الفصل العاشر
أنواع السدود ومتطلبات إنشائها

١- المقدمة:

السد هو منشأ هيدروليكي يقام متعامدًا مع (Across) النهر لتخزين المياه على جانب اتجاه المنبع (Up stream). عند إنشاء السد فإن منسوب المياه في النهر على جانب اتجاه المنبع يزداد كثيرًا بما ينتج عنه تكوين خزان (Reservoir). عندئذ يستخدم الماء عند الحاجة إليه طبقًا للغرض من تصميم الخزان سواء كان لاستخدامه في غرض واحد أو لعدة أغراض مثل الري، توليد الطاقة الكهربية، أو الإمداد بالماء أو الري.

السد يختلف عن الهدار (Weir) في أنه بينما السد يجمع ويحجز المياه باستمرار على جانب اتجاه المنبع، فإن الهدار يرفع فقط الماء بصفة مؤقتة على جانب. لذلك فإن الهدارات يشار إليها كذلك كسدود تحويل (Diversion Dams).

٢- تقسيم السدود (Classification of Dams)

السدود يمكن تقسيمها طبقًا للغرض من إنشائها، وتصميمها الهيدروليكي ومواد الإنشاء المستخدمة كالآتي:

أ – طبقًا للغرض من إنشائها (Based on Function) حيث يشمل التقسيم:

سدود التخزين: لتخزين المياه من إذابة الجليد وترسيبات الأمطار خلال الفصول الممطرة للاستخدام خلال العام طبقًا للحاجة إلى الماء في مجال الري وفي توليد الطاقة الكهربية.

سدود التحويل: أساسًا لرفع مستوى الماء في النهر بهدف توفير الضغط اللازم لتحويل المياه نحو القنوات مثال، الهدارات، والسدود (Barrages)، لا يتم تكوين خزان.

ارتفاع السد يكون أقل كثيرًا. عند التدفق العالي تمر المياه خلال أو فوق تلك السدود بينما خلال التدفق الطبيعي، فإن النهر يكون غالبًا محولاً نحو قنوات الري.

سدود الحجز: (Detention Dams): تنشأ لتخزين الماء خلال الفيضانات ثم تطلقه بالتدريج بعد ذلك عند انحسار الفيضان. لذلك فإن السدود تكون قادرة على التحكم، أو خفض ذروة الفيضانات العالية.

ب- طبقًا للتصميم الهيدروليكي:

السدود غير ذات التدفق العلوي (Non-over flow Dams): وهي تلك السدود أو الجزء من السد الذي لا يسمح بتدفق الصرف الزائد للخروج من قمة السد. لهذا السبب، فإن قمة السد تظل عند مستوى أعلى من أقصى منسوب للمياه في الخزان.

السدود ذات التدفق العلوي: (Over Flow Dams): وهي تصمم لحمل التصرف الزائد فوق جزء من السطح العلوي للسد (Crest Portion). والذي يسمى المفيض أو قناة تصريف الفائض (spill wag). منسوب السطح العلوي للسد يظل منخفضًا عند قمة الجزء الآخر من السد – نظرًا لأن الماء ينهمر على الوجه المقابل لاتجاه مجرى النهر (Downstream) فإنه يكون مقامًا من مواد ليس من السهل تآكلها، من الخرسانة أو البناء. عادة يكون في مشروع وادي النهر كلا نوعي السد الذى بغير التدفق العلوي وبالتدفق العلوي مجتمعين معًا بحيث يكون السد الرئيسي من نوع غير التدفق العلوي المنشأ من مواد جامدة (Rigid) – لا ينفعل شكلاً أو حجمًا بتأثير القوى الخارجية بينما الجزء الصغير، في مكان مناسب، يعمل كسد التدفق العلوي ومصنوع من المواد الجامدة.

جـ- طبقًا لمواد الإنشاء:

هذا هو التقسيم العام ويشمل النوعين الآتيين:

السدود الجامدة: (Rigid Dams)

وهي تنشأ مواد جامدة مثل الخرسانة، البناء، الصلب، الأخشاب ولذلك فإنها تسمى سدود خرسانية، سدود من مواد البناء، سدود من الصلب، وسدود خشبية. من هذه السدود الصلبة لا تستخدم عادة والسدود الخشبية قد تنشأ بصفة مؤقتة لفترة عمرية تقل عن ٥٠ عامًا.

السدود الخرسانية تنقسم إلى سدود الثقالي (Gravity Dams) والذي يحول ثقله دون انهياره، سدود العقد أو القنطرة (Arch Dams)، السدود الكتفية، المدعمة بالدعائم الكتفية (Buttress Dams). بينما سد الجاذبية المصمت (Solid Gravity) هو الأكثر صلابة ويتطلب أقل صيانة، السدود المجوفة أو المقعرة (Hollow) تنشأ من الخرسانة المسلحة من نوع الدعائم الكتفية.

السدود غير الصلبة:(Non Rigid Dams)

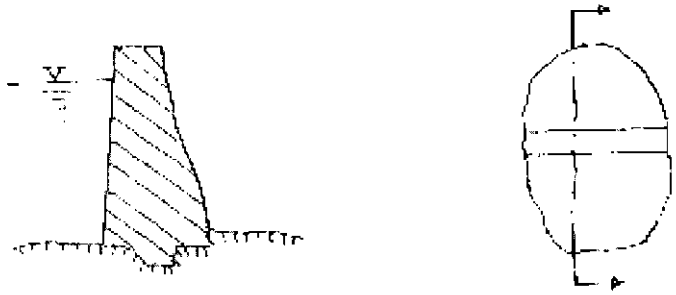
وهذه تنشأ من مواد غير صلبة من مواد التربة (Earth Rock fill Dam)

ولذلك تسمى سدود التربة والملئ بالصخر(Earth and Rock fill Dams)

جدول (١) تقسيم بعض أنواع السدود في العالم.

اسم السد	الدولة	النوع	الارتفاع بالمتر
أسوان	مصر	ترابي	١١٥
هونوفر	أمريكا	المقنطرة	٢٢٢
نيريك	روسيا	ترابي	٣٠٠
فاجونت	إيطاليا	المقنطر	٢٦٢
ميكا	كندا	ترابي	٢٣٥
أورفيل	أمريكا	ترابي	٢٣٥

الشكل (١٠/١) يوضح أنواع السدود



شكل (١٠/١) أنواع السدود

٣-اختيار نوع السد:

توجد عدة عوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند اختيار نوع السد. وهذه تشمل الأمان، الاقتصاد، وطبوغرافية موقع السد، والحالة الجيولوجية، للأساسات، وكذلك العوالم الهيدرولوجية (الخاصة بالمياه الجوفية) والهيدروليكية ووفرة مواد الإنشاء والمناخ. وتلك سيتم مناقشتها كالآتي:-

أ – الأمان: هو الاعتبار الأهم والذي قد يتفوق على باقي الاعتبارات، حيث فشل السد له طبيعة كارثية التي لا يسمح بها. تأمين موقع السد يكون بالنسبة للأساس وبعض الخواص لموقع معين – لذلك، فإن السد الخرساني المصمت يعتبر الأكثر أمانا شريطة توفير الأساسات القوية الجيدة وتوفر الوصول إلى الوادي الضيق للنهر.

ب– العامل الاقتصادي: هو التالي من بين الاعتبارات. التحليل الاقتصادي يجب أن يبنى على اقل تكلفة لأنواع السدود مع اعتبار التكلفة الرأسمالية للإنشاءات وكذلك تكاليف الصيانة.

جـ– طبوغرافية موقع السد: هي اعتبار هام آخر. لذلك فإنه لموقع السد ذو الخانق الضيق (Norrow canyou) وأكتاف قوية (Strong Abutments) ذات صخور جيدة، فإن سد العقد أو القنطرة (Arch) سيكون مناسب بينما في حالة الموقع ذو طبقة أساس صخرية جيدة ولكن الأكتاف ضعيفة فإن سد الجاذبية سيكون هو المناسب.

د – جيولوجية الأساس: إذا كانت جيولوجية الأساس انه لا توجد صخور جيدة متاحة، فإن الموقع لا يكون مناسبًا لنوع السد بالجاذبية. ولكن في حالة توفر الصخر الجيد وعلى مسافة كبيرة أسفل السطح، فإن السد الترابي سيكون مناسب جدًا واقتصادي وخاصة إذا كان المطلوب مد بارتفاع كبير.

هـ – العوالم الهيدرولوجية والهيدروليكية: إذا كان موقع السد يتضمن انحراف النهر، فقد يكون من الضروري إنشاء نفق أو قناة تحويل مسار كل التدفق خلال إنشاء النفق والذي يتطلب وجود صخور قادرة على التحمل (مناسبة جيولوجياً وطبوغرافيا) لإقامة سد خرساني مصمت. الحاجة إلى مفيض عند مكان معين في حالة السد الركامي (Earth) هو من الاعتبارات الهامة حيث أنه ليس من الأمان

السماح بتدفق المياه بكميات كبيرة والانسكاب مباشرة فوق جدار السد الناعم في حالة رصفه جيدًا.

و- توفر مواد الإنشاء: في حالة وجود مواد إنشاء مناسبة في الموقع، فإن تكلفة السد ستكون منخفضة بسبب انخفاض تكاليف النقل. لذلك، فإنه في حالة وفرة بعض أنواع مواد التربة بسهولة فإنه في هذه الحالة يقترح السد الركامي (Earth Dam).

ز- الظروف المناخية: وهي كذلك تؤثر على اختيار نوع السد في الأماكن ذات حالات البرودة الشديدة، ونظرًا لأن الخرسانة تتشظى مع التجمد والتمدد المتبادل، حيث لا تكون السدود من العقود أو المدعمة بالدعائم الكتفية مناسبة.

٤- اختيار موقع السد (Selection of Dam site)

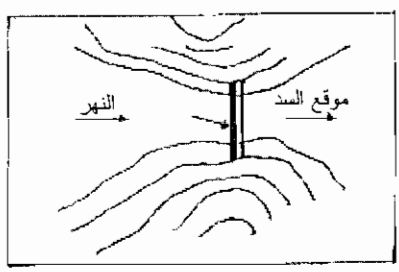
اختيار موقع السد يتم طبقًا لعدة عوامل كالآتي:

أ- طبيعة التأسيس: Character of fouudations

التأسيس الجيد يجب أن يكون متاحًا عند العمق المتوسط لتأمين المنشأ وكذا لاقتصاديات الإنشاء.

ب- الطبوغرافية:

يتم اختيار موقع السد في وادي ضيق، الشكل (٢). كلما كان طول السد صغيرًا، كلما كانت التكلفة أقل. كذلك فإن وادي النهر يجب أن يكون منتشراً كالمروحة (Fan) على جانب اتجاه المنبع (upstream) لتوفير طاقة خزان كبيرة لارتفاع معين.



شكل (٢/١٠) موقع السد فى وادى ضيق

جـ- العوامل الهيدرولوجية:

وهذه تشمل الصرف أو الانسياب السطحي (Run off) في مستجمع الأمطار (catchment) والراسب لماء النهر. مستجمع الأمطار فوق التيار على جانب المنبع لموقع السد يجب أن يوفر استمرار تدفقات الأمطار المؤكدة، بجانب أن ماء النهر يجب أن لا يحتوي على أحمال رواسب كبيرة والتي تسبب تراكم الغرين في الخزان وبذا تقلل من كفاءة التخزين.

د- طاقة المفيض (Spillway capacity):

يجب أن يكون مكان موقع المفيض في جسم السد أو قريبًا منه للتخلص من مياه الفيضان الزائد. وهذا يعتبر شديد الأهمية في حالة السد الركامي (Earth Dam).

هـ- وفرة مواد الإنشاء:

معظم المواد اللازمة لإنشاء الخزان يجب أن تكون متاحة قريبًا من الموقع وذلك لخفض تكلفة الإنشاء.

و- قيمة الأرض المغمورة:

قيمة الأرض أو الممتلكات المحتمل إغراقها بسب إنشاء السد يجب أن تكون أقل من الفائدة التي تعود من مشروع السد.

ز- سهولة الاقتراب من الموقع:

موقع السد يجب أن يكون من السهل الوصول إليه سواء بواسطة طريق أو سكة حديد لتسهيل نقل مواد الإنشاء والمعدات.

ح- وسائل الإعاشة:

يجب توفير إمكانية السكن والإعاشة الجيدة للعاملين وذلك لتحقيق أفضل جهد إنتاجي. كذلك فإن المكان يجب أن يكون ذو مناخ صحي.

٥- الدراسات والأبحاث الحقلية للموقع (Site Investigations)

قبل البدء في تصميم وإنشاء السد، فإنه يكون من الضروري عمل الدراسات والأبحاث الحقلية لتعيين أفضل موقع مناسب للسد. مثل هذه الدراسات والأبحاث تنقسم إلى الاستطلاع بالمعاينة، الأبحاث الأولية، والأبحاث النهائية.

أ- الاستطلاع بالمعاينة (Reconnaissance survey)

هذه معاينة عامة والتي تتم لتعيين جدوى المشروع، المظاهر الطبوغرافية للمنطقة والمواقع الممكنة المتاحة لإقامة السد المقترح. يتم الاستطلاع بالمعاينة وبدون استخدام أي أجهزة مساحية.

ب- الأبحاث الأولية: (Preliminary investigation)

وهذه يلزم عملها لتعيين الموقع الاقتصادي المناسب من بين عدة مواقع تم اختيارها عند إجراء الاستطلاع بالمعاينة وتبنى على جميع البيانات الفنية الموثوق بها تمكن من التصميم الأولي وتقدير تكاليف الإنشاء، الأبحاث الأولية تتم طبقًا للبنود التالية.

(١) المساحة الهندسية وعمل الخرائط الطبوغرافية:

المساحة الهندسية تتم باستخدام أجهزة مساحية والتي تشمل المساحة باللوحة المستوية (Plane Table survey)، المساحة المثلثية (Trainglular).

والمساحة الجوية والفوتوغرافية (A real And Photographic surveys).

الهدف الرئيسي هو لإعداد خريطة طبوغرافية للمساحة التي تمكن من ا لتحديد المدقق لموقع السد، وانتشار ماء الخزان وطاقته التخزينية وتنظيم خطوط المواصلات، الطرق السريعة والسكك الحديدية لتحرك مواد الإنشاء ومعدات وآلات الإنشاء الثقيلة.

(٢) الأبحاث الجيولوجية:

وهذه تتم لتعيين إحكام الماء في حوض الخزان (عدم التسرب)، طبيعة التكوينات الصخرية وعمق التحميل المفرط فوق الطاقة (Depth of over

(burden)، خصائص الظواهر الصخرية مثل خطوط الاتصال (Seams)، التصدعات، التشققات ونوع المواد في التحميل المفرط أو الطبقة الصخرية، الأبحاث تتم على مرحلتين (١) الاستكشاف السطحي وعمل الخرائط للظواهر العامة (٢) الاستكشاف تحت السطح والذي يتم خلال الحُفَر المكشوفة، عمل الأنفاق أو الحُفَر في أجناب وقاع الوادي.

(٣) مواد الإنشاء المتاحة:

استكشاف مواد الإنشاء المتاحة مثل الأتربة، الزلط، الركام الدقيق (رمل وحصى Aggregate يوفر المعلومات المفيدة نحو اختيار نوع السد من بين السد الترابي، السد الخرساني.

(٤) المساحة الهيدرولوجية (Hydrological survey)

وهذه تشمل المعلومات الهيدرولوجية التي تمكن من تعيين إمكانيات تخزين المياه عند موقع السد. وتلك تشمل نمط وشكل سقوط الأمطار والانسياب السطحي في مستجمع الأمطار (Run off in the detachment)، الميل العام للأرض، ونوع ومعدل إنصباب الطمي (Silt Inflow)..إلخ.

جـ- الأبحاث النهائية: (Final Investigations)

بعد إتمام الأبحاث الأولية لعدة مواقع والحصول على البيانات الفنية ذات العلاقة وتقديرات التكلفة، فإنه يكون من الضروري اختيار أحد تلك المواقع لعمل الأبحاث النهائية التفصيلية بما يمكن من تحضير التصميمات التفصيلية لعناصر الإنشاء للسد والوصول إلى تقديرات محددة لتكلفة الإنشاء. يمكن الإشارة إلى أنه بهذه العملية يكون من الممكن التخلص من تكلفة المباحث الأولية التفصيلية غير الضرورية التي تمت في المرحلة الأولى على الموقع. كمثال، في حالة موقع السد الذي تكون ظروفه تحت السطحية (Subsurface conditions) غير مناسبة، والذي يلزم تجنبها واستبدالها بموقع آخر للسد يكون مفضلاً، فإنه يوجد القليل من التبرير نحو المعاناة وتكلفة المباحث الأولية في المرحلة الأولى.

المباحث النهائية تشمل النقط الرئيسية الآتية للمشروع:

(١) السلبيات والإيجابيات النسبية لاثنين أو أكثر من مواقع السد لتقييم الاختيار النهائي لواحد منهم.

(٢) طبيعة التأسيس عند المواقع بالنسبة لتأمين السد والتكلفة.

(٣) نوع السد الذي سيتم إنشاؤه.

(٤) التقييم الدقيق للتكلفة التقديرية للمشروع.

(٥) التصميم التفصيلي لإنشاء السد.

(٦) الوضع النهائي للسد ووحداته التكميلية مثل محطة الطاقة، خطوط المواصلات، السد المؤقت (Coffer Dam)، الطرق، السكك الحديدية، وموقع الإنشاء.

٦- الاستكشافات تحت السطح (Subsurface Exploration)

وهذه تتم لتوفير معلومات مفيدة عن الطبقات تحت التربة عند موقع السد (Subsurface strata). في حالة التحميل الزائد قد يكون من الضروري التأكيد على أن المواد المكونة لضمان تأمين أرض الخزان الذي سيتم إنشاؤه. ولكن في حالة وجود طبقة صخرية في التأسيس عند الموقع، فقد يكون من الضروري معرفة قوتها أو ضعفها قبالة السد الخرساني المقرر إقامته عند الموقع.

الاستكشافات تحت السطح تتم بالطريقتين الآتيتين:

(١) الطرق الرئيسية.

(٢) الطرق الإضافية.

وصف مختصر لكلاً الطريقتين:

١- الطرق الرئيسية:

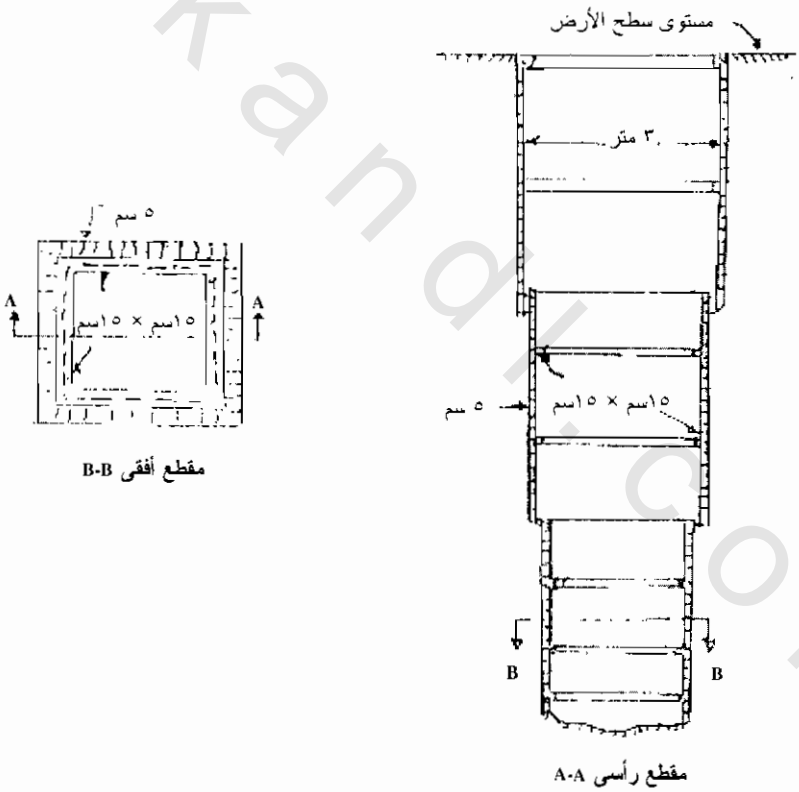
وهذه مبنية على مكان الطبقة الصخرية أو التحميل الزائد ويشمل الطرق الآتية:

obeikandl.com

(١) حفر الاختبار (Test Pits)

حفر الاختبار هي حفر مكشوفة أو خنادق يتم حفرها لاستكشاف تحت الأرض للأحمال الكبيرة في حالة عدم اضطراب بهدف تعيين طبيعة، ونفاذية وقوة التحمل الكبير(Over burden). لذلك، فإن عينات المواد الطبيعية التي لا يتم اضطرابها يتم وضعها في سلسلة من الاختبارات العملية. وتلك الاختبارات تكون ضرورية تحديدًا في حالة الطفلة، الطفلة الرملية، الرمال الناعمة.

يتم حفر الحفر بمسطح مساحة عادية من ١,٢٥ متر × ١,٢٥ متر حتى أقصى عمق مطلوب ٢ متر. بالنسبة للأعمال الكبيرة حتى ١٨ متر تكون مساحة سطح الحفرة ٣ متر × ٣ متر مع توفير الأخشاب والألواح المساندة لمنع انهيار الأجناب شكل (٣/١٠).



شكل (٣/١٠) تبطين حفرة الاختبار

(٢) نفق الاختبار الرأسي: (Test shefts)

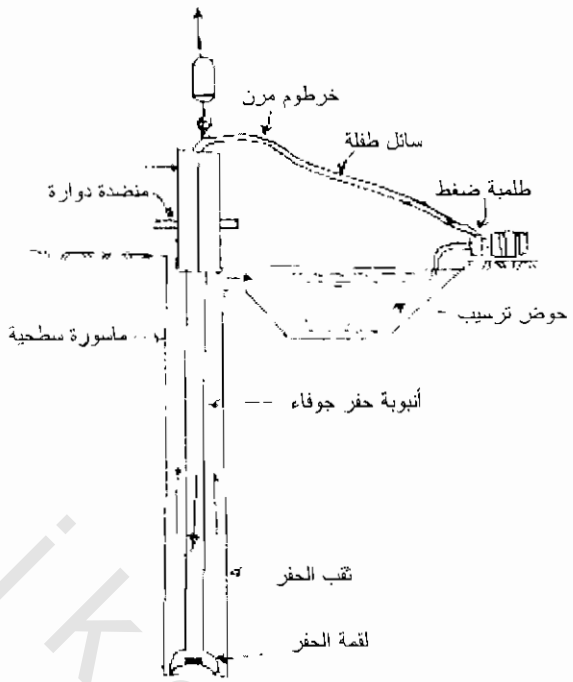
وهذه هي أنفاق (Tunnels) في جانب الوادي أو الأكتاف الصخرية للتمكين من التفتيش والبحث على الواقع كما في حالة حفر الاختبار. أبعاد نفق الاختبار الرأسي يلزم أن تكون طويلة إلى حد ما وفي جميع الحالات لا تقل عن ١,٥ متر × ١,٥ متر.

(٣) الحفر بالمثقاب الأجوف لاستخراج العينات الجوفية (Core Drilling)

ويتم ذلك الحفر للحصول على عينة غير مضطربة على أعماق كبيرة وخفض التكاليف، إنه يكون لزاما حفر بئر الحفر (Porehole) باستخدام الحفر الدوار وأخذ عينات العمق في حالة غير مضطربة من العمق المطلوب. الطرق المستخدمة عادة هما المثقاب الماسي (Diamond Drilling) الحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية (Calyx Drilling).

(أ) المثقاب الماسي: وهو يستخدم أنبوبة تخريم جوفاء بحلقة من الصلب مثبت بها ماسات (set with Diamonds) وتدور بواسطة طبلية الحفر الدوارة (Rotary Table) والتي تعمل بمصدر الطاقة.

سائل الحفر الذي يتكون من الطفل الدقيق أو من البنتونايت من حوض الترسيب يتم ضخه بأنبوب الحفر شكل (١٠/٤). والتدفق خلال الفتحة الموجودة عند قاع الحفر، يتم حمل المادة المفككة إلى السطح بواسطة سائل الحفر الذي يمر خلال الفراغ الحلقي (Angular space) مابين أنبوب الحفر وحوائط ثقب الحفر. مع المرور خلال الفراغ فإن السائل يمنع الانهيار وذلك بطلاء وتدعيم تكوينات التربة التي تم اختراقها. أنبوب التغليف (casing pipe) تتبع لقمة الحفر (Drill pit) وتسقط بفعل وزنها. المواد المفككة يتم الحصول عليها في شكل عينة جوفية (Core) عند رفع عمود أنبوب الحفر، الاسطوانة الجوفية (Core Borrel) ولقمة الحفر.

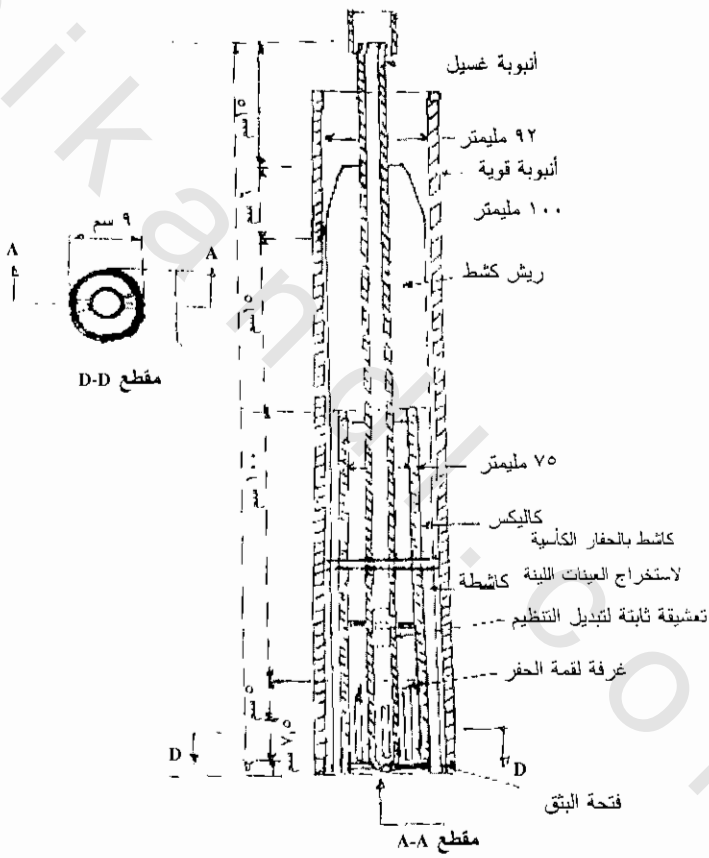


شكل (١٠/٤) حفر الماسة بطريقة الدوران المباشر

(ب) الحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية (Calyx Drilling) لأخذ العينات غير المضطربة، يكون من الضروري أن طبقة التربة القريبة مباشرة من ثقب الحفر تكون عند أدنى اضطراب ولا يوجد تغير في خواص التربة بسبب تشبعها بالرطوبة. استخدام الحفر البريمي بالمثقاب والتنفيث (Jet Auger) ذو الكاشطة بالحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية يساعد في التغلب على صعوبة الحصول على عينات غير مضطربة لطبقة التربة. يتم تركيب مثقاب الحفر حول أنبوبة التنفيث (Jet pipe) ذات الثقوب عند أطرافها السفلى والحاملة لأنبوب رقيق الجدار يسمى (كالكس Calyx--) عند نهايته العليا شكل (٥). هذه الكالكس لها كاشطات على الخارج. إجمالي العمود يتحرك في أنبوبة الغلاف (Casing pipe). عند دوران أنبوبة التنفيث فإن المادة تتفكك بواسطة الكاشطات الجانبية وتحمل بواسطة ماء الغسيل المتدفق إلى أعلى ما بين أنبوبة الغلاف والكالكس (الحفارة الكأسية). عند مرور

obeikandl.com

التربة المحملة بالماء إلى أعلى الحفارة الكاسية (الكالكس) فإن السرعة تنخفض فجأة وبشدة حيث ينتج عن ذلك ترسيب المادة الخشنة والطفلة في الحفارة الكأسية (الكالكس) بينما المادة الخشنة والطفلة في الحفارة الكأسية (الكالكس) بينما المادة الدقيقة تحمل إلى خارج أنبوبة الغلاف بواسطة ماء الغسيل. عمود أنبوبة التنفيث والحفارة الكأسية ومثقاب الحفر يتم سحبهم إلى الخارج وإزالة العينة الصلبة من الكالكس. آبار الاختبار تنشأ عمومًا على فواصل من ٢٠-٢٥ متر. في اتجاهين بزوايا قائمة لكل منهم.



شكل (١٠/٥) الحفر بطريقة كالكس

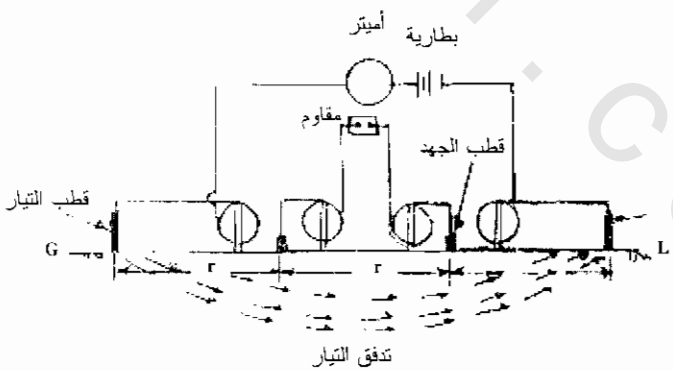
٢- طرق إضافية:

تلك الطرق تستخدم غالبًا في الطبقة الصخرية لتأكيد المعالم السطحية العامة للصخر بما يمكن من حفر بئرين آخرين خلال الحمل أو التحميل المفرط للوصول إلى طبقة عند أعماق أكبر. تحديدًا، القليل من آبار الحفر المنتشرة على اتساع يتم اختيارها لتعمل كآبار إرشادية. لذلك، فإن هذه الطرق تؤدي إلى تفهم أفضل للطبقة تحت السطحية مع خفض تكلفة الاستكشاف.

من بين الطرق الإضافية الهامة طرق المقاومة الكهربية والقياسات الزلزالية (seismic) المستخدمة أساسًا.

(١) طريقة المقاومة الكهربية: (Electrical Resistivity Method)

هذه الطريقة مبنية على مقاس مقاومة التوصيل التفاضلي Differential conductivity للرطوبة في الطبقة الصخرية عند أعماق مختلفة. القياس يتم بواسطة معدة في دائرة كهربية شكل (١٠/٦). المعدة تشمل قطبى التيار للإمداد من بطارية كمصدر للتيار أسفل الطبقة السفلية (Substrata) وقطبى جهد لاستمرار فرق الجهد للمجال الكهربى.



شكل (١٠/٦) طريقة المقاومة الكهربية

تقاس المقاومة الكهربية بالعلاقات التالية:

$$R = \frac{2\Pi r E}{I} \qquad (1)$$

حيث:

R = المقاومة (أوم – متر)

r = الفاصل بين الأقطاب (بالمتر)

E = فرق الجهد (فولت)

I = التيار أمبير.

بزيادة الفاصل بين الأقطاب (r) بالتدريج، فإنه يمكن رصد التغيرات في المقاومة الكهربية عند أعماق مختلفة.

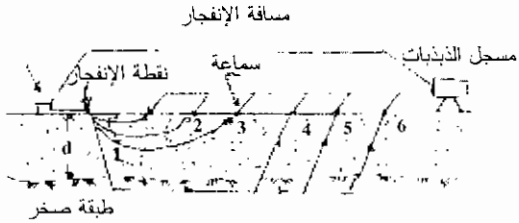
(٢) طريقة القياس الزلزالي (Seismic measurement Method)

الطريقة مبنية على قياس سرعة وتقدم الموجات التي يسببها الانفجار لمختلف طبقات الصخر خلال طرق التحميل الصخري ومعناها عمق الطبقة مع المسافة التي عندها يحدث تأثير متساوي للموجات الزلزالية لقاع وقمة الطبقة الصخرية.

المعدة الموضحة في الشكل (١٠/٧) تتضمن مستقبل الموجات الذي يسمى السماعات الأرضية (Geophone) أو لاقطات الإرسال (Pick - Ups) المثبتة على عدد من النقاط متساوية المسافة على خط واحد (٣٠متر) لتكبير ونقل الموجات الزلزالية التي يسببها تفجير عبوة في الأرض الموضوعة عن نقطة الانفجار.

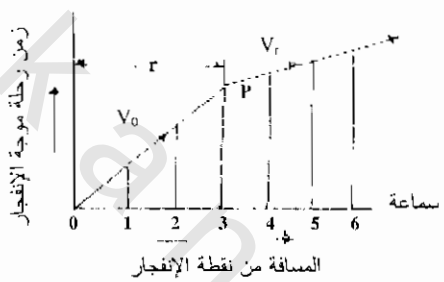
بعض الموجات التي تحدث يمكن أن تسير مباشرة قرب سطح الأرض بسرعة (V_o) والبعض الآخر تعبر الطبقة الحاملة ثم تنعكس من الطبقة الصخرية بسرعة (V_r). توقيت كلا من الموجتين يتم تسجيله بواسطة ساعة توقيت رسم الذبذبات (Oscillograph -cum- Timer).

obeikandl.com



شكل (١٠/٧) معدة قياس الإنفجار

المسافة من نقطة الانفجار التي عندها تتغير السرعة من V_0 إلى V_r يتم تعيينها بالرسم البياني من العلاقة بين زمن رحلة الموجة الزلزالية على المحور الرأسي مع مسافة السماعة الأرضية من نقطة الانفجار الموقعة على المحور الأفقي شكل (١٠/٨).



شكل (١٠/٨) العلاقة بين زمن الرحلة لموجة الإنفجار مع المسافة من نقطة الإنفجار

عند نقطة التقاطع (P) للموجات التي تسير بسرعة V_0 والموجات بسرعة V_r، فإن كلاً من الموجة المباشرة والمنعكسة تصل في نفس الوقت. المسافة (r) لنقطة تغير السرعة يتم تسجيلها.

يتم تعيين عمق التحميل الزائد (d) من العلاقة:

$$d = \frac{r}{2}\sqrt{\frac{V_r - V_0}{V_r + V_0}} \qquad (2)$$

حيث:

d ، r بالأمتار وكلا من V_0 ، V بالمتر /الثانية.