة مع الأمواج الطولية؛ وخصوصا في حالات عدم التجاهي حيث من المحتمل وجود تشققات وتكسرات .و قدمت معلومات حاسمة أكثر من تلك التي تنتج عن الأمواج الطولية، كما يتم الحصول على معلومات إضافية عن طريق معالجة حركة الأمواج كمتجه مؤلفة من ثلاث مركبات، على عكس معالجة مركبة واحدة لحركة في اتجاه واحد. إن الأمواج السيسمية التي تقع ضمن طبقة منخفضة السرعة يمكن استخدامها للحصول على معلومات عن خواص الطبقات، ومع ذلك فإن تحليلها صعب وذلك بسبب تشتتها العالي .

تعد طريقة المسح السيسمي الشاقولي(**Vertical Seismic Profiling VSP**) واحدة من أفضل الوسائل المستخدمة في ربط حالات الانعكاس إلى الاتجاهات المستخدمة في المسح. تزود الـVSP أيضا بوسائل ذات دقة عالية، وتخدم في التمييز العالي للمعطيات أكثر منها بالنسبة للمعطيات السطحية، و كذلك تساعد في معرفة التغيرات التي يمكن أن تقع على جانب البئر.

تلعب طرائق التوموغرافيك (Tomographic) دوراً في الوصول إلى قياسات زمن المسير والسعة بهدف تحديد توزع السرع وخواص التخامد . مع أن استخدامها جديد وتعد من أفضل وسائل التطبيقات؛ لكنها ما زالت قيد التطوير وهي بشكل خاص تطبيق لحل مسائل القياسات بين الآبار .

تتألف تقانة الدورة الزمنية (time laps) من القياسات المعادة (المكررة بعد فترة زمنية لاحقة) لتحديد التغيرات التي ربما حدثت خلال الزمن، وهذه التقانة تستخدم بشكل رئيس في دراسات الخزانات النفطية. بالإضافة إلى مسوح السرعة والـVSP ومسوح مقاطع البئر فإن القياسات ضمن الآبار تضم مسوحات لتحديد مدى قرب البئر من جناح القبة الملحية . تسجيلات شكل الموجة تسمح بتحليل السرع لمختلف أنماط الموجة. تعتمد القياسات السيسمية السلبية على مصادر طبيعية لتوليد الأمواج السيزمية.

١٠. ٢. الاستكشاف بواسطة الأمواج العرضية S-WAVE:

١٠. ٢. ١. هدف الاستكشاف بالأمواج العرضية

تتم جميع الاستكشافات السيسمية تقريباً باستخدام الأمواج الطولية، حيث كان الافتراض السائد هو أن الأمواج الطولية هي الوحيدة المستخدمة في الدراسات السيسمية وأن طاقة الأمواج العرضية الموجودة تساهم في الضجيج فقط. وفي كل الأحوال إن تحول الأمواج الطولية عند السطوح الفاصلة إلى أمواج طولية وعرضية يعني أن الأمواج العرضية ستكون حتماً ضمن عمليات الرصد السيسمية حتى ولو حاولنا تخطيها.

وبشكل عام إن الأمواج الطولية لها الأفضلية على الأمواج العرضية فهي **أولاً** سهلة التوليد، و **ثانياً** وجود نمط وحيد من هذه الأمواج، و**ثالثاً** تنتشر بسرعة أكبر من غيرها، و **رابعاً** لسهولة تفسيرها.

ولكن الموجة العرضية أيضا لها ميزات وهي :

١- تعتمد سرعة الموجة العرضية على خواص مختلفة عن تلك للموجة الطولية μ مقابل ($\lambda+2\mu$) كما في المعادلات التالية $V_P=\left(\frac{\lambda+2\mu}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$ و

$$V_S=\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

٢- للموجة العرضية مركبتان SH+SV وكلتاهما ذات تعقيد وميزات كامنة وممكنة، وبالتالي تحمل الموجة العرضية معلومات مختلفة عن تلك التي تحملها من الموجة الطولية[١٥] .

إذا ما تم قياس سرعتي الموجتين، الموجة العرضية والطولية؛ عندئذ يكون لدينا مصدر معلومات إضافي عن ما تحت السطح . وهذه المعلومات تشير إلى الليتولوجيا، وتشير إلى المائع الموجود ضمن مسامات الصخر. معامل الجز أو(المعامل القصي) μ هو الأكثر أهمية في الدراسات الهندسية؛ لأنه يتعلق بقابلية الأرض لحمل الأبنية والمنشآت. تلعب المعاملات القصية على طول سطح الفالق دوراً في إمكانية توقع الزلازل.

النمط SV يتضمن حركة الموجة في المستوي العمودي الذي يحتوي على مسار الشعاع، بينما النمط SH يتضمن الحركة الأفقية. ميزات الأمواج العرضية ذات المركبة الشاقولية SV حصل عليه تحويل عند السطوح الفاصلة القريبة من الأفقية بينما الأمواج العرضية ذات المركبة الأفقية SH فلم يحصل عليها تحويل.

إن استخدام الأمواج العرضية وميزاتها الكامنة في عمليات الاستكشاف مازالت قيد التطور، حيث يبذل كثير من الجهود والمساعي لتطوير تقنيات هذه الأمواج، ولكن حتى الآن لم تصل بعد إلى المستوى المطلوب[١٥].

١٠. ٢. ٢. تسجيلات الأمواج العرضية على اليابسة

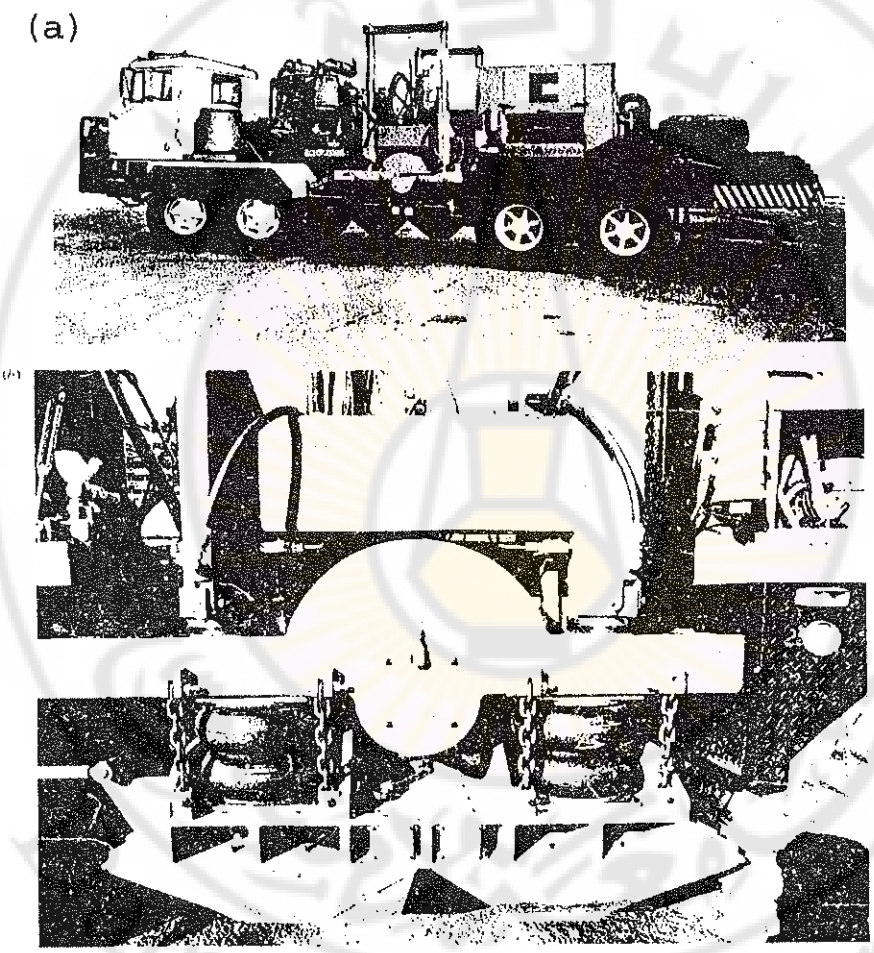
لأننا أساسا مهتمون بانتشار الأمواج العمودية تقريبا أكثر من انتشار الأمواج الأفقية؛ فإنه يجب علينا أن نولد حركة أفقية من أجل توليد أمواج عرضية. و توليد هذه الحركة أكثر صعوبة من توليد الحركة الشاقولية وخاصة في حال توليد النوعين من الحركة الأفقية للأرض.

عملياً كل منابع الأمواج العرضية تولد أيضا الموجة الطولية . ولتقليل الارتباك أو الحيرة في تحديد هوية الموجة ونمطها، نحاول عادة توليد المركبة الأفقية للأمواج العرضية SH ، لذلك الأمواج المتحولة غير متضمنة هنا، وعندئذ نبحث هنا فقط عن المركبة الأفقية SH-component باستخدام الجيوفونات الأفقية.

هناك أربع طرق رئيسة لتوليد الموجة العرضية بالإضافة إلى نمط التحويل (١)- استخدام رجاج أفقي، (٢)- صدمة أفقية، (٣)- صدمة زاوية(صدم ضمن زاوية معينة)، (٤)- استخدام عدم تماثل أفقي. إن الرجاجات المولدة للموجة العرضية عادة تحتوي على أسنان مثلثية أسفل صفيحة القاعدة لتحافظ على ثبات الترابط مع الأرض، كما يبين الشكل(١٠-١).الأسنان المثلثية تتعمق وتحافظ على الترابط وتحدث فجوة بسبب الحركة الرجية، هذا يؤدي بالطبع إلى تشكل فجوات، لذلك يتضمن استعمال الرجاجات الأفقية ضرراً بيئياً كبيراً[١٥].

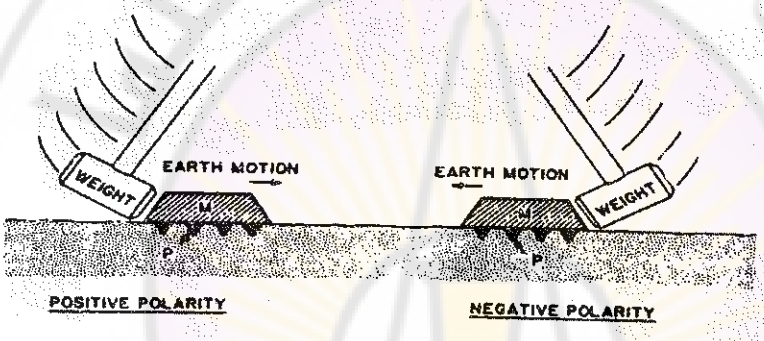
في حالة الصدم الأفقي يتم تولد الأمواج العرضية عن طريق توليد صدمة على كتلة فولاذية بمطرقة ثقيلة كما في الشكل(١٠-٢). وهنا تثبت الكتلة الفولاذية بواسطة كتلة كبح قوية بعكس الأرض تكون عادة بواسطة وزن الشاحنة. المطرقة الحديدية تستخدم عادة لتوليد الأمواج العرضية في الدراسات الجيوهندسية و تستخدم مطرقة كبيرة ذات وزن ١٧٠٠ كغ في حال الاحتياج لطاقة أكبر. لتوليد طاقة كافية يتم عادة التكديس العمودي بواسطة الطرق أو تكديس طاقة المنبع. تنفذ

الضربات بشكل متعاقب على الجوانب المتعاكسة للكتلة، وعندئذ تتناوب القطبية على السجلات قبل التكديس، وذلك لتصغير الموجة الطولية المولدة بشكل عارض. توليـــد الأمواج العرضية بصدمة ذات زاوية يمكن أن تولد موجة طولية P محسوسة أيضا.



الشكل(١٠-١) رجاج أفقي لتوليد الموجة العرضية. a – الرجاج مثبت على شاحنة كبيرة b– وسادة الرجاج بالتفصيل حيـث تظهر أسنان التثبيت المثلثية في مقطع عرضي[شريف وكلدارت١٩٩٥].

بإعادة الصدمة بقوس ١٨٠ درجة تقلب قطبية الموجة العرضية عند التسجيل. ستضاف وتجمع الموجة العرضية الناتجة عن الصدمات الناجحة مع بعضها، بينما تلغى الموجة الطولية تقريبا. الصدم بزاوية يمكن أن يحصل بإسقاط وزن مرتبط بزاوية معينة (إسقاط أفقي) ويمكن أن يحقق بضغط هوائي أو بقوة أخرى مزودة بوزن هابط كما في المنبع (omnipluse) (omnipluse seismic source) الشكل(١٠-٣).

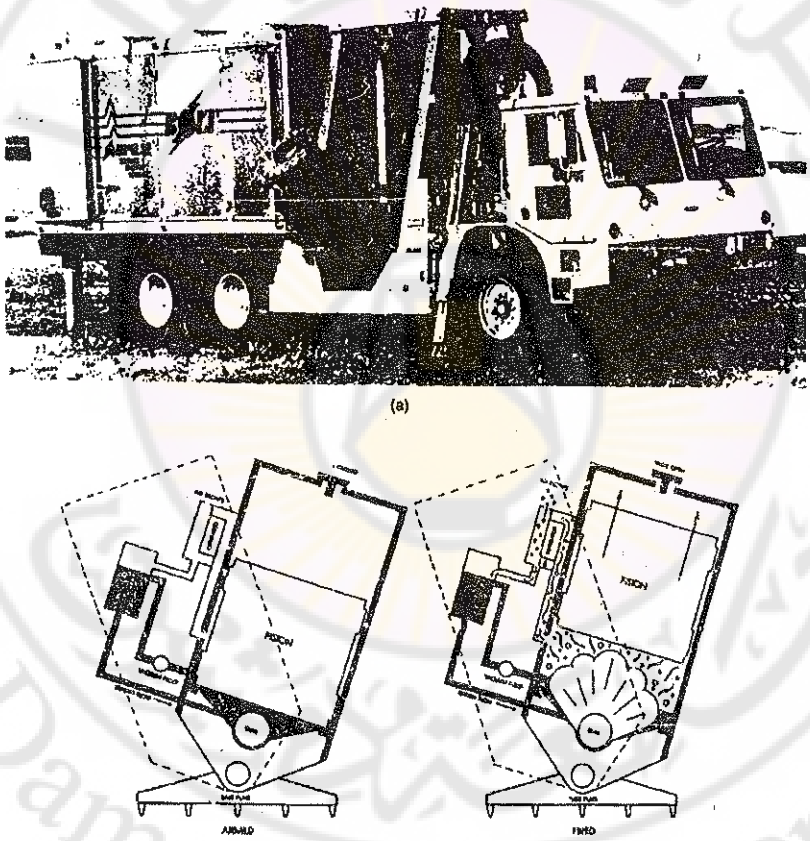


الشكل (١٠-٢) الضرب بالمطرقة (حمل كتلة وإسقاطها بقوة على الصفيحة لتبدأ بتوليد الموجة العرضية) [شريف وكلدارت١٩٩٥].

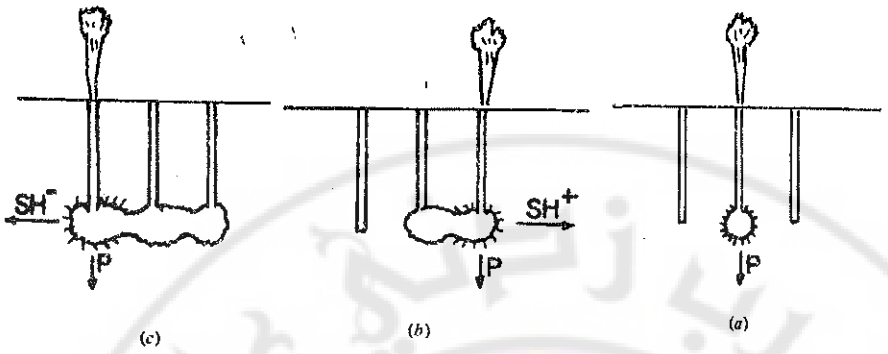
عدم تماثل الأرض ينتفع به كقاعدة في تقنية تسمى syslap technique (سايسلاب) حيث تستخدم ثلاث آبار محفورة بالقرب من بعضها البعض كما في الشكل (١٠-٤). التفجير في البئر المركزية الشكل(١٠-٤-a) يولد الموجة الطولية التقليدية، وتسجل التغيرات المحلية في البئر المركزي، حيث الحفرتان التاليتان غير متماثلتين أفقياً. تولد التفجيرات المتتابعة في الحفرتين التاليتين المجاورتين الشكل(١٠-٤-b وc) الأمواج العرضية والتي تختلف بالطور عن الموجة الطولية. وبطرح التسجيلين كما في منابع الصدم الزاوية تضاف الموجة العرضية وتجمع مع بعضها بينما تلغى الموجة الطولية. هناك طريقة أخرى لتوليد الأمواج العرضية تتم باستخدام رجاجين يولدان الموجات الطولية يوضعان بالقرب من بعضهما ويعملان بطور ١٨٠

درجة وهذه تستخدم لتوليد الموجة العرضية كما في المنبع (shover).

يتم التسجيل الأمواج العرضية باستخدام جيوفونات أفقية توضع على طول خط المسح باتجاه مركبة الموجة العرضية الشاقولية SV بينما توضع متعامدة على خط المسح في حالة المركبة الأفقية SH ، ويمكن استخدام جيوفونات ذات ثلاث مركبات انظر الفقرة (١٠-٣).



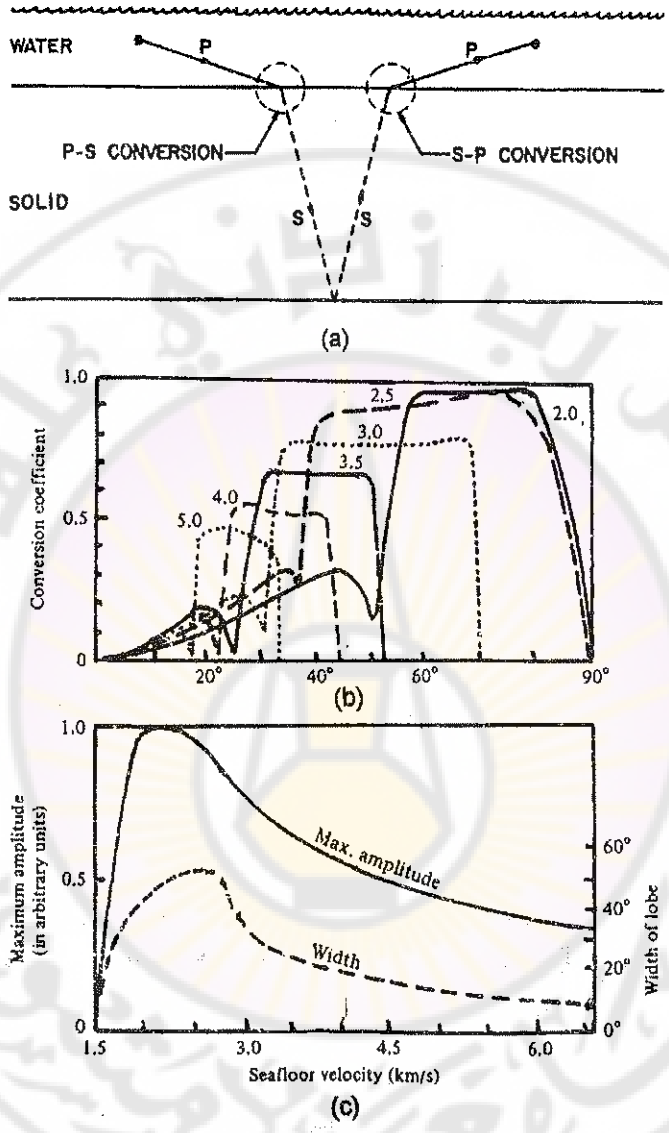
الشكل(١٠-٣) a-وحدة تميل حتى ٤٥ درجة إلى الجانب الآخر لتوليد الموجة العرضية بقطبية معكوسة b- تحرير الهواء من مدفع هوائي حيث يدفع رد الفعل الكتلة صعودا ونزولا كمركبة أفقية وشاقولية، [شريف وكلدارت١٩٩٥].



الشكل (١٠-٤) طريقة Syslap. a- التفجير في البئر المركزي وتوليد الأمواج الطولية P. b - التفجير في البئر اليميني. C - التفجير في البئر اليساري[شريف وكلدارت١٩٩٥].

١٠. ٢. ٣. تسجيل الموجة العرضية في المسح البحري

من المعروف أن الأمواج العرضية لا تنتقل عبر الماء، لذلك فان المنابع البحرية لا يمكن أن تولد موجة عرضية(قصية) والهدروفونات لا تلتقطها، وعندما يكون قاع البحر صلبا يتشكل عن الموجة الطولية الواردة موجة عرضية ذات زوايا ورود محسوسة ويمكن تقديرها عن السطوح الفاصلة بين المياه، وقاع البحر الصلب الشكل(١٠-٥). تتحول المركبة الشاقولية SV للموجة العرضية إلى موجة طولية عندما تعود إلى السطح الفاصل بين قاع البحر والماء وهذا التحول فعال ويمكن أن يُكتشف بحساسات (لواقط)الضغط. تستخدم أكبال ذات خطوط طويلة جدا حوالي ٦ كم للحصول على زوايا الورود الكبيرة. يستعمل الطول الكبير للمجموعة في أكبال المسح البحري التقليدية، وتُميز بالمقابل الأمواج التي ترد أو تتقدم بزوايا طارئة وكبيرة. ومن أجل تحسس أفضل للمركبة الشاقولية يجب أن تستخدم مجموعات قصيرة في الكبل البحري.وإن زمن الإزاحة والمعطيات التي تنتج من عدة مجموعات قصيرة يمكن أن تجمع لتقابل بمجموعة طويلة. وإن الموجة الطولية والعرضية يمكن أن تنفصل بشكل متباعد عندما تتم المعالجة بمصفيات السرعة الظاهرية.

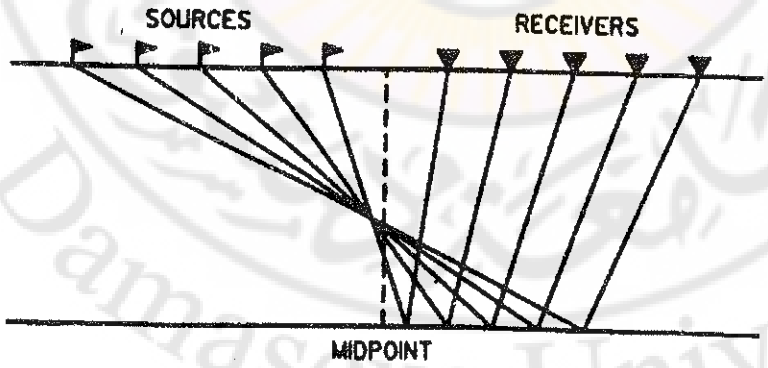


الشكل (١٠-٥) انعكاسات PSSP عن قاع البحر. a- الشكل الهندسي، b- تغيرات عامل التحول مقابل زوايا ورود مختلفة إلى المياه، رسمت المنحنيات على افتراض أن سرعة قاع البحر بالكيلومتر على الثانية km/s. C- السعة العظمى وعرض التغيرات الأساسية لسرعة قاع البحر [شيريف وكلدارت ١٩٩٥].

١٠. ٢. ٤. معالجة وعرض معطيات الأمواج العرضية :

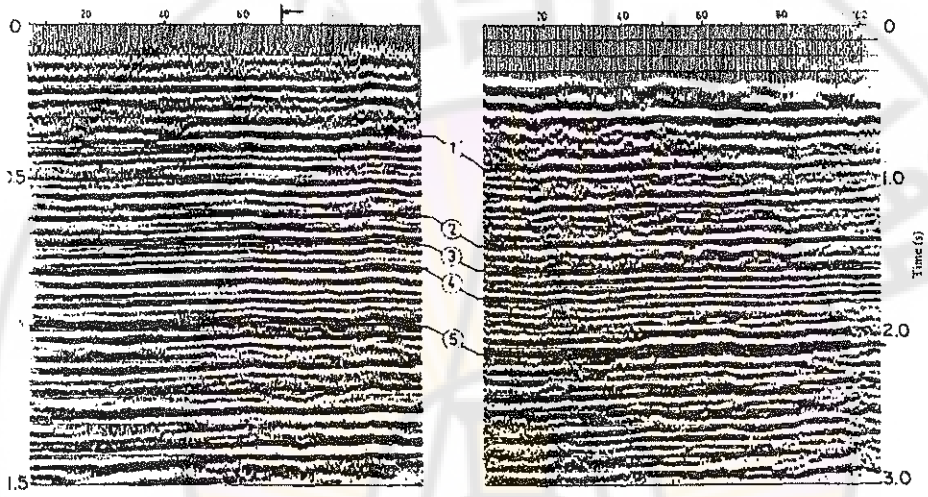
معالجة الأمواج العرضية مماثلة لتلك في الأمواج الطولية في نقاط كثيرة ومختلفة معها في عدة نقاط. التغيرات قرب السطحية للأمواج العرضية غالبا ما تكون كبيرة و التصحيحات الستاتيكية هامة لعملية التكديس لمعطيات الأمواج العرضية على اليابسة، ولإنتاج مقطع تسجيل قابل للاستخدام. تنتج الأمواج العرضية ذات التأخير الكبير من حساسية سرعة الأمواج لتغيرات مكونات الصخر بالقرب من السطح، وهي ليست بالضرورة متناسبة مع التأخر في الأمواج الطولية التي تنتج أساسا من الموائع بالقرب من السطح الرسوبي. البرامج الأوتوماتيكية الثابتة تبحث بالضرورة ضمن فاصل زمني أكبر من الفوارق الثابتة، وهذا قابل ليتضمن قفزة دورية بسبب السعات العالية للأمواج العرضية الثابتة، لذلك مطلوب غالبا تدخلات يدوية مباشرة.

وبسبب عدم التماثل في المسارات للأمواج المتحولة الشكل (١٠- ٦) فإن تكديسها ليس سهلاً، كما هو الحال في للأمواج الطولية ، حتى و في العواكس الأفقية و توزعات السرعة البسيطة.



الشكل(١٠-٦) مسارات الأشعة للنقطة الوسطى المشتركة[شيريف وكلدارت١٩٩٥].

لأن نتائج الموجة العرضية عادة تفسر بالارتباط مع الموجة الطولية، فإن مقاطع الموجة العرضية عادة تعرض في مقياس زمني شاقولي مضاعف لذلك المستخدم في مقاطع الموجة الطولية؛ وذلك بهدف تحقيق تكافؤ تقريبي بنسبة ٢:١ لسرعة الموجة العرضية بالنسبة للطولية $\frac{\beta}{\alpha} \equiv \frac{Vs}{Vp}$ الشكل(١٠-٧).



الشكل (١٠-٧) مقارنة بين تسجيلات الموجة الطولية والعرضية a- (إلى اليسار) تسجيل موجة طولية b-(إلى اليمين) تسجيل موجة عرضية بمقطع زمني مضاعف لتكون المقارنة أوضح، [شويف وكلدارت١٩٩٥].

١٠. ٢. ٥. تفسير واستخدام الموجة العرضية

الغرض عادة من قياسات الموجة العرضية هو الحصول على نسبة سرعات الموجة العرضية إلى الموجة الطولية $\frac{\beta}{\alpha} \equiv \frac{Vs}{Vp}$. وهذا يستدعي مضاهاة انعكاسات الموجة الطولية والعرضية عن السطح العاكس نفسه. وبما أنه ليس بالضرورة أن يكون عاكس الموجة الطولية هو نفسه للموجة العرضية؛ فإن هذا التحديد يمكن أن يكون صعبا. و هذه من أكثر الصعوبات التي تواجهنا غالبا عند تفسير الموجة العرضية. يتم عرض مقاطع الموجة العرضية بمقياس شاقولي مضاعف للمقياس المستخدم من أجل

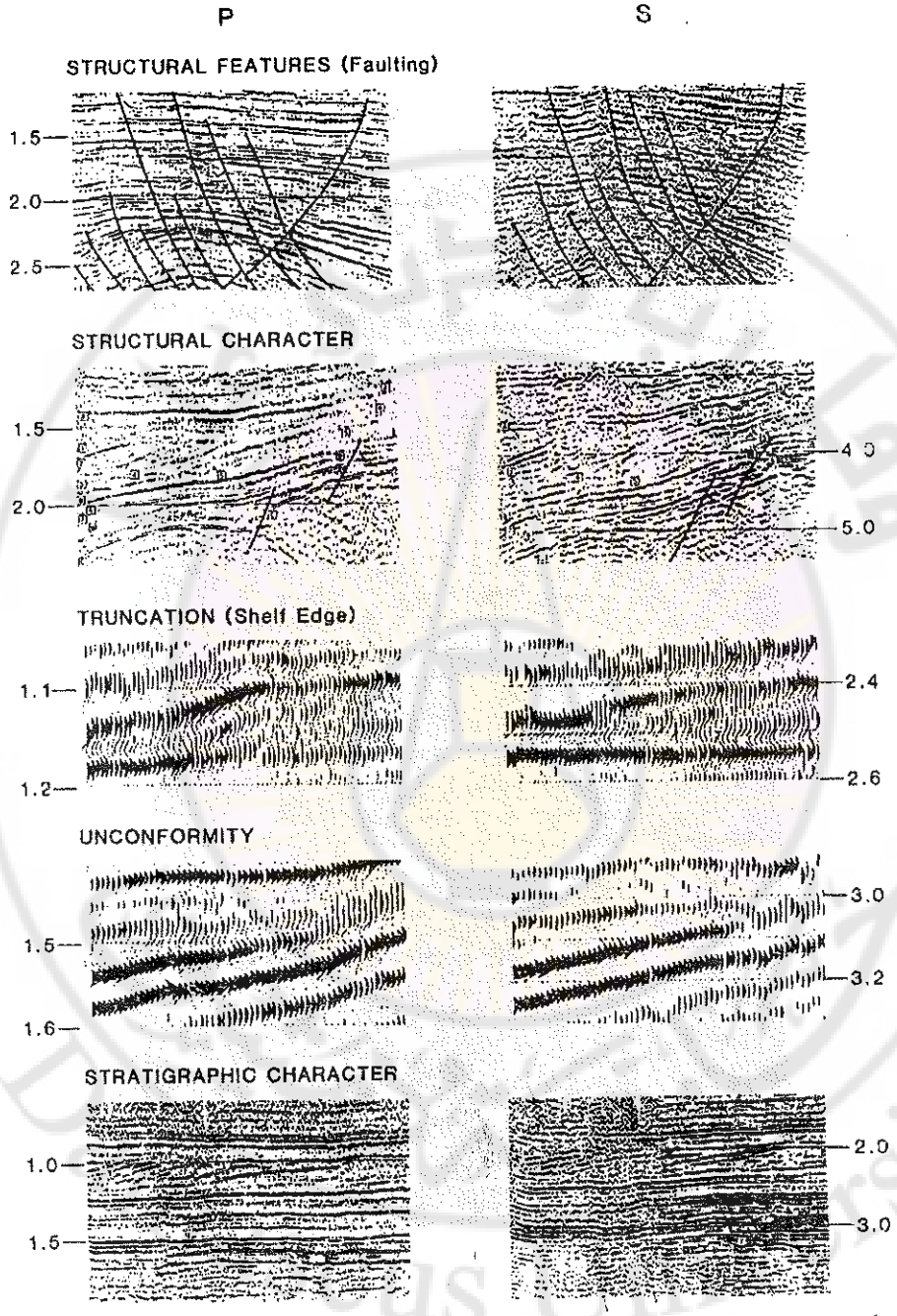
عرض مقاطع الموجة الطولية، مما يساعد في جعل النمطين يظهران متشـــابهين تقريبـــا. وهنا لابد من الإشارة إلى أهمية السيسموغرامات الصنعية للأمواج العرضية والطولية و للدراسات السيسمية الشاقولية (VSP) في عمليات التفسير.

إن تحديد انعكاس الموجة الطولية والعرضية عادة مبني على معالم جيومتريـــة؛ مثل النهايات على الفوالق، وكذلك خواص البنية الإجمالية الشـــكل (١٠-٨). يـــبين الشكل (١٠-٨) الفوالق، مواصفات البنية، سطوح القطع التحتية، ســـطوح عـــدم التوافق، الخصائص الستراتغرافية لتجاوز وانحسار البحر وانعكاسات أخرى مماثلة من حيث المرجعية لهذه الحالات، و تظهر انعكاسات طولية وعرضية ذات سعات متشابهة كما في الشكل(١٠- ٩).

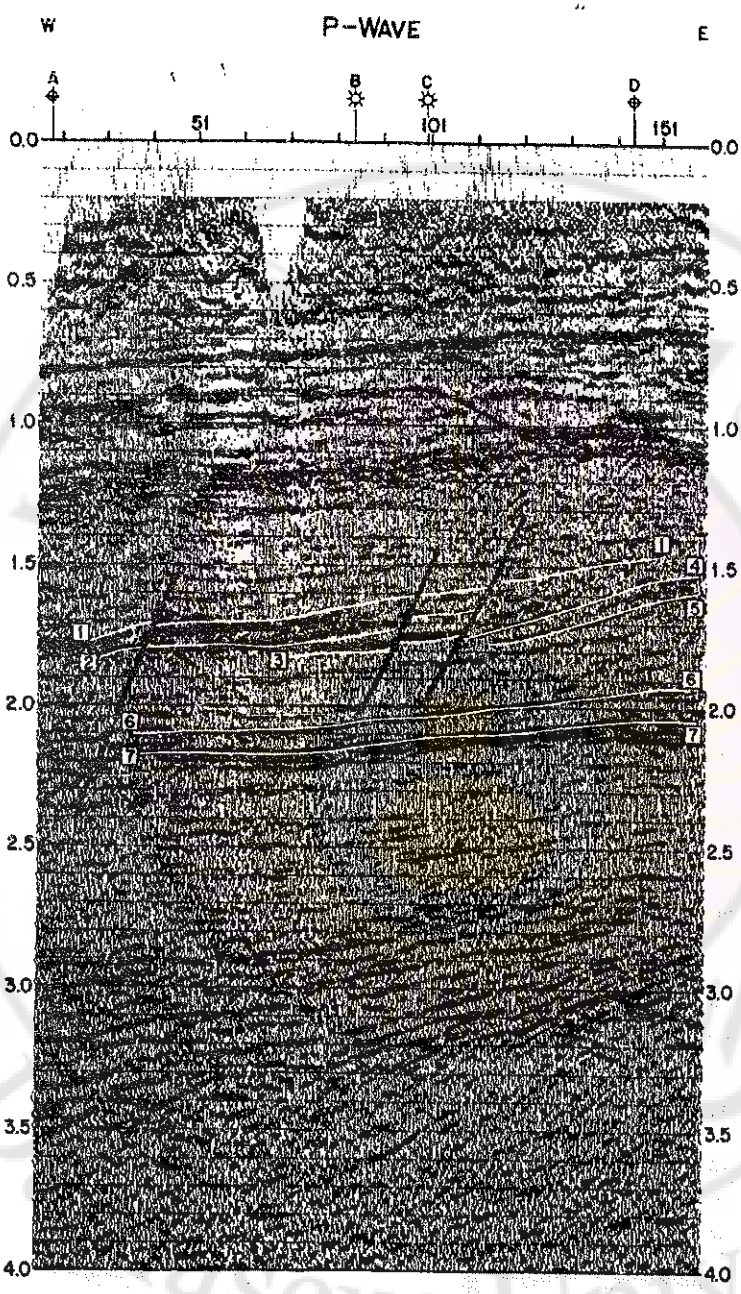
يبين الشكل(١٠-١٠) استخدام نسبة سرعة الأمواج العرضـــية إلى الطوليـــة β/α كمؤشر عن الوضع الليتولوجي. لا تتداخل أو تتراكب عموما مناطق وجـــود الحجر الرملي أو الـــحجر الكلسي أو الدولوميت، أما مناطق وجود الغضاريات يمكن أن تكون متداخلة مع غيرها من الليتولوجيا، وهذه من محـــدوديات فوائـــد β/α كمؤشر ليتولوجي.

لقد قام كل من تاثم وكـــروج (krug & tatham) بتفســـير الطبيعـــة الليتولوجية باستخدام معادلة متوسط الزمن بجمع قيم β/α وحـــددا القيمـــة (٠,٤٥) للشل و (٠,٥٤) للكربونات و (٠,٥٩)للحجر الرملي و(٠,٦٧)للغاز كما يبين الرسم رباعي السطوح المثلثية الشكل (١٠-١١) يمثل تغيرات محتويات تلك النسب. بشكل عام تنقص قيمة نسبة الأمواج العرضية إلى الطولية كلما ازدادت نسبة المسامية ونسبة الكربونات إلى الرمل، وكلما نقصت نسبة الرمل إلى الشل.

لا تتأثر الموجة العرضية بالموائع، لذلك مؤشرات الهيدروكربون كالبقع المضيئة (bright spots) والبقع المسطحة(flat spots) والبقع السوداء (dim spot)،

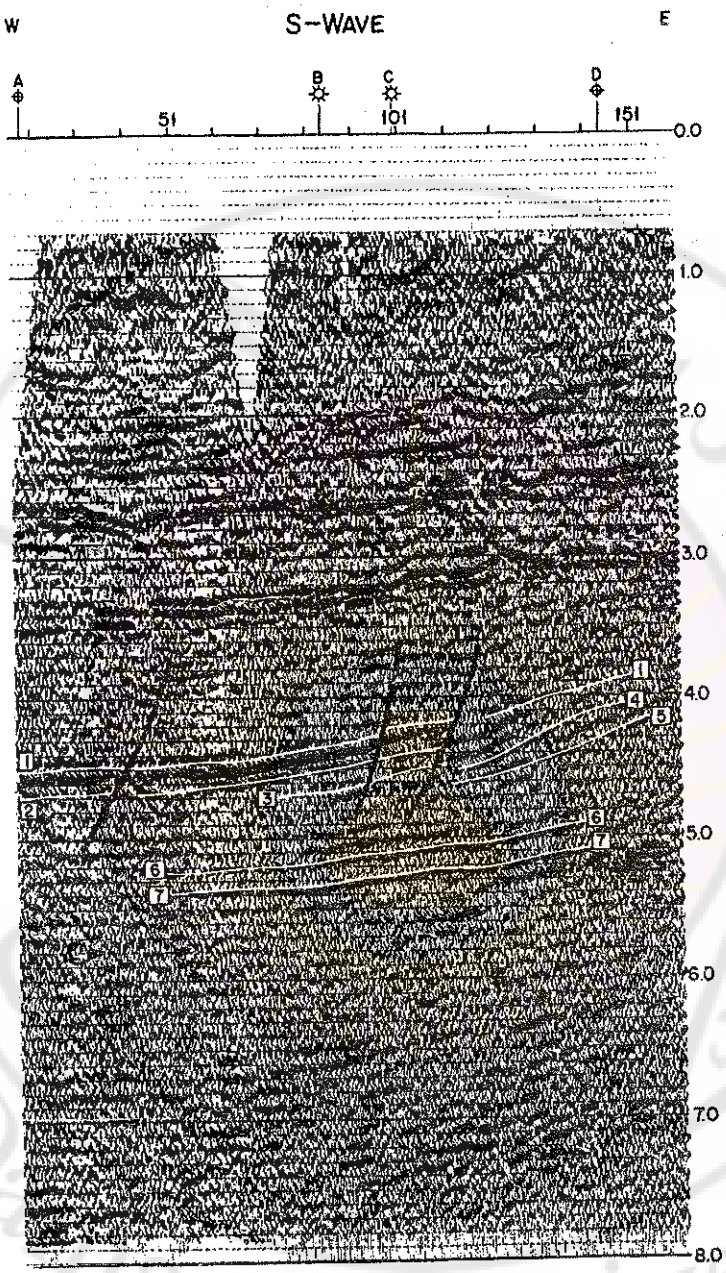


الشكل(١٠-٨) تحديد طبيعة المقاطع الزمنية و مقارنتها باستخدام الأمواج الطولية (الجزء الأيسر) والأمواج العرضية(الجزء الأيمن).



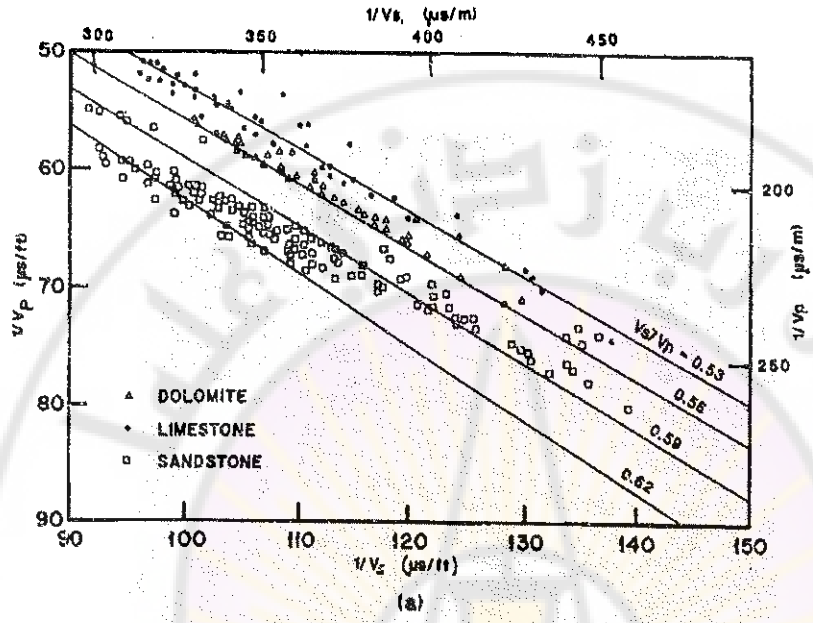
(a)

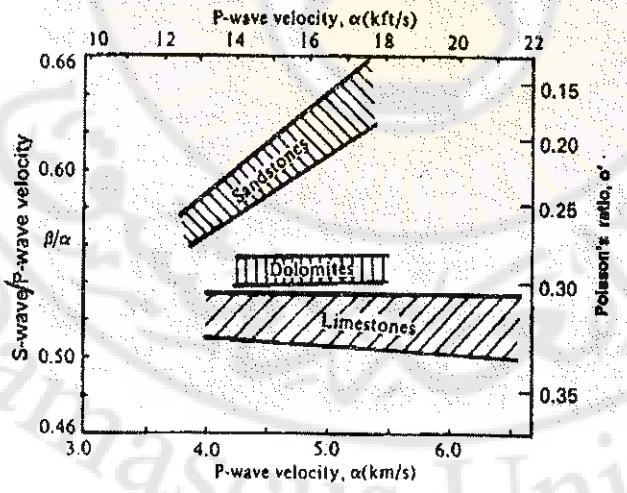
الشكل(١٠-٩) مقارنة تسجيلات الأمواج الطولية والعرضية في حقل غاز بوتاه- كاليفورنيا a- مقطع الأمواج الطولية والذي يبين سعات كبيرة مرافقة لتجمعات الغاز. [شريف وكلدارت١٩٩٥].



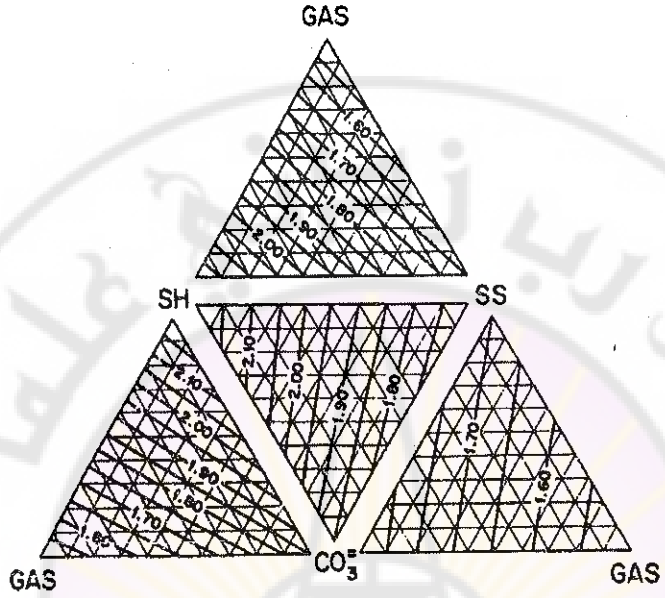
(b)

الشكل(١٠-٩) b- مقطع الأمواج العرضية حيث لا تظهر السعات السابقة. [شيريف وكلدارت١٩٩٥].





الشكل(١٠-١٠) العلاقة سرعة بين الأمواج العرضية- S و الطولية-P وذلك لأنواع ليتولوجية مختلفة a- قياسات مخبرية b - استخدام نسبة الأمواج العرضية إلى الطولية كمؤشر ليتولوجي. [شيريف وكلدارت١٩٩٥].



الشكل(١٠-١١) قيمة V_p/V_s كعلاقة مع خواص الحجر الرملي و الشل و الكربونات و المسامات المملوءة بالغاز .يظهر أربعة أوجه لرباعية السطوح المثلثية تمثل المحتويات المحتملة من الليثولوجيا[شريف وكلدارت،١٩٩٥].

وكذلك انعكاس القطبية لا تظهر في مقاطع الموجة العرضية (إلا في حالات خاصة جدا وبشكل أساس من خلال التأثيرات على الكثافة).إذا كانت هذه المؤشرات ضمن مقاطع الموجة الطولية؛ وليست ضمن مقاطع الموجة العرضية الشكل (١٠-٩) فهذا مؤشر لوجود خزان غاز[١٦].

فكرة تغيرات السعة السيزمية مع:

- زوايا ورود مختلفة Variation of Amplitude with Angle(AVA)
- أو أثناء الورود الناظمي Variation of Amplitude with Offset (AVO)

تحوي المعلومات نفسها علاقة β/α كعلاقة الربط بين دراسة المقاطع السيسمية

للأمواج الطولية والعرضية. معلومات (AVO) متوفرة ضمن معطيات(CMP) لذلك لا يوجد اهتمام متزايد بمعطيات الموجة العرضية.

أظهر (krug & tatham) أمثلة حقلية تستخدم فيها الأمواج العرضية لتحديد تغيرات أوجه السطوح الكربونية وتحديد مواقع الدلتة أو للتمييز بين الشل والرمل .

١٠. ٢. ٦. الانكسار المزدوج للأمواج العرضية S-wave birefringence

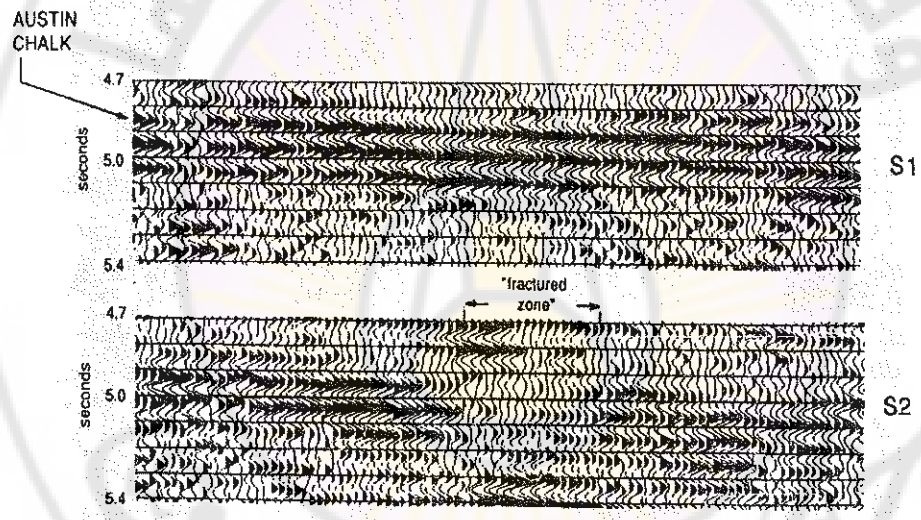
يطلق على هذه الظاهرة انشطار الأمواج العرضية(shear wave splitting) إن الاستخدام الرئيس للأمواج العرضية هو تحديد الشقوق. الشقوقية تؤدي إلى تباين الخواص، وهذا يؤدي إلى الانكسار المزدوج. الشقوق تنتج عدم التماثل ومعظم الشقوق تُدرس متضمنة ثلاث مركبات تسجيل(انظر الفقرة القادمة). اهتزاز الأمواج العرضية في الاتجاه المفضل و أثناء مسارها خلال الوسط المتباين الخواص يمكن أن تنقسم إلى جزأين متعامدين لاهتزاز الأمواج العرضية، واحدة موازية لمحور عدم التماثل والأخرى عمودية على محور عدم التماثل، وتسير بسرعات مختلفة.

تتأثر الأمواج العرضية باتجاه الشقوق فإذا اهتزت الأمواج العرضية بشكل مواز لاتجاه الشقوق فإن الموجة العرضية تصادف(ترى)صخرا غير مشقق (بمعنى آخر لا ترى الشقوق في هذا الاتجاه) وتسير بسرعة عالية أعلى من سرعة الأمواج العرضية المهتزة بشكل عمودي على اتجاه الشقوق الشكل(١٠-١٢).إن اختلاف السرعات غالبا ما يقيس كثافة الشقوق(أو درجة الشقوقية).

إن توجيه منابع طاقة الأمواج العرضية وكذلك المستقبلات (اللواقط) بشكل معين يمكن أن يستخدم لتحديد سمت الشقوق.

١٠. ٣. تسجيل المركبات الثلاث Three component recording

إن الحركة المرافقة لانتقال الموجة هي عبارة عن شعاع كمي وقياس مركباته الثلاث المتعامدة يتطلب استخدام ثلاثة لواقط متعامدة (مجموعات لواقط)، إن مسقط شعاع الحركة على الخريطة ينتج هودوغرام (hodograms).نظام الإحداثيات لقياس المركبات الثلاث لهذا الشعاع يمكن أن يدار على أي محور، يمكن أن يدار- مثلا- إلى نظام الإحداثيات الطبيعي، كأن تفترض وجود موجة واحدة منها باتجاه وصول الأمواج الشكل(١٠-١٣) أو باتجاه نظام الشقوق .

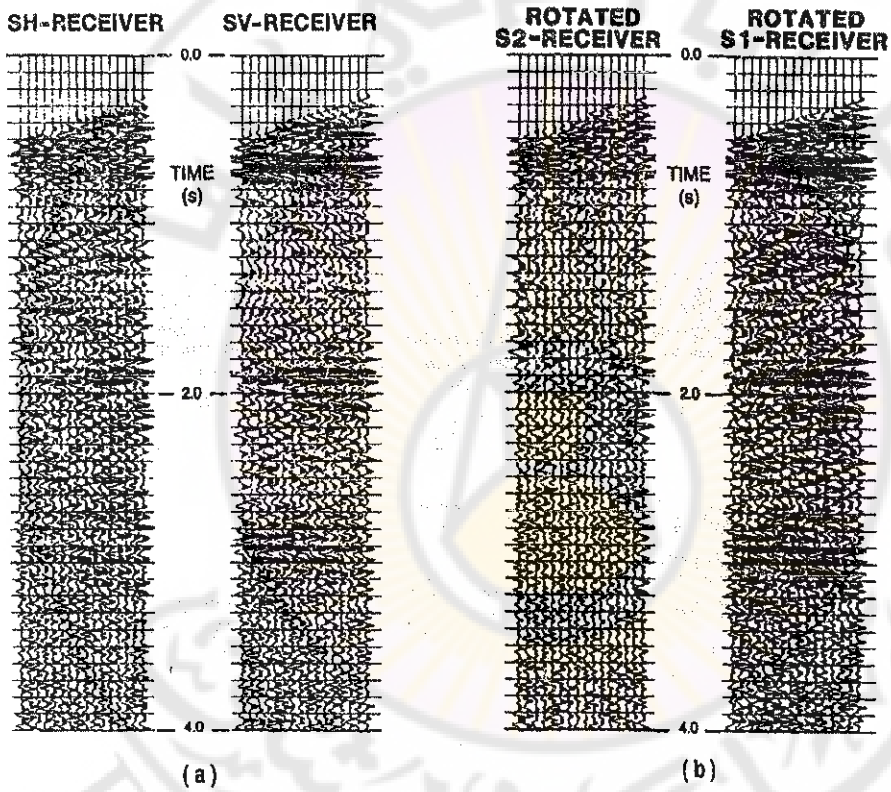


الشكل(١٠- ١٢) مقطع أمواج عرضية (S_1) سرعة عالية (S_2) سرعة بطيئة على الطرف الأيسر من المقطع تظهر الوصولات الزمنية المنعكسة من الحجر الكلسي الحواري استن وضمن الزمن ٤,٨٥ و٤,٩٠ ثا. ولا توجد انعكاسات في المقطع S_2 ، حيث وجود تشققات شديدة في حوار استن. [شريف وكلدارت١٩٩٥].

كما أن إحداثيات الدوران يسمى أحيانا دوران ألفورد Alford rotation أو المصفي الاستقطابي polarization-filtering .

توجيه ثلاثة جيوفونات باتجاهات متعامدة في الحقل عمل ممل؛ لذلك توضع عادة الجيوفونات الثلاثة معا. يُستخدم أحد لواقط المركبات الثلاث كلاقط شاقولي

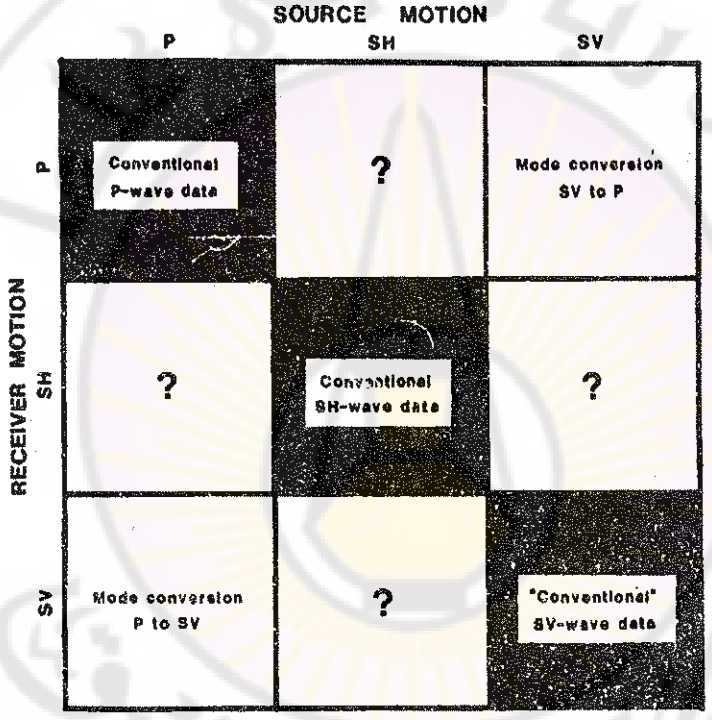
والآخران أفقيان وبصفات الشاقولي. بسبب صعوبة تصميم لواقط شاقولية وأفقية بالمزايا أو المواصفات نفسها؛ لذلك تستخدم ثلاثة لواقط متماثلة أحدها يصنع زاوية ٥٤,٧° بالنسبة للشاقول. تستخدم اللواقط ثلاثية المركبة كذلك في الآبار من أجل مسوح الـ VSP.



الشكل(١٠-١٣) دوران آثار اللواقط SH و SV في مستوي حركة الأمواج العرضية. [شيريف وكلدارت١٩٩٥].

تقنية التسجيل الحقلي المعتمدة في دراسات الشقوق أنجح من التسجيل المتعاقب من منابع الأمواج الطولية و منابع المركبة الأفقية SH و المركبة الشاقولية SV للموجة العرضية. و حيث تستخدم هنا لواقط ذات ثلاث مركبات تدعى (مركبات تساعية التسجيل حيث *تسجيل المركبات التسع*) لأن المقاطع المنفصلة

(المستقلة) يمكن أن تُولّد من كل من المخارج الثلاثة للجيوفون من أجل كل منبع من المنابع الثلاثة الشكل(١٠-١٤). إذا كانت طاقة المنابع صافية والأرض متماثلة الخواص، ثلاثة من المقاطع التسعة ستكون بشكل تقليدي مقاطع أمواج طولية P وعرضية SH و SV.



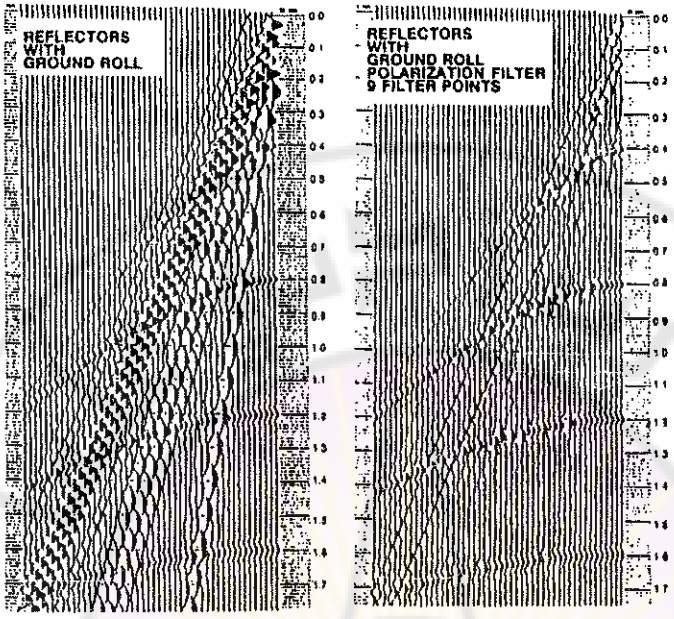
الشكل(١٠-١٤) مقاطع تساعية المركبة مسجلة بلواقط تسجل الأمواج الطولية P والمركبة الشاقوليةSV والمركبة العرضية SH ، ومنابع تولد مركبات الأمواج p, sh, sv . المقاطع عديمة الانزيتروبية معلمة (فارغة).

واثنان منها سوف يظهران موجات متحولة من أمواج طولية P إلى أمواج عرضية SV و من أمواج عرضية SV إلى أمواج طولية P ، والأربعة الأخرى سوف تكون فارغة . إن سمت الانزيتروبية (مثل الذي يتشكل بسبب الشقوق الشاقولية) سوف يكون موجودا، وإذا كانت منابع SH وSV و الجيوفونات غير متجهة بشكل

متواز أو معامد لاتجاه الحركة الطبيعية فان انقسام الموجة العرضية سوف ينتج طاقة تظهر على كل اللوحات أو الرقع. تستخدم التصفية الاستقطابية لتدوير المنابع و اللواقط باتجاه نظام الإحداثيات الطبيعي، وهذا يحدد الاتجاه للنظام الطبيعي كما يحدد اتجاه الشقوق، وهنا تجدر الملاحظة أنه إذا كان نظام الشقوق يملك اتجاهات مختلفة على أعماق مختلفة؛ فإن نظام الكشف يمكن أن يظهر فقط النظام الأقرب للسطح (الضحل) . لقد استخدم(Winterstein & Meadows 1992a 1992b) تقنية تجريد الطبقة لتحل مسألة الاتجاه الطبيعي للطبقات المتعاقبة.

١٠. ٣. ١. التصفية الاستقطابية POLARIZATION FILTERING

ترشيح الاستقطاب يتضمن أحيانا تدوير مجرد لنظام الإحداثيات من اتجاه إلى آخر، ويمكن أن تتضمن أيضا انزياحاً في الطور وتعديل السعات وتكديس المركبات المتعامدة. إن أنماط التوليد المختلفة واتجاهات انتقال الموجة تتضمن علاقات منتظمة بين المركبات، لذلك فإن ترشيح الاستقطاب يمكن استخدامه للاختيار الأفضل أو لرفض أنماط معينة من الأمواج مثل الأمواج السطحية(ground roll) الشكل(١٠-١٥).



الشكل(١٠-١٥) استخدام ترشيح الاستقطاب لتخفيف الأمواج السطحي[شريف وكلدارت١٩٩٥].

١٠. ٤ .الطبقة ذات السرعة القليلة(توليد النمط الطبيعي):

Channel waves (normal-mode propagation)

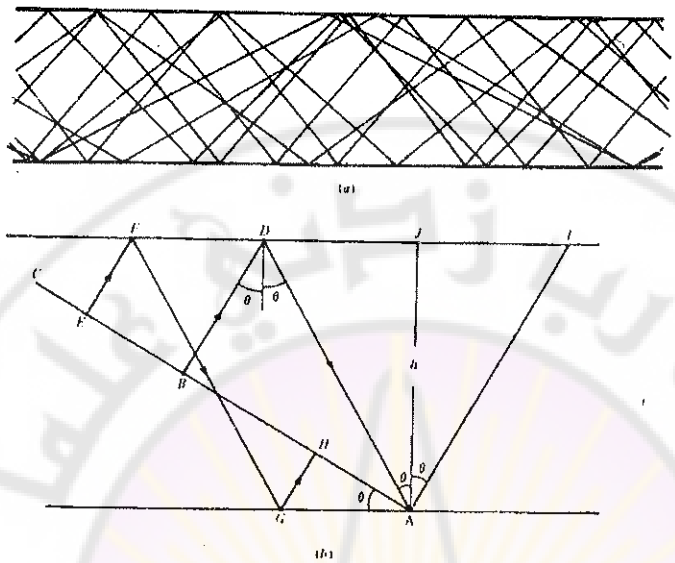
ضمن ظروف معينة إن طاقة الموجة يمكن أن تختزن أو تحبس داخل طبقة قليلة السرعة، مثل هذه الحالات تسمى أمواج طبقة ذات سرعة قليلة *channel waves* أو مسالك الأمواج(*waveguide & guided wave*) أو أمواج طبقة نارية على شكل مصطبة (*trapped wave*) أو أمواج عرق فحمي (*seam wave*) (الذي تولد في عروق الفحم). وتعرف هذه الظاهرة أيضا توليد النمط الطبيعي*normal-mode propagation* .

يمكن أن ينتج عن هذه الحالة نوعان من الشروط الحدية:

١- تباين ممانعة(إعاقة) كبير جدا، وبالتالي عامل الانعكاس كبير جدا.

٢- الأمواج داخل المسلك الموجي تنعكس عن الحدود الداخلية بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة؛ لذلك تحدث هنا معظم الانعكاسات، بينما ينفذ فقط قليل من الطاقة خلال الحد الفاصل (ماعدا الأمواج المتلاشية التي يمكن إهمالها وكذلك الأمواج المحولة)، وتحدث قطبية معكوسة على النمط (١)وليس على(٢). مثال معروف من النمط الأول هو عبارة عن سطح طبقة الماء وعلى الثاني هو قعر البحر . هذا الانتشار مماثل بعض الشيء لانعكاس أنبوب حيوي حيث طبقة الماء تتراسل مع أنبوب عضوي مفتوح بنقطة لقاء على قعر البحر وعدم لقاء على السطح الحر . يغلق عرق الفحم الأنبوب بنقطة لقاء على الحدين الفاصلين،إن الممانعة الصوتية للفحم تصبح أكثر انخفاضا منها في التشكيلات المغطية أو السقف؛ وكذلك في التشكيلات السفلية أو القاع.

الشكل (١٠-١٦) يظهر أمواجا ترتد ذهابا و إيابا بزوايا مختلفة ضمن المسلك الموجي، من أجل معظم الزوايا، يوجد تداخل هدام (سلبي) بين الأمواج المختلفة؛ ولكن من أجل زوايا معينة هناك تداخل بنّاء و لذلك التعزيز القوي للطاقة مرتبط بهذه الزوايا. في الشكل(١٠-١٦-b) مقدمة الموجة AC انعكست عن الحد الفاصل السفلي بزاوية θ حيث $\theta < \theta c$ (θc الزاوية الحرجة). مقدمة الموجة الموازية التي تحتل الموقع نفسه AC قبل الانعكاس، ثم انعكست متأخرة عن الحد السفلي والعلوي تتبع لمسارات الأشعة مثل EFGH و BDAI ، ليتزامن الآن مع مقدمة الموجة المتأخرة عند AC.



الشكل(١٠-١٦)ظاهرة مسلك الموجة a-الأمواج تنتقل إياباً وذهابا في الطبقة ذات السرعة V_1 لأنه يوجد انعكاس كامل تقريبا بين الحدين الفاصلين، b- الرسم لإظهار طبيعة الحالة. [شيريف وكلدارت١٩٩٥].

جامعة دمشق Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الحادي عشر

التطبيقات الخاصة للطرائق السيسمية الانعكاسية

١١. ١. التطبيقات الجيوهندسية

١١. ٢. التطبيقات المائية و البيئية و الآثارية والحرارية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التطبيقات الخاصة للطرائق السيسمية الانعكاسية

نعلم أن التطبيق الأساس للطرائق السيسمية هو التنقيب عن النفط والغاز (الهيدروكربونات)[III، ٨، ١٦، ١٩]، إلا أن هناك تطبيقات أخرى لهذه الطرائق، والتي أخذت تنمو بشكل سريع في الآونة الأخيرة؛ مثل الدراسات الجيوهندسية والبيئية والدراسات المائية و تحسين اقتصادية وفعالية استخراج الفحم و الهيدروكربونات.وضمن هذه التطبيقات غالبا ما يتم استخدام طرائق المنابع غير التفجيرية.وكذلك الأمر هناك الدراسات العميقة لباطن الأرض والدراسات الجيولوجية الإقليمية وغيرها.وسنورد عدداً من التطبيقات الجيوهندسية على سبيل المثال والمقارنة.

١١. ١. التطبيقات الجيوهندسية

١١. ١. ١. مواضيع الأعمال الهندسية

تحت مفهوم السيسمية الجيوهندسية يمكن أن تنطوي الدراسات المرتبطة بالمشاريع الإنشائية وبناء المنشآت الهندسية مثل :السدود والجسور والطرق والأبنية الكبيرة وإنشاء المطارات والأنفاق وغيرها.

من الطرائق السيسمية الانكسارية والانعكاسية يمكن الحصول على المعلومات والقيم التي تهم المهندس المدني مثل ثوابت وعوامل المرونة، وهي ضرورية لرسم الخريطة الجيولوجية التفصيلية، وخاصة الصدوع، وذلك عند هندسة المنشآت الكبيرة مثل الأنفاق ومحطات الطاقة الذرية وغيرها. تحديد عمق وشكل صخر الأساس هي الغاية المشتركة للتطبيقات الهندسية. الدراسات السيسمية وفي أكثر الحالات تستخدم لمضاهاة النتائج البئرية وتحديد عدد ومواقع الآبار الجديدة المطلوبة لاستكمال النتائج.

وكذلك الأمر تستخدم الطرائق السيسمية لتحديد الفراغات مثل الكهوف والمناجم المهجورة وتحديد الأقنية المطمورة والفوالق السطحية. ويمكن إدراج الدراسات

المائية ضمن التطبيقات الجيوهندسية.

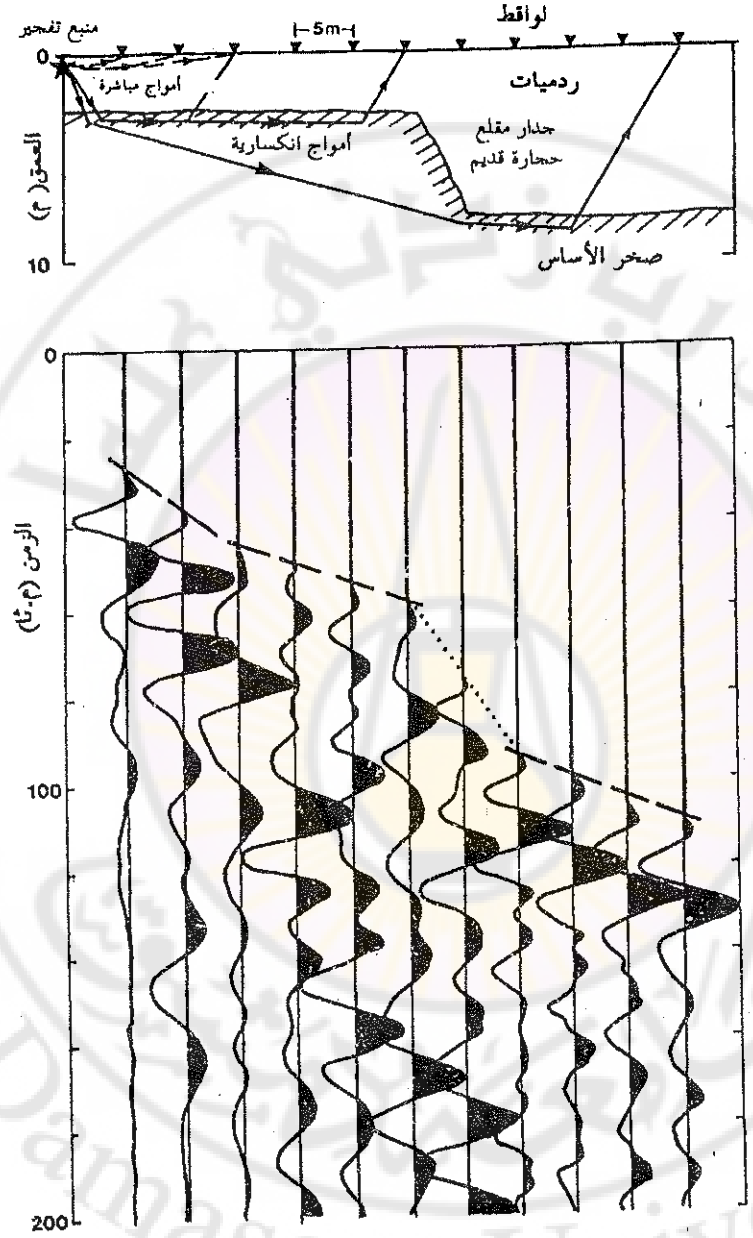
معظم اهتمامات المهندسين تتركز على المعطيات السطحية، حيث الأهداف بشكل عام ذات عمق اقل من ٣٠ م، غالبا من ١٠ إلى ١٥ م عمق وأحياناً عمق ٣م فقط. وبين الحين والآخر يزيد اهتمام المهندس إلى المعطيات الأعمق وخاصة عند بناء الأنفاق أو أماكن رمي النفايات النووية.

يمكن استخدام كلا الموجتين الطولية P والعرضية S للدراسات الجيوهندسية و البئرية وبين الآبار المحفورة لتلك الغرض. لقياس سرعة الأمواج العرضية S أهمية خاصة لأنه يقيس القوة العرضية، ومن ثم يقدم معرفة إمكانية حمل هذه المنطقة للبناء.

غالبا ما تكون الأجهزة الجيوفيزيائية المستخدمة للدراسات الجيوفيزيائية الهندسية صغيرة الحجم، وإن المشاريع الهندسية لا تحتاج إلى أموال طائلة.وهذه الأجهزة الصغيرة لا تحتاج إلى منابع طاقة كبيرة الحجم، لذلك تكون المنابع من الأنواع الخفيفة مثال المطرقة المرفقة ببلاطة معدنية أو بلاستيكية خاصة، حيث توضع على الأرض لتلقي الصدمة. بالإضافة لذلك هناك أنواع أخرى من المنابع السيزمية الصغيرة تم ذكرها في(فصل منابع الطاقة). ويمكن استقبال وتسجيل الطاقة إما باللواقط المعروفة التي وردت في فصل الأجهزة ؛ أو استخدام لواقط ذات نوعية أخف وأصغر. إن عدد القنالات كانت غالبا ١٢ قنالاً، وفي الوقت الحالي هناك أجهزة ذات ٢٤ قنالاً و٤٨ قنالاً وهناك نوعيات يمكن توسيع القنالات فيها حتى تصل إلى ١٢٠ قنالاً وأحيانا أكثر من ذلك بكثير.

١١. ١. ٢. الطرائق السيسمية الانكسارية

تستخدم الطرائق الانكسارية لتحديد صخر الأساس الشكل(١١-١) ومستوى سطح المياه، و السطح الفاصل المتغير والمتعرج، وذلك من خلال قياس السرعة السيسمية، والكسور الدفينة أو المناطق الجزية البركانية.



الشكل(١١-١) في الأعلى- مخطط الموقع المدروس وتوزع اللواقط، وأشعة انتشار الأمواج المباشرة والانكسارية.
في الأسفل - حقل موجي يبين الوصولات الأولية بخط متصل (لاحظ مقياس العمق والزمن).[رينولد ١٩٩٨].

في بدايات الدراسات الانكسارية الهندسية غالبا ما كان يستخدم ضبط زمن التفجير؛ عندما تتجاوز السعة حداً معيناً مسبقاً و ذلك لقياس زمن الوصول الأولي، أو تحديد الزمن الموجب على راسمة الاهتزاز لتبيان الزمن وذلك باستخدام لاقط واحد، وبعدها كانت تفرز الأمواج ذات الوصولات الأولية والتي تمتاز بسعة كبيرة ويسهل تحديدها بشكل عام.

أما في الوقت الحالي فيتم استخدام عدة قنالات وتقوية إشارة كل قنال عن طريق التكديس الشاقولي، وبهذا الأسلوب يمكن أن يزيد عمق اختراق الاستكشاف باستخدام المطرقة من ٣٠ م إلى ١٠٠ م وذلك بحسب طبيعة الأرض. بالإضافة إلى المطرقة يمكن استخدام عدة منابع في الطرائق السيسمية الانكسارية السطحية مثل شحنة تفجير صغيرة، أو وزن الهابط.

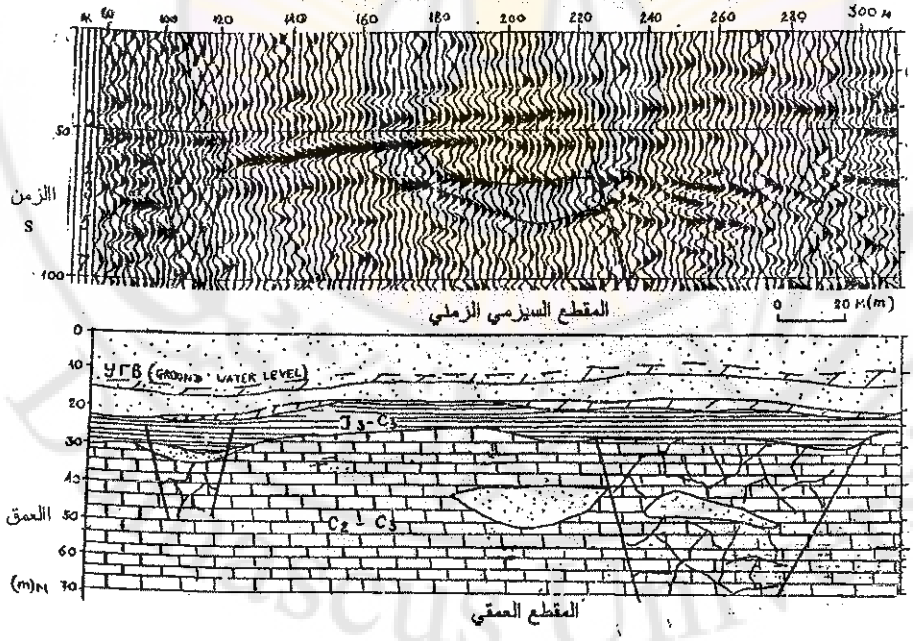
إن السرعة في الطبقات السطحية متغيرة حسب المكان، و يلاحظ أن السرعة الانكسارية الأولى غالبا ما تكون قادمة من قاعدة طبقة التجوية(والتي ليست هي قمة طبقة صخر الأساس أو مستوى سطح الماء). وتحتاج إلى تنفيذ خطوط قياس عكسية لتمييز وفرز المعطيات؛ فيما إذا أشارت هذه المعطيات إلى وجود عدة سطوح كاسرة أو كاسر متغير التضاريس أو كاسر متغير السرعة.

وفي الطرائق الانكسارية كذلك الأمر يمكن تسجيل الأمواج العرضية من نوع SH، وذلك باستخدام الصدم بالمطرقة بشكل عرضي كما في الشكل (٦- ٩)، أو أي منبع لتوليد الأمواج العرضية. حيث إن سرعة الموجة العرضية مؤشر هام لخواص الصخر. وهناك طرائق متعددة لتفسير المعطيات الانكسارية الجيوهندسية بالإضافة إلى الطرائق المعروفة التي مرت ضمن منهاج الطرائق الانكسارية.

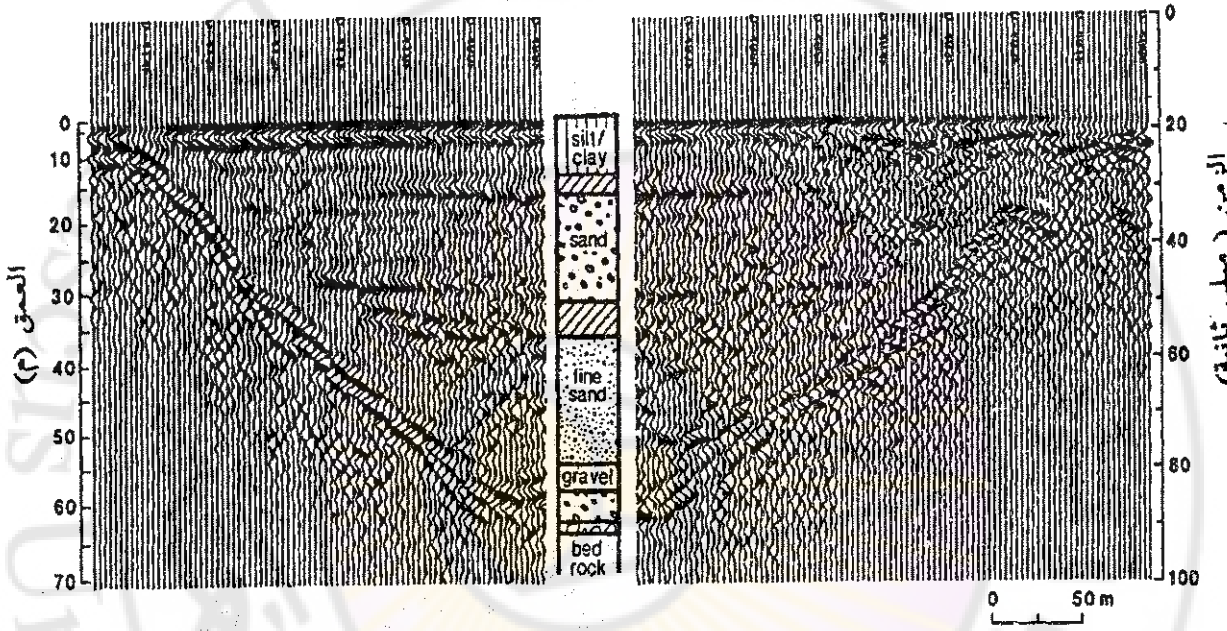
١١. ١. ٣. الطرائق السيسمية الانعكاسية

المسألة الأساسية في استخدام الطرائق السيسمية الانعكاسية للدراسات الجيوهندسية هي قدرة التمييز وحساب الفعالية الشكل(١١-٢) و(١١-٣). وبشكل عام الطرائق الانعكاسية ذات فعالية متضافرة مع الطرائق الانكسارية ومتميزة عنها لتحديد الفوالق السطحية، الفجوات والكهوف كالفجوات الكلسية أو المناجم المهجورة ووضع التصورات الستراتغرافية. وأحيانا تستخدم لوضع خريطة صخر الأساس ومستوي سطح الماء.

يمكن استخدام منابع مختلفة تكون طاقتها كبيرة وتصل حتى عمق ٥٠- ١٠٠ م من المنابع الأكثر انتشاراً كالمطرقة وكبسولة تفجير وبندقية صيد عادية وسلاح صيد ثقيل، أما إذا كان العمق المطلوب يصل حتى ٩٠٠ م سيكون المنبع من نوع بندقية من قياس٥٠ أو مني سوزي(**miniSosie**) أو الوزن الهابط أو تفجير صغير.

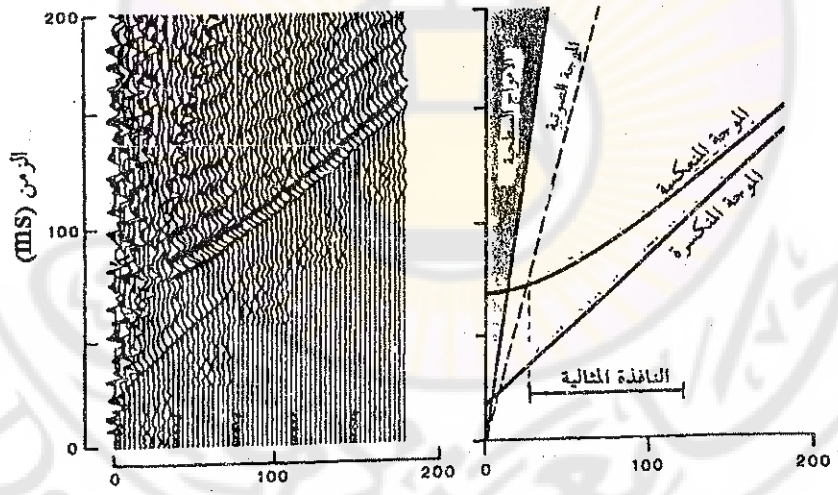


الشكل (١١-٢) في الأعلى مقطع سيسمي زمني في الأسفل المقطع العمقي المقابل.



الشكل (11 - 3) يبين مقطع زمني جيوهندسي ذات تميز عالي (لاحظ عدد الطبقات والعمق المدروس حوالي 70 م والزمن 100 ميلي ثانية ، حيث طول المقطع حوالي 500 م)

إن استخدام الأجهزة ذات ٢٤ قنالاً و باستخدام مسافات للمنابع مساوية للمسافة بين مجموعات اللواقط نحصل على تكديس ذي ١٢ تغطية. ويمكن استخدام أسلوب المسح المستمر أحادى التغطية؛ وذلك حسب طبيعة المنطقة المدروسة. وفي كل الحالات يتم استخدام حدود قيم للمصفيات أعلى بكثير من تلك المستخدمة للدراسات النفطية، و بشكل عام رغبة الجيوفيزيائي يفضلها أن تكون بتمرير الترددات من ٨٠ هرتزاً حتى ٢٥٠ هرتزاً، وذلك لتخميد الأمواج الهوائية و أمواج الشغب والأمواج الانكسارية السطحية. وتتحقق هذه الرغبة باستخدام أجهزة ذات مواصفات معينة وباستخدام أسلوب رصد خاص بذلك؛ حيث التباعدات بين اللواقط صغيرة (٠,٥ م - ٢م) واختيار المنبع المناسب، وذلك بعد إجراء اختبارات الضجيج الشكل (١١-٤)[١١].



الشكل(١١-٤) إلى اليسار- حقل موجي ذو خمسة أجزاء في كل جزء ١٢ أثراً سيسمياً، وذلك حسب عدد قنالات الجهاز، إلى اليمين- مخطط يوضح طبيعة الأمواج المسجلة ومواقعها على الحقل الموجي واختيار النافذة المثالية.[رالف وستيبلس ١٩٨٦].

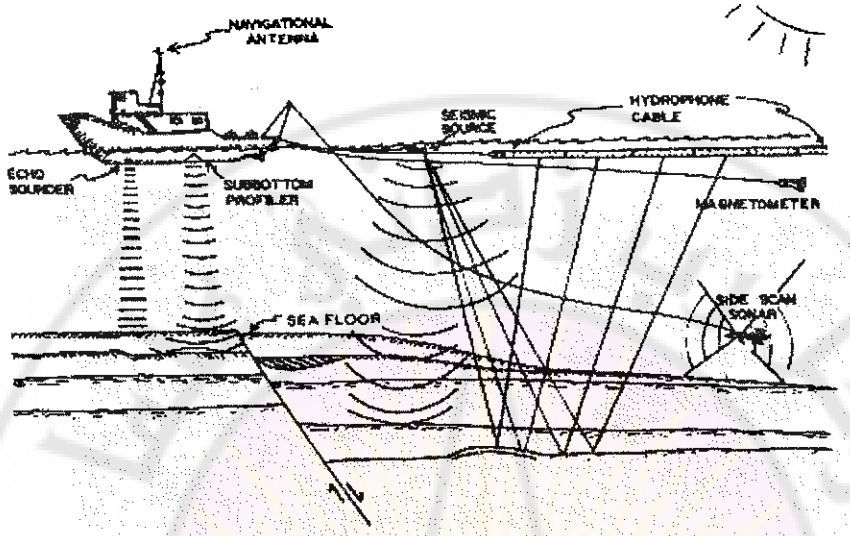
١١. ١. ٤. المسح السيسمي الجيوهندسي البحري

تعد كلفة الدراسات السيزسية البحرية كبيرة بالمقارنة مع الدراسات على اليابسة؛ وذلك بسبب استخدام أجهزة المسح البحرية. ولكن الميزانية القليلة للمسح الجيوهندسي البحري بالمقارنة مع الدراسات السيسمية النفطية البحرية يحول دون التزود المثالي بجميع المعدات والأجهزة اللازمة لها. وفي جميع الحالات تحتوي سفينة المسح على عدة حساسات مختلفة الطاقة والتردد، وعلى حساس جانبي ومغنيتومتر وغيرها؛ تقوم بعدة وظائف وتعطي أعماق اختراق وتميزاً مختلفاً الشكل (١١-٥).

من المواضيع التي يمكن دراساتها في المسح البحري تحديد قاع البحر أو شكل صخر الأساس؛ لتعيين العدسات الرملية والتي يمكن أن تدعم الأرصفة، وتحديد المخاطر التي تصيب مشاريع المنشآت مثل الفوالق، انسياب الأودية الطينية، انهيارات الأبنية، رشح الغاز، تجمعات الغاز السطحية، جرف الرمل أو الحصى القاعية أو المناطق التي تم جرفها،وكذلك تحديد مواقع حطام السفن والطائرات، النفايات المرمية في البحر والتي تسبب التلوث، البحث والتحري عن مواقع لبعض المشاريع مثل خطوط الأنابيب، أو الحصول على معطيات جيولوجية لإنشاء أقنية تحت البحرية.

وفي أثناء المسح البحري يتم استخدام المنابع و اللواقط الوارد ذكرها في فصل المسح البحري، ولكن هذه المنابع و اللواقط تكون على عمق حوالي ٣,٧٥ م تحت سطح الماء، ومنابع الطاقة القوية تجر على مسافة ٣٠٠-٥٠٠ م، وذلك بكبل مؤلف من ١٢- ٢٤ قنالاً. وبالطبع عملية التسجيل والمعالجة تكون رقمية، وكذلك تتم بقية المراحل كما هو الحال في المسح البحري.

يمكن قياس عمق المياه بواسطة جهاز خاص بذلك يسمى (فاثو متر)وذلك لرسم خريطة لقاع البحر[١٥].



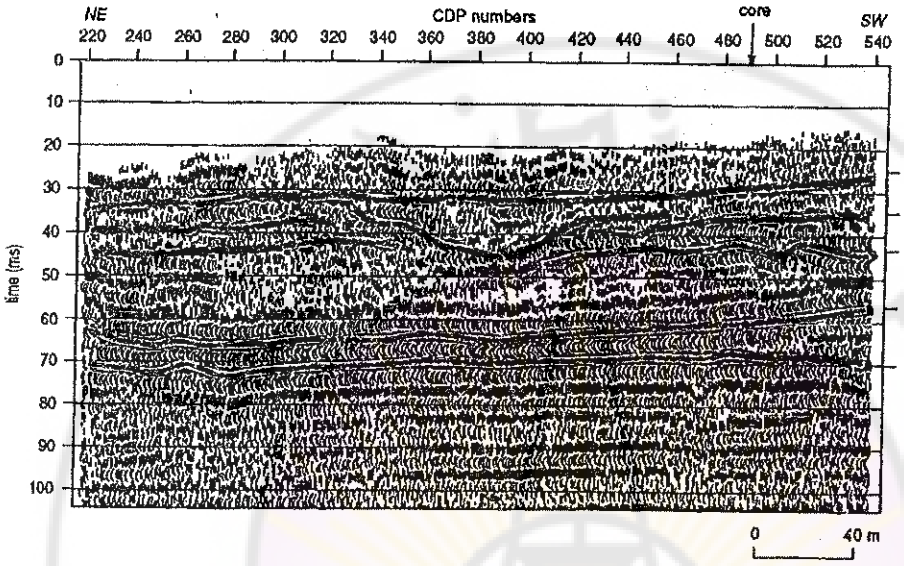
الشكل(١١-٥) سفينة المسح البحري تبين مواقع الحساسات. [شويف وكلدارت١٩٩٥].

١١. ٢. التطبيقات المائية و البيئية والآثارية والحرارية

إن المياه والبيئة و الجيوحرارية مرتبطة بشكل عام بحركة السوائل.ووجود هذا السائل أو الغاز في مسام الصخر يؤثر على السرعة السيسمية؛ وبالتالي على مقدار الانعكاس والانكسار. وفي الطرائق السيزمية كثيرا ما يمكن رسم خريطة سطح فاصل بين المناطق من خلال المائع البيني سائلاً كان أم غازاً. ويتم ذلك باستخدام التقنيات المذكورة في البند ١١. ١.

يمكن تحديد سطح المياه بالطرائق الانكسارية والانعكاسية، علما بأنه لا يمكن تمييز طبيعة المائع من تغير السرعة أو الكثافة، لذلك تعد الطرائق السيسمية غير جيدة لتمييز طبيعة المائع.

وتستخدم الدراسات الانعكاسية للبحث عن الآثار المطمورة والمدافن التي ترتبط بالجيولوجيا الآثارية، وذلك من خلال تمييز الخصائص المرنة للهدف المدروس عن الجوار المحيط به الشكل(١١-٦).



الشكل (١٣-٦) مقطع زمني يبين وجود قناة واضحة في أعلى ومنتصف الشكل[رينولد ١٩٩٨].

ملحق(١) تطبيقات عملية

تقرير التجارب الحقلية لمنطقة الأثريا

١. مقدمة

٢. المرحلة الأولى : تحليل أمواج الضجيج

٣. المرحلة الثانية: اختيار بارامترات الرَج

٤. المقترحات

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تقرير التجارب الحقلية لمنطقة الأثريا

أعمال الشركة السورية للنفط – مديرية الاستكشاف والدراسات

١. مقدمة

يتضمن الملحق إحدى التجارب الحقلية في دراسات الشركة السورية للنفط، حيث يمكن مقارنة الجانب التطبيقي الحقلي مع الجوانب النظرية والمنهجية، وبشكل خاص في عملية حصاد المعطيات السيسمية. مثال ذلك مقارنة أنظمة الرصد، نظام المجموعات، مجموعات المنابع ومجموعات اللواقط، المسافة بين المنابع والمسافة بين اللواقط. مواصفات الرج وأسلوب تخميد أمواج الضجيج وغيرها. يتضمن برنامج التجارب الحقلية المراحل التالية:

(١)- دراسة وتحليل أمواج الضجيج في المنطقة وحساب خصائصها؛ باستخدام طريقة السبر المتباعد واختيار نظام الاستقبال و مجموعات اللواقط

(**Cable parameters & geophone array**)

(٢)- مرحلة تحديد الثوابت الخاصة بنظام الرج والتي تتضمن ما يلي:

أ- المسافة بين الرجاجات Vibro spacing ب- التردد Frequency

ج- طول السويب **Sweep length** د- عدد السويبات **Number of sweep**

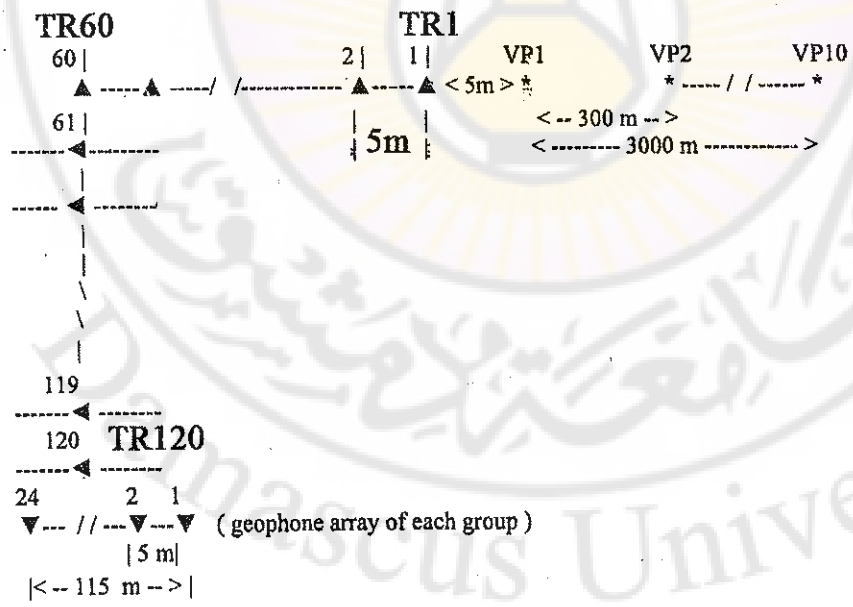
هـ- نوع السويب **Sweep type** (*السويب sweep تعني الرجة أو إشارة الرجاج*)

(٣)- المقترحات Recommendations

٢. المرحلة الأولى : تحليل أمواج الضجيج NOISE ANALYSIS

تم تسجيل أمواج الضجيج في المنطقة ودراستها عن طريق إجراء الاختبارات الخاصة بها باستخدام مجموعة مؤلفة من مئة وعشرين قناةً (120CH) على شكل حرف (L). حيث يوزع (٦٠)ستون أثراً بشكل طولي (in line) لاستقبال الأمواج الطولية و(٦٠) الستون أثراً الأخرى بشكل عمودي أو عرضاني (broad side)

لاستقبال الأمواج العرضيّة. المسافة بين الأثر والآخر خمسة أمتار، وكل أثر يتألف من مجموعة لواقط عددها ٢٤ لاقطاً موصولة بشكل خطي(linear array) وعمودي على الكابل وبمسافة ٥ متر بين اللواقط، وبهذا الترتيب يتم تخميد التشويش العرضاني بالاتجاه الطولي بالآثار من/ ١ - ٦٠ /، وأمواج التشويش الطولية بالاتجاه العرضاني بالآثار من / ٦١ – ١٢٠ / وقد تم استخدام طريقة الرج المتباعد(walk away test) لهذه الغاية والموضحة بالشكل (١)، بحيث تقف الرجاجات بشكل عمودي على الكابل والمسافة صفر ما بين الرجاجات، وتبعد نقطة الرج الأولى(VP_1) مسافة خمسة أمتار عن أول لاقط، ويتم التسجيل فيها باستخدام رجاج واحد عمودي على الكابل بالاتجاه الطولي (line–in) والمسافة بين نقاط الرج المتتالية هي ٣٠٠ متر، ويتم استخدام أربعة رجاجات تعمل دفعة واحدة (أي منبع تجميعي) وعمودي على الكابل بالاتجاه الطولي؛ بحيث يكون التردد المستخدم أثناء التجارب (١٠-٦٠) هرتزاً وطول السويب (١٢) ثانية.



الشكل (١) مخطط السير المتباعد Layout of walk away test

وبالنتيجة تم تسجيل عشر نقاط رج وفق الجدول التالي:

رقم النقطة	عدد الرجاجات	عدد السويات	التردد /هرتز	طول السويب/ثانية	ملاحظات
1	1	1	10-60	12	الرجاجات تقف بشكل عمودي على الكابل والمسافة بينها تساوي الصفر
2	4	4	10-60	12	
3	4	4	10-60	12	
4	4	4	10-60	12	
5	4	4	10-60	12	
6	4	4	10-60	12	
7	4	4	10-60	12	
8	4	4	10-60	12	
9	4	4	10-60	12	
10		4	10-60	12	

ومن خلال دراسة الحقل الموجي وتحليل مقطع أمـــواج الضـــجيج Noise section الناتج عن تنفيذ الطريقة المذكورة walk away test تم التعرف على أنواع أمواج الضجيج في المنطقة Noise test وخصائصها المبينة بالجدول التالي:

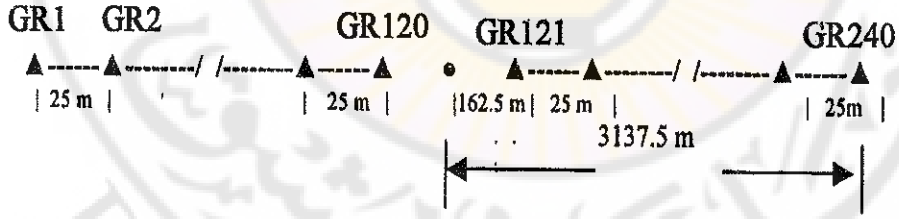
نوع الموجة Wave type	السرعة (m/s) V.m/s	الدور T/ Sec.	التردد (HZ) Frequency(HZ)	طول الموجة Wave length(m)	ملاحظات Comments
GR1	405	0.04	25	16.2	أمواج سطحية قوية منتظمة
GR2	697	0.05	20	34.8	-
GR 3	535	0.06	16.6	32.2	موجة سطحية Groundroll
GR 4	1764	0.022	45	40	= =
GR.5	1607	0.06	16.6	96	موجة سرعتها عالية
Air wave	357	0.022	45	7.9	موجة هوائية
Refraction wave	3750	0.08	12..5	300	موجة منكسرة Refraction
SH.1					موجة عرضية Broud side
SH.2					موجة عرضية Broud side

يبدو من خلال النتائج أن أمواج التشويش Ground Roll هي من أنواع مختلفة وتتراوح أطوال موجاتها بين ١٦ متراً و٩٦ متراً، وبالأخذ بالحسبان الشـــروط الفنية المتعلقة بنظام المد (أي نظام انتشار اللواقط) فإنه يمكن باختيار مناسب لتشكيلة لواقط بطول ٢٥ متراً أن تخمد الأمواج مـــن النـــوع(G.R1,G.R2, G.R3, G.R4) بشكل كلي أو نسبي يصل حتى ٩٠ % . أما الموجة مـــن النـــوع G.R5

فيمكن تخميدها بشكل جزئي بواسطة نظام الرج، كما يمكن تخميد الموجة الهوائية من خلال اختيار المسافة بين اللواقط، والتي وصل عددها ٢٤ لاقطاً، حيث تحقق هذه المسافة مبدأ التكديس أي الجمع stack array من خلال تقسيم المسافة بين النقاط على عدد اللواقط، وتساوي ربع طول الموجة الهوائية تقريباً وهي بمقدار ٢,٠٨ متر بين اللاقط والآخر، أما فيما يتعلق بالأمواج العرضية SH1,SH2 فيحسب تخميدها بواسطة نظام الرج العرضاني AREAL بشكل جزئي؛ لتعذر ذلك بواسطة اللواقط لأسباب فنية، وبالنسبة للموجة R فطولها كبير ولا يمكن تخميدها في الحقل كونها تدخل ضمن الأمواج المفيدة، وبناء على ذلك تكون الخطوات التالية:

٢. ١. نظام الكابلات CABLE BATTERN

يتم نشر ٢٤٠ قناةً بشكل متناظر، المسافة بين نقاط الاستقبال ٢٥ متراً، مركز الاستقبال في النقطة الوسطى للمجموعة، مركز الرج في منتصف المسافة بين الأثر ١٢٠ والأثر ١٢١ ، المسافة بين نقاط الرج ٢٥ متراً، التغطية ١٢٠ مرة. كما في الشكل (٢).

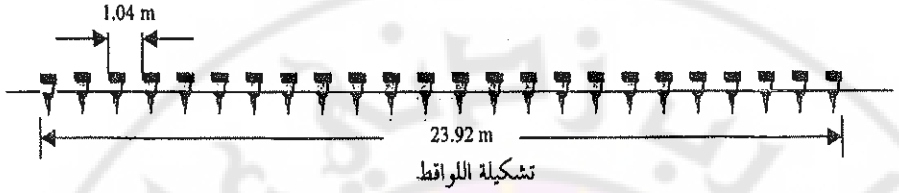


الشكل (٢) مخطط نظام مد أو نشر الكابلات

٢. ٢. مجموعة اللواقط GEOPHONE ARRAY

لتحقيق مبدأ نظام التكديس **STACK ARRAY** فإن مجموعة اللواقط الملائمة هي مجموعة خطية طولية in-line, linear مؤلفة من ٢٤ لاقطاً بمسافة

١,٠٤ متر فيما بينها.هذا الترتيب يسمح بتخميد الموجة الهوائية والأمواج ذات الأطوال ٣٥ متراً و ٤٠ متراً بشكل كلي أو جزئي، ويبين الشكل (٣) نظام توزيع اللواقط.



الشكل (٣) نظام توزيع وغرس اللواقط

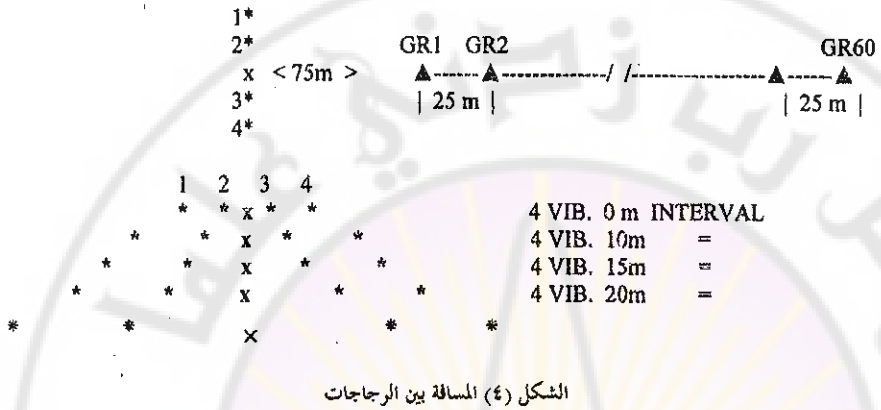
٣. المرحلة الثانية: اختيار بارامترات الرَج VIBRO PATTERN

بعد تثبيت نظام الكابلات واللواقط اللذين تم اعتمادهما في المرحلة الأولى السابقة، ولاختبار نظام الرج تم مد أو نشر ١٢٠ قنالاً بمسافة ٢٥ متراً فيما بينها وجرت الاختبارات كما يلي :

٣. ١. اختيار المسافة بين الرجاجات Vibro spacing test

لقد تم اختيار المسافة بين الرجاجات باستخدام نظام المد والرج الموضحين في الشكل (٤). حيث تم تسجيل خمس نقاط رج. تبعد نقطة الرج الأولى مسافة ٧٥ متراً عن أول قنال، وتم استخدام أربعة رجاجات بمسافة صفر فيما بينها وتقف بشكل عمودي على الخط، أما النقاط الأربع الباقية فتم تسجيلها باستخدام أربعة رجاجات على طول الخط وبتباعدات ٠ متر، ١٠متر، ١٥متراً، ٢٥متراً فيما بينها. وتم إجراء التسجيل باستخدام المجال الترددي ١٠ – ٦٠ هرتزاً، ونوع السويب خطي و ٢ سويب بطول ١٢ ثانية في كل اختبار و الموقع نفسه. كل هذه الإجراءات تمتْ مع المحافظة على نظام الكابلات والجيوفونات اللذين تم اختيارهما وتحديدهما في المرحلة الأولى.

ومن خلال مراقبة وتحليل التسجيلات الخمسة الشكل (٥) تبين أن المسافة ١٥ متـــراً هي المسافة الملائمة بين الرجاجات، ونظراً لوجود أمواج ضجيج أطوالها أكثر من ٧٠ متراً فمن المفضل استخدام مسافة بين الرجاجات ٢٠ متراً.



الشكل (٤) المسافة بين الرجاجات

٣. ٢. اختيار الترددات الأدنى والأعلى Min. & Max. Frequency

لقد تم اختيار المجالات ٨-٦٠ ، ١٠-٦٠ ، ١٢-٦٠ ، ١٤ — ٦٠ هيرتزاً. والمسافة بين الرجاجات ١٥ متراً ومن مراقبة التسجيلات تم اختيار التردد ١٠ هيرتـــز كتردد أدنى الشكل (٦). وبعد تثبيت التردد الأدنى ١٠ هيرتز تم اختيار مجالات التردد ١٠- ٤٨، ١٠-٥٤، ١٠ — ٦٠ ، ١٠- ٧٢، ومن خلال مراقبـــة التســـجيلات الشكل (٧) تم اختيار التردد ٦٠ هيرتزاً كتردد أعلى . وقد تم أيضاً إجراء الاختبارات نفسها على مسافة ٢٠ متراً بين الرجاجات.

٣. ٣. اختيار عدد السويبات Number of sweeps

بعد تثبيت المجال الترددي المناسب ١٠ — ٦٠ هيرتزاً تم اختيـــار عـــدد الســـويبات؛ باستخدام مجموعة من أربعة رجاجات وبعدد من السويبات ٢ ، ٤ ، ٦ سويب. ومن خلال مراقبة الحقل الموجي لم يلاحظ وجود اختلاف كبير بين التسجيلات؛ إنما هناك تحسين بسيط في الإشارة مع زيادة عدد السويبات، وبما أن هذا البارامتر هو بارامتر

إنتاجي؛ فقد تم اختيار ٢ سويب في كل نقطة ويمكن تعديل ذلك على ضوء مراقبة النتائج الحقلية أثناء العمل الإنتاجي. وقد تم أيضاً إجراء الاختبارات نفسها على مسافة ٢٠ متراً بين الرجاجات.

٣. ٤. اختيار طول الرجة(السويب) Sweep length

بعد تثبيت البارامترات السابقة الخاصة بالسويب تم اختبار الأطوال التالية للسويب ٦ ، ٨ ، ١٠ ، ١٢ ، ١٤ ، ثانية. ومن خلال مراقبة التسجيلات الحقلية الشكل (٨) لم يُلاحَظ فرق هام بين الأطوال ٨، ١٠، ١٢ ثانية، ولذلك تم اختيار الطول ١٢ ثانية باعتباره الطول المستخدم في معظم المناطق. وقد تم أيضاً إجراء الاختبارات نفسها على مسافة ٢٠ متراً بين الرجاجات.

٣. ٥. اختيار شكل الرجة(السويب) Sweep type

تم إجراء الاختيارات على الشكل الخطي للسويب Linear Sweep والشكل اللاخطي Non-Linear Sweep ومن خلال مراقبة التسجيلات الحقلية الشكل (٩) لم يلاحظ فرق كبير بين النوعين الخطي الشكل(٩- a) و اللاخطي الشكل(٩- b)؛ حيث تم اعتماد النمط اللاخطي للسويب بشكل أولي على أن يصار إلى مراقبة النتائج في الأيام القادمة؛ حيث يمكن استخدام وتغيير اللاخطي إلى الخطي على ضوء النتائج.

٣. ٦. اختيار الفجوة (مسافة الالتقاط الأصغرية) Gap Test (min.offset)

نتيجة التجارب ومن خلال مراقبة التسجيلات الحقلية تبين أن الفجوة المناسبة هي بمقدار ٦ آثار من كل جانب لاحظ الشكل (٢).

٣. ٧. نظام الرج Vibro Array

نظراً لوجود أمواج تشويش سطحية طولية وعرضية طويلة نسبياً؛ فقد تم اعتماد نظام رج عرضاني على شكل متوازي أضلاع مؤلف من أربعة رجاجات مع ٢ رجة

(سويب) في كل نقطة، بحيث تكون المسافة بين الرجاجات ١٥ متراً والمسافة بين خطوط الرج ١٠ متر والمسافة بين السويب والآخر ١٢,٥ متراً mov-up . حيث يؤمن نظام الرج هذا تخميد الأمواج الطولية ذات الأطوال ٣٦ متراً و ٤٤ متراً بشكل كلي أو نسبي، والأمواج العرضية ذات الأطوال ٧٦ متراً و ١١٢ متراً بشكل نسبي بالمسافة بين خطوط الرج ١٠ متر . وفي بعض الأماكن التي لا يمكن استخدام نظام الرج العرضي سيتم الرج على خط واحد متحرك أو ثابت وفق ما تقتضيه طبيعة التضاريس السطحية.

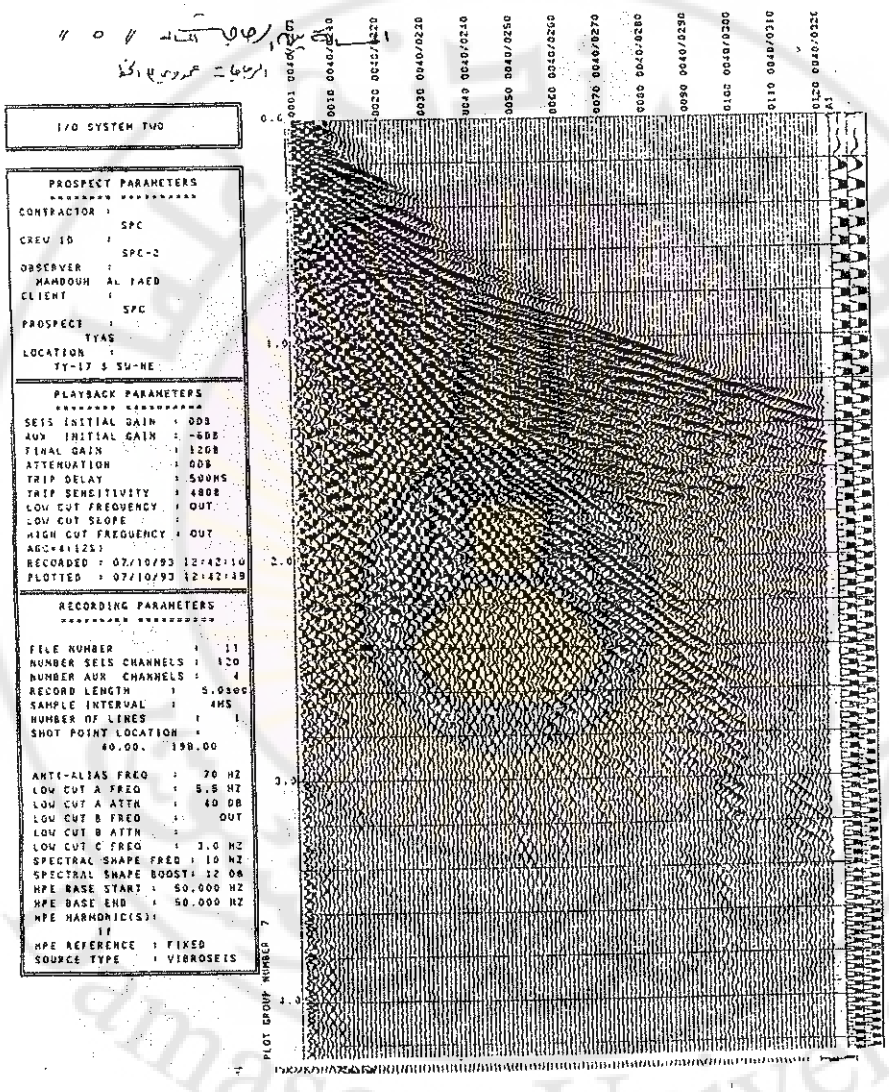
٤. المقترحات Recommendations

٤. ١. **نظام الكابلات** :استخدام ٢٤٠ قنالاً ، نظام مركزي متناظر، المسافة بين النقاط ٢٥ متراً. المسافة بين مركز الرج وحتى أول أثر أو لاقط min.offset هي ١٦٢,٥ متراً كما في الشكل (٢).

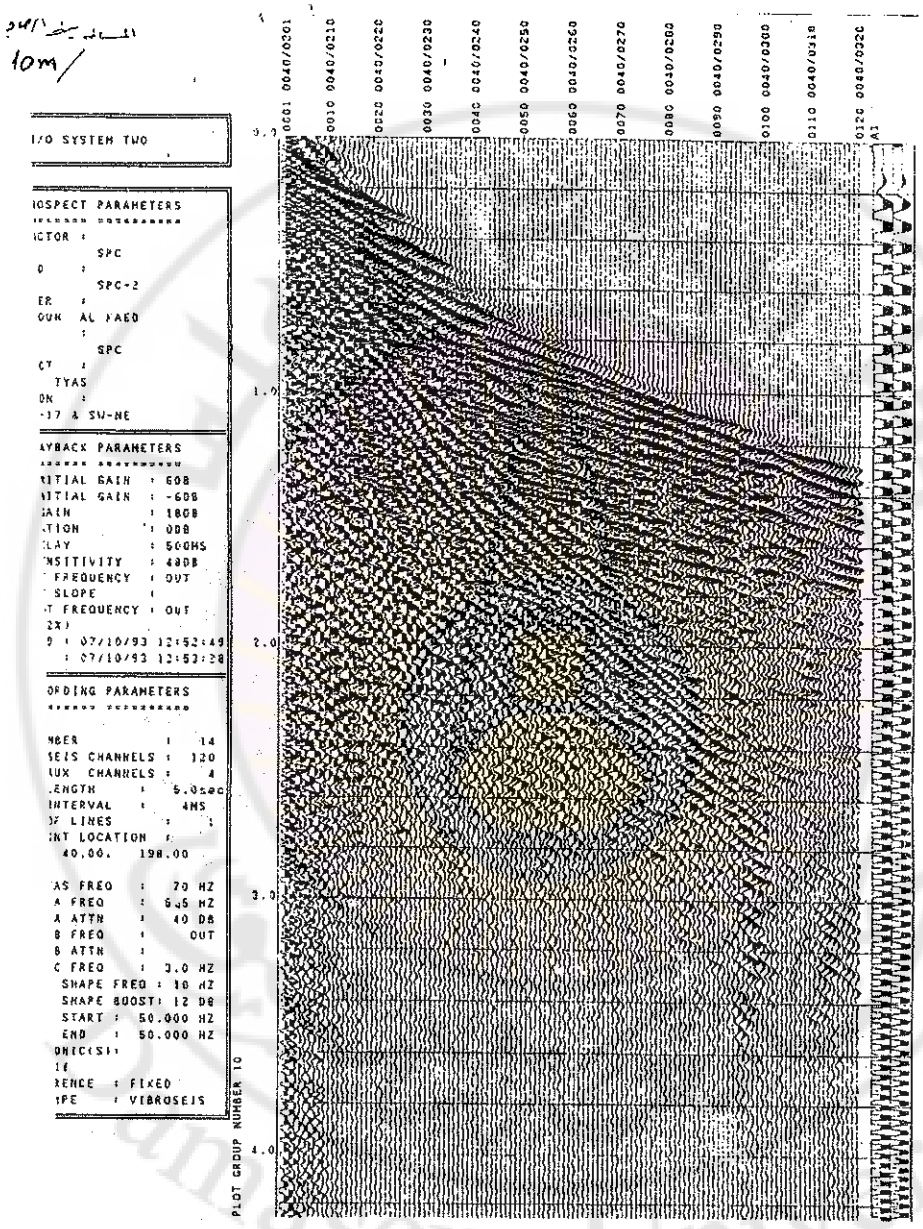
٤. ٢. **نظام اللواقط** :استخدام ٢٤ لاقطاً بشكل طولي وخطي in-line linear. ومركز الاستقبال في النقطة الوسطى. المسافة بين اللواقط ١,٠٤ متر . ونظراً لإمكانية مد أو نشر (الفليرات) مجموعات اللواقط بشكل متوازي أضلاع، سيتم الاعتماد على ذلك وفي المناطق التي تسمح بها التضاريس السطحية.

٤. ٣. **نظام الرج** : 2X٤ متوازي. المسافة بين الرجاجات ١٥ متراً، و ١٠ متر بين خطوط الرج و ١٢,٥ متراً بين السويب والآخر . مركز الرج في منتصف المسافة بين نقاط الاستقبال. المسافة بين الرج ٢٥ متراً . التغطية ١٢٠ مرة. وسيتم استخدام المسافة بين الرجاجات ٢٠ متراً في المناطق التي تكون فيها أمواج الضجيج قوية أثناء العمل الإنتاجي؛ ومن خلال مراقبة النتائج للتخفيف قدر الإمكان من أمواج الضجيج ذات الأطوال الكبيرة نسبياً مع المحافظة على المسافة بين خطوط الرج ١٠ متر.

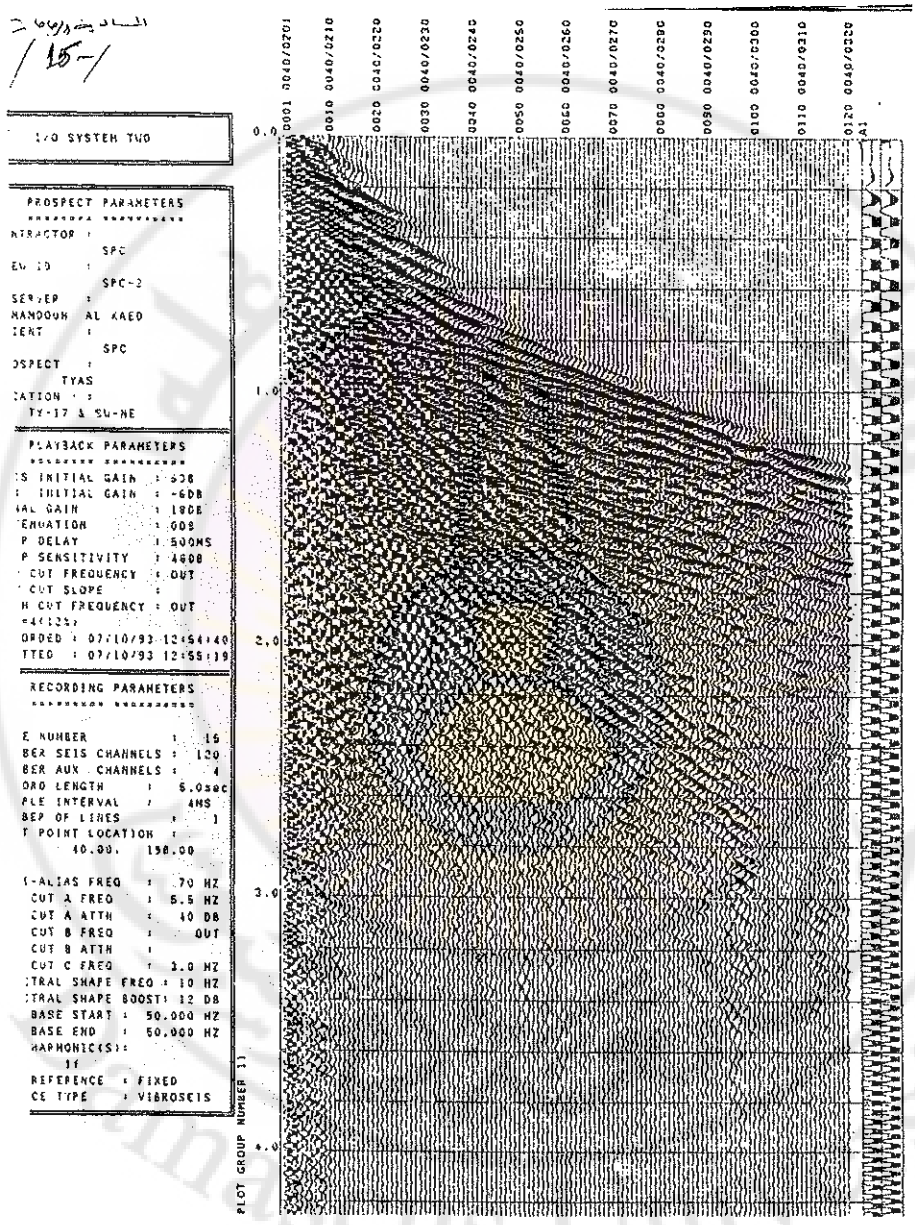
٤. ٤. **السويب**: لاخطي nun linear ، طول السويب ١٢ ثانية.



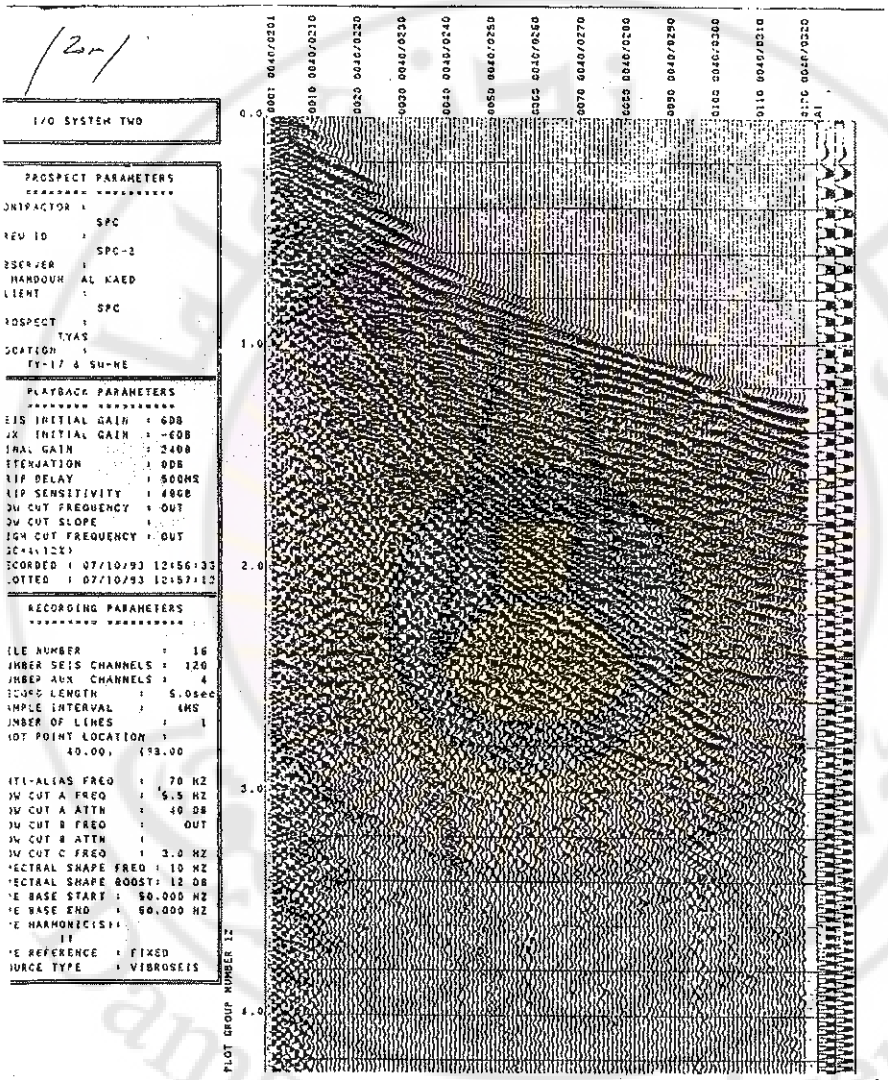
الشكل(٥-a) الحقل الموجي الناتج عند اختيار المسافة صفر متر بين الرجاجات



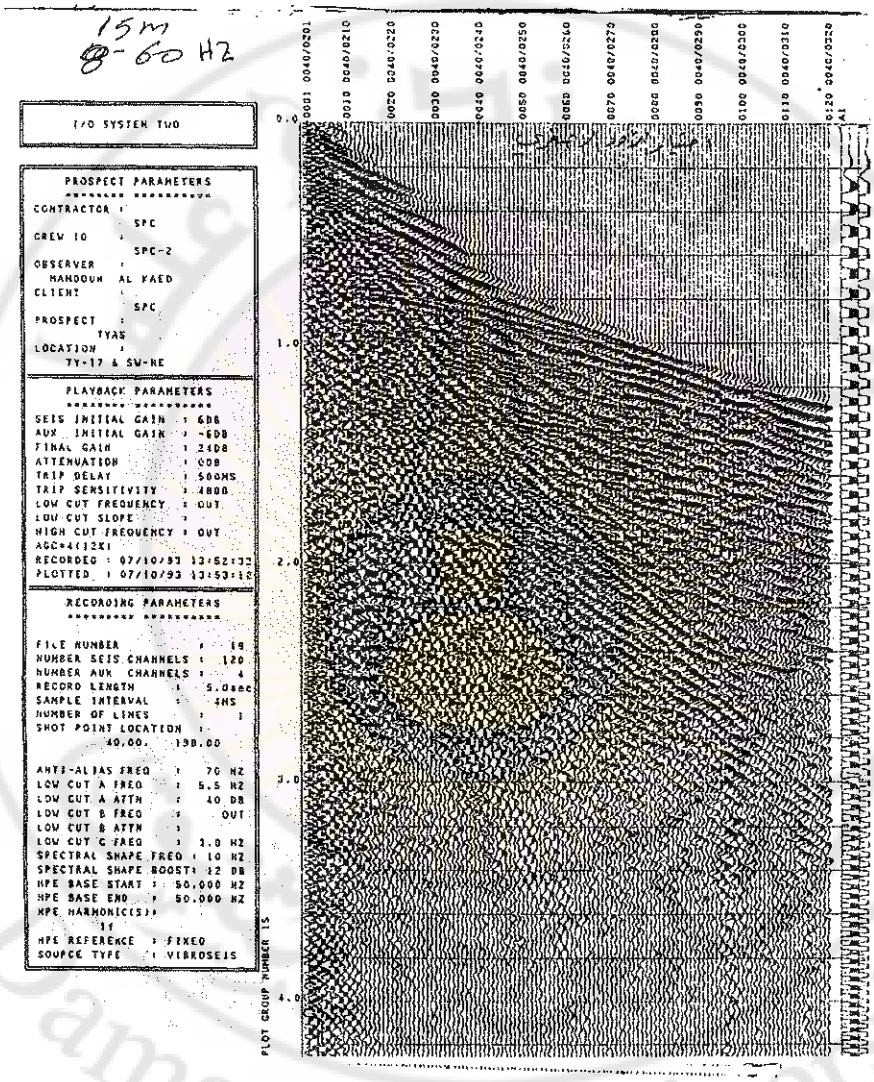
الشكل(٥–b) الحقل الموجي الناتج عند اختيار المسافة **10** متر بين الرجاجات



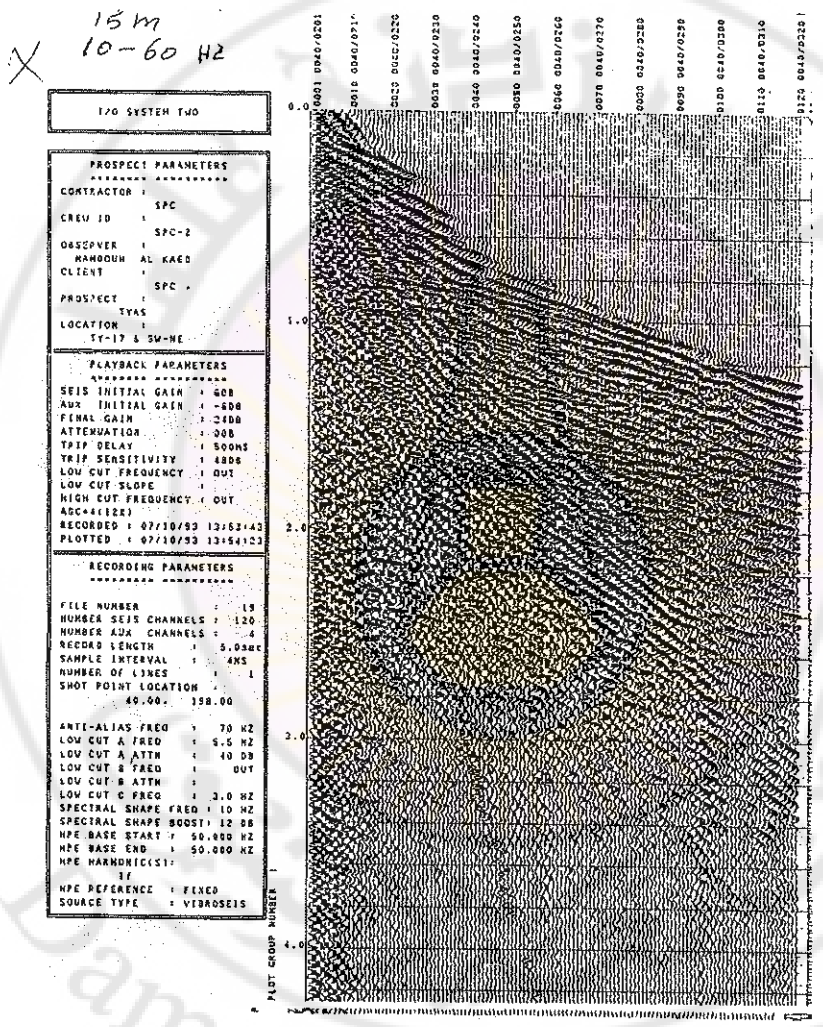
الشكل(٥-c) الحقل الموجي الناتج عند اختيار المسافة 15 متراً بين الرجاجات



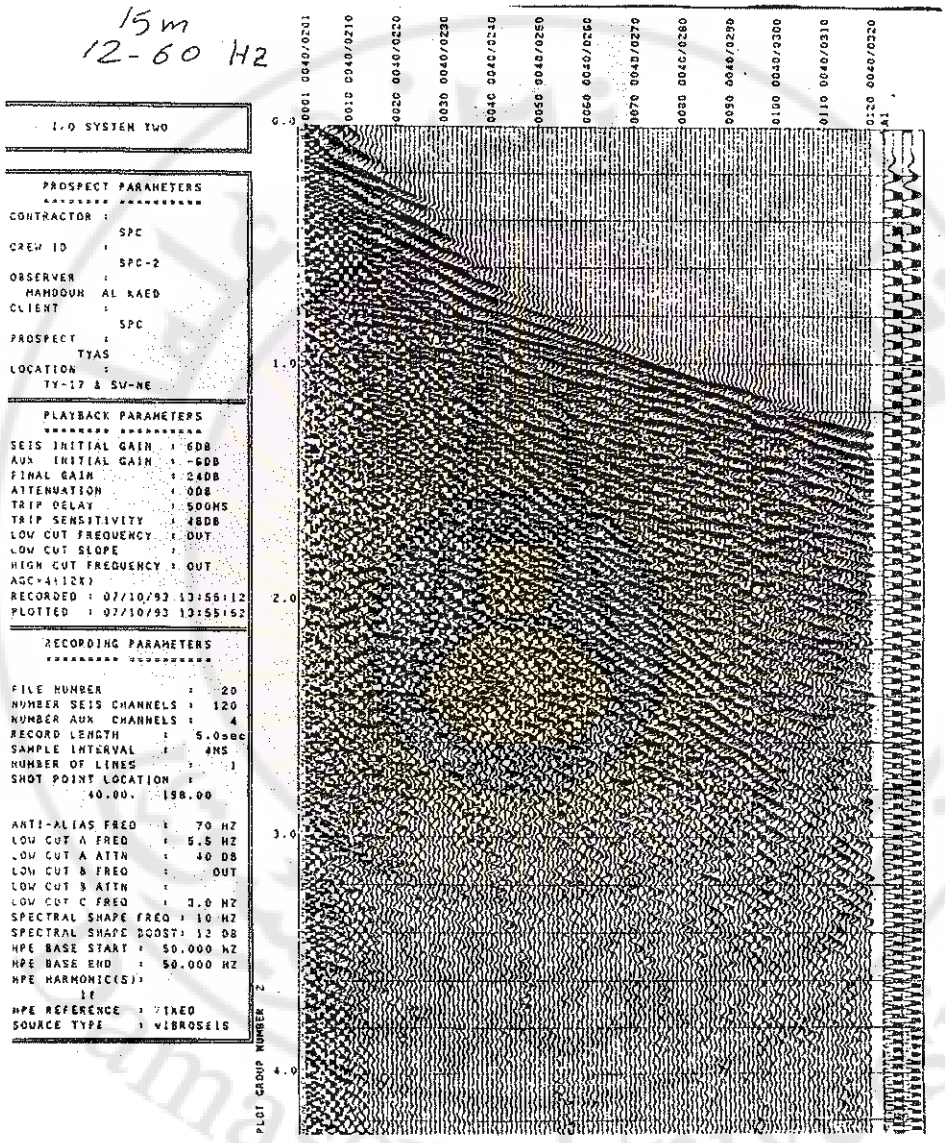
الشكل(٥-d) الحقل الموجي الناتج عند اختيار المسافة 20 متراً بين الرجاجات



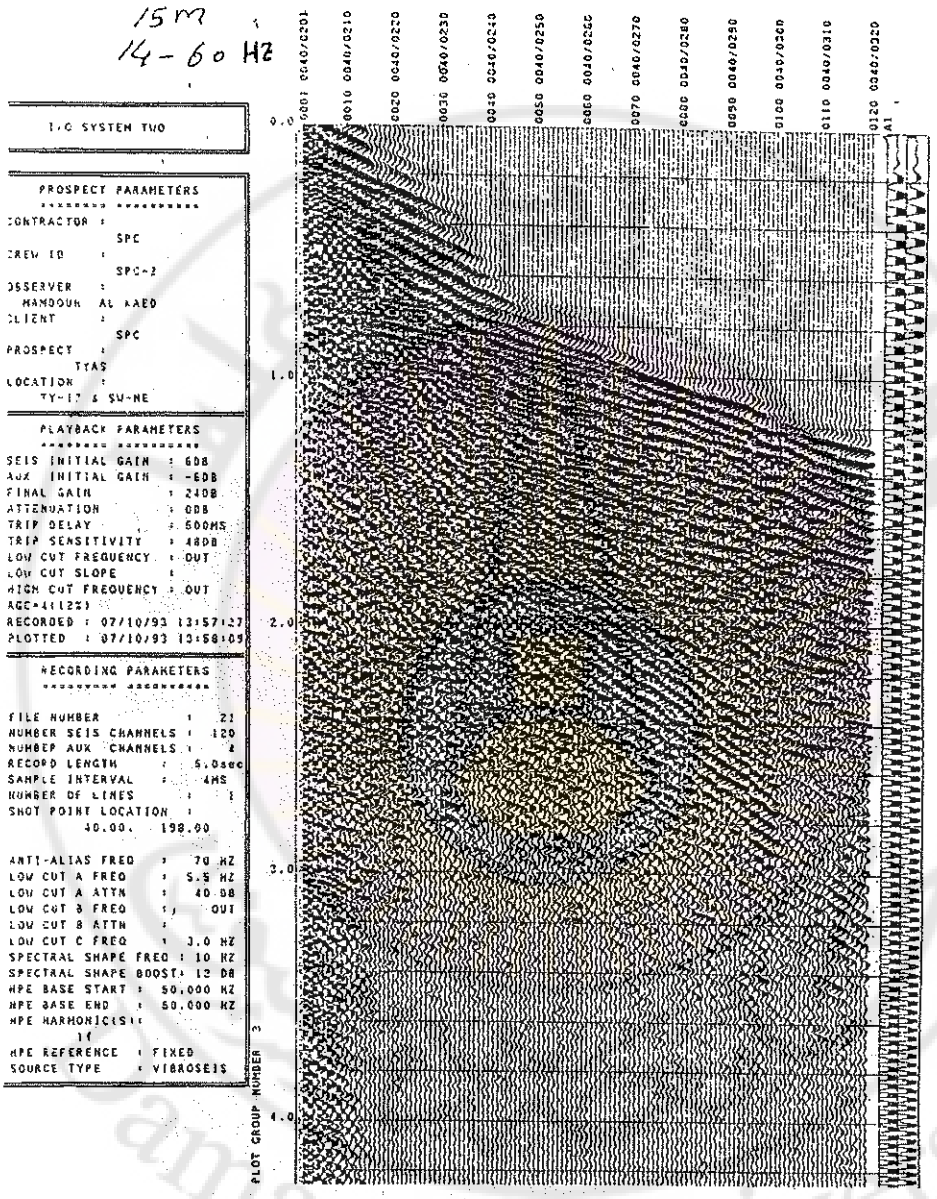
الشكل(٦- a) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأدنى 8- ٦٠ هيرتزاً



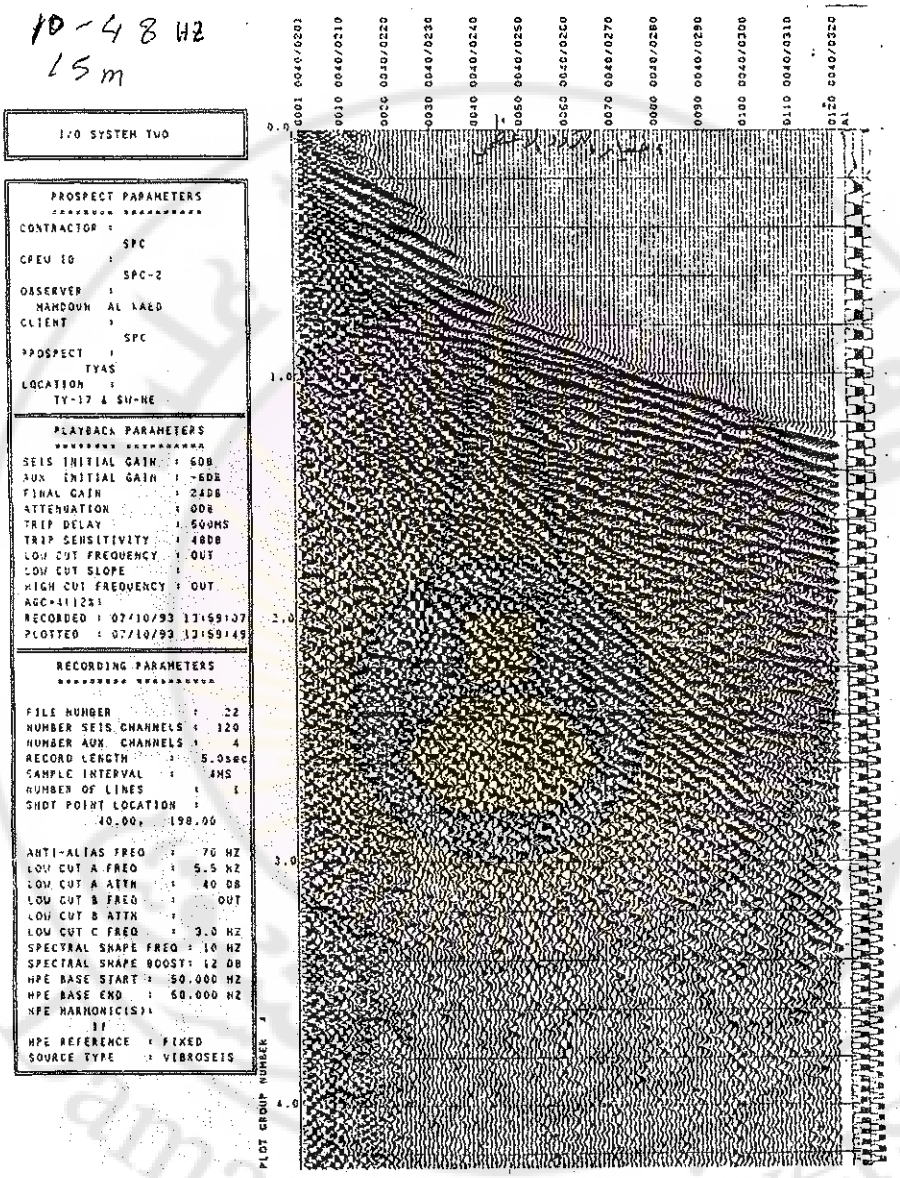
الشكل(٦-b) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأدنى ١٠- ٦٠ هيرتزاً



الشكل(٦- c) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأدنى١٢- ٦٠ هيرتزاً

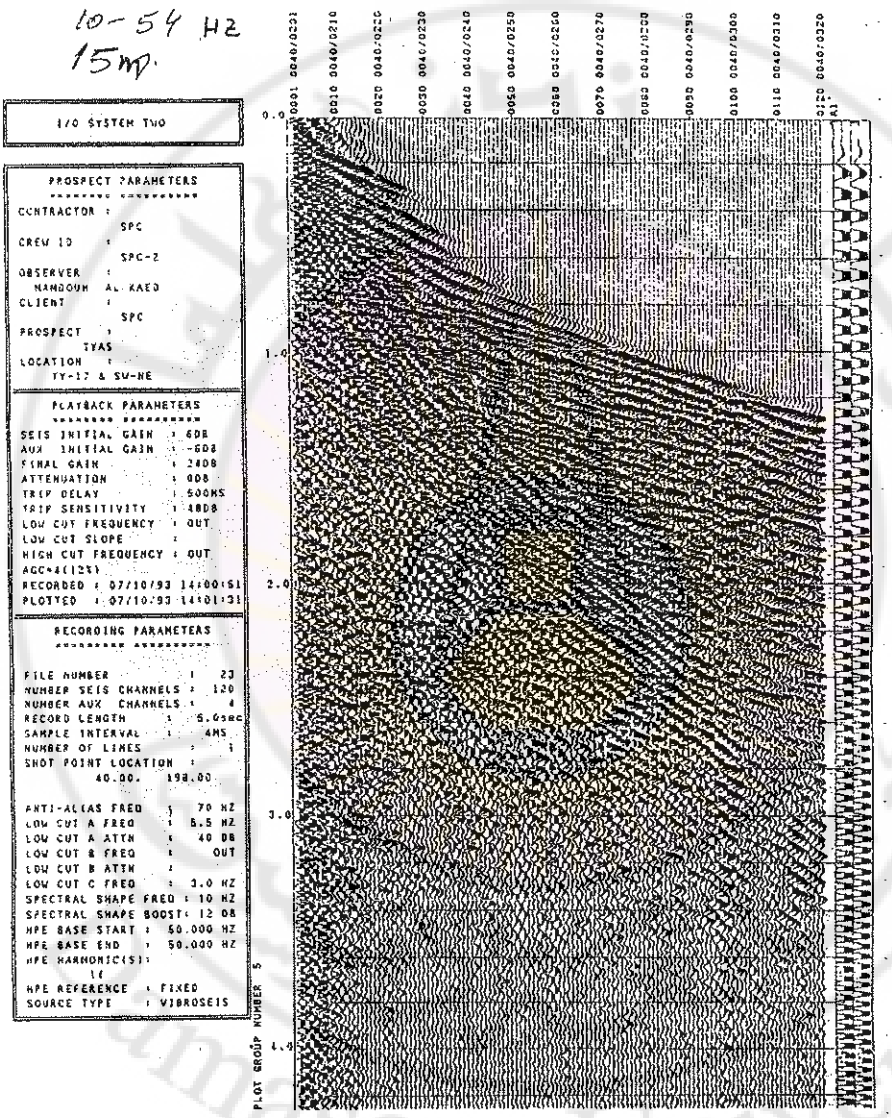


الشكل(٦– d) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأدنى ١٤– ٦٠ هيرتزاً

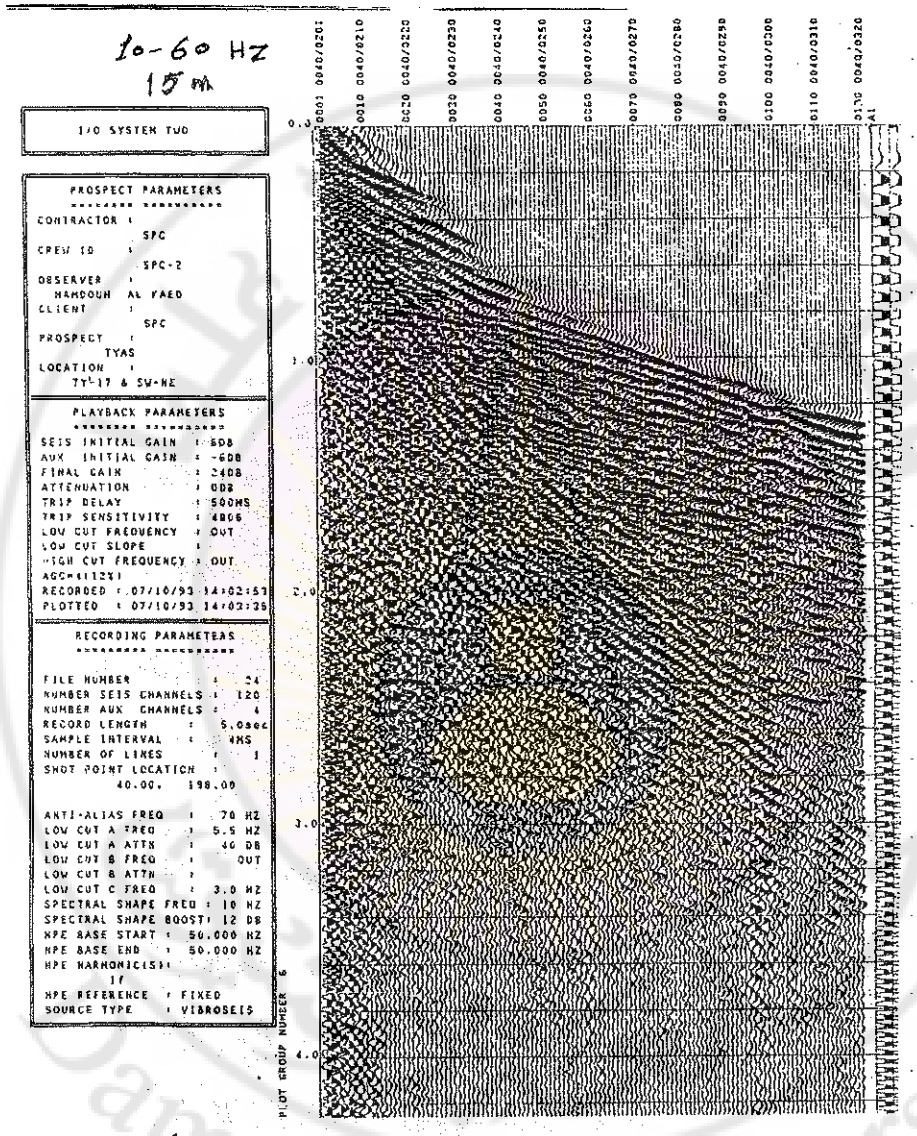


الشكل(٧– a) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأعلى ١٠– ٤٨ هيرتز أ

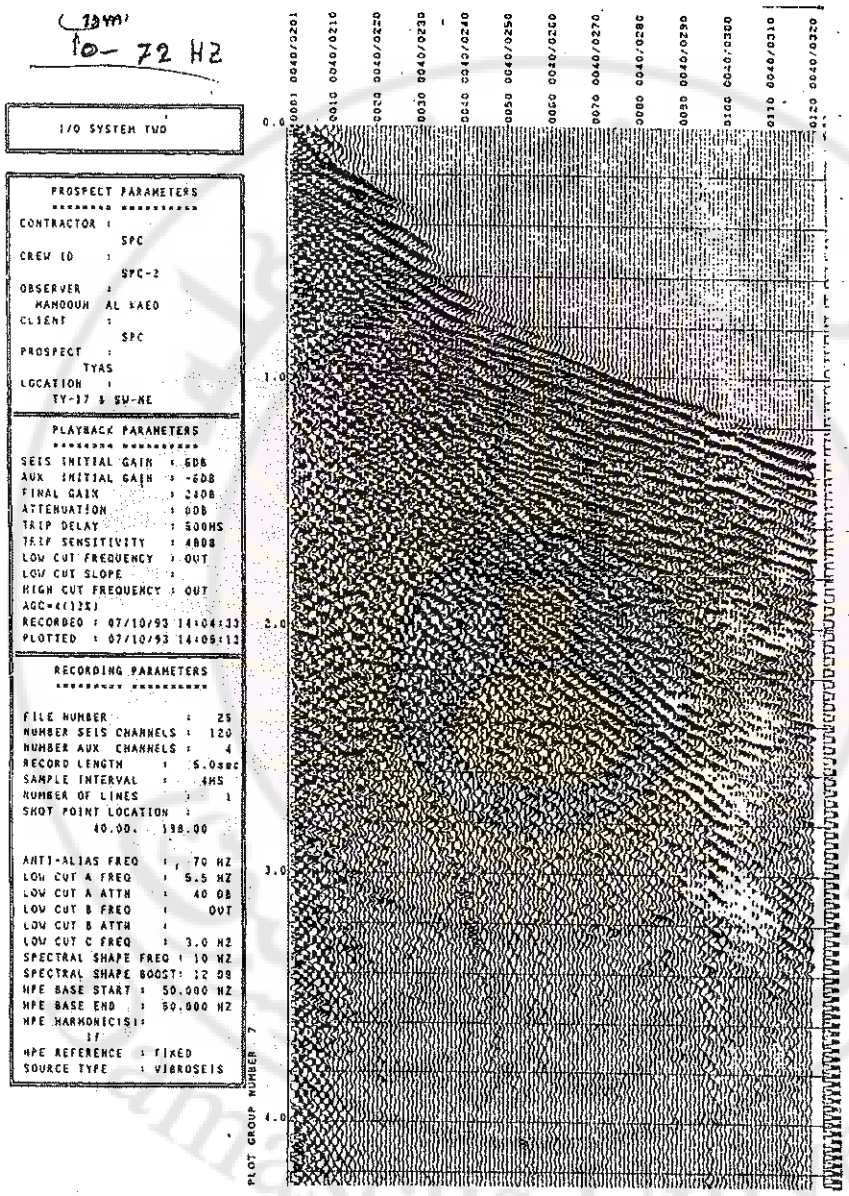
10-54 HZ
15mp.



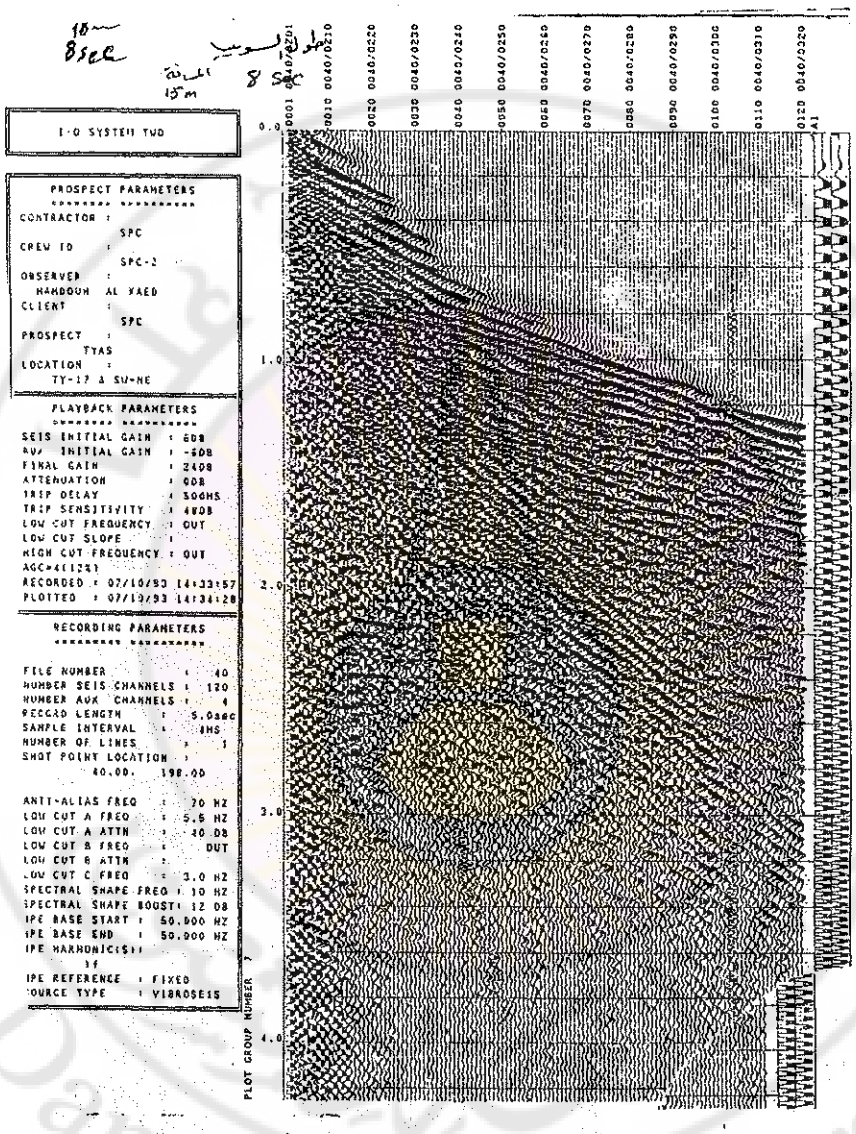
الشكل(٧- b) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأعلى ١٠- ٥٤ هيرتزاً



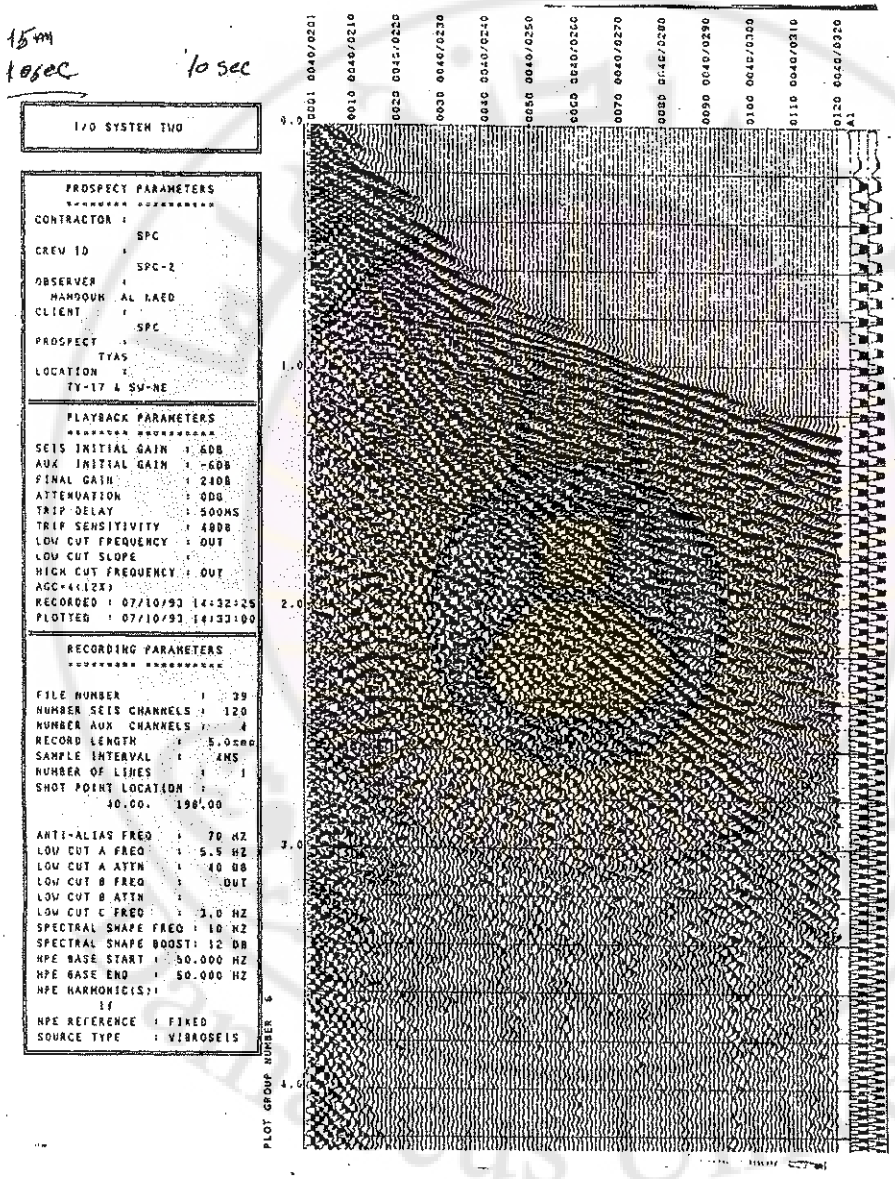
الشكل(٧– c) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأعلى ١٠– ٦٠ هيرتزاً



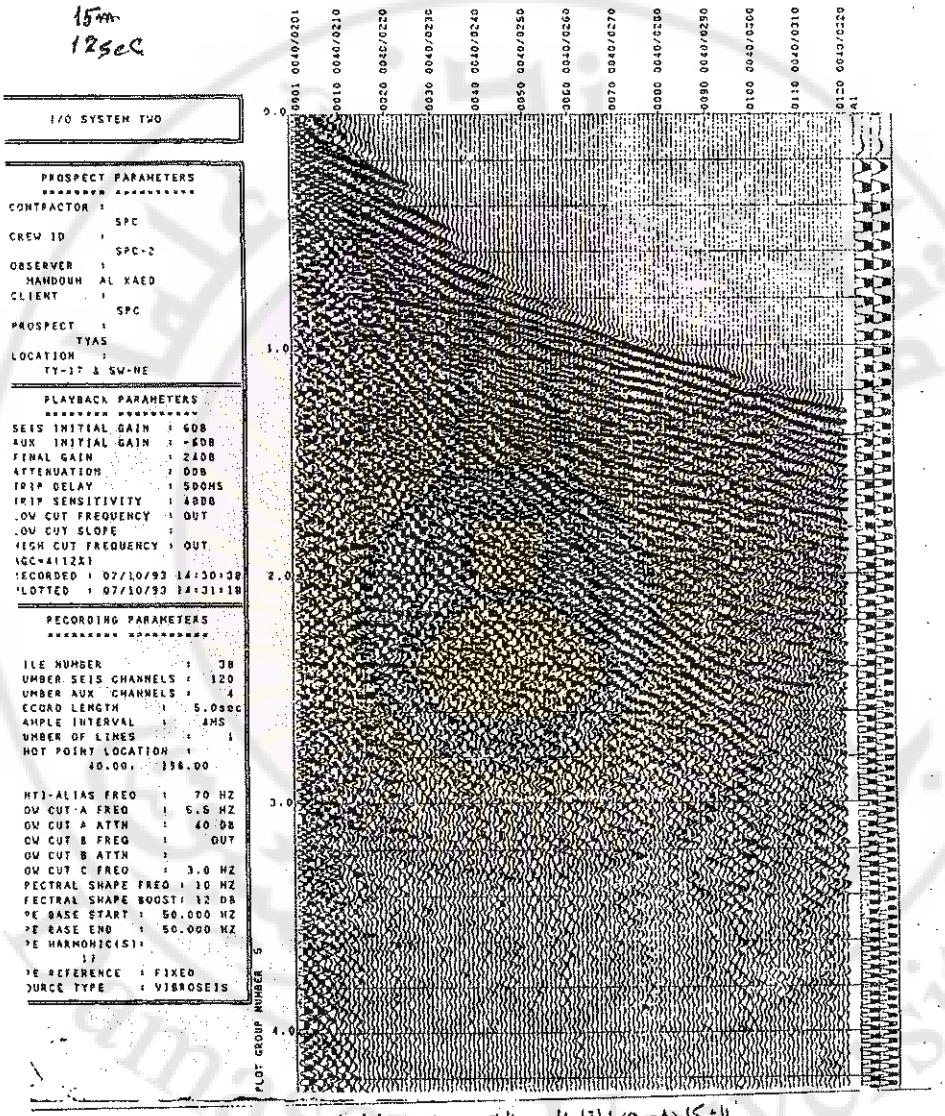
الشكل(٧- d) الحقل الموجي الناتج عند اختيار التردد الأعلى ١٠- ٧٢ هيرتزاً



الشكل(٨– a) الحقل الموجي الناتج عند اختيار طول السويب 8 ثانية

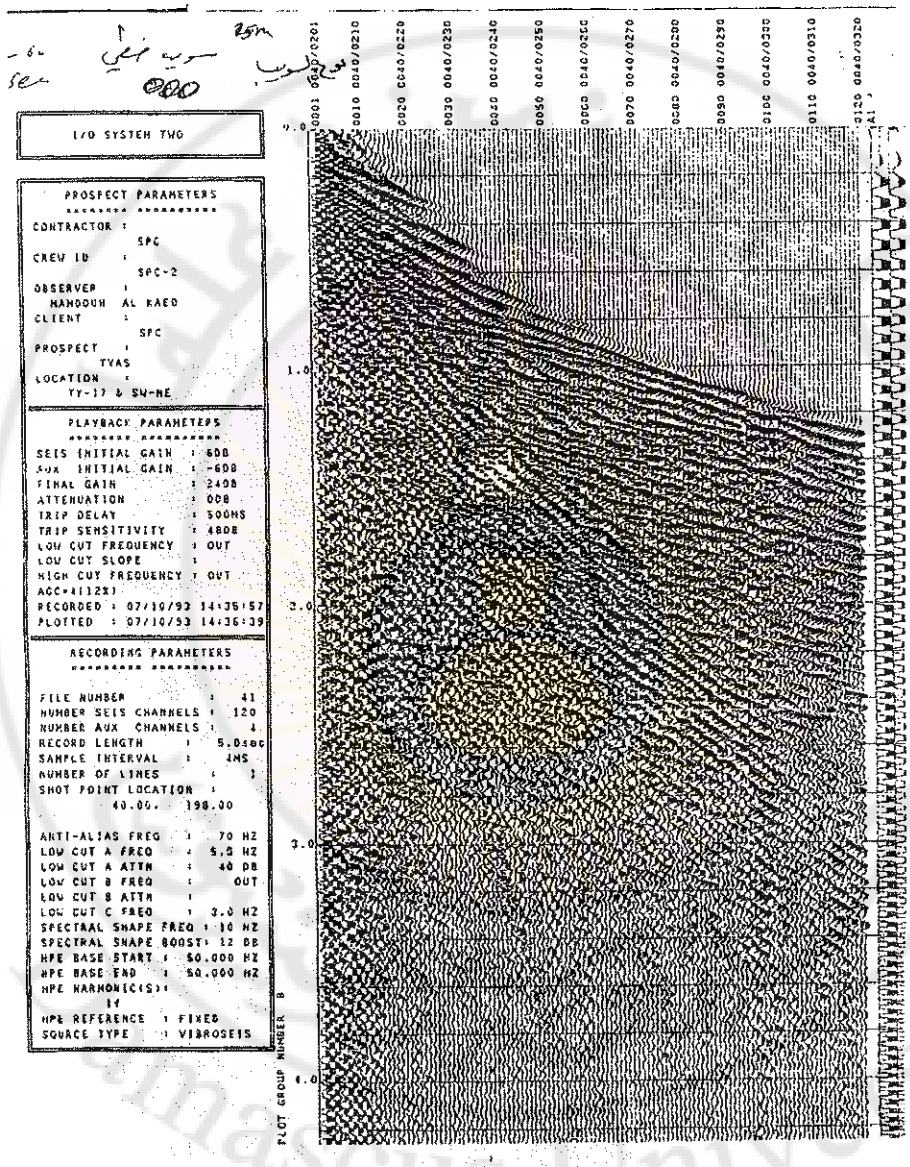


الشكل(٨– b) الحقل الموجي الناتج عند اختيار طول السويب ١٠ ثانية

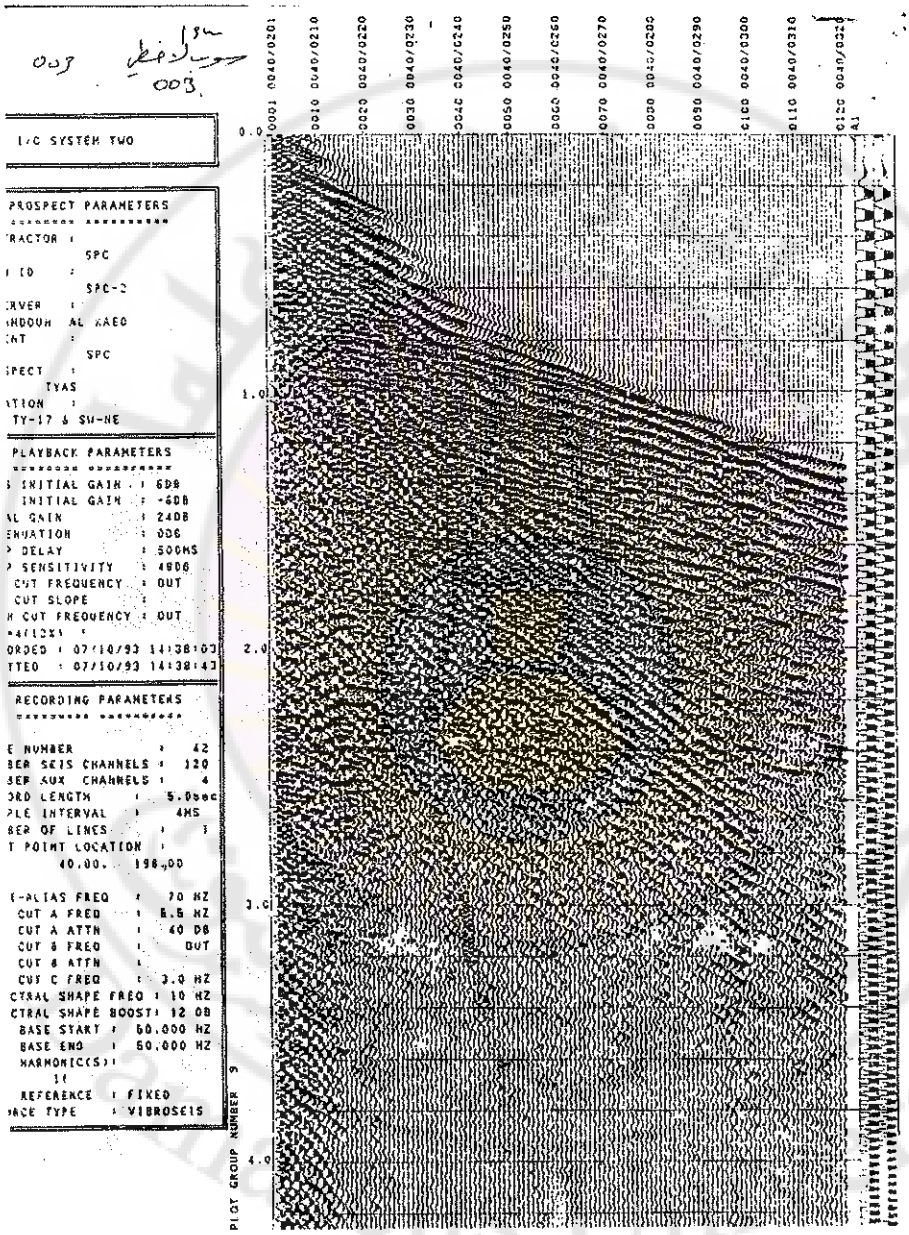


الشكل(٨– C) الحقل الموجي الناتج عند اختيار طول السوبب ١٢ ثانية

الشكل(٨-d) الحقل الموجي الناتج عند اختيار طول السويب ١٤ ثانية



الشكل (٩– a) الحقل الموجي الناتج عن اختيار السويب الخطي



الشكل (٩–b) الحقل الموجي الناتج عن اختيار السويب اللاخطي

المـــراجـــع

المراجع العربية :

I- د.نمر عرب .الطرق السيزمية في عمليات التنقيب .الجزء الثاني .جامعة دمشق. ١٩٨٢ .

II- د.رامز ناصر،د.نديم أحمد .الطـــرق السيســـمية في التنقيـــب "١".جامعـــة دمشق.١٩٩٠.

III- د.عصـــام جبـــور . الطرق السيسمية في التنقيب" ٢ ". جامعة دمشق. ١٩٩٠.

IV- م. حمزة الدنيا. تقرير التجارب الحقلية لمنطقة الأثريا.الشركة السورية للنفط. مديرية الاستكشاف. ٢٠٠٣ .

المراجع الأخرى :

1-Edwin, S. Robinson. 1988.Basic Exploration Geophysics. New York.

2- Gourvich, I. I. 1975. Seismic Survey. Moscow. (in Russ.)

3- Gourvich, I. I., Poganik ,G. N. 1980. Seismic Survey . Moscow. (in Russ.)

4-Gourvich, I. I., Nomokonov, V. P. ,1981. Seismic Method. Geophysical reference.Moscow,P464. (in Russ.)

5- Hatton, L., M. H. Worthington, and J. Makin. 1986. Seismic Data Processing: Theory and Practice. London: Blackwell Scientific.

6-Jon M.Reynolds.1998.An Introduction to Applied and Environmental Geophysics.UK.P796.

7- Kearey,P., Brooks, M.1988. An Introduction to Geophysical Exploration. Moscow. (in Russ.)

8- Meshbe,V.E., 1985. Commom Depth Point Methode. Moscow. (in Russ.)

9- Nomckonov, V. P.1990, Seismic Method. Geophysical. 2Vol. Moscow, P400. (in Russ.)

10- Potapov, O. A. 1987. Seismic Method;Field Tecniques. Moscow. (in Russ.)

11-Ralph,W.K.,and Steeples, D. W. 1986. Hih-reolution common-depth-point Reflection Profiling: Field acquisition parameter design. Geophysics.Vol.51,No.2.P (283-294)

12-Sheerson ,M.B., Maeyru, V. V. 1988 .Surface Seismic energy Sources. Moscow. (in Russ.)

13-Sheriff, R. E. and Gelgart, L. P. 1987.Exploration seismology.Cambridge university press. 2Vol. 848p (in Russ.)

14- Sheriff, R. E. 1973.Encyclopedic Dictionary of exploration geophysics .society of exploration geophysicists. Tulsa, Oklahoma.

15-Sheriff, R. E. and Gelgart, L. P. 1995.Exploration seismology. Second edition . Cambridge university press..592p

16-Seismic Stratigraphy- Applications to hydrocarbon exploration. 1977. Edited by Payton, C. E. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.,

17-White, J. E. 1983. Under Ground Sound – Application of Seismic Waves. Amsterdam :Elsevier.

18- White, J. E., and R. L. Sengbush. 1987. Production Seismology. London: Geophysical Press.

19-Waters, K. H. 1978. Reflection Seismology. New York.

20-Yilmaz Ozdogan .1998. Seismic Data Processing. Society of Exploration Geophysicists.USA.

21- Znameneske ,V.V. 1989. Applied geophysics. (in Russ.)

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

جدول المصطلحات العلمية

A

Acoustic(sonic)	صوتي
Acoustic Impedance	ممانعة صوتية
A/D(analog-to-digital)conversion	تحويل تشابهي- رقمي
AGC(Automatic gain control)	تحكم التقوية الآلي
Air gun	مدفع هوائي
Air Shooting	تفجير في الهواء
Airwave	موجة هوائية
Alias Filter	مصفي التمويه
Analog	تشابهي
Amplifier	مضخم
Analog amplifier	مضخم تشابهي
Digital amplifier	مضخم رقمي
Amplitude	سعة (مطال)
Apparent dip	ميل ظاهري
Apparent dip moveout	تباعد الميل الظاهري
Apparent velocity	سرعة ظاهرية
Apparent wavelength	الطول الظاهري للموجة
Apparent Wavenumber	العدد الموجي الظاهري
Arrays	أنظمة الرصد
Areal arrays	أنظمة الرصد المساحية
Arrival time (traveltime)	زمن الوصول(زمن المسار)
Attenuation	تخامد
Attenuation mechanisms	آلية التخامد
Automatic statics correction	تصحيح ساكن آلي
Average velocity	السرعة المتوسطة(الوسطي)

B

Band-pass filter	مصفي إمرار نطاقي (يمرر حزمة من الترددات)
Base of LVL	قاعدة الطبقة منخفضة السرعة
Block (3D)	نطاق الثلاثي الأبعاد
Bit	لقمة لحفارة آبار النفط
Cone bits	لقم مخروطية
Drag bits	لقم حفر ذات أرياش
Roller bits (Roller bit	لقم حفر أسطوانية (لقم حفر بمسننات دوارة
Body wave	أمواج جسمية
Borehole	حفرة (بئر صغيرة)
Borehole geophone	لواقط بئريه
Bright spot	بقعة مضيئة
Bubble effect	تأثير الفقاعة(في المسح البحري)

C

Cable , geophone	كبل اللواقط
Channels(recording)	أقنية تسجيل
Charge(explosive)	شحنة التفجير
Charge size and depth	حجم وعمق الشحنة
CDP, common-depth-point	نقطة عاكسة مشتركة
CMP common-midpoint	نقطة وسطى مشتركة
Common-geophone gather	تجمع اللواقط المشتركة
Common-offset gather	تجمع التباعد المشترك (آثار التباعد المشتركة)
Common-source gather	تجمع المنابع المشتركة
Coefficient of absorption	معامل الامتصاص
Coefficient of reflection	معامل الانعكاس

Coefficient of transmission	عامل العبور أو النفاذ
Coherent noise	ضجيج مترابط (ترابط أمواج الشغب)
Compressional(P-)wave	أمواج ضغطية
Continuous coverage(profiling)	بروفيلات ذات تغطية مستمرة
Correcting reflection data:	تصحيح المعطيات الانعكاسية
Dip moveout(DMO)	تباعد الميل
Normal moveout	التباعد الأفقي الطبيعي
Statics	السكونية(الستاتيكية)
Cross correlation	ارتباط متصالب
Cross spread	تشكيل متصالب بنظام الرصد

D

D/A converter	محول رقمي تشابهي
Damping factor	عامل التخميد
Data recoding	تسجيل المعطيات
Decibel (db)	ديسيبل
Deconvolution	ثني عكسي(تصفية عكسية)
Delay time	زمن التأخير
Depth migration	تهجير العمق
Depth point	نقطة العمق
Diffraction	انعطاف
Diffraction traveltime curves	منحنيات المسافة- الزمن
Digital	رقمي
Digital recording	تسجيل رقمي
Digital systems	أنظمة رقمية
Dim spot	بقع عاتمة (سوداء)
Dip moveout(DMO)	تباعد الميل
Dip moveout(DMO)correction	تصحيح تباعد الميل
Dipping reflector	عاكس مائل
Dipping refractor	كاسر مائل
Direct recording	تسجيل مباشر

Direct wave	موجة مباشرة
Drilling equipment	أجهزة الحفر
Drilling fluid (mud)	سائل الحفر (طينة الحفر)
Dynamic corrections	تصحيحات ديناميكية
Dynamic range	مجال ديناميكي
Dynamite	ديناميت

E

Earthquake	زلزال
Earthquake seismology	سيسمولوجيا الزلازل
Effective array length	طول منطقة الرصد الفعالة
Effective Fresnel zone	نطاق فرينيل الفعال
Elastic constants(moduli)	ثوابت أو عوامل المرونة
Elastic (strain) energy	طاقة(تشوه) مرنة
Elevation corrections	تصحيحات الارتفاع
End-on spread	تشكيل جناحي
Energy sourc	منابع الطاقة
Engineering surveys	المسح الهندسي
Environmental application	تطبيق بيئي
Equivalent(average) velocity	السرعة المكافئة
Exploration seismology	الاستكشاف السيسمولوجي
Explosive sources	منابع تفجيرية

F

Facies	سحنة
Facies seismic analysis	تحليل سيسمي سحني
Facies boundary	حد سحني

Fan shooting	تفجير مروحي
Fault	صدع (فالق)
Fault dip	ميل الفالق
Field equipment for land surveys	أجهزة حقلية للمسح القاري
Field equipment for marine surveys	أجهزة حقلية للمسح البحري
Field operations	عمليات حقلية
Field processing	معالجة حقلية للمعطيات
Field records	تسجيلات حقلية
Field testing	اختبار حقلي
Filter	مصفي
First break	وصول أولي
Flat spot (hydrocarbon indicator	بقع مستوية (كمؤشر للفحوم الهيدروجينية
Floating-point amplifier	تضخيم بطريقة الفاصلة المتحركة
Floating streamer	كبل لواقط بحرية طافية
Fluid	سائل
Frequency	تردد
Frequency domain	مجال التردد
Frequency filtering	تصفية الترددات
Fresnel zone	نطاق فرينيل
Fundamental(natural)Frequency	التردد(الطبيعي)الأساسي

G

Gain, automatic	تقوية، آلية
Gain control	التحكم بالتقوية
Geophone	لاقط
Geophone group	مجموعة لواقط

Geophone cable	كبل اللواقط
Geophone delay time	التأخير الزمني للاقط
Geophone spacing	تباعد اللواقط
Global Positioning System(GPS)	نظام تحديد الموقع عالميا
Gradient	تدرج
Ground roll	أمواج سطحية

H

Hammer energy source	مطرقة منبع الطاقة
High-cut filter	مصفي الترددات العالية
High-resolution survey	مسح ذو تمييز عالي
Hilbert transforms	تحويلات هلبرت
Hooke`s law	قانون هوك
Horizontal velocity analysis	تحليل السرعة الأفقية
Horizontal geophone	لاقط أفقي
Horizontal reflector	عاكس أفقي
Horizontal resolution	تمييز أفقي
Horizontal vibrator	رجاج أفقي
Hovercraft as Vibroseis source	حوامة كمنبع رجاج للطاقة
Huygens` principle	مبدأ هايغن
Hydraulic hammer	مطرقة هيدروليكية
Hydrocarbon indicators(HCI)	مؤشرات هيدروكربوناتية
Hydrocarbon migration	هجرة الهيدروكربونات
Hydrocarbon reservoir	خزان نفطي(هيدروكربوناتي)
Hydrophone	لاقط بحري (هيدروفون)

I

Image point	نقطة (منبع) وهمية
Impulse	نبضة
Impulsive sources	منابع نبضية
Incoherent noise	ضجيج (شغب) عشوائي
In-line offset spread	نظام رصد جناحي
Instantaneous floating point(IFP)	فاصلة عائمة(متحركة) لحظية
Instantaneous frequency	تردد لحظي
Instantaneous phase	طور لحظي
Instantaneous velocity	سرعة لحظية
Interval velocity	سرعة طبقية
Interpretation	تفسير

K

Kirchhoff`s formula	معادلة كيرشوف

L

Lame`s constants	ثوابت لاما
Land seismic survey	مسح سيسمي قاري
Large surface sources	منابع سطحية كبيرة
Lateral velocity variation	تغير السرعة الجانبي
Law of reflection	قانون الانعكاس
Law of refraction(Snell`s law)	قانون الانكسار(قانون سنيل)
Line filter	مصفي خطي
Linear array	نظام رصد خطي
Linear source	منبع خطي
Locating the streamer	تحديد موقع الكبل البحري

Longitudinal wave (P)	موجة طولية
Love waves	أمواج لوف
Low-cut filter	مصفي الترددات المنخفضة
Low-velocity layer (LVL)	طبقة منخفضة السرعة

M

Magnetic compasses in streamer	بوصلات مغناطيسية في الكبل البحري
Marine positioning (navigation)	تحديد الموقع في البحر
Marine profiling	مسح بحري بروفيلي
Marine survey	مسح بحري
Maximum depth	عمق أعظمي
Midpoint	نقطة وسطى(نقطة الانعكاس)
Migrated section	مقطع مهجر
Migration	تهجير
Migration methods	طرائق التهجير
Minimum-phase wavelet	مويجة (نبضة) الطور الأصغري
Model	نموذج
Modeling	نمذجة
Multiple geophones	لواقط متكررة (متعددة)
Multiple sources	منابع متكررة(متعددة)
Multiple sources and streamers(3D)	المنابع والكبلات المتكررة
Multiple wave	أمواج متكررة(ضوضائية)

N

Natural frequency	تردد طبيعي
Navigation ,(marine)	تحديد الموقع(البحري)
Navigation computer	حاسب الملاحة(على السفينة لعمليات المسح)

NMO(normal moveout)	التباعد الزمني الطبيعي
Noise	شغب ، ضجيج
Nonimpulsive sources	منابع غيرنبضية
Notch filter	مصفي الحز
Normal fault	فالق عادي
Nyquist frequency	تردد نيكوست

O

Offset space	مسافة الإزاحة
Optimum filter	مصفي نموذجي (أمثل)
Organization of land crews	تنظيم مجموعات العمل القارية
Organization of marine crew	تنظيم مجموعات العمل البحرية

P

P- wave	موجة طولية
Parameter checking	تدقيق المعاملات
Parameter determination	تحديد المعاملات
Period of wave	دور الموجة
Phase	طور
Piezoelectric energy source	منبع طاقة بيزوكهربائي
Piezoelectric Hydrophone	لاقط بحري بيزكهربائي
Poisson's ratio	نسبة بواصون
Porosity	مسامية
Preamplifier	مضخم أولي

Pressure	ضغط
Processing seismic data	معالجة المعطيات السيزمية
Profile(line)	مسار أو خط الرصد أو المسح

Q

Q(Quality factor)	عامل النوعية
Q-correction	عامل التصحيح

R

Radar	رادار
Range	مجال
Rayleigh waves	أمواج رايلي
Raypath	مسار الشعاع
Raypath parameter	معامل مسار الشعاع
Reel for streamer	بكرة الكبل البحري
Recording	تسجيل
Reflected wave	موجة منعكسة
Reflecting point	نقطة عاكسة
Reflection coefficient	عامل الانعكاس
Reflection methods	طرائق انعكاسية
Reflection paths	مسارات الانعكاس
Reflection survey on land	مسح انعكاسي قاري
Refraction survey on land	مسح انكساري قاري
Refracted wave	موجة منكسرة
Refraction methods	طرائق انكسارية
Reservoir	خزان
Resolution	تحليل أو تمييز
Ricker wavelet	مويجة(نبضة) ريكر
Root-mean-square(rms)velocity	سرعة جذر متوسط السرعة

S

S-wave	موجة عرضية
Salt dome	قبة ملحية
Salt pillows	وسائد ملحية
Satellite positioning	تحديد الموقع عن طريق القمر الصناعي
Sea-level changes	تغيرات مستوى سطح البحر
Second arrivals	وصولات ثانوية
Seismic amplifier	مضخيم سيسمي
Seismic Processing data	معالجة المعطيات السيسمية
Seismic event	حادث سيسمي
Seismic Hydrocarbon indicators	مؤشرات الهيدروكربونات السيزمية
Seismic record	سجل سيسمي
Seismic ship	سفينة سيسمية
Seismic stratigraphy	ستراتغرافية سيسمية
Seismic velocity	سرعة سيسمية
Seismograph	سيسموغراف(جهاز سيسمي)
Seismometer(geophone)	مسجل سيسمي (لاقط)
Shear modulus	معامل الجز أو القص
Shear wave	موجة عرضية
Shooter	فريق التفجير السيسمي
Shot depth	عمق نقطة التفجير
Shotpoint	نقطة التفجير(المنبع)
Signal/noise	نسبة الإشارة إلى الضجيج
Simulation model	نموذج محاكاة
Small surface sources	منابع سطحية صغيرة
Snell's law	قانون سنيل
Sonar positioning	تحديد الموقع بالسونار
sound navigation and ranging(Sonar)	السبر بالصدى
Source	منبع ، مصدر
Spread	نظام انتشار اللواقط

Stack	تكديس (جمع التسجيلات)
Statics corrections	تصحيحات ساكنة
Stoneley waves	أمواج ستونلي
Strain	الجهد (الانفعال)
Stress	إجهاد
Streamer	كبل اللواقط البحري
Syncline	مقعر
Surface energy source	منبع طاقة سطحي
Surface waves	أمواج سطحية

T

3-D method	طريقة المسح ثلاثية الأبعاد
Thin bed	طبقة رقيقة
Three-component borehole geophone	لاقط بئري ثلاثي المركبات
Three-component recording	تسجيل ثلاثي المركبات
Time	الزمن
Time-distance curves =Traveltime curves	منحنيات المسافة-الزمن
Trace	أثر
Traveltime curves	منحنيات المسافة-الزمن

U

Uphole geophone	لاقط بجانب بئر التفجير
Uphole survey	مسح سيسمي بئري
Uphole time	الزمن الشاقولي البئري

V

Velocity analysis	تحليل السرعة
Velocity logging(sonic log)	قياس السرعة في الآبار
Velocity types	أنواع السرعة
Velocity spectrum	طيف السرعة
Vertical resolution	تمييز عمودي
Vertical section (3D)	مقطع شاقولي (ثلاثي الابعاد)
Vertical seismic profiling(VSP)	مسح سيسمي شاقولي (البئري)
Vertical stacking	تكديس شاقولي
Vertical velocity gradient	تدرج السرعة الشاقولي

W

Watergun	مدفع مائي
Wave amplitude	سعة الموجة (المطال)
Wave frequency	تردد الموجة
Wave phase	طور الموجة
Wave energy	طاقة الموجة
Wave equations	معادلات الموجة
Wave motion	حركة الموجة
Wave path	مسار الموجة
Wavefront	مقدمة الموجة
Wavelength	طول الموجة
Wavelet	مويجة أو نبضة أو إشارة
Wavenumber	عدد موجي
Weathered layer	طبقة التجوية
Weathering layer corrections	تصحيحات طبقة التجوية
Weathering layer velocity	سرعة طبقة التجوية
Weight drop	وزن هابط (ساقط)

Well data	معطيات بئرية
Window(time interval)	نافذة زمنية(فاصل زمني)

X

X^2-T^2 curves	منحنيات مربع المسافة- الزمن
X^2-T^2method	طريقة مربع المسافة-الزمن

Y

Young`s modulus	معامل يونغ

Z

Z-transform	تحويل z (زد)
Zero-phase wave	موجة ذات طور صفري
Zig-zag source line	خط منابع متعرج الشكل

اللجنة العلمية :

الأستاذ الدكتور رامز ناصر

الأستاذ المساعد الدكتور عصام جبور

الأستاذ المساعد الدكتور رياض طيفور

المدقق اللغوي :

الدكتور ماجد أبو ماضي

– حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات–

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University