

الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

دراسة مشاكل التسرب بسد كودنة الترابي و اقتراح الحلول المثلى لها

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة وإدارة الموارد المائية

إعداد

المهندسة روعة ممدوح الظلمة

إشراف

مشرف مساعد

أ.د. بسام ابراهيم

مشرف أساسي

د.م. شعبان حديد

Syrian Arab republic

Ministry of Higher Education

ALBaath University

Faculty of Civil Engineering

***"Studying Leakage Problems in the Kodana Earth Dam and
Suggesting Optimal Solution For Them"***

A study prepared for a master's degree in water resources engineering and management

Preparation

Eng. Rouah Mamdoh Alzulmah

supervision

Supervisor

Dr.Eng. Shaban Hadid

Associate Supervisor

prof.Bassam Ibrahim

إهداء

إلى الجسد الغائب , و الروح الحاضرة , و الطيف الذي يرافقتني في كل مكان

والدي

إلى المرأة التي وقفت بجاني و شجعتني على الاستمرار إلى المنارة التي مازالت تضيء دربي

والدتي

إلى من وقف بجاني و ساعدني و قدم لي العون و خاصة

د . شعبان حديد

د . عرسان عرسان

م . معزز الصباغ

مقدمة

تعتبر عملية الكشف و مراقبة المنشآت المائية مهمة و ضرورية و ذلك من أجل البحث عن الحلول الفنية المناسبة لمعالجة مشاكلها بما يضمن سلامتها , و خاصة صيانة السدود لحمايتها من الانهيار , و بالتالي تفادي حصول خسائر في الأرواح و الممتلكات , حيث أدى انهيار سد (زينون) في منطقة الغاب بمحافظة حماة إلى خسائر كبيرة في الأرواح و الممتلكات, و من هنا جاءت أهمية البحث نظراً لأهمية سد كودنة بسبب قرب التجمعات السكنية و المنشآت الهامة الواقعة على ضفاف مجرى وادي الرقاد خلف السد و بالتالي فإن احتمال انهياره سوف يعرض الأرواح و الممتلكات إلى الخطر . تتجلى أهمية البحث في دراسة الحلول و الطرق الفنية لإعادة تقييم السد و تأهيله بهدف تجنب انهياره و التخفيف من الأضرار المادية و البشرية.

الهدف من البحث

تسليط الضوء على أهمية دراسة مشاكل التسرب في السدود الترابية و إمكانية الاستفادة من التجارب و الخبرات الهندسية في إيجاد الحلول الفنية اللازمة لمعالجة هذه المشاكل من خلال اختيار الطريقة الفنية المناسبة للسد فنياً و اقتصادياً و إمكانية تطبيقها العملي من أجل تأهيل سد كودنة وضمان الأمان و الاستقرار له .

مبررات البحث

تكونت فكرة البحث انطلاقاً من النقاط الآتية :

- 1- زيادة الرشوحات و التخريب الذي تعرض له الوجه الأمامي و الفلاتر و أجزاء من نواة السد .
- 2-إعادة تأهيل السد ووضعه بالخدمة من جديد بالطاقة التخزينية التصميمية .
- 3- تفادي انهيار السد و تجنب الأضرار المادية و البشرية لمناطق السدود المقام خلفه على نفس المجرى .

الحدود المكانية و الزمانية

الحدود المكانية : يقع سد كودنة على وادي الرقاد في الجزء الجنوبي من محافظة القنيطرة .

الحدود الزمانية : تم اعتماد التجارب و التحاليل على جسم السد بين عامي 2004-2014 .

منهج البحث

اعتمد المنهج التاريخي في الفصل الأول و المنهج الوصفي و الاستقرائي و دراسة التحريات الحقلية و المخبرية في الفصل الثاني و المنهج التحليلي و الفني في الفصل الثالث .

صعوبات البحث

1- عدم توفر بيانات كافية فيما يتعلق بالحوض الساكب لمجرى وادي السد .

2-عدم توفر بيانات دقيقة بسبب صعوبة الوصول إلى موقع السد في الفترة ما بعد عام 2014 إلى تاريخه بسبب سيطرة العصابات المسلحة على منطقة تواجد السد .

ملخص البحث

أجريت الدراسة على سد كودنة الذي يقع على مجرى وادي الرقاد في الجزء الجنوبي من محافظة القنيطرة , و يعتبر سد كودنة من السدود الهامة في المحافظة (ثاني أكبر سد من حيث حجم التخزين بعد سد المنطرة) , يقع خلفه على نفس المجرى أربعة سدود , ووجود عدد من التجمعات السكانية بالقرب من موقع السد مما جعل السد ذا أهمية كبيرة .

تم في الفصل الأول إلقاء الضوء على مجموعة من الدراسات المرجعية في مجال استثمار السدود , أما الفصل الثاني كان عبارة عن ملف تعريف عن السدود و تصنيفاتها المختلفة و تم أيضاً عرض مجموعة من طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية لتحري التسرب .

جرى في الفصل الثالث وصف منطقة دراسة السد (الوصف الجيولوجي و الإنشائي للسد و هوية السد) , بعدها تمت دراسة التحريات الحقلية (الجيوكهربائية - الجيوتكنيكية - تجارب النفوذية - تجارب الاختراق الديناميكي - التصوير الضوئي داخل الآبار) للتعريف بالحالة الراهنة للسد , ثم بعد ذلك تم عرض نتائج التجارب و التحاليل المخبرية لتحديد المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية لتربة النواة الغضارية و الفلاتر و مقارنتها مع التصميم الهندسي للسد , و تبين نتيجة هذه التحريات وجود فجوات ضمن جسم السد تطورت في بعض المناطق من جسم السد إلى أنابيب , و تبين أيضاً وجود خلل في الفلاتر و زيادة في عامل النفوذية. و في الفصل الرابع تم دراسة الرشح و استقرار جسم السد باستخدام برنامج (Geo-studio) للوجهين الأمامي و الخلفي للسد بعدة حالات لمناسيب مختلفة للتخزين , و ملاحظة ارتفاع في قيمة تصريف التيار الراشح ضمن جسم السد , و تبين بأن السد بحاجة إلى إعادة تأهيل . و أخيراً في الفصل الخامس تم تقديم أهم الإجراءات و الحلول الفنية الممكنة لإعادة التأهيل , و تقييم هذه الحلول الفنية المعروضة بناء على فعاليتها و استقرارها طويل الأمد و قابلية تنفيذها على السد المدروس, و اعتماد الشاشة الإسفلتية كحل مناسب لهذه المشكلة .

Research Summary

The study was conducted on Kodana dam, which is located in Wadi al-Raqqad in the southern part of Quneitra governorate. Kodana dam is one of the important dams in the governorate (the second largest dam in terms of storage volume after Al-Mantara Dam). There are four dams behind it on the same course. Population near the site of the dam, makes it of great importance. In the first chapter some of reference studies in the field of dam investments were mentioned, The second chapter was an introductory dossier on dams and their various classifications, a range of geophysical exploration methods for leak detection were also presented. In the third chapter, the study area of the dam was described (geological, structural description of the dam and the identity of the dam). Presenting the results of experiments and laboratory analysis to determine the physical and mechanical specifications of the soil core and filters and compare them with the geometric design of the dam, the result of these investigation shows gapping within the dam's body that have evolved in some areas to pipes, there was also a flaw in the filters and increase in permeability factor. Then, in the fourth chapter, the leaking and stabilization of the dam body was studied using the Geo-studio program for the front and back sides of the dam in several cases for different storage levels, and an increase in the discharge value of the leakage was observed. Finally, in the fifth chapter, the most important technical measures and solutions for rehabilitation have been presented, evaluating these technical solutions based on their effectiveness, long-term stability and feasibility on the dam, and adopting the asphaltic shell as a suitable solution to this problem.

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	العنوان
1	الفهرس
4	فهرس الأشكال
6	فهرس الجداول
8	الفصل الأول : الدراسة المرجعية
8	1-1- مقدمة
8	1-2- الدراسة المرجعية
11	الفصل الثاني: تعريف السدود و طرق تحري التسرب
11	1-2- تعريف السد
11	2-2- الغاية من إنشاء السدود
11	2-3- تصنيف السدود
15	2-4- التسرب في السدود الترابية
15	2-5- المقاومة الارتشاحية
17	2-6- طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي لمناطق التسرب
18	2-6-1- النظائر الهيدرولوجية
19	2-6-2- طرق القياس الحرارية المتقدمة
24	2-6-3- الطريقة الجيوكهربائية
26	الفصل الثالث : الوصف الإنشائي لسد كودنة و برنامج التحريات الحقلية والمخبرية
26	3-1- وصف منطقة الدراسة
27	3-2- الوصف الإنشائي
31	3-3- الوضع الجيولوجي
31	2-3-1- صخور أساس السد

33	3-2-2-مواد البناء
38	3-4- وصف برنامج التحريات
38	3-4-1- التحريات الحقلية
38	3-4-1-1- التحريات الجيوكهربائية
39	3-4-1-1-1- أهداف اللوحات الجيوكهربائية المنفذة
39	3-4-1-1-2- اللوحات الجيوكهربائية المنفذة
44	3-4-1-1-3- اللوحات الجيوكهربائية العمودية
45	3-4-1-2- الدراسة الجيوتكنيكية
47	3-4-1-2-1- تجارب النفوذية
51	3-4-1-2-2- تجارب الاختراق الديناميكي
62	2-4-1-3- تجهيزات البيزومتريات
63	3-4-1-2-4- تحريات التصوير
66	3-4-2- التجارب و التحريات المخبرية
66	3-4-2-1- التركيب الحبي للنواة الغضارية
66	3-4-2-2- حدود أثر برغ
68	3-4-2-3- الوزن النوعي
68	3-4-2-4- تجارب الرص
68	3-4-2-5- مقاومة التربة للقص
72	الفصل الرابع : دراسة و تحليل خطوط الرش و استقرار سد كودنة
72	4-1- دراسة و تحليل خطوط الرش باستخدام برنامج (seep/w)
80	4-2- دراسة استقرار جسم السد باستخدام برنامج (slope/w)
86	النتائج
87	الفصل الخامس : الإجراءات و الحلول الممكنة لإعادة التأهيل
87	5-1- مقدمة
87	5-2- الإجراءات و الحلول الفنية المتبعة حصراً على النواة

89	3-5- الإجراءات و الحلول الفنية المطبقة حصراً على الردم الحجري (الوجه الأمامي)
90	4-5- تقييم الإجراءات و الحلول الفنية المعروضة بناء على فعاليتها – استقرار طويل الأمد – و قابلية تنفيذها
91	الفصل السادس : النتائج و التوصيات
91	6-1- النتائج
92	6-2- التوصيات
93	ملحق : بناء الشاشة الإسفلتية على الوجه الأمامي للسد
131	المراجع العربية
132	المراجع الأجنبية

فهرس الأشكال

رقم الشكل	رقم الصفحة
(1-2) الرسوم التخطيطية للسدود الخرسانية	12
(2-2) سد متجانس و غير متجانس	13
(3-2) سد ركامي	14
(4-2) استخدام متتبع اصطناعي لتحديد مصدر التسرب	19
(5-2) تركيب مجموعة من مجسات درجة الحرارة	20
(6-2) توزيع درجة الحرارة الناتج عن مسح مجموعة من مجسات درجة الحرارة	21
(7-2) قياسات درجة الحرارة على طول الألياف البصرية في أوقات مختلفة من التدفئة و التي تبين مناطق تسرب مميزة	22
(8-2) درجات الحرارة مقابل الوقت على أعماق مختلفة داخل مسبار عمودي نتيجة HPM	23
(9-2) طريقة التخطيط الشاقولي	24
(10-2) تشكيل اللوحات الجيوكهربائية المنفذة على حسب المسافات	25
(11-2) الجهاز الجيوكهربائي ARES	25
(12-2) كبل متعدد الالكترودات	25
(1-3) خريطة موقع سد كودنة	26
(2-3) مقطع عرضي في سد كودنة	27
(3-3) صورة لسد كودنة	29
(4-3) برج المفرغ في بحيرة سد كودنة	30
(5-3) بوابات السد	30
(6-3) المنحنيات المميزة للسد	30
(7-3) منحنى التركيب الحبي لمقلع تل أحمر	35
(8-3) مخطط التركيب الحبي لمقلع الشجرة	35
(9-3) مخطط التركيب الحبي لمقلع تل الجموع	36
(10-3) تغيرات الكثافة الجافة العظمى	37
(11-3) احداثيات الأوتاد في جسم السد	39

41	(12-3) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند الوجه الأمامي عند المسافة 635-955 m بتباعدات 5 m
41	(13-3) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند الوجه الخلفي عند المسافة 635-955 m بتباعدات 5m
42	(14-3) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند منتصف القمة عند المسافة 441-693 m
42	(15-3) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة على الوجه الأمامي و الخلفي للسد عند المسافة 692-881 m بتباعدات 1 m
44	(16-3) اللوحات الجيوكهربائية العمودية على محور السد عند منسوب 758-765 m على بعد 795 m من الطرف الأيمن للسد بتباعدات 2m
44	(17-3) اللوحات الجيوكهربائية العمودية على محور السد على بعد 531 m من الطرف الأيمن للسد
46	(18-3) احداثيات السبور في جسم السد للدراسة الجيوتكنيكية
49	(19-3) عامل النفوذية في مقاطع مختلفة من جسم السد
53	(20-3) جهاز الاختراق الديناميكي
54	(21-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-1
54	(22-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-w
55	(23-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-2
55	(24-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 2-w
56	(25-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-3
56	(26-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-4
57	(27-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1-5
57	(28-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 5-w
58	(29-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 6-w
58	(30-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 1N
59	(31-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 2N
59	(32-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 4N
60	(33-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 5N
60	(34-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 6N
61	(35-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 7N
61	(36-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 8N
62	(37-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 9N

62	(38-3) مقاومة التربة للاختراق في البئر 10N
63	(39-3) البئر N1 عند العمق 14m
64	(40-3) البئر N1 عند العمق 14.29m
64	(41-3) البئر N1 عند العمق 7.91m
65	(42-3) البئر N1 عند العمق 5.04 m
65	(43-3) البئر N2 عند العمق 5.85 m
66	(44-3) البئر N2 عند العمق 15 m
67	(45-3) جهاز تحديد السيولة
68	(46-3) جهاز القص المباشر
69	(47-3) نتائج التحليل الحبي التصميمي
70	(48-3) نتائج التحليل الحبي المخبري
73	(1-4) شبكة الجريان
74	(2-4) خط التسرب التصميمي
75	(3-4) قيمة التدفق التصميمي و خطوط الجريان
76	(4-4) خط التسرب نتيجة التحريات و نتائج النفوذية
77	(5-4) قيمة التدفق ضمن جسم السد
78	(6-4) خطوط الجريان ضمن جسم السد
82	(7-4) عامل الأمان ودائرة الانزلاق للوجه الأمامي حالة الامتلاء الأعظمي
83	(8-4) عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الخلفي حالة الامتلاء الأعظمي
84	(9-4) عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الخلفي من أجل موجة زلزالية 0.1g
85	(10-4) عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الأمامي من أجل موجة زلزالية 0.1g
87	(1-5) رسم توضيحي لظاهرة الأنابيب
88	(2-5) مقطع في الأوتاد الستائرية
88	(3-5) الجدار الوتدي المسلح
89	(4-5) جدار الضغط العالي
90	(5-5) مقطع عرضي في الشاشة الإسفلتية

فهرس الجداول

رقم الصفحة	رقم الجدول
28	(2-1) هوية سد كودنة
31	(2-2) مواصفات السماكة 3-6m
32	(2-3) خواص السماكة 3-10 m
33	(2-4) خواص السماكة 2-20 m من طبقة الأساس
34	(2-5) مواصفات المواد الحجرية
37	(2-6) المواصفات الفيزيائية للغضار
38	(2-7) نتائج تجربة بروكتور
40	(2-8) مواقع اللوحات الجيوكهربائية
43	(2-9) مواقع اللوحات و نتائجها
46	(2-10) احداثيات السبور المدروسة في السد للدراسة الجيوتكنيكية
47	(2-11) سبور تجارب النفوذية
50	(2-12) قيم عامل النفوذية في الآبار المدروسة في جسم السد للوجه الخلفي للسد
52	(2-13) تجارب الاختراق الديناميكي
68	(2-14) مقارنة قيم نتائج التحاليل و القياسات المخبرية و قيم العوامل التصميمية لتربة النواة الغضارية
68	(2-15) مقارنة بين النسبة المئوية المارة للتربة الغضارية التصميمية و المخبرية
72	(2-16) قيم النفاذية المستخدمة في برنامج seep/w
80	(2-17) نتائج برنامج slope /w
81	(2-18) المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية لمواد سد كودنة

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

1-1- مقدمة :

تعدّ السدود من أقدم المنشآت المائية و أخطرها حيث تتعرض لمشاكل عديدة نتيجة أخطاء في التصميم أو التنفيذ قد تؤدي إلى انهيارها و خسائر كبيرة بالأرواح منها : انهيار المنحدرات ، تعرية الوجه الأمامي ولعل أهمها مشكلة التسرب ضمن جسم السد و أساساته مما يؤدي إلى تشكّل تجاويف أسفل و داخل السد و بالتالي انهيار السد إذا لم تتم معالجة المشكلة .

1-2- الدراسة المرجعية

و قد اهتم الكثير من الباحثين بدراسة السدود و استثمارها لدفع الخطر الناجم عن الانهيار منهم :

1- أعدت جمعية حماية البيئة الأميركية [14] تقريراً توضح فيه أهم المشاكل التي تتعرض لها السدود و مواعيد المراقبة المنتظمة لضمان سلامة السدود وحمايتها واعتبر التقرير مهماً بسبب تحديد مواعيد المراقبة لعدة سدود في عدة ولايات مثل كولورادو .

2- كما قدم صاحب الربيعي (1998) العوامل و القوى المؤثرة في انهيار السدود و قد ذكر منها العوامل الإنشائية (تأثير الحمولات و القوى غير المائية على المنشأة - عمليات الحت و الإهيار لقوام التربة) و أيضاً الأخطاء التصميمية التي تشمل (أخطاء في تصميم الفلاتر - أخطاء في حساب منسوب الفيضان التصميمي و الموجي) و غيرها من العوامل الهامة التي تسبب إهيار السدود و درس سد الموصل كنموذج حيث عرّف أهم المشكلات التي يتعرض لها السد و المعالجات المتبعة للحد من الهبوطات المتباعدة لجسم السد و عرض حلول سريعة من المعالجات الضرورية منها معالجات للحد من الهبوطات كالحقن و تخفيض منسوب الماء في حوض السد و أيضاً نظم مجموعة من المعالجات لإنهاء المشكلة بشكل جذري منها تنفيذ سدي بحمة شمال سد الموصل و بادوش على الزاب الأعلى و غيرها من الحلول و المشاريع الهامة التي تضمن سلامة سد الموصل و تحد من الإهيار و تفادي الخسائر البشرية . [1]

3- كما درست ليلي حلاوة (رسالة دكتوراه , جامعة البعث) الإدارة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن سد ترابي و التخفيف من آثارها و ذلك بالاعتماد على برنامج (Gis) و اعتمدت الحالة الدراسية مجرى نهر العاصي بين سد قطينة و الرستن و محردة . [2]

4- و درست سمر عودة عام 2015 أهم المشاكل والظواهر التي يتعرض لها السدود في مختلف مراحل الانشاء والإملاء والاستثمار وأهم مسببات هذه الظواهر وكيفية معالجتها وكيفية مراقبة السدود والقراءات اللازمة من أجل التأكد من جودة عمل السد حسب المعطيات التصميمية. [3] ومن ثم قامت بد راسة سد ركامي بنواة غضارية باستخدام برنامج (Geo-studio) وإيجاد قيم الاجهادات الشاقولية الحاصلة في جسم السد عند مستوى تخزين أعظمي , و رسم منحنيات تغير الاجهادات الشاقولية مع الارتفاع في كل من أوجه السد الصخرية و النواة الغضارية و مقارنتها و كذلك كل من منحنيات التشوهات الأفقية و ضغط ماء المسام لمقارنة القراءات التي تعطيتها منظومة المراقبة و التأكد من عمل السد بالطريقة المثالية. و تبين معها أن التشوهات الشاقولية تكون أعظم قيمة لها عند النواة و تزداد بازدياد الارتفاع نحو القمة

و تنعدم في قاعدة السد , كما أن ضغط ماء المسام يتطابق في كل الأوجه و النواة لأنه لا يتعلق بنوع التربة بل يتعلق بارتفاع مستوى التخزين في البحيرة .

5- تناول الدكتور علي شحود (2013) في بحثه عن الدراسة الأولية لسد ديفة [4], الليتولوجية و البيتوغرافية و الجيولوجية للتوضعات الصخرية على أطراف و ضمن حوض تخزين بحيرة سد ديفة و من خلال الدراسة للعينات الصخرية المستخرجة من بعض السبور في محور السد و بحيرة التخزين , و العينات الصخرية من التكشفات السطحية و تم تحديد الوحدات النفوذة و الكيمة . و بينت الدراسة انخفاض درجة النفاذية مع زيادة العمق بعيداً عن مجال حركة المياه الجوفية و تبين ارتباط النفوذية مع درجة تشقق الصخور و الصدوع و الكارست , و ظهور الكارست (الكامبانيان و التورونيان) , ازدياد نسبة الكهوف الكارستية في توضعات السينومانيان , و ترجع هذه الظواهر للحركة التكتونية , وفعالية الفراغات و الشقوق في منطقة التجوية الجافة فوق منسوب المياه الجوفية بسبب حركة المياه عبر هذه الشقوق و الفراغات , و عدم ظهور الكارست في توضعات المايستريختيان . قسمت التوضعات الجيولوجية في الموقع اعتماداً على النفوذية إلى ثلاث نطاقات (A-B-C) :

A- نطاق التجوية الشديد يتمثل بصخور كلسية شديدة التشقق , عرض الشقوق المفتوحة يتراوح بين (3-5 mm) , و تم اقتراح إزالة الطبقة قبل البدء ببناء السد بسبب مقاومتها المنخفضة , تشققها العالي, و قدرة حملتها المنخفضة .

B- نطاق التجوية الضعيف و يتمثل بتوضعات من الصخور الكلسية المشققة الكتلية , و يشكل الصخور النفوذة .

C- نطاق الصخور الكيمة يتمثل بتوضعات كلسية غضارية سميكة من الصخور غير النفوذة .

6- قدمت الدكتورة فاطمة الفويقي (2013) دراسة تقييم استقرار سد الدويسات ذي النواة الشاقولية و الارتفاع 33 m , ميل الجانب الخلفي 1:2.75 و ميل الجانب الأمامي 1:3 , و درست تغيير سماكة النواة من 1:0.25 إلى 1:2 و تأثيرها في استقرار جانبي السد الأمامي و الخلفي و ذلك لثلاث حالات تصميمية هي خلال فترة بناء السد , التسرب المستقر , و التفريغ السريع , و ذلك باستخدام طريقة التوازن الحدي العامة و حزمة برامج Geo studio . و قد تبين من التحليل و بتغيير سماكة النواة الشاقولية للسد , فإن النواة ذات السماكة الأقل تعطي استقراراً أكبر و أن الزيادة في سماكة النواة لميول أكبر تسبب انخفاضاً حاداً لعامل أمان الوجهين الأمامي و الخلفي للحالات التصميمية الثلاث أنفة الذكر [5].

7- قدم ترزاكي (1939) و لين (1934) و شيرارد و آخرون (1963) نموذجاً عن تشكل الانايب داخل السد حيث يتم طرد جزئيات التربة تدريجياً بفعل قوى الجر الناتجة عن تسرب المياه . و بين أن قوى الجر تكون متوازنة مع قوى القص من الحبيبات و الوزن من جزئيات التربة و الترشيع . و يحدث التآكل عند نقطة الخروج بمجرد إزالة جزئيات التربة نتيجة قوى الجر , و يزيد حجم التآكل بزيادة حجم التدفق . هذا الرأي هو النمط الكلاسيكي لتشكيل الأنابيب (التراجع الى الوراء) و هي تحدث عندما تسمح التربة بحدوث هذه الظاهرة .

8- تم تصنيف فشل الأنابيب حسب سيدرغون (1978) في فئتين:

- الفشل الناجم عن هجرة الجسيمات إلى مخارج حرة أو إلى فتحات خشنة .

- الفشل الناجم عن التشبع غير المنضبط وقوى التسرب الكبيرة . أي حصول فجوات كبيرة , والشقوق الناجمة عن الزلازل والنشاطات البيولوجية , أو تدهور في التركيب الحي و تشكل قنوات قد يؤدي إلى هجرة الجسيمات. الأسباب الشائعة الأخرى للأنابيب هي بسبب ضعف بناء السد, وضعف الضغط المتأخمة للأنابيب مخرج أو غيرها من الهياكل, وعدم معالجة الأساس, من تسوية للشقوق أثناء بناء السدود أو القنوات (شيرارد وآخرون, 1963, فون ثون 1985).

9- تم تحديد عامل الأمان ضد تشكل الأنابيب من قبل ترزاكي (1943) حيث هو الوزن الفعال لموشور التربة مقسوما على الضغط الهيدروستاتيكي الزائد تحته تم تحديد عامل الأمان عن طريق التجربة و الخطأ لعدد من القياسات لأعماق من الموشور . حيث يعطى عامل الأمان بالعلاقة:

$$G_s = W' / U_e \quad (1-1)$$

حيث : G_s : عامل الأمان , W' :الوزن الفعال لموشور التربة الأكثر اهمية , U_e :الضغط الهيدروستاتيكي على قاعدة الموشور (تحدد من شبكة التدفق) .

الفصل الثاني

تعريف السدود و طرق تحري التسرب

2-1- تعريف السد :

السد : هو عبارة عن منشأة هندسية هامة تعترض الجريان في المجرى المائي مكونة أمامها بحيرة اصطناعية تقوم بحجز مياه المجرى و تخزينها لأغراض متعددة . و كلمة السد في الدراسات الهندسية تتضمن ليس فقط جسم السد و إنما كل الأجهزة و الأنظمة الضرورية التابعة و الموصولة به (فتحات التصريف - بوابات - معدات ميكانيكية -) [6].

2-2- الغاية من إنشاء السد [6] :

تحقق السدود الأغراض الآتية :

- 1- توليد الطاقة الكهربائية و ذلك بالاستفادة من فرق ارتفاع الماء أمام السد .
- 2- توفير مياه الشرب للأماكن المأهولة , بعد مرور هذه المياه ضمن محطات تنقية .
- 3- تنظيم الجريان في المجاري المائية و درء خطر الفيضان عن المدن و الأماكن المعرضة للأخطار أثناء فصل الأمطار .
- 4- تشكيل بحيرات اصطناعية صالحة لتربية الأسماك .
- 5- إحداث بحيرات كمواقع سياحية و جمالية للمنطقة .
- 6- حجز مياه السيول في المناطق الجافة و الاستفادة منها لأغراض الري و الرعي , و لرفع منسوب المياه الجوفية .

2-3- تصنيف السدود [6]

تصنف السدود وفقاً لما يلي :

2-3-1- حسب الدور الوظيفي :

- 1- سدود ترشيحية : و هي سدود تنشأ لحجز المياه , و تركها ترشح لتغذية المياه الجوفية و الينابيع الحارة .
- 2- السدود التخزينية : حيث تقوم بتخزين المياه من أجل ري الأراضي , و من الأفضل أن يكون حجم بحيرة التخزين في هذا النوع من السدود أكبر , و ذلك من أجل زيادة المساحات المروية و تأمين الاحتياجات المائية المطلوبة.

3- سدود إنتاج الطاقة الكهربائية : و تعتبر غير مستهلكة للماء , لأن كمية المياه الداخلة عبر السد نفسها تتوجه مرة أخرى إلى المجرى المائي مع ضياعات بسيطة بالتبخر , و منه من أجل تخفيض هذه الضياعات يفضل أن يكون لبحيرة التخزين سطوح صغيرة و مناسب كبيرة.

4- السدود ذات الوظيفة المختلطة : تحدف بالدرجة الأولى للري , ثم توليد الطاقة الكهربائية .

5- السدود السطحية : تحجز مياه السيول و يستفاد منها في أعمال الري , و هي ذات بحيرات تخزين صغيرة .

6- السدود التحويلية : و هي عبارة عن حواجز اصطناعية , غايتها اعتراض المياه و رفع منسوبها و تغيير اتجاهها الطبيعي إلى أفنية جانبية لري أراضٍ معينة , أو وصولها إلى منشآت صناعية أو لتغذية مدينة بمياه الشرب .

7- السدود التنظيمية : و هي سدود عالية , الهدف منها تنظيم الجريان .

2-3-2- حسب مواد الإنشاء :

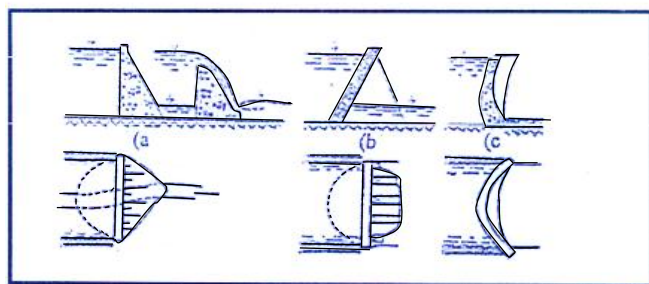
2-3-2-1- السدود البيتونية : و تنقسم إلى :

1- السدود البيتونية الثقيلة : تعتمد على وزنها الذاتي لضمان الاستقرار و التوازن , و يكون شكل المقطع العرضي للسد على هيئة مثلث , حيث يبلغ عرض القاعدة ثلثي الارتفاع أو على هيئة شبه منحرف , و تنفذ من البيتون الثقلي : عيار الاسمنت فيه يتراوح بين $(200-300 \text{ kg/m}^3)$.

2- السدود الكتفية المدعمة : عبارة عن جدران مرتفعة , وجهها الأمامي مائل , و هي أقل ثخناً من السدود الثقيلة و لكنها مدعمة بأكتاف , و هي عبارة عن جدران مقامة من جهة الوجه الخلفي بصورة عمودية على الجدار الأصلي , و تنفذ هذه السدود من البيتون المسلح.

3- السدود القوسية البيتونية : تنفذ على شكل قوس من البيتون المسلح أو العادي , يستند على جوانب الوادي , و تتطلب هذه السدود أن تكون جوانب الوادي شديدة الانحدار ذات أساسات قوية .

و يظهر الشكل (2-1) الرسوم التخطيطية للسدود الخرسانية .



الشكل (2-1) الرسوم التخطيطية للسدود الخرسانية و مقطع عرضي في كل منها

(a) سد ثقلي (b) سد كتفي مدعم (c) سد قوسي

2-2-3-2- السدود الترابية

تعريف : هي عبارة عن كتلة ترابية كتيمة , تشكل حاجزاً أو حوضاً مائياً خلفها يسمى بحيرة , تعتبر السدود الترابية من أقدم المنشآت المائية و تصنف حسب المواد الترابية المستخدمة :

1- السدود المتجانسة : و يتألف السد بكامله من تربة متجانسة , و في حال وجود تراب ذات نفوذية مختلفة توضع المواد الأكثر نفوذية على الأطراف الجانبية من جسم السد .

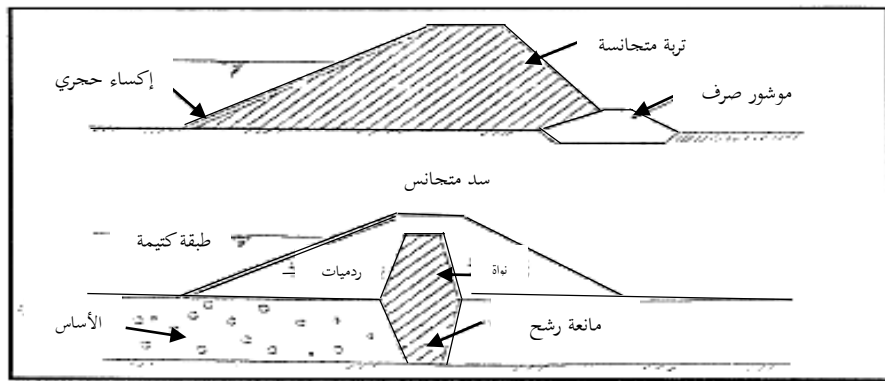
2- السدود غير المتجانسة : تتألف من قسم مركزي , و هو عبارة عن نواة كتيمة تحيط بها ردميات بغية تأمين استقرار جسم السد .

ويمكن أن يتألف السد غير المتجانس من عدة مناطق :

- المنطقة الكتيمة .
- المنطقة نصف النفوذة .
- المنطقة النفوذة .
- منطقة الردميات الحجرية .

و تعدّ السدود غير المتجانسة اقتصادية جداً إذا أمكن الحصول على مواد البناء بسهولة , و في حال عدم توفر المواد الكتيمة الكافية من أجل النواة فمن الممكن الاستعاضة عنها بنواة من البيتون المسلح و لكن هذا الحل غير اقتصادي .

يبين الشكل (2-2) مقطع عرضي و مكونات السد المتجانس و السد غير المتجانس .

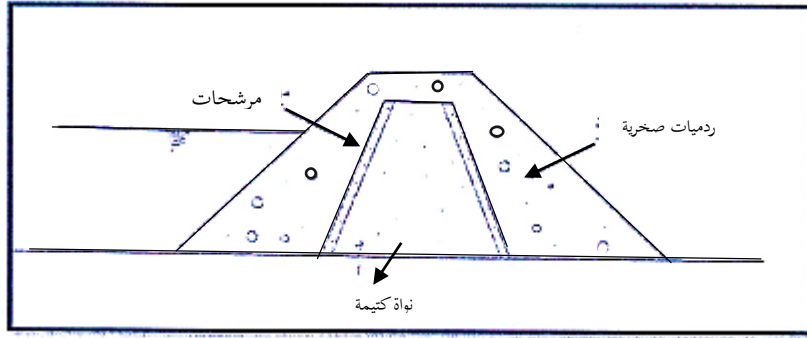


الشكل (2-2) سد متجانس و سد غير متجانس

3- السدود الركامية

يطابق هذا النوع من السدود النوعين المذكورين آنفاً مع فارق وحيد , و هو وجود الردميات الصخرية و الثقيلة إما على الوجه الأمامي للسد أو الوجه الخلفي أو الوجهين معاً كما يظهر الشكل (2-3). بالإضافة لاعتبار هذه الردميات تشكل إكساء لوجهي السد , فإنها تعتبر

مسار صرف جيد للمياه مما يمكننا من اختيار ميل جانبي أكبر من الميل الجانبي للسدود السابقة و هذا يقلص من حجم الردميات و يجعل السد أكثر اقتصادية.



الشكل (2-3) سد ركامي

2-3-3- حسب طريقة الإنشاء

و تصنف إلى :

- 1- سدود ردمية : تشيد بطريقة ردم التربة , ثم رصها بواسطة المداحل .
- 2- سدود ترابية ترسيبية : حيث يتم إنشاؤها بواسطة التحريف الهيدروليكي , أي يتم تحضير المواد و ترسيبها في جسم السد بمساعدة الماء .
- 3- سدود نصف ترسيبية : فقط تنشأ مانعة التسرب بواسطة الترسيب الهيدروليكي .
- 4- سدود تبنى بطريقة التفجير الموجه : حيث تعتبر هذه الطريقة أحدث طريقة في بناء السدود , و تستخدم هذه الطريقة عندما يكون الجرى المائي ضيقاً جداً و ذا حواف جبلية مرتفعة و تعتبر أسرع طريقة في بناء السدود .

2-3-4- حسب ارتفاع جسم السد :

- 1- سدود منخفضة الارتفاع : ارتفاع السد ($H < 30 \text{ m}$) .
- 2- سدود متوسطة الارتفاع : ارتفاع السد ($30 \text{ m} < H < 75 \text{ m}$) .
- 3- سدود مرتفعة : ارتفاع السد ($75 \text{ m} < H < 125 \text{ m}$) .
- 4- سدود مرتفعة جداً : ارتفاع السد ($H > 125 \text{ m}$) .

2-4- التسرب في السدود الترابية :

يحدث التسرب في السدود في الأماكن الآتية :

- جسم السد (و يتمثل بظهور خط الإشباع) .
 - عبر الأساس .
 - قاع البحيرة : يجب عدم أخذ المواد الناعمة من قاع البحيرة و استخدامها في جسم السد .
 - جوانب البحيرة : حيث يمكن أن توجد منطقة نفوذة و ملتفة حول الجبل , و بالتالي وصول منسوب المياه إلى منسوب هذه الطبقة يؤدي إلى حدوث تسرب لذلك يجب تكتيم هذه الطبقة على كامل طول البحيرة .
 - الأكثاف : نتيجة عدم الالتحام الجيد (و ذلك بإزالة الطبقات الزراعية القابلة للانضغاط)
- من المعروف أن سرعة التسرب عبر جسم ترابي تتبع لمعامل النفاذية كلما ازدادت قيمة معامل النفاذية ازدادت كمية التسرب و بالتالي تزداد قوى الرفع المائي و تعمل هذه القوى الناتجة عن التسرب إلى تحريك التربة باتجاه حركة الماء مما يؤدي إلى زيادة النفوذية و زيادة التسرب أكثر .
- مسألة دراسة التسرب في السدود الترابية معقدة و لها تأثير كبير في استقرار الوجه الخلفي للسد و على توازن المنشأة بشكل عام [4] .

2-5- المقاومة الارتشاحية :

2-5-1- مقدمة

عند تصميم السدود الترابية يجب دراسة مشكلة التشوهات الارتشاحية التي تحدث في جسم السد و الأساس .

إن تأمين المقاومة الارتشاحية يؤثر في بناء السد و تكلفته الاقتصادية , التيار المتسرب أسفل السد و أساساته يؤدي إلى ظهور قوى الرشح التي يمكن أن تحدث تشوهات ارتشاحية .

نميز نوعين من التشوهات :

1-تشوهات رشحية غير خطيرة : لا تسبب المياه انهيار المنشأة .

2-تشوهات رشحية خطيرة : تسبب انهيار المنشأة .

من خلال الدراسة الاحصائية للسدود المنهارة تبين أن 80% من الانهيارات سببها التشوهات الرشحية في جسم السد و من هنا جاءت أهمية دراسة المقاومة الرشحية [6] .

2-5-2- أشكال التشوهات الرشحية:

1-التآكل الميكانيكي :

هو انتقال الذرات المفككة في التربة تحت تأثير التيار المتسرب و نميز نوعين :

أ- نوع داخلي : تنتقل الذرات داخل الكتلة الترابية .

ب- نوع خارجي : تنتقل الذرات خارج الكتلة الترابية .

لمعرفة وجود التآكل الميكانيكي في التربة الناتج عن التسرب يجب تحقيق مايلي :

-التأكد من أن التربة المستخدمة في بناء السدود أو الموجودة في أساسه قابلة للتآكل أم لا .

-إذا كانت التربة قابلة للتآكل يجب في هذه الحالة تحديد التدرج الحرج و مقارنته مع التدرج الفعلي للمنشأة و ذلك لمعرفة إذا كان التشوه خطراً أم لا .

-يجب وضع التدابير الهندسية لحل مشكلة التشوه المذكورة .

2-التمزق التلامسي :

انهيار منطقة التلامس بين منطقتين ناعمة و خشنة نتيجة التسرب باتجاه متعامد على سطح التلامس نصادفها خلف السد الهدار و في نواة السدود الترابية .

3- الاجتراف التلامسي :

انهيار منطقة التلامس بين تربة ناعمة و تربة خشنة نتيجة التسرب بشكل مواز لخط التماس .

4-الترسيب :

توضع الذرات المنقولة مع التيار المتسرب في فراغات التربة المجاورة و يوجد نوعان ترسيب داخلي و ترسيب خارجي .

5-التآكل الكيميائي :

هو انحلال الأملاح الموجودة في التربة و خاصة الجبس و هذا الانحلال يزيد من النفوذية .

التشوهات الارتشاحية تحدث بشكل كبير أو صغير و هذا ينتج عنه :

أ- انهيار جسم السد .

ب- انهيار منحدرات السد و ظهور مجالات تسرب كبيرة في جسم المانعة .

لذلك تتوقف ديمومة جسم السد على الاختيار الصحيح لمواد بناء جسم السد و الفلاتر و ترب المناطق الانتقالية و المصارف و المانعات .

التشوهات الارتشاحية (الاجتراف التلامسي - التمزق التلامسي - تقشير التربة - الترسيب) من أهم التشوهات و تسمى بالتشوهات التلامسية .

لمنع حدوث التآكل في التربة يجب تحقيق الشروط التالية :

a- يجب أن تحتوي التربة على كميات أعظمية من الذرات الخاضعة للاجهادات حتى لا تستطيع المياه جرفها .

b- يجب أن يكون قطر الفراغات بين الحبيبات الخشنة أصغر من قطر الحبيبات الناعمة حتى لا يحدث انتقال للحبيبات الناعمة (و من هنا تأتي أهمية التحليل الميكانيكي للتربة) و تدخل الطبقات التي تليها بفعل التيار المتسرب .

c- قيمة قوى التسرب تتبع لقيم التدرج لذلك عند تدرجات الضغط الكبيرة عند خروج المياه من المصرف أو خلف السد الهدار تكون قيم التسرب كبيرة تعمل على تحريك الحبات .

2-6- طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي لمناطق التسرب :

تعريف : هي طرق تعتمد بشكل عام على توليد موجات اهتزازية صوتية و غيرها من خلال تغيرات سرعة الأمواج أو تغيرات تذبذباتها يتم استكشاف مناطق الشذوذ [7].

من ميزاتھا :

- 1- تجرى على السطح أو من آبار موجودة مسبقاً .
- 2- توفر المعلومات عن المناطق البينية في السدود .
- 3- توفر معلومات عن ما تحت السطح (التكهفات) و التي لا يمكن أن تكون لها أي دلالات أو إشارات سطحية .
- 4- سرعة هذه الطرق و تغطيتها لمناطق واسعة .
- 5- التطور في علوم الكمبيوتر و تحليل النتائج يساعد بشكل كبير في تنفيذ و تفسير البيانات .

أما عيوبھا :

- 1- تتأثر بعض الطرق بوجود إكساء فولاذي للسبر .
- 2- المعدات مرتفعة السعر و تحتاج لمشغل خبير .
- 3- معظم القراءات هي قياسات وسطية .
- 4- دقة بعض القياسات قد تكون أقل من المطلوب .
- 5- لابد من التحقق من المقطع المستنتج من هذه الطرق .

أ- الطرق السطحية :

1- الطرق الزلزالية - الاهتزازية , 2- طرق قياس المقاومة الكهربائية (الطريقة الجيوكهربائي) , 3- الناقلية الكهرومغناطيسية .

4- الطرق المغناطيسية , 5- طريقة الرادار المخترق G.P.R للتربة .

- 1- الأمواج الصوتية : هذه الطريقة يتم التعرف على التشققات و مناطق عدم الاستمرار و تتطلب بئر غير مكسي .
- 2- تحديد البروفيل الحراري (الطريقة الحرارية)
- 3- طريقة قياس المقاومة الكهربائية : تنفيذ في التعرف على نوع التربة و خاصة الرمل و الغضار و قابلة للتطبيق في الترب المشبعة بالماء فقط .
- 4- الناقلية الكهربائية : قابلة للتطبيق في التربة غير المشبعة بالماء و بشكل عام نتائجها أقل دقة من طريقة المقاومة .
- 5- طريقة أشعة γ غاما : تفيد في تحدي الوزن الحجمي الطبيعي .
- 6- طريقة الكاميرا في السر .
- 7- الطريقة النيوترونية (النظائر الهيدروولوجية): توفر معلومات عن محتوى الرطوبة في التربة فوق البساط المائي و عن مسامية التربة تحت البساط.

2-6-1- النظائر الهيدروولوجية :

واحدة من أكثر الطرق كفاءة وأقلها تكلفة للكشف عن أصل التسرب، على وجه التحديد الطبيعي والكشف الاصطناعي ، لمتابعة حركة المياه. حيث سيتم الكشف عن مكان حدوث التسرب وتجنب التكلفة . مثل هذه الاختبارات قد تكشف أيضا التغيرات المفاجئة في تدفق المياه في اتجاه مجرى النهر التي ليست أن تكون بالضرورة بسبب التسرب من الخزان ، ولكن قد يكون في الواقع من الطبيعي من مصادر المياه الجوفية غير المتصلة بالسد.

تحليل النظائر هو أداة مفيدة بشكل خاص في المراحل المبكرة من تحديد موقع وتخطيط وبناء سد. معظم الدول تنفق مبالغ مالية كبيرة على أخذ العينات الجسدية ولكن معرفة حركة الماء التي يحتاجها المهندسون الاستشاريون لتخطيط كيفية الوقاية من التسريبات المستقبلية ، يمكن الحصول عليها بكفاءة أكثر باستخدام تقنيات النظائر لدعم الجيولوجيا التقليدية والهيدروولوجيا.

يجب أن تعتمد برامج إدارة السدود الفعالة على فهم جميع المعلومات ذات الصلة [17].

كيفية عمل مسارات التتبع النظائرية :

يبدو جسم واحد من الماء أشبه بجسم آخر ، ولكن في المستوى الذري ، و يمكن تمييزها عن طريق نظائريهم الطبيعية تكوين أو بصمة. في جزيء الماء ، يتمتع بوفرة النظائر المستقرة مثل (الهيدروجين 2 (الديوتريوم) والأكسجين - 18) التي تستخدم لتحديد الهوية. النظائر الاصطناعية أيضا يمكن أن تضاف إلى الماء لتسمية ذلك. استخدام الماسحات الاصطناعية ، مثل (Iodine-131) و (Gold-198)، مفيدة بشكل خاص في فهم مشاكل التسرب. من دون تقنيات التتبع ، وكذلك من الصعب جدا التأكد من كيفية تدفق المياه. و يظهر الشكل (2-4) استخدام متتبع اصطناعي لتحديد مصدر التسرب.



الشكل (2-4) يبين استخدام متتبع اصطناعي لتحديد مصدر التسرب

2-6-2- طرق القياس الحرارية المتقدمة :

هناك ثلاث طرق للكشف عن التسرب. النهج الأول ، وهو نهج سيلي - باستخدام تحقيقات درجة الحرارة أو كابلات بسيطة من الألياف البصرية الاستشعار عن بعد - يقوم على التغيرات في درجة الحرارة المطلقة داخل جسم السد الناجم عن تسرب المياه ، و تقتصر هذه الطريقة على الحالات التي يكون فيها تدرج درجة الحرارة بين مياه التسرب ومواد السد. ومع ذلك ، فإن الطريقة غالباً ما تكون مؤشراً لا تقدر بثمن .لتجاوز هذا القيد ، يتم استخدام الطريقة الثانية - طريقة نبضة الحرارة أو طريقة فرق درجة الحرارة. يشار إليها على أنها طريقة نشطة. في التطبيق العملي ، يتم استخدام هذه الطريقة في الغالب بالاقتران مع كابلات استشعار الألياف البصرية الهجينة. عن طريق تسخين كابل استشعار الألياف البصرية ، تظهر مقاطع الكابل داخل مناطق تشبع الماء العالي أو حتى مناطق التدفق كأقسام مع زيادة النقل الحراري ، أي أنها تسخن أقل. من خلال حساب فرق درجة الحرارة بين القياسات قبل بدء نبضة الحرارة وفي ذروة نبضة الحرارة ، تصبح مناطق النضح مرئية بوضوح. النهج الثالث هو حساب الموصلية الحرارية الفعالة على طول الكابل. الطريقة هي تقدم طريقة نبض الحرارة. في حالة التسرب ، ينتج هذا النهج مناطق زيادة التوصيل الحراري الفعال . كلتا طريقتي فرق درجة الحرارة والتوصيل الحراري الفعال هما طريقتان حساستان لقياس التسرب أو التغيرات في مستوى تشبع الأرض. خاصة إذا تم الجمع بين كلتا الطريقتين ، فإنها تشكل أداة فعالة للغاية وحساسة لاكتشاف ورصد التسرب بشكل دائم في السدود الكبيرة .تم تطوير التقنية الأولى ، خاصة مع استخدام مسابير درجة الحرارة ، لقياس درجات الحرارة في الموقع في أعماق مختلفة (حتى 30-40 m) داخل السدود الموجودة في السدود [18]. أما في النهج الثاني والثالث فقد تم تصميم مراقبة درجة الحرارة على طول الألياف البصرية للتسجيلات سريعة ومريحة لتوزيع درجة الحرارة في السدود من أي تركيبة والهندسة التي أدرجت الألياف البصرية أثناء البناء أو إعادة التأهيل .

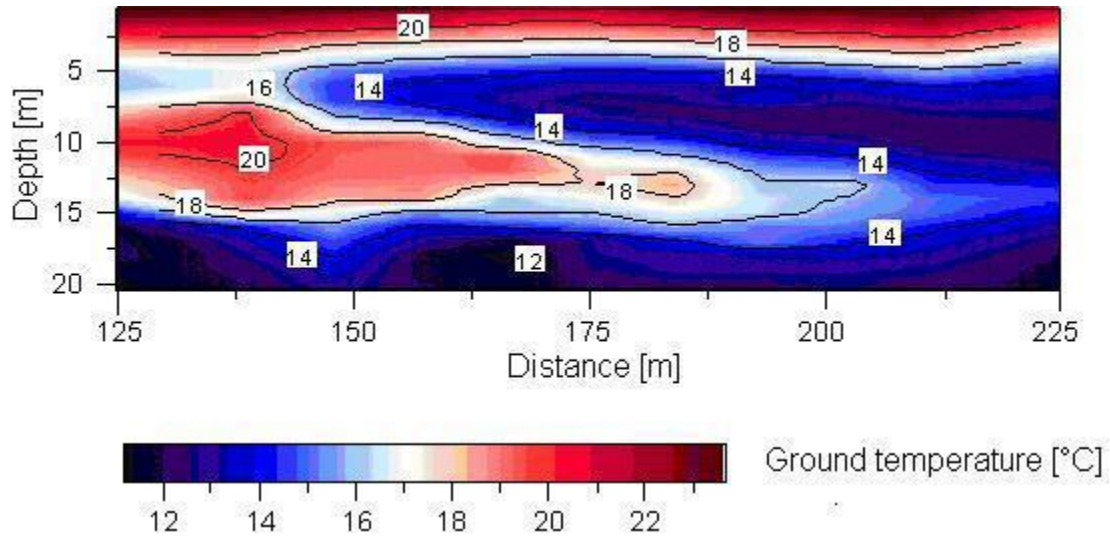
2-6-2-1- تقنيات قياس درجة الحرارة في الموقع

2-6-2-1-1 - تحقيقات درجة الحرارة

توفر هذه التقنية قياسات درجة الحرارة في الرسوبيات والسدود وصولاً إلى الأعماق التي تزيد عن (30-40 m). تصطدم الأنابيب المعدنية ، المكونة من عدة أجزاء مترابطة ، بالأرض على طول ملف التعريف ليؤدي إلى مجموعة من مجسات درجة الحرارة كما هو موضح في الشكل (2-5). يتم إدراج سلاسل من أجهزة استشعار درجة الحرارة وضعت عمومًا في 1 m فاصل في الأنابيب. يتم أخذ درجات حرارة الأرض في الموقع في أعماق مختلفة بعد تكييف درجة حرارة الأنبوب مع درجة حرارة الأرض. وبما أن درجات الحرارة المقاسة يتم رسمها على الفور على الكمبيوتر ، يمكن تقليل المسافات المبدئية لتحقيقات درجة الحرارة عند اكتشاف الانحرافات في درجات الحرارة. وبالتالي ، يتم تحديد الحدود الرأسية والأفقية لمناطق التسرب ، كما هو موضح في الشكل (2-6) ، في الموقع. وحتى الآن ، تم تطبيق تحقيقات درجة الحرارة على السدود التي يبلغ طولها حوالي 500 km في جميع الهياكل الهيدروليكية الأخرى ، على سبيل المثال. أقفال السفن ، مما يدل على تزايد الطلب على الكشف عن مناطق تسرب وكذلك تدفق غير طبيعي في أسس السدود تعتبر هذه الطريقة موثوقة و ناجحة كما تعتبر تحقيقات درجة الحرارة مناسبة لمراقبة الجودة بعد أعمال البناء أو الترميم.



الشكل (2-5) تركيب مجموعة من مجسات درجة الحرارة



الشكل (2-6) توزيع درجة الحرارة الناتج عن مسح لمجموعة من مجسات درجة الحرارة

2-2-1-2-6-2 استشعار درجة الحرارة الموزعة باستخدام الألياف البصرية

يعمل استشعار درجة حرارة الألياف البصرية عن طريق إرسال نبضة ليزر قصيرة (أقل من 10 ns) إلى ليف ضوئي. يتم تحليل الضوء المائل إلى الخلف باستخدام مطيافية رامان ، مما يوفر شدة Stokes و anti Stokes). تتناسب نسبة Stokes (Stokes) إلى شدة مقاومة anti Stokes) مع درجة الحرارة عند نقطة الانعكاس (تساوي نقطة القياس). توطين نقطة القياس هو المسافة على طول الألياف المحسوبة من المدة التي يحتاجها الضوء المائل للخلف وسرعة الضوء. توفر هذه الطريقة صورة درجة الحرارة موزعة على طول الألياف البصرية بالكامل.

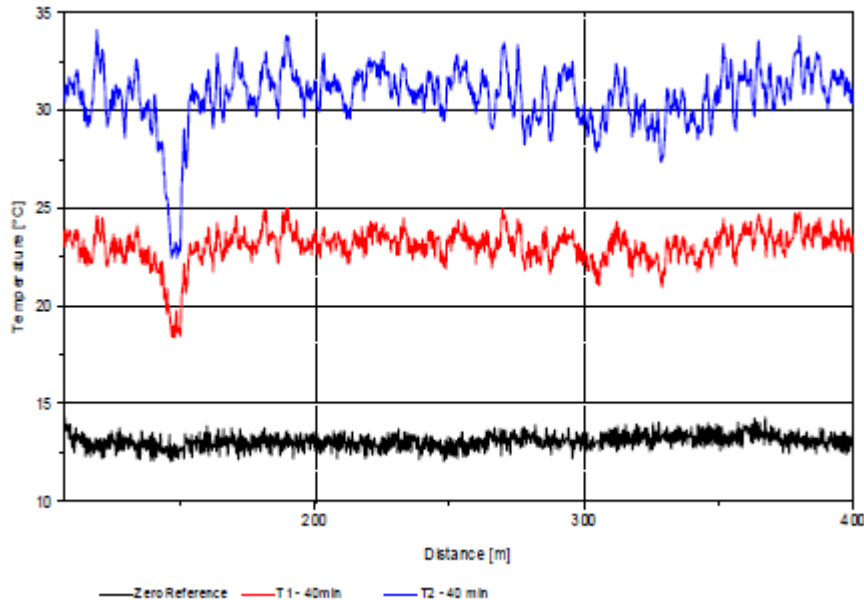
تتيح طريقة استشعار درجة الحرارة بالألياف الموزعة عالية الدقة قياس درجة الحرارة على طول الألياف البصرية التقليدية التي يصل طولها إلى 30 km. هذه الطريقة مناسبة لمراقبة السدود والهياكل الهيدروليكية الأخرى. يوفر تكامل الألياف البصرية في هيكل الإنشاءات الجديدة أو ضمن نطاق أعمال الترميم والإصلاح و التوطين الدقيق للتسريبات الناشئة عن طريق مراقبة درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية المكلفة.

في مجال أعمال الإصلاح ، غالباً ما يتم تثبيت الألياف الضوئية خلف أجهزة مانعة للتسرب مباشرة حيث لا تُظهر درجة الحرارة اختلافاً في درجة حرارة المياه المحتجزة.

في مثل هذه الحالات ، تم تحسين الألياف البصرية بواسطة سلك كهربائي من أجل توليد نبضة حرارة في محيط الكبل. إذا كان كلاهما ، يتم الجمع بين الألياف البصرية والأسلاك الكهربائية داخل نفس الكابل ، ويشار إلى الكابل بالكابل المجهين. يوفر تركيب الكابلات المجهينة قياسات درجة حرارة الألياف البصرية أثناء تسخين الكابل (انظر طريقة نبضة الحرارة ، HPM ، الفقرة التالية). تتبدد الحرارة المستحثة كهربائياً في مواقع التسرب أو زيادة التدفق ولا تزيد درجة الحرارة على طول الألياف بقدر ما في الأماكن التي لا يوجد فيها تدفق انظر الشكل (2-7). وبالتالي ، فإن اكتشاف التسرب باستخدام HPM مستقل عن تدرج درجة الحرارة بين الاحتفاظ بدرجة حرارة الماء ودرجة حرارة السد.

تم تطبيق طريقة استشعار الألياف البصرية لأول مرة في عام 1996 [19]. منذ ذلك الحين ، تم النظر في أكثر من 180 km من الكابلات المهجنة في نطاق العديد من أعمال البناء والتأهيل الجديدة كأداة مراقبة مستمرة أو للتفتيش العرضي.

علاوة على ذلك ، يكشف تحليل أكثر تفصيلاً عن HPM عن تقدير سرعات المسام [20].



الشكل (2-7) قياسات درجة الحرارة على طول الألياف البصرية في أوقات مختلفة من التدفئة والتي تبين مناطق تسرب متميزة

2-6-2-3- طريقة نبض الحرارة (HPM)

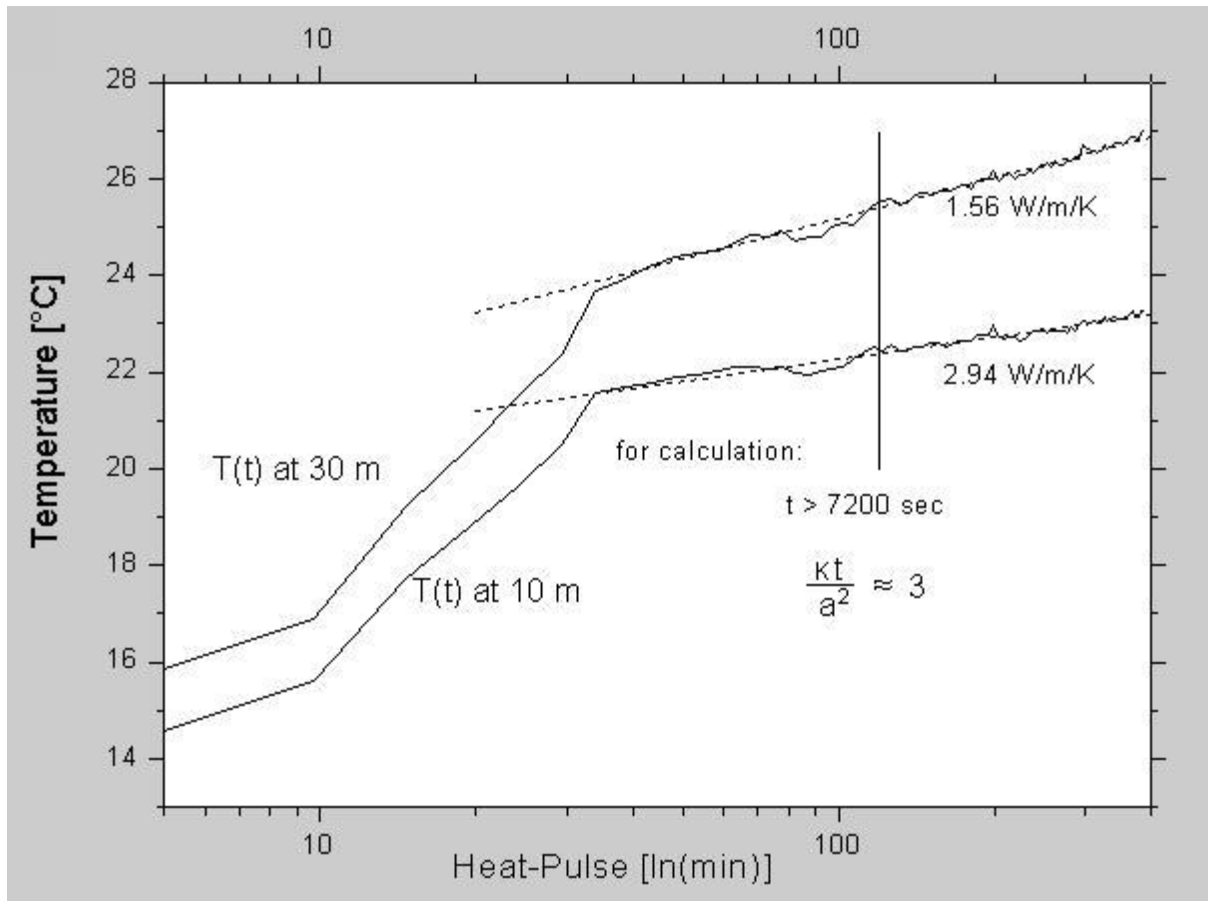
تم تطوير طريقة نبضة الحرارة لقياس الموصلية الحرارية المحلية في الموقع ولتقدير سرعات المسام في المياه الموجودة في السدود الترابية الموجودة في التربة وفي الأساس. تعتمد هذه الطريقة على توليد اضطراب حراري واضح المعالم للأرض ممثلة بمصدر حرارة خطي. يتم تحقيق مصدر الحرارة الخط بسهولة مع الأسلاك الكهربائية.

في عام 1991 تم دمج مصدر الحرارة مع مجسات درجة الحرارة ، أي تم إدخال الأسلاك الكهربائية في الأنابيب المجوفة بالإضافة إلى سلسلة من أجهزة استشعار درجة الحرارة. بالاشتراك مع الألياف البصرية ، تم تطبيق HPM لأول مرة في عام 1998 [19] .

بمجرد أن يتم تشغيل مصدر الحرارة ، ترتفع درجات الحرارة داخل جهاز القياس بسرعة وفي حالة التوصيل الحراري النقي ، ستزداد باستمرار على مقياس زمني لوغاريتمي (انظر الشكل: 2-8). في حالة الحمل الحراري ، التي يوفرها تدفق التسرب ، تميل درجات الحرارة إلى بعض القيم المقاربة - درجة الحرارة النهائية. وفقا للموصلية الحرارية ، فإن المواد المحيطة بجهاز قياس درجة الحرارة تبذل الحرارة المستحثة. كلما كانت سرعة المسام أكبر ، كلما زاد تبديد الحرارة ، أي كلما كانت درجة الحرارة النهائية أقل. لوحظ ظاهرة مماثلة عند إيقاف تشغيل مصدر الحرارة (الاسترخاء). لا تدفق يولد عملية التبريد البطيء إلى درجة حرارة الأرض دون عائق بعد فترة طويلة. ينتج عن تدفق السوائل الموجودة تكيف سريع لدرجات حرارة الأرض غير المضطربة .

تستخدم كل من عمليات التكيف درجة الحرارة (التدفقة والاسترخاء) لتحديد الموصلية الحرارية للمادة في نقطة قياس درجة الحرارة. تتراوح الموصلية الحرارية للتربة ومواد البناء بين (0.8 و 4.5 $Wm^{-1} K^{-1}$). تتجاوز الموصلات الحرارية هذه القيم عند حدوث تدفق السوائل وتناسب مع سرعات التدفق. وهكذا ، فإن طريقة نبضة الحرارة توفر التسهيلات لتقدير سرعات المسام نوعياً من مسوحات درجة حرارة الأرض [21].

تم وصف التفسير النظري لدراسات الحرارة التي أجريت باستخدام طريقة نبضة الحرارة حيث يعتمد على الاختراق في التربة أو مواد البناء في درجات الحرارة التي تحدث مع HPM على مدة التسخين وقوة مصدر الحرارة وسرعة التدفق. التطوير المتواصل ل HPM يتوخى تقديرًا أكثر دقة لسرعات المسام. وقد تم تطبيق نهج سرعات المسام كما هو موضح أعلاه في تحقيقات درجة الحرارة في السدود وعلى طول الكابلات المجدية. الطريقة المعاكسة ل HPM هي طريقة نبض الصقيع. في المواقع التي لا تحتوي على الإمداد الكهربائي ، تكون تقديرات السرعة مجدية تقنياً من خلال تبريد أنابيب تحقيقات درجة الحرارة بدلاً من تسخينها. يتم رصد مسوحات درجة الحرارة أثناء تبريد الأنابيب باستخدام CO_2 السائل. على غرار HPM ، يكشف تقييم البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام طريقة النبضة الصقيعية على تقدير نوعي لسرعات المسام.

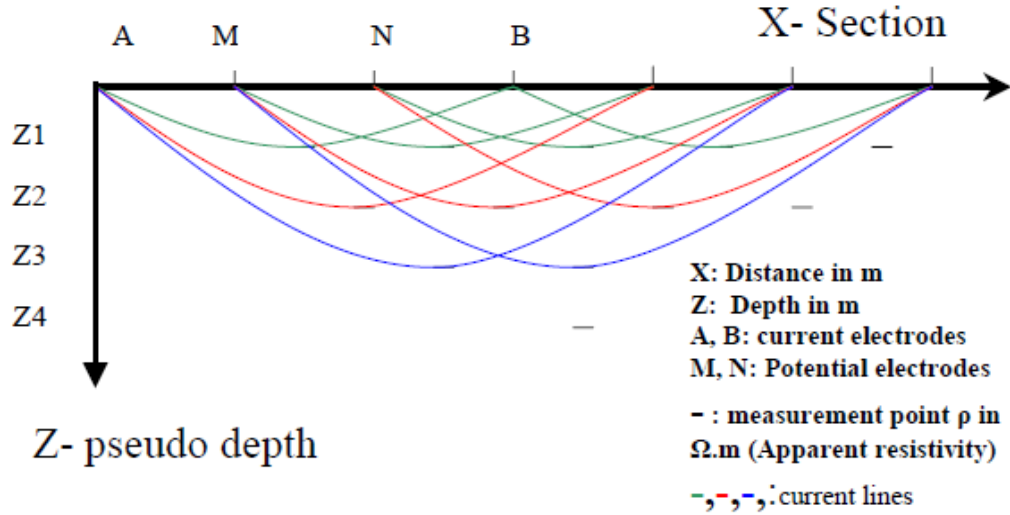


الشكل (8-2) درجات الحرارة مقابل الوقت على أعماق مختلفة داخل مسبار عمودي نتيجة ل HPM

تم تطبيق هذه الطريقة على سد Embankment على نهر الدانوب [22].

2-6-3- الطريقة الجيوكهربائية ثنائية البعد كطريقة تحري جيوكهربائية :

تدعى الطريقة الجيوكهربائية ثنائية البعد بطريقة التخطيط الشاقولي أيضاً , حيث يتم بواسطتها تسجيل قيم المقاومة الظاهرية ثنائية البعد لمواد المنطقة المطلوب دراستها و ذلك بواسطة كوابل متعددة الإلكتروودات , حيث تنخفض قيم المقاومة الظاهرية للغضار و تزداد بالترب الرملية , و تتم عملية القياس عن طريق إرسال تيار كهربائي بين الإلكتروودات المخصصة لذلك (A,B) و قياس فرق الكمون الكهربائي بين مساري الكمون (M,N) , يتم تكرار عملية القياس بشكل أوتوماتيكي و مبرمج , بحيث يتم الانتقال إلى خط قياس آخر ذي عمق ظاهري أكبر من عمق خط القياس الأول [10]. الشكل (2-9) يبين طريقة التخطيط الشاقولي.



الشكل (2-9) طريقة التخطيط الشاقولي

$$R_a = R.K \quad (2-1) \quad \text{لحساب المقاومة الظاهرية :}$$

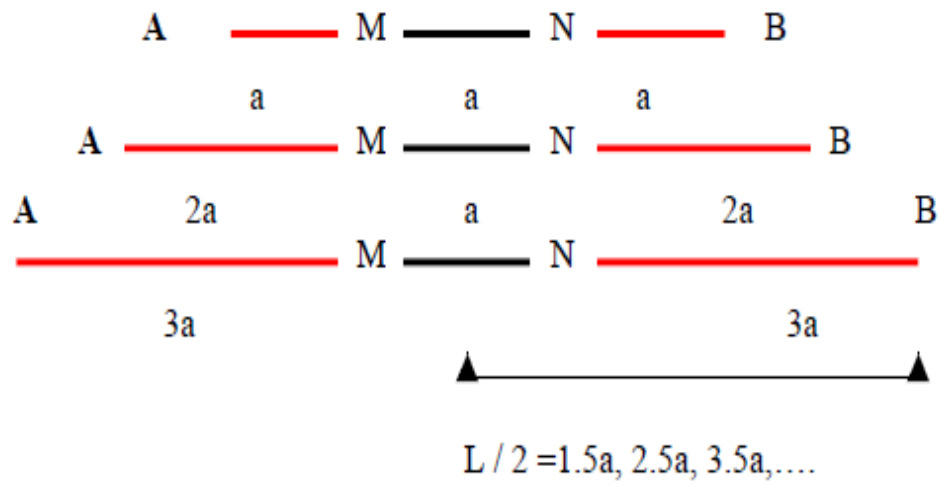
حيث : K : العامل الهندسي للتشكيل المستخدم .

R : المقاومة الظاهرية (ohm.m) .

R_a : المقاومة الظاهرية للنقطة المدروسة (ohm.m).

يتم بشكل أوتوماتيكي حساب العامل الهندسي K للتشكيل المستخدم و حساب المقاومة الظاهرية من خلال العلاقة السابقة بعد قياس المقاومة الكهربائية للنقطة المدروسة .

و يوضح الشكل (2-10) تشكيل اللوحات الجيوكهربائية المنفذة حسب المسافات .



الشكل (10-2) تشكيل اللوحات الجيوكهربائية المنفذة حسب المسافات

و نستنتج أنه يزداد عمق اختراق التيار الكهربائي بزيادة طول نصف التشكيل $L/2$.

نفذت اللوحات الجيوكهربائية بواسطة الجهاز الجيوكهربائي (ARES) الشكل (11-2), و بكوابل متعددة الإلكترودات الشكل (12-2) Multicable.



الشكل (12-2) كبل متعدد الإلكترودات



الشكل (11-2) الجهاز الجيوكهربائي ARES

تم استخدام هذه الطريقة في الحالة الدراسية المعتمدة في البحث (سد كودنة).

الفصل الثالث

الوصف الإنشائي لسد كودنة و برنامج التحريات الحقلية والمخبرية

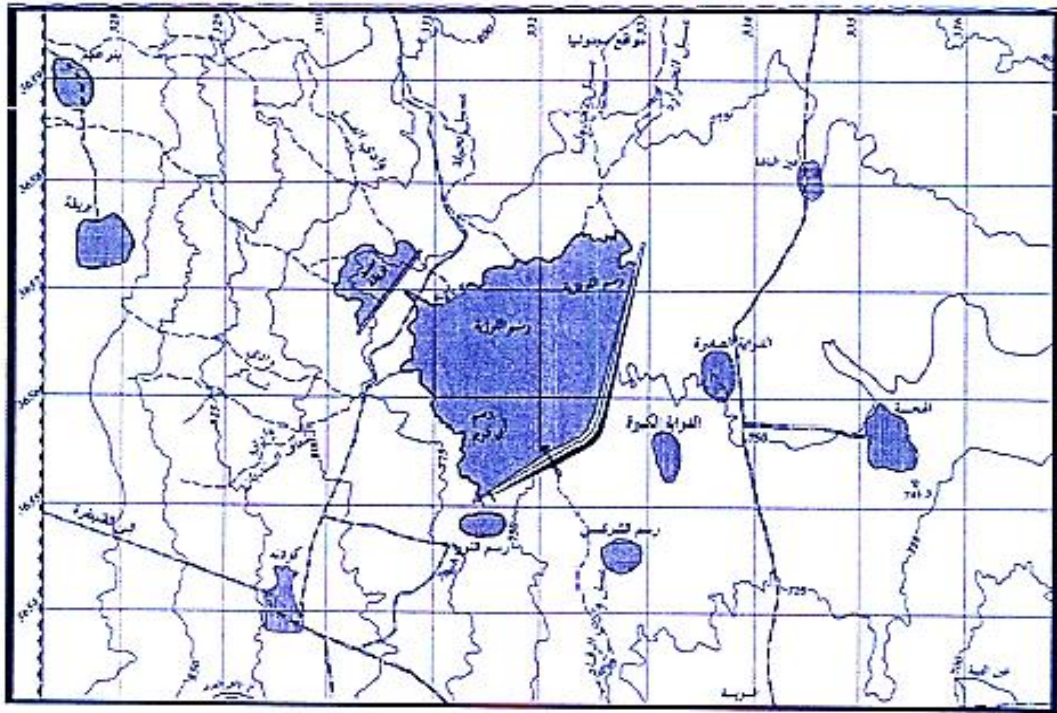
3-1- وصف منطقة الدراسة

يعدّ سد كودنة من السدود الهامة التي بنيت في محافظة القنيطرة , حيث قامت الشركة العامة للدراسات المائية بدراسة الموقع المقترح لبناء السد عام 1986, و قامت المؤسسة العامة للإسكان العسكري فرع (802) بتنفيذ هذا السد عام 1994 .

بني سد كودنة كسد ركامي على وادي الرقاد بالقرب من قرية كودنة بهدف ري الأراضي المزروعة و لحجز المياه عن الكيان الصهيوني , بسعة تخزينية تبلغ حوالي 31m^3 و ارتفاع أعظمي 29m و بطول حوالي 3000m, الشكل (3-1) خريطة تبين موقع سد كودنة .

تعرض السد لعدة فيضانات أثناء فترة بناء و استثمار السد , و تم ملاحظة هبوط سريع لمستوى المياه في عدد من الآبار البيزومترية في الفترة ما بعد عام 2004 م .

اعتماداً على ما لوحظ تبين أن السد في وضع حرج و غير مستقر [9] , و من أجل الحفاظ على سلامة السد تم اتخاذ القرار بألا تتجاوز السعة التخزينية للسد 12.5m^3 أي لمنسوب 758m , و نتيجة لذلك تم وضع السد فنياً لكي تتم معالجة هذه المشكلة و إعادة تأهيل السد كي يقوم بدوره كما صمم , أي بسعة 30m^3 .



الشكل (3-1) خريطة موقع سد كودنة

3-2- الوصف الإنشائي للسد :

صمم و بني سد كودنة كسد ركامي بنواة غضارية مركزية بارتفاع (29m) و طول حوالي (3000 m) .

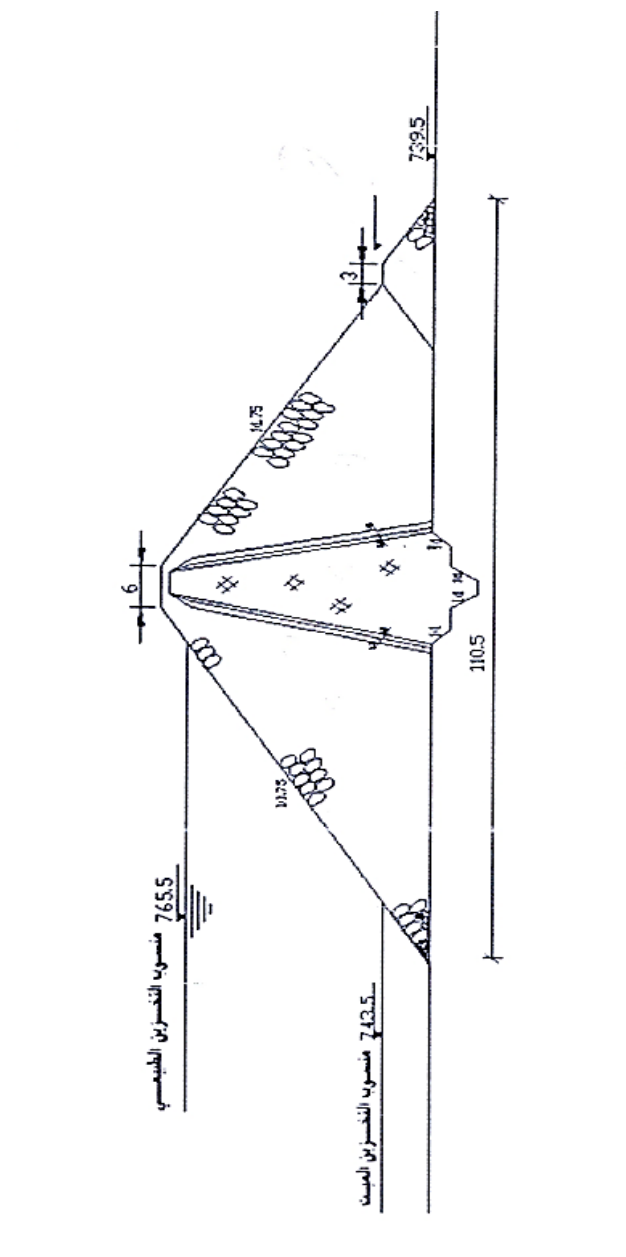
عناصر السد :

1-النواة الغضارية : تم بناؤها بنوعين مختلفين من الغضار .

2-الفلاتر : تتألف موادها من أحجار كلسية مكسرة مع جزيئات رملية .

3-جسم السد : بني من صخور بازلتية .

الشكل (2-3) يبين مقطعاً عرضياً في سد كودنة. كما يبين الجدول (3-1) هوية سد كودنة .



الشكل (2-3) مقطع عرضي في سد كودنة

الجدول (3-1) يبين هوية سد كودنة

أ- هوية سد كودنة		
1	موقع السد	محافظة القنيطرة
2	إحداثيات السد	X=3656 ,y=331, z=767.50
3	الهدف من إنشاء السد	الري - حجز المياه عن اسرائيل
4	نوع السد	ركامي مع نواة غضارية
5	مساحة الحوض الساكب	262km ²
6	الجريان السنوي الوسطي	58mm ³
7	منسوب قاع الوادي	739.5m
8	طول محور السد	2990m
9	عرض قمة السد	6m
10	الحجم الميت	1.2 mm ³
11	الحجم المفيد	31 mm ³
12	الحجم الكلي	32.2 mm ³
13	منسوب الحجم الميت	743.5m
14	منسوب الماء الطبيعي	765.5m
15	منسوب الماء الأعظمي	766.5m
16	منسوب قمة السد	768.5m
17	ارتفاع السد الأعظمي	29m
18	مساحة بحيرة السد	3.18 km ²
19	حجم الردميات	1.35 mm ³
20	الريعية	20
ب- المنشآت الملحقة بالسد		
"النوع : جبهى التصريف الأعظمي: 293m ³ / sec طول الهدار : 104 m		المفيض
"برج بيتوني قطره 4m وسكر فراشة على أنبوب معدني قطره 180cm و طوله 117 m بتصريف 35.87 m ³ /sec		المفرغ

و تبين الأشكال (3-3), (4-3), (5-3) صور لسد كودنة , برج المفرغ و بوابات السد .



الشكل (3-3) صورة لسد كودنة

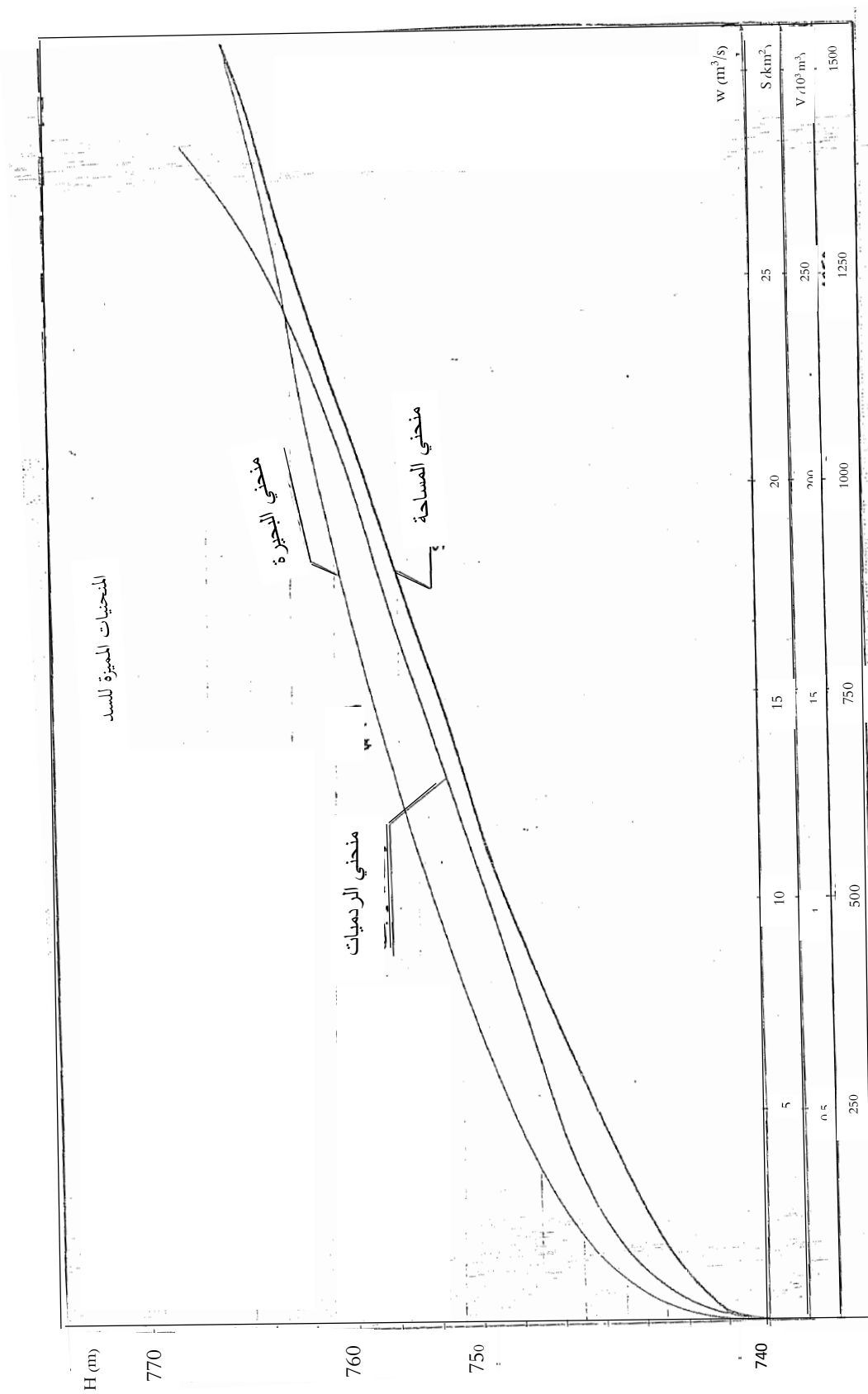


الشكل (4-3) برج المفرغ للسد



الشكل (5-3) بوابات السد

أما الشكل (3-6) يبين المنحنيات المميزة للسد (منحني التخزين ، المساحة و الردميات)



الشكل (3-6) المنحنيات المميزة للسد

3-3- الوضعية الجيولوجية الهندسية للسد :

اعتماداً على الوصف الليتولوجي لعينات السور و ربط المعطيات الحقلية بالنتائج المخبرية لتحديد الخواص الفيزيائية الميكانيكية لمختلف أنواع التوضعات , تم تصنيف التوضعات في مختلف مواقع التحريات و ذلك بعد المعالجة الإحصائية لنتائج كل توضيع كما يلي [10] :

3-3-1- صخور أساس السد :

تتألف صخور أساسات السد من التوضعات الآتية :

1- تربة سطحية بسمكة تتراوح بين (1-2 m) تتألف من الغضار و الحصى و الحجارة البازلتية .

2- تعاقب صبات بازلتية ما بين البازلت المصمت القاسي إلى البازلت الفراغي الفاسد جزئياً متحولاً إلى الغضار الأحمر في مناطق فساده تناوب هذه الصبات بسمكة تتراوح ما بين (3-20 m) .

و يمكن تقسيمها من حيث خواصها الفيزيائية الميكانيكية إلى ثلاثة أصناف هي من الأعلى إلى الأسفل كما يأتي:

a- طبقة بسمكة (3-6 m) من البازلت القاسي جداً , المصمت ضعيف النفوذية و تحدد خواصه القيم المدونة في الجدول (2-3) :

الجدول (2-3) : مواصفات طبقة البازلت القاسي بسمكة (3-6 m)

3.98	الوزن النوعي (g/cm^3)
3.75	الكثافة الكلية (g/cm^3)
10.07	المسامية (%)
18	درجة الإشباع (%)
900	المتانة في الحالة الجافة R_d (Kg/cm^2)
740	المتانة في الحالة المشبعة R_s (Kg/cm^2)
0.82	عامل التلين للصخور R_s/R_d
0.69	عامل حالة الصخر

عامل حالة الصخر : النسبة بين نسبة العينات المستخرجة و التي يبلغ طولها أكبر من (10 cm) إلى نسبة العينات الكلية المستخرجة من السبر و بالتالي يعبر عن درجة تماسك الصخر في الحالة الطبيعية و من معاملة متانة الصخر المستخرج من التجارب المخبرية و ربطه بمعامل حالة الصخر في الطبقة تمكنا من تحديد المتانة الطبيعية لصخور الأساس و في حالتها الطبيعية بعد الإنشاء من العلاقة (3-1)

$$R = \frac{R.Q..D}{c}.R_s = 511kg/cm^3 \quad (3-1)$$

حيث : R : المتانة في الحالة الطبيعية المشبعة بالماء .

$R.Q.D$: نسبة العينات الأكبر أو تساوي 10 cm .

c : نسبة العينات المستخرجة .

R_s : تحمل الصخر في الحالة المشبعة بالماء .

و بالتالي تصنف صخور هذه السماكة بالبازلت المتين , غير المجوى , متماسك في التوضع الطبيعي و غير مشقق . كما لا يتأثر أو لا يتلين عند إشباعه بالمياه , و تشكل بالتالي طبقة أساس جيدة و مناسبة لإقامة جسم السد عليها .

b-سماكة (3-10 m) من بازلت فراغي (فاسد جزئياً) تتحول فيه المناطق الفاسدة إلى غضار أحمر يشكل ملاطاً يجمع الحصى و الكتل البازلتية غير الفاسدة , تتصف هذه الصخور بالخواص المبينة بالجدول (3-3) :

الجدول (3-3) : مواصفات طبقة البازلت الفراغي بسماكة (3-10 m)

2.97	الوزن النوعي (g/cm^3)
2.70	الكثافة الكلية (g/cm^3)
11.11	المسامية (%)
29	درجة الإشباع (%)
420	المتانة في الحالة الجافة (Kg/cm^2)
240	المتانة في الحالة المشبعة (Kg/cm^2)
0.57	عامل التلين (R_s/R_d)
0.40	عامل حالة الصخر

و قد قدر عامل حالة الصخر تقديراً حيث لم يتم الحصول بالحفر على قطع صخرية يزيد طولها (10 cm) وبالتالي فإن النسبة ($R.Q.D=0$) , و إنما في الحقيقة فإن الصخر متماسك في وضعه الطبيعي خلال الأثر الميكانيكي للحفارة كما أن المتانة الطبيعية للصخر في الحالة المشبعة بالمياه تبلغ ($R = R_s.K \leq 100Kg/c$) حيث K : عامل حالة الصخر للطبقة .

و بالتالي تصنف هذه السماكة من وجهة نظر جيولوجية هندسية بأنها متوسطة المتانة تتلين عند إشباعها بالماء , و لكنها ليست ذات أثر سلبي من الناحية الإنشائية إذ أنها تقع خارج نطاق إجهادات جسم السد و ذلك كونها تقع تحت طبقة أساس متينة تمتص كافة الحمولات و الإجهادات التي يطبقها جسم السد .

c – سماكة (2-20 m) تتكون من بازلت فراغي أو قليل الفراغات و الشقوق متماسك و متوسط القساوة تتصف صخورها بالخواص الموضحة بالجدول (3-4) .

الجدول (3-4) : خواص طبقة البازلت الفراغي بسماكة (2-20 m) من طبقة الأساس

2.98	الوزن النوعي (g/cm^3)
2.77	الكثافة الكلية (g/cm^3)
9.06	المسامية
38	درجة الإشباع
610	المتانة في الحالة الجافة (Kg/cm^2)
350	المتانة في الحالة المشبعة (Kg/cm^2)
0.75	عامل التلين (R_s/R_d)
0.37	عامل حالة الصخر

و بالتالي تصنف صخور هذه السماكة بأنها بازلت متوسط المتانة يتلين عند إشباعه بالماء قليل التجوية . و هذه الصخور لا تتأثر حتماً بحمولات الإجهادات الناتجة عن انتشار جسم السد و ذلك لعمقها و بعدها عن النطاق الفعال لهذه الإجهادات .

و جدير بالذكر بأن السماكات (b و c) تتناوب أكثر من مرة في المقطع الجيولوجي الهندسي

3-3-2- مواد البناء :

سنتعرض فيمايلي لأهم الخواص و المواصفات الطبيعية و الاستثمارية لمختلف مواد البناء اللازمة :

- المواد الحجرية للردميات و الإكساءات المختلفة
- المواد الغضارية لإنشاء النواة الكتيمية .

3-2-3-1- المواد الحجرية :

تتوفر الحجارة بكميات كبيرة على السطح في حوض التخزين بالقرب من محور السد , و هي ذات أشكال شبه مدورة , تتراوح أقطارها وسطياً بحدود (30 cm) , كما و أنها سهلة الاستثمار و قريبة التناول و لها خواص فيزيائية ميكانيكية تحدد بالجدول (3-5) .

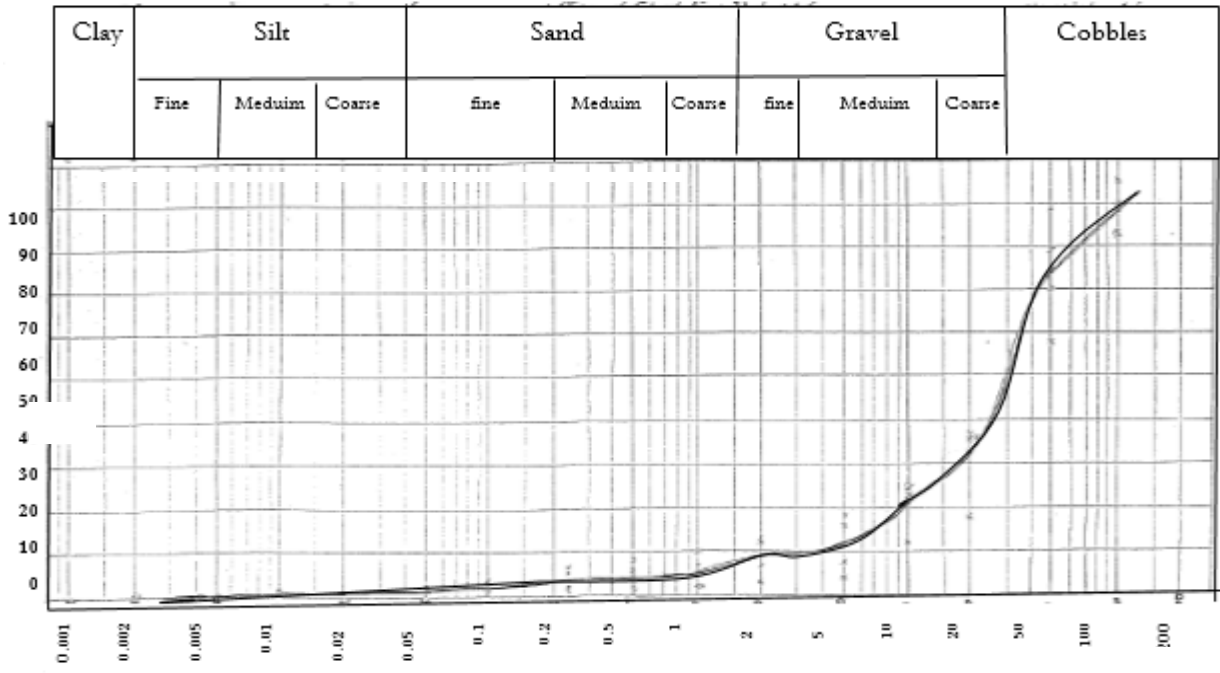
الجدول (3-5) : مواصفات المواد الحجرية

2.96	الوزن النوعي (g/cm^3)
2.62	الكثافة الكلية (g/cm^3)
16.1	المسامية (%)
538	المتانة في الحالة الجافة (Kg/cm^2)
300	المتانة في الحالة المشبعة (Kg/cm^2)
0.56	عامل التلين (R_s/R_d)

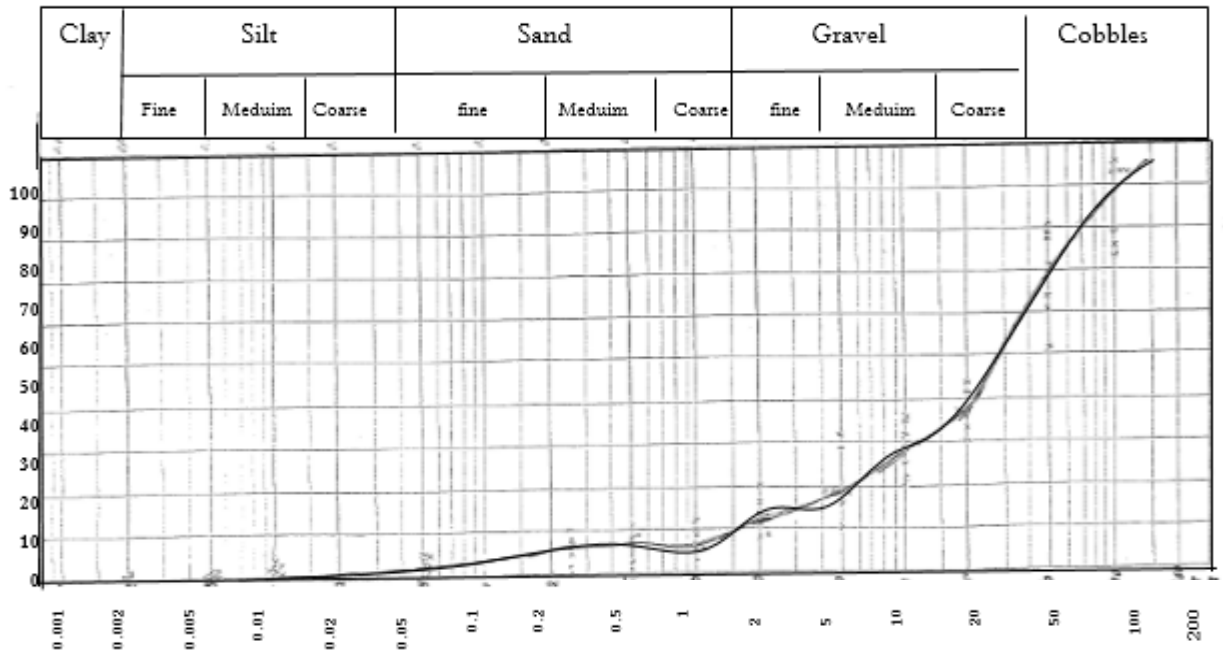
فهي بذلك تصنف بالصخور المتينة قليلة التأثير بالإشباع المائي , و تعتبر مناسبة في الأعمال الإنشائية لجسم السد و توابعه .

3-2-3-2- المواد الحصوية الرملية :

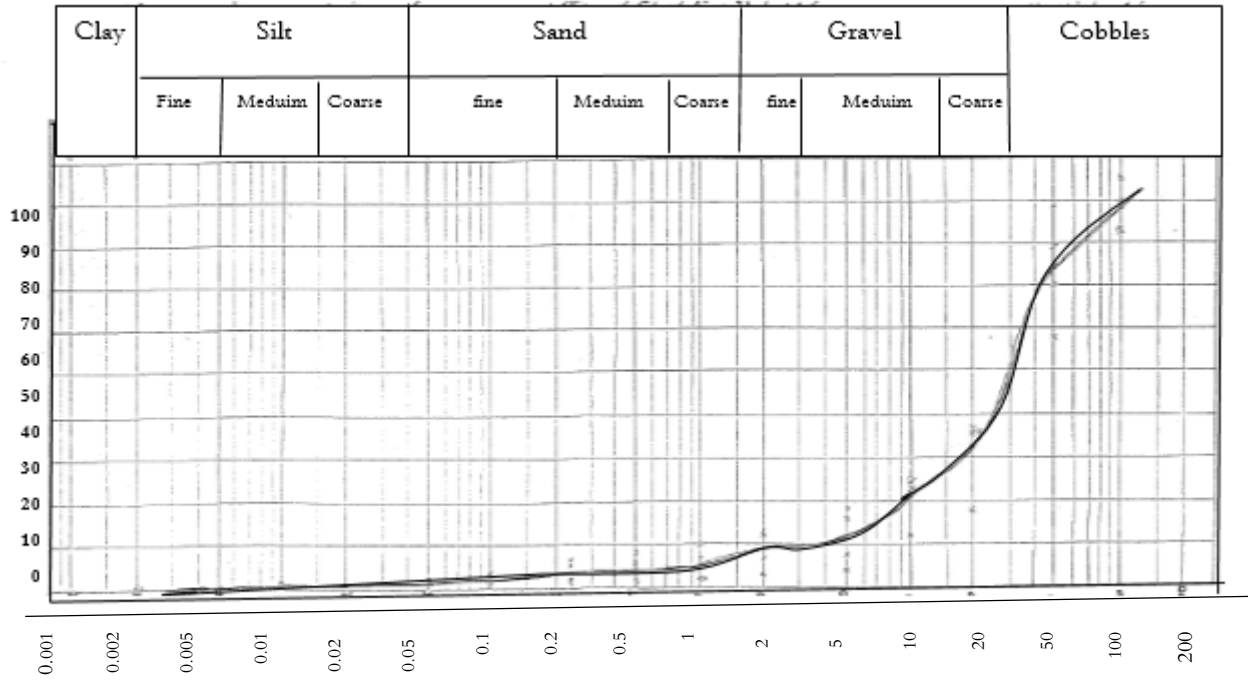
كما ذكرنا تم اختبار عدة مواقع تتوفر فيها المواد الخشنة التي سيتم استخدامها في طبقات المرشحات المقترحة لجسم السد أو غيره من المنشآت المائية , و تظهر الأشكال (3-9, 3-8, 3-7) مخطط التركيب الحي لأهم المقالع



الشكل (3-7) مخطط التركيب الحبي لمقلع تل أحمر شرقي



الشكل (3-8) مخطط التركيب الحبي لمقلع الشجرة



الشكل (3-9) مخطط التركيب الحبي لمقلع تل الجموع

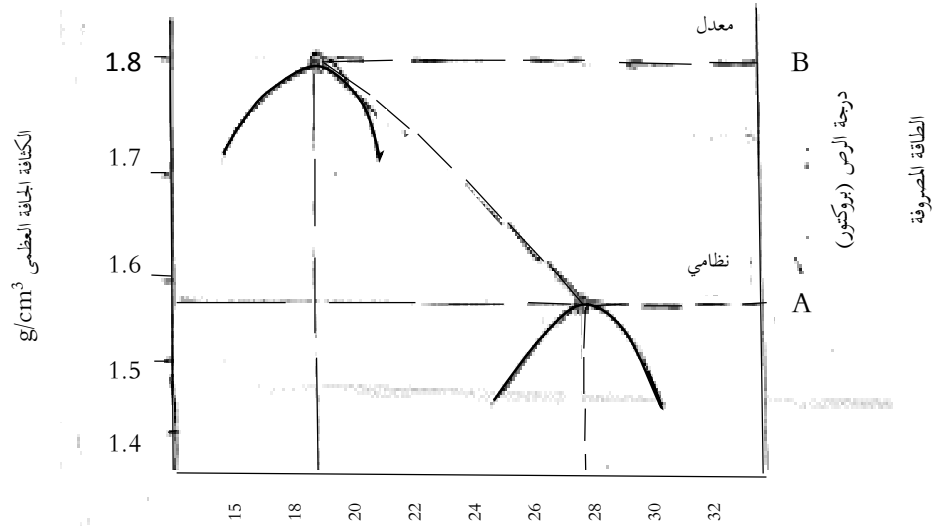
3-3-2-3- المواد الغضارية

لقد تم اختيار عينات ممثلة لعدة مواقع , و ذلك بهدف تحديد الخواص الفيزيائية و الميكانيكية لمواد هذه المواقع , و قد تم أهم خصائص المواد المختبرة بالاعتماد على التجارب المخبرية و الاستكشاف الحقلية في مختلف هذه المواقع .

يتميز أحد هذه المواقع بالمواصفات الآتية :

- يقع على الطرف الأيسر لمحور السد .
- يقدر الحجم الممكن استثماره من المقلع بحدود (0.3 m^3) .
- تتألف توضعاته من غضار سليتي ضعيف التجانس , لدن , جيد الارتصاص و كثيم بعد الرص ينتشر على مساحة حوالي (0.15 km^2) بسماكة وسطية 2m .
- درجة رص بروتكتور نظامي الطاقة المعروفة فيها (593.7 kJ/m^3)
- درجة رص بروتكتور معدلة الطاقة المعروفة فيها (2710 kJ/m^3)

يبين الشكل (3-10) تغيرات الكثافة الجافة العظمى عند الرطوبة المثالية مع درجة الرص , و بالتالي فهو يعطينا فكرة عن الطاقة اللازمة لتحديد الكثافة المناسبة للتصميم و نوعية الآليات المطلوبة لتأمين هذه الطاقة .



الشكل (3-10) يبين تغيرات الكثافة الجافة العظمى

و يبين الجدول (3-6) أهم الخواص الفيزيائية الميكانيكية للمواد الغضارية المتوضعة في هذا المقلع .

الجدول (3-6) : المواصفات الفيزيائية للغضار

2.70	الوزن النوعي (g/cm^3)
53.30	حد السيولة (%)
23.70	حد اللدونة (%)
29.60	معامل اللدونة (%)
9.86	المحتوى من كربونات الكالسيوم (%)
1.79	المحتوى من الجبس (%)
0.75	المحتوى من العضويات (%)

و يبين الجدول (3-7) نتائج تجربة بروكتور النظامية بعد رص العينة بدرجة رص نظامية بالطاقة (594 kJ/m^3)

الجدول (3-7) : نتائج تجربة بروكتور

1.57	الكثافة الجافة العظمى (g/cm^3)
27.90	الرطوبة المثلى (%)
41.85	المسامية (%)

أما ثابت التماسك في حالة الرطوبة المثلى فهو (0.99 kg/cm^2) وعامل التشوه حتى حمولة (3 kg/cm^2) هو (78 kg/cm^2) وعامل الانتفاخ 0.22 .

3-4- وصف برنامج التحريات :

أسباب التحريات :

- تعرض السد لعدة فيضانات أثناء فترة البناء والاستثمار .
 - خلل في قياسات البيزومتريات : ملاحظة هبوط سريع لمستوى المياه في عدد من الآبار البيزومترية في الفترة ما بعد 2004 .
 - زيادة الرشوحات من السد والمنشآت الملحقة به , و التخريب الذي تعرض له الوجه الأمامي للسد و انحراف أجزاء من الردميات الحجرية للوجه الأمامي و تحرب الفلاتر و أجزاء من النواة أثناء بناء النواة .
- كخطوة بدائية تم تخفيض حجم المخزون إلى 12.5 m.m^3 في بحيرة السد وبعد ذلك تم وضع برنامج التحريات .

يتألف برنامج التحريات اللازم لدراسة و تقييم الحالة الفنية للسد من ثلاثة أجزاء [9] :

الجزء الأول : يتمثل بالتحريات الحقلية (الجيوكهربائية - الجيوتكنيكية و تشمل حفر الآبار و أخذ العينات - تجارب النفوذية - تجارب الاختراق الديناميكي - تجهيزات بيرومترية - التصوير الضوئي داخل الآبار)

الجزء الثاني : التجارب و التحاليل المخبرية

الجزء الثالث : دراسة الرشح و استقرار السد

3-4-1- التحريات الحقلية :

3-4-1-1- التحريات الجيوكهربائية :

يهدف المسح الجيوكهربائي إلى إيجاد مناطق عدم التجانس ضمن مناطق العناصر الأساسية للسد و هي النواة و الفلاتر و الردميات الحجرية . انطلاقاً من حالة رشح النواة غير العادية , فقد تم تنفيذ اللوحات الجيوكهربائية بشكل مكثف في منطقة محور السد لمحاولة إيجاد

الأماكن الممكنة لظاهرة تسرب المياه ضمن النواة . بغية تقييم الحالة الراهنة لسد كودنة فقد تم تنفيذ برنامج مكثف تشمل عناصر السد المختلفة, و قد تم التركيز على دراسة نفوذية النواة لدراسة ظاهرة تشكل الأنابيب.

كمرحلة أولى يتم تنفيذ الدراسات الجيوكهربائية بهدف تحديد المناطق التي يمكن أن تفسر النفوذية العالية .

ملاحظة : لقد تم تحديد مواقع السبور اعتماداً على اعتبارات مختلفة منها نتائج التحريات الجيوكهربائية .

3-4-1-1-1- أهداف اللوحات الجيوكهربائية المنفذة

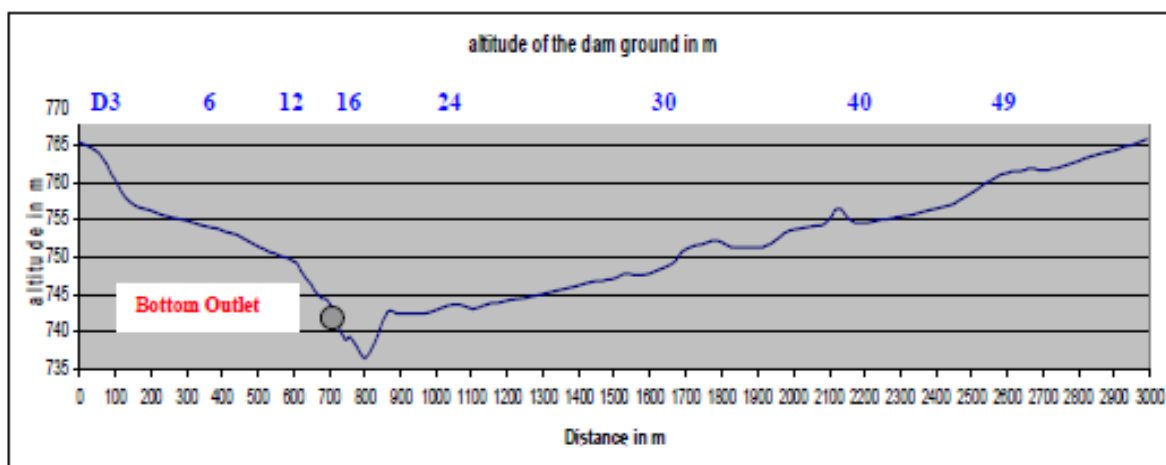
1- تحديد الشذوذات الكهربائية (القطاعات غير المتجانسة جيوكهربائياً ذات القيم المقاومة العالية أو المنخفضة) في مناطق (النواة - الفلاتر - الردميات الحجرية) .

2- إعطاء إرشادات و توصيات فعالة عن حالة الرشح في النواة .

3- تحديد عدد الآبار ومواقعها اللازمة لتنفيذ برنامج التحريات الجيوتكنيكية .

3-4-1-1-2- اللوحات الجيوكهربائية المنفذة :

يبدأ صفر متر اللوحات الجيوكهربائية المنفذة من الوتد D3 (منطقة التقاء جسم السد مع المفيض) الذي يبعد عن النقطة A بداية جسم السد من الكتف الأيمن مسافة 211m . و يبين الشكل (3-11) إحداثيات الأوتاد في جسم السد [10] .



الشكل (3-11) إحداثيات الأوتاد في جسم السد

يبلغ العدد الكامل للوحات المنفذة 29 لوحة , و قد نفذت 26 لوحة منها على طول السد , و ثلاث لوحات عمودية على المحور الطولي للسد و تم تنفيذ اللوحات الجيوكهربائية على الوجه الأمامي بمسافة 1m تقريباً من حافة الوجه الخلفي , و اللوحات الجيوكهربائية في منتصف قمة السد على طول السد . تم اختيار مقياس تمثيل المقاومة اعتماداً على النتيجة الإحصائية لحوالي 5560 قيمة مقاسة في منتصف قمة السد , حيث بلغت القيمة الصغرى (12ohm.m) و العظمى (799 ohm.m) بمقياس من (1-1000 ohm.m).

تم الحصول على تصور لتوزيع موديلات المقاومات الظاهرية من خلال أبعادها الأفقية و الشاقولية و مقاومة المواد التي يتألف منها الموديل و هناك عدة برمجيات جاهزة لإيجاد ذلك منها التي استخدمها برنامج Res2dmod. ويظهر الجدول (3-8) مواقع اللوحات الجيوكهربائية المنفذة في جسم السد :

الجدول (3-8) يبين مواقع اللوحات الجيوكهربائية

Sektionsno: / Distance	Position	configuration / Spacing
1- 05 / 635 - 955 m	Upstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 5 m
2- 05 / 635 - 955 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 5 m
3 - 05 / 635 - 955 m	Downdstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 5 m
1 - 07 / 0 - 189 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 3 m
2 - 07 / 189 - 441 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
3 - 07 / 441 - 693 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
4 - 07 / 693 - 945 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
5 - 07 / 945 - 1197 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
6 - 07 / 1197- 1449 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
7 - 07 / 1449- 1701 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
8 - 07 / 1701- 1953 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
9 - 07 / 1953- 2205 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
10 - 07 / 2205- 2457 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
11 - 07 / 2457- 2709 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
12 - 07 / 2709- 2929 m	Middle side	WENNER-SCHLUMBURGER / 4 m
13 - 07 / 692 - 881 m	Upstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 3 m
14 - 07 / 692 - 881 m	Downdstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 3 m
15 - 07 / 692 - 881 m	Downdstream side	WENNER-BETA / 3 m
16 - 07 / 722 - 848 m	Upstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
17 - 07 / 722 - 848 m	Downdstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
18 - 07 / 722 - 848 m	Downdstream side	WENNER-BETA / 2 m
19 - 07 / 754 - 817 m	Upstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 1 m
20 - 07 / 754 - 817 m	Downdstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 1 m
21 - 07 / 754 - 817 m	Downdstream side	WENNER-BETA / 1 m
22 - 07 at the Rampe	Cross section	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
23 - 07 at stone mark (16) at 531 m	Cross section	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
24 - 07 at stone mark (8) at 795 m	Cross section	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
25 - 08 / 671 - 797 m	Upstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m
26 - 08 / 671 - 797 m (reduced)	Downdstream side	WENNER-SCHLUMBURGER / 2 m

و تظهر الأشكال (3-12, 3-13, 3-14, 3-15) اللوحات الجيوكهربائية المأخوذة من عدة مقاطع في جسم السد .

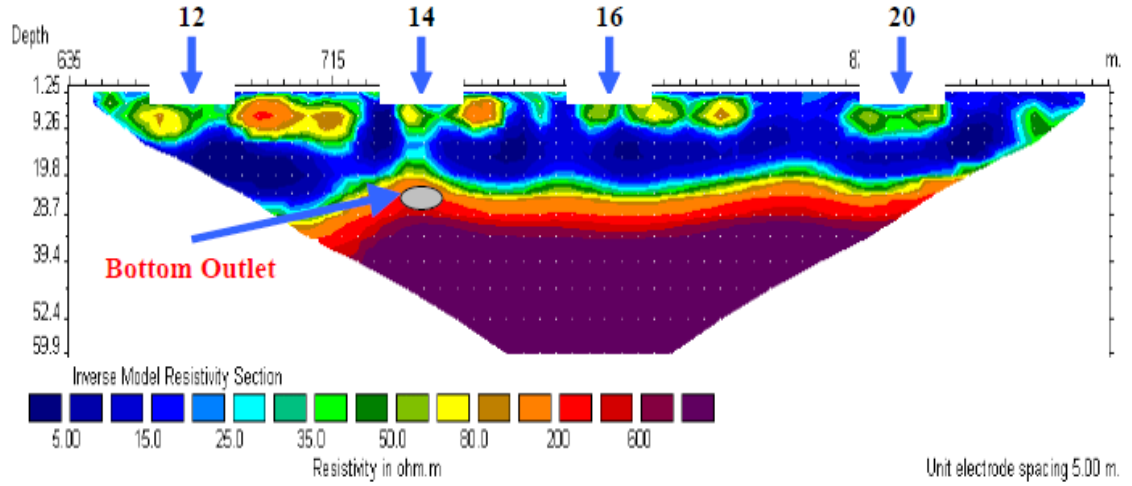
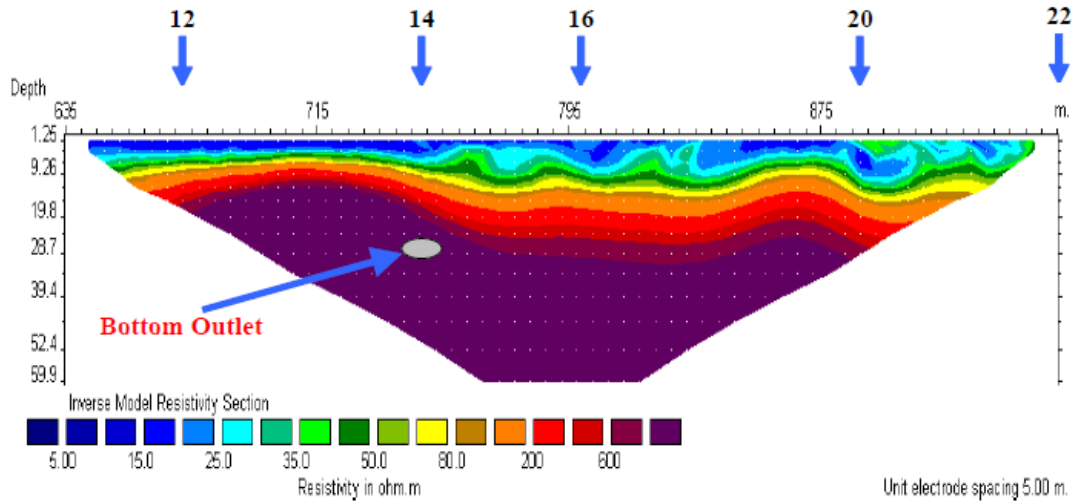
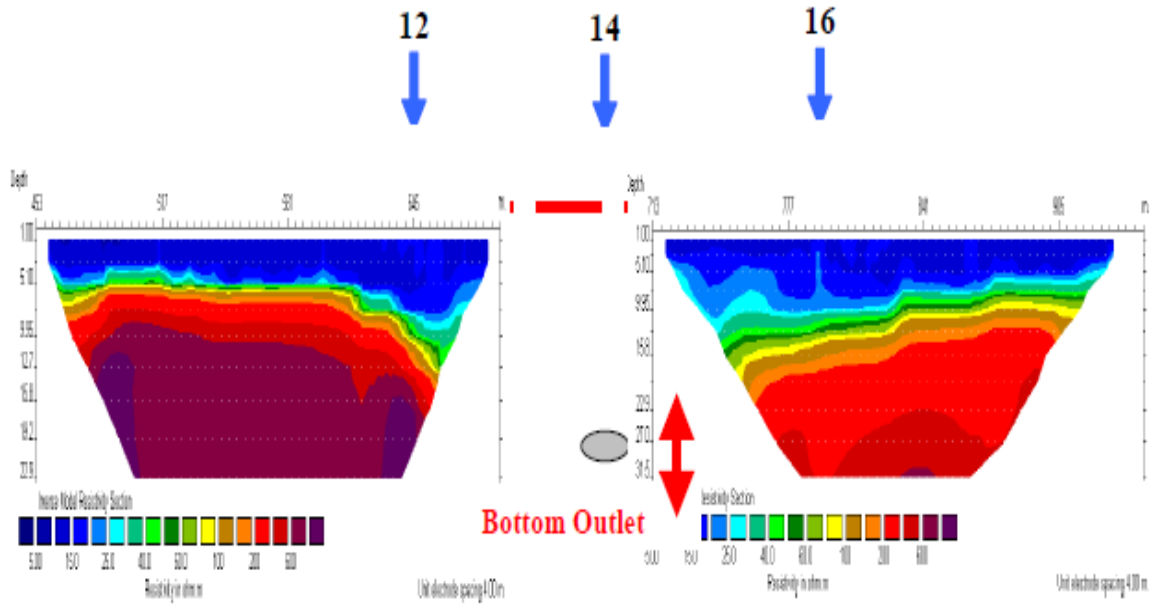


Figure 4.1.7: Geoelectrical section 1 - 05 / upstream side / 635 - 955m

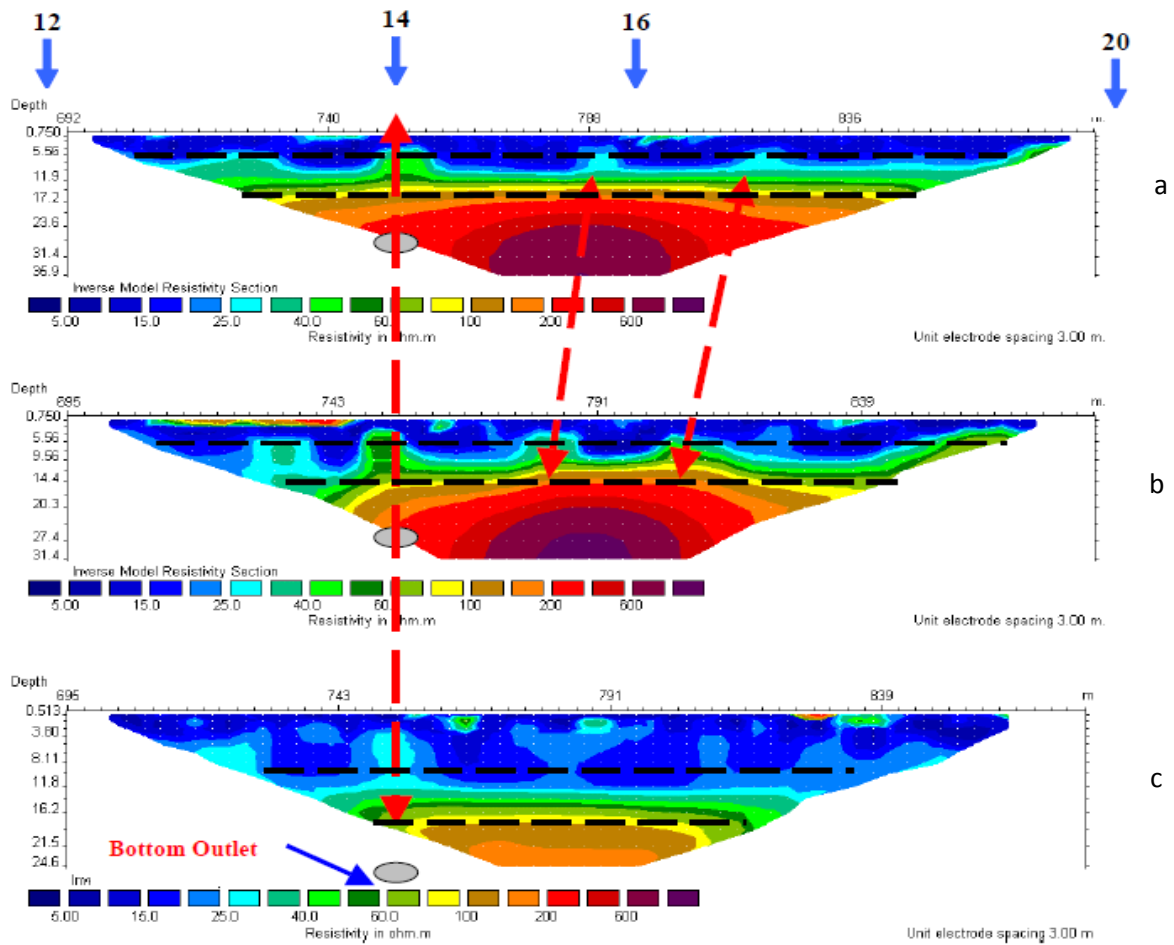
الشكل (3-12) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند الوجه الأمامي عند المسافة (635-955 m) بتباعدات 5m
الشكل يظهر مقاومة عالية (200ohm.m) عند العمق من (0-2)m في المجال (735-955)m



الشكل (3-13) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند الوجه الخلفي عند المسافة 635-955 m بتباعدات 5m



الشكل (3-14) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند منتصف القمة عند المسافة 441-693 m
اليمن: اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند منتصف القمة عند المسافة 693-945 m



الشكل (3-15) اللوحات الجيوكهربائية المنفذة عند الوجه الأمامي و الخلفي للسد عند مسافة 692-881m بتباعدات 1m

المقطع (15-3-a) يظهر مقاومة عالية (60 ohm.M) عند العمق من (14-6)m في المجال (820-720)m .

المقطع (15-3-b) يظهر مقاومة عالية (60ohm.m) عند العمق من (14-6)m في المجال (820-720 m) .

المقطع (15-3-c) يظهر مقاومة عالية (60ohm.m) عند العمق من (0-16m) في المجال (820-720 m) .

و يظهر الجدول (9-3) أماكن توزيع اللوحات الجيوكهربائية المنفذة في جسم السد ونتائجها :

الجدول (9-3) يظهر مواقع اللوحات الجيوكهربائية المنفذة في جسم السد و نتائجها

Section no. / Distance Spacing in m	Position	Anomalies	Horizontal Distance in m	Depth
1- 05 / 635 - 955 m 5 m	Upstream side	High values (200 Ω .m) Vertical sector (80 Ω .m)	635 - 840m 740m	2-4m 8-16m
2- 05 / 635 - 955 m 5m	Middle side	High values (200 Ω .m)	735 - 955m	0-2 m
3 - 05 / 635 - 955 m 5m	Downstream side	High values (100 Ω .m)	750 - 840	4-14m
1 - 07 / 0 - 189 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m) Vertical sector (40 Ω .m)	56-75m 123m	0-2m 0- 4m
3 - 07 / 441 - 693 m 4 - 07 / 693 - 945 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m)	620-770m	4-14m
7 - 07 / 1449- 1701 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m)	1590-1632m	0-16m
10 - 07 / 2205- 2457 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m)	2216-2292m	0-6m
11 - 07 / 2457- 2709 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m) Clay-Basalt	Complete	0-4m
12 - 07 / 2709- 2917 m 4m	Middle side	Re. High values (60 Ω .m) Clay-Basalt	Complete	0-4m
13 - 07 / 692 - 881 m 3m	Upstream side	Re. High values (60 Ω .m) Anomalies in clay	720- 820m	6-14m
14 - 07 / 692 - 881 m 3m	Downstream side	Re. High values (60 Ω .m) Anomalies in clay	720- 820m	6-14m
16 - 07 / 722 - 848 m 2m	Upstream side	Re. High values (60 Ω .m) Anomalies in clay	746- 826m	6-10m
17 - 07 / 722 - 848 m 2m	Downstream side	Re. High values (60 Ω .m) Anomalies in clay	746- 826m	6-10 m
19 - 07 / 754 - 817 m 1m	Upstream side	Re. High values (80 Ω .m) Anomalies in clay	772- 804m	6- 8 m
20 - 07 / 754 - 817 m 1m	Downstream side	Re. High values (60 Ω .m) Anomalies in clay	772- 804m	6- 8 m
25-08 / 671-797 m 2m 26-08 / 671-797 m 2m	Upstream side Downstream side	Re. High values (80 Ω .m) Anomalies in clay	680-780m	8-18m

تظهر نتائج اللوحات الجيوكهربائية شذوذاً واضحاً عند المسافة 740 m من طرف السد (الكتف الأيمن) , متميزاً بامتداده الشاقولي

باتجاه المفرغ السفلي للسد , و من الضروري مراقبة هذا الشذوذ و تحديده , حيث يوضح هذا الشذوذ تزايداً واضحاً في قيمة المقاومة الظاهرية

القياسية من (5 ohm.m إلى 80) , و يفسر ذلك بإمكانية وجود نطاق غضاري مخلخل و متشقق , بحيث يسمح بتجميع المياه ضمنه

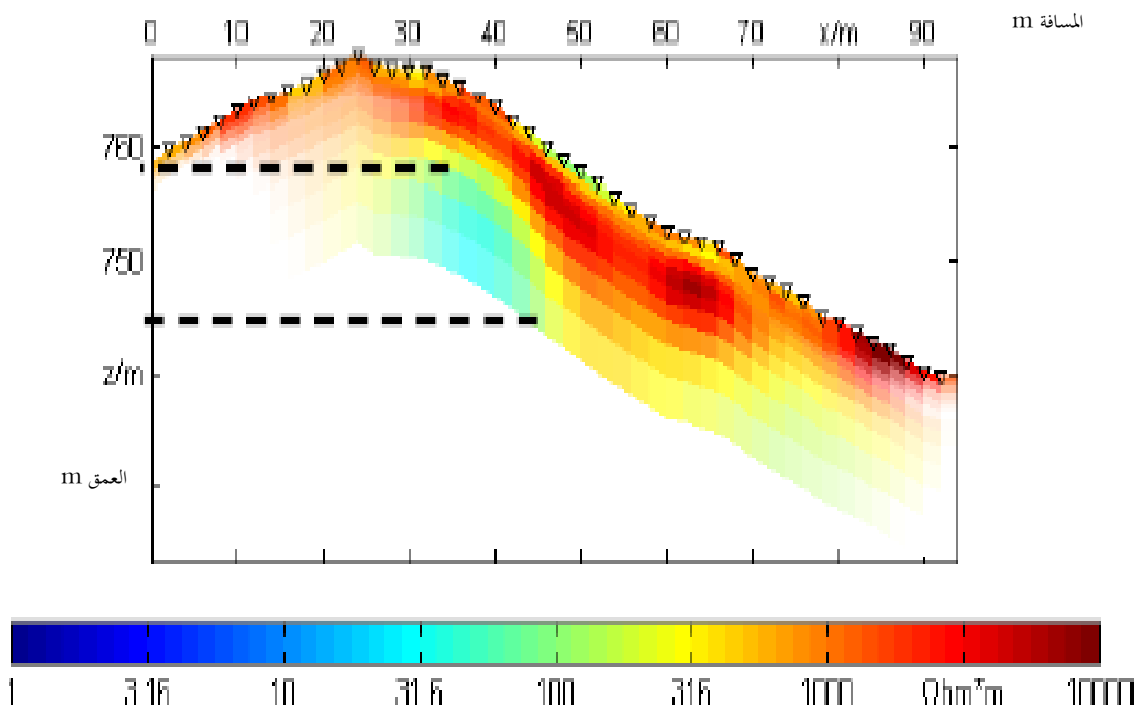
. و تظهر المانعة الغضارية (النواة) مقاومات ظاهرية متباينة ناتجة من اختلاف المحتوى المائي أو نسبة الرمل في الغضار المستخدم . و قد لوحظ أيضاً وجود نطاق عالي المقاومة مقارنة بنتائج الوجه المائي تزداد فيه من (50 ohm.m إلى 200 ohm.m) في المجال العمقي أكبر من 20 m من كامل ارتفاع جسم السد .

إن الزيادة في قيمة المقاومة أعلى من 30ohm.m يمكن أن يعزى إلى وجود قطاع نفوذ , و الذي يجب أن يؤخذ بالحسبان و التأكد من وجوده من خلال إجراء تجارب النفوذية في الموقع المحدد .

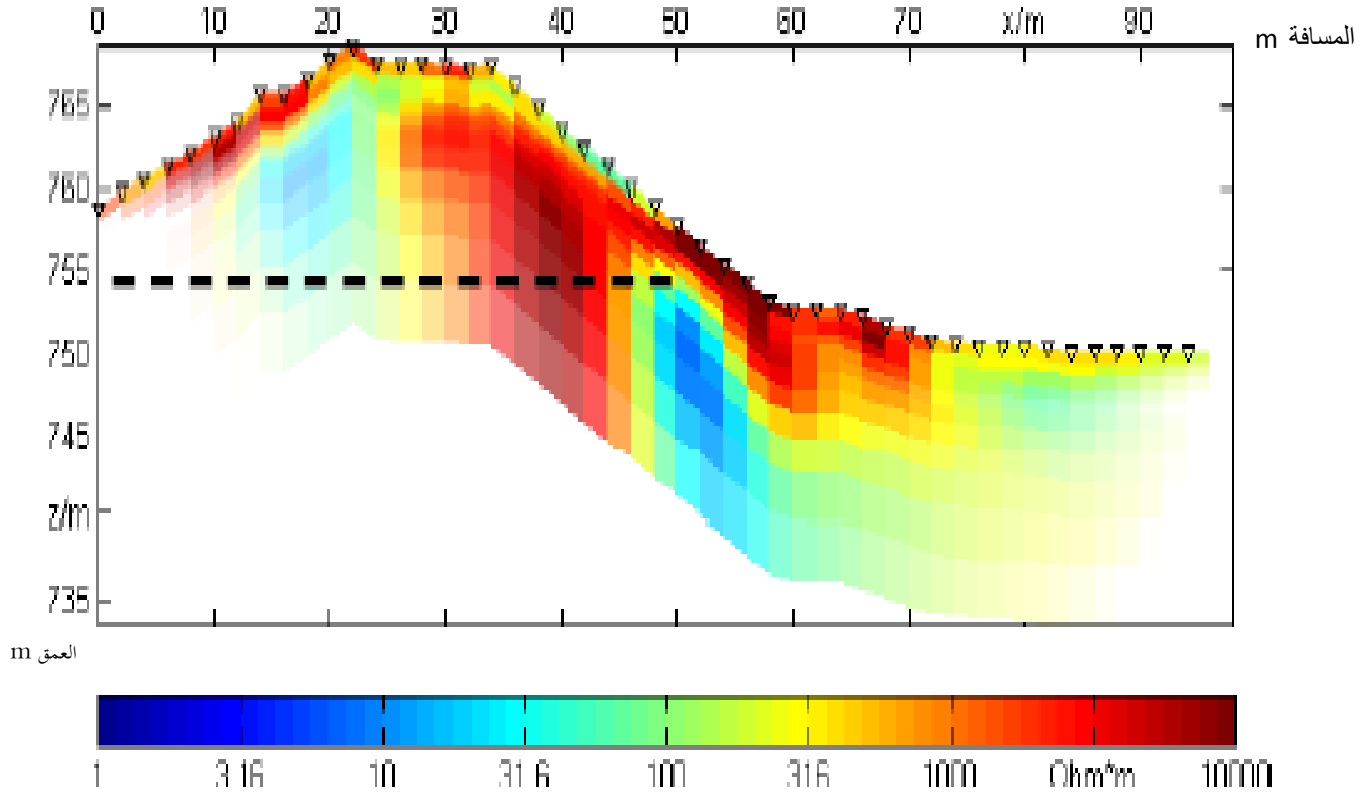
يتمركز هذا الشذوذ بشكل رئيسي فوق موقع المفرغ السفلي بطول حوالي 200m على جانبي المفرغ السفلي و بعمق حتى 18 m , و يمكن أن يمثل هذا القطاع النفوذي دليلاً يفسر إمكانية تسرب المياه باتجاه المفرغ السفلي و المنطقة المحيطة به . و يمتد هذا الشذوذ على طول بحوالي 1800m تقريباً على كامل طول السد في مقاطع مختلفة وخصوصاً في المنطقة ما بين المفرغ السفلي و المفيض على الكتف الأيمن للسد . و قد تم التأكد من وجود هذا الشذوذ بواسطة نتائج اللوحات الجيوكهربائية بعدة تباعدات (1,2,3 m) .

3-1-4-3- اللوحات الجيوكهربائية العمودية :

نفذت اللوحات الجيوكهربائية العمودية بعد أن تم فرش المقطع المطلوب دراسته بمادة غضارية , لتأمين عملية الاتصال الكهربائي بين الالكترونات قدر الإمكان الأشكال (3-16) و (3-17) تبين نتائج اللوحات الجيوكهربائية العمودية [9] .



الشكل (3-16) اللوحة الجيوكهربائية العمودية على محور السد عند منسوب (758-765 m) على بعد 795m من الطرف الأيمن للسد بتباعدات 2m



الشكل (3-17) اللوحة الجيوكهربائية العمودية على محور السد على بعد 531m من الطرف الأيمن للسد

كان من الصعب جداً تنفيذ قياسات هذه اللوحات العمودية ، و ذلك بسبب وجود الردميات الصخرية البازلتية الكبيرة على الوجهين المائي و الهوائي . كما أن نتائج هذه المقاطع لم تعكس عن وجود النواة في المجال العمقي ما بين (758 و 768) و ذلك يعود لصغر سماكتها الأفقية و لوجودها في قطاع ذي مقاومة عالية (وجود الصخور البازلتية) . أما في المجال العمقي تحت مستوى 758m تظهر النواة بشكل واضح ، و يعود السبب في ذلك إلى وجود كميات كبيرة من المواد الناعمة أو زيادة المحتوى المائي في هذا المجال .

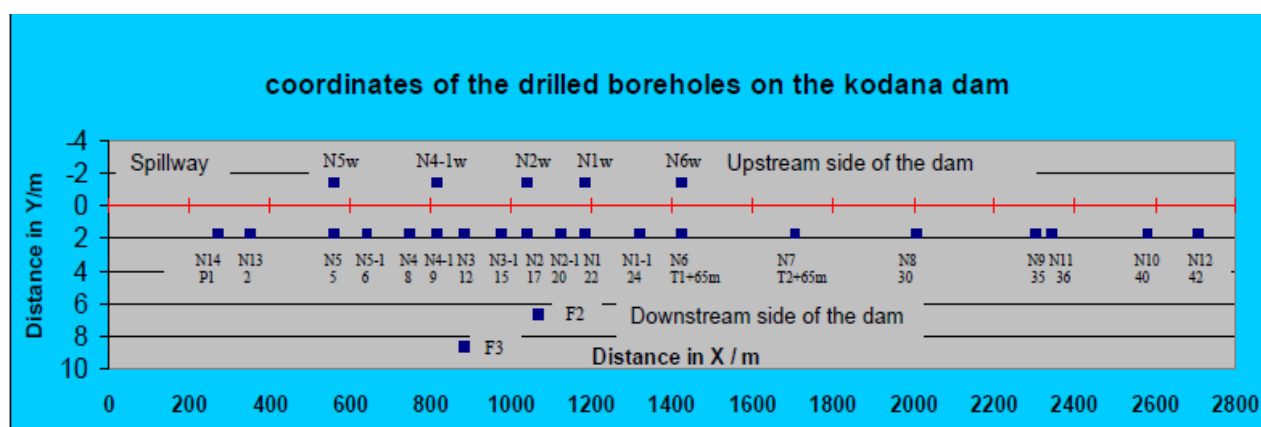
تظهر نتائج اللوحات الجيوكهربائية العمودية المنفذة عند العمق 758m النواة بشكل واضح بالإضافة إلى شذوذ ذي مقاومة ظاهرية منخفضة أقل من 10ohm.m (لون أزرق غامق) بحيث يمكن تفسيره بوجود مواد ناعمة أو محتوى مائي عالي . و اعتماداً على نتائج اللوحات الجيوكهربائية العمودية المنفذة ، ينصح بإجراء مقاطع جيوتكنيكية عند تلك الأعماق في أوتاد مخصصة متكاملة لدراسة الرشح و التعرف على مواد الفلاتر و للتأكد من وظيفتها . كما ينصح أيضاً بالبدء بالدراسة الجيوتكنيكية اعتباراً من مركز السد ، بين مركز السد و باتجاه المفيض .

3-4-1-2- الدراسة الجيوتكنيكية :

تتضمن الدراسة الجيوتكنيكية حفر الآبار المذكورة في الجدول (3-10) و الموضحة احداثياتها على جسم السد بالشكل (3-18) بغية إجراء تجارب النفوذية الضرورية ، حيث تم تحديد مواقعها و عددها استناداً إلى نتائج المسح الجيوكهربائي المنفذ [10] .

الجدول (3-10) يبين إحداثيات السبور المدروسة في السد للدراسة الجيوتكنيكية

الإحداثيات		اسم السبر / علام السبر	الرقم
Y(m)	X(m)		
0.0	0.0	A	1
1.6	267	N14/P1	2
1.6	349	N13/2	3
1.6	558	N5/5	4
-1.6	558	N5w/5	5
1.6	640	N5-1/6	6
1.6	744	N4/8	7
1.6	811	N4-1/9	8
-1.6	811	N4-1w/9	9
1.6	883	N3/12	10
8.5	883	F-3/12	11
1.6	973.5	N3-1/15	12
1.6	1036	N2/17-10m	13
-1.6	1036	N2w/17-10m	14
6.5	1064	F2/17	15
1.6	1121	N2-1/20	16
1.6	1180	N1/22	17
-1.6	1180	N1-w/22	18
1.6	1316.5	N1-1/24	19
1.6	1422	N6/T1+65m	20
-1.6	1422	N6w/T1+65m	21
1.6	1704	N7/T2+65m	22
1.6	2005	N8/30	23
1.6	2300	N9/35	24
1.6	2339	N11/36	25
1.6	2577.5	N10/40	26
1.6	2705	N12/42	27



الشكل (3-18) يبين إحداثيات السبور في جسم السد للدراسة الجيوتكنيكية

أخذ العينات

تم تحضير عينات سليمة من السبور بحسب أعماقها المحددة على مقاطع السبور الليتولوجية و بلغ إجمالي عدد العينات (138) عينة .

3-4-1-2-1- تجارب النفوذية :

أجريت تجارب النفوذية في السبور بطريقتين [9] هما:

1- السكب الحر في المجالات الأولى من السبور حتى عمق 5m من كل سبر .

2- الحقن المضغوط في بقية الأعماق بمجالات تتراوح ما بين (3-5 m) , و تطبيق ضغوط حقن على مقياس الضغط (0-0.2bar) .

الجدول (3-11) يبين تجارب النفوذية في السبور .

بعد انتهاء حفر السبر كاملاً أجريت تجربة سكب حر على كامل طول عمق السبر

الجدول (3-11) يبين سبور تجارب النفوذية

رقم السبر			
الآبار	سكب	حقن	عينات سليمة
-	عدد	عدد	عدد
N1	-	6	5
N2	1	9	5
N3	1	5	9
N4	1	2	6
N5	1	3	4
N6	1	5	4
N7	1	5	6
N8	1	3	6
N9	1	2	5
N10	1	-	4
N11	1	2	1
N12	1	2	5
N13	1	1	3
N14	1	1	3
N1-1	1	4	1
N2-1	1	5	-
N3-1	1	5	-
N4-1	1	3	-
N5-1	1	2	-
N1-w	1	4	-
N2-w	1	5	-
N4-w	1	4	6
N5-w	1	2	-
N6-w	1	4	-
N1-1	1	4	1
N2-1	1	5	-

أُجريت تجارب النفوذية أثناء عملية حفر الآبار لدراسة تغير عامل النفوذية k_f على طول البئر .

لقد حولت نتائج السكب الحر و المضغوط إلى عامل الرشح من خلال المعادلة الآتية :

$$k_f = \frac{\log(l/r.Q)}{2.H_t.l} \quad (3-2)$$

حيث : Q :التصريف (m^3/sec)

l : طول الجزء المدروس من السبر (m)

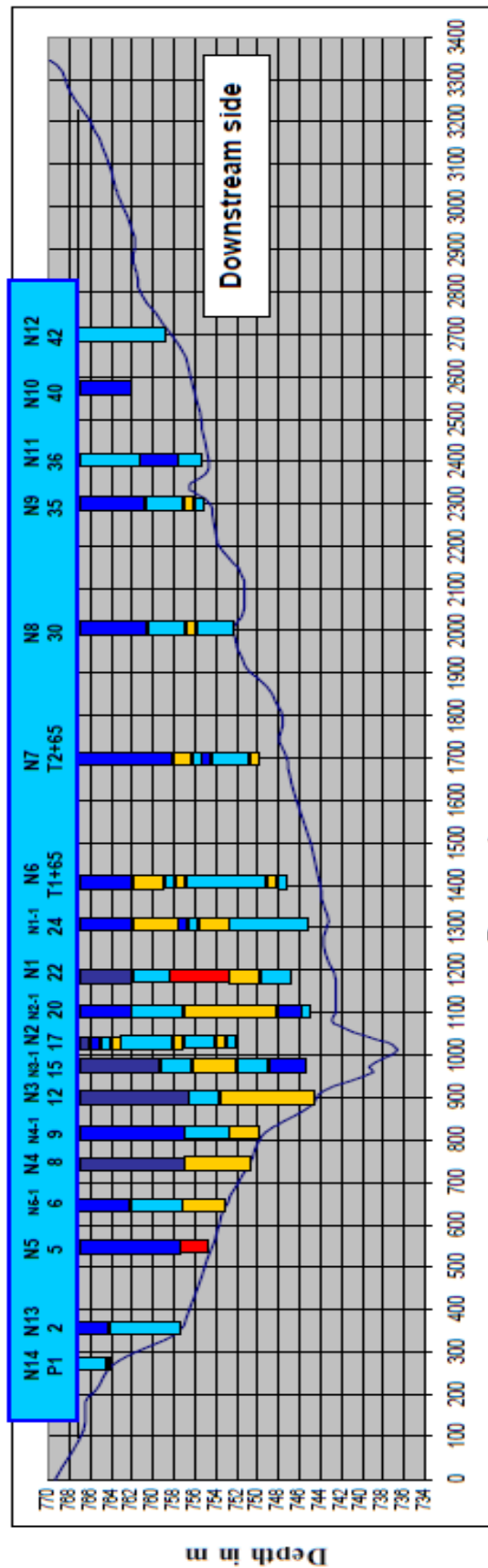
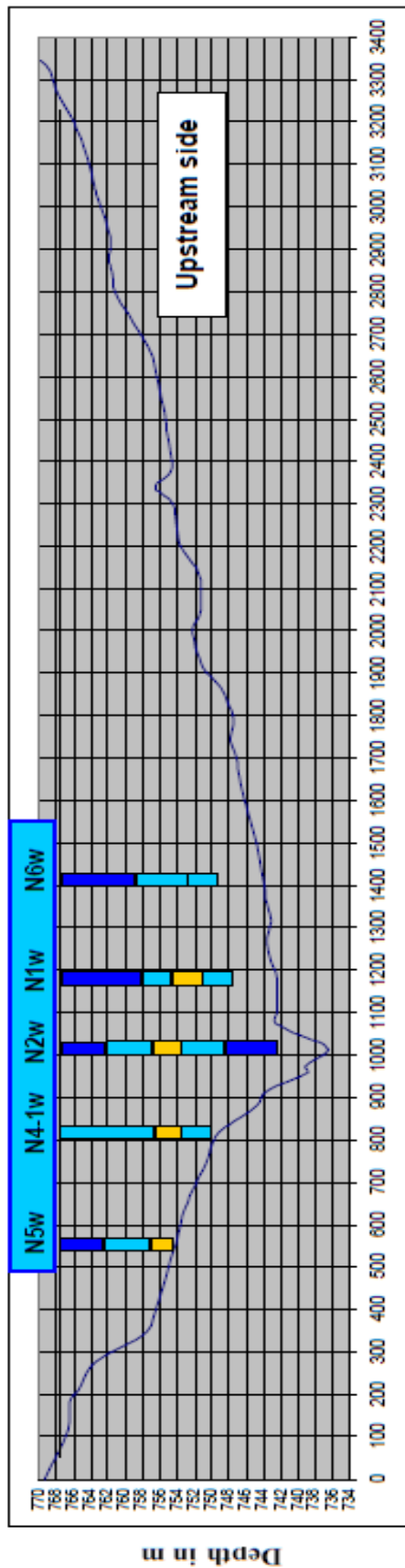
r : نصف قطر الجزء المدروس من السبر (m)

H_t : الضغط المطبق على الجزء المدروس من السبر (m)

k_f : معامل الرشح (النفاذية) (m/sec)

تظهر النتائج مناطق على كلا الوجهين ذات نفوذية عالية ($k_f = 10^{-6} m/sec$) , و في القطاع العمقي (6-14 m) بلغ معامل النفاذية ($10^{-5} m/sec$) و هي أكبر من القيمة التصميمية لعامل النفوذية ($10^{-8} m/sec$) . يبين الشكل (3-19) قيم معامل النفوذية في مقاطع مختلفة من جسم السد . و يوضح الجدول (3-12) قيم معامل النفوذية على الوجه الخلفي للسد .

لوحظ عند إجراء تجارب النفوذية في هذه القطاعات عدم استقرار المياه المحقونة مما يدل على وتيرة تصريف عالية ($1.9 l/min/m$) في حين تبلغ القيمة التصميمية للتسرب عبر جسم السد ($0.4 l/min/m$) , و يمكن تفسير هذه النفوذية العالية بوجود ظاهرة الأنابيب , حيث تبدر الإشارة بأن جميع الطرق المستخدمة و منها الجيوكهربائية تشير إلى أن هذه المناطق ذات نفوذية عالية , و بناءً على ذلك لا يمكن تجاهل هذه المناطق التي يمكن أن تؤدي لاحقاً إلى توسع الشقوق و حدوث ما يدعى بالمجري الأنبوبية . لقد تم تحديد هذه المناطق متجمعة على كامل جسم السد بطول حوالي (1800 m) من المسافة (2200-400 m) اعتباراً من الكتف الأيمن للسد باتجاه المفرغ السفلي . إن الجزء المتبقي من السد لا يوحي حالياً إلى حالة غير طبيعية من مشاكل الرشح و لكن يمكن أن تتطور لاحقاً و تصبح مشكلة .



Dam-meter

Boreholes: N14 N13 N5 N5-1 N4 N4-1w N3 N3-1 N2 N2-1 N1 N1-1 N6 N7 N8 N9 N11 N10 N12
 Stone marker : P1 2 5 6 8 9 12 15 17 20 22 24 T1+65 T2+65 30 35 36 40 42
 Field Permeabilities : $K_f \geq 1 \cdot 10^{-5}$ m/sec, $K_f \geq 1 \cdot 10^{-6}$ m/sec, $K_f \geq 1 \cdot 10^{-7}$ m/sec, $K_f \geq 1 \cdot 10^{-8}$ m/sec, $K_f \geq 1 \cdot 10^{-9}$ m/sec

الشكل (3-19) قيم عامل النفاذية في مقاطع مختلفة من جسم السد

الجدول (3-12) قيم عامل النفوذية في الآبار المدروسة في جسم السد للوجه الخلفي للسد

		Lift Sate																			
	P1	2	5	6	8	9	12	15	17-10m	20	22	24	21+65m	72+65m	30	35	40	42			
stone mark	Well No.	N13(350m)	N5(558m)	N4(743 m)	N4-(1810m)	N3(882m)	N3-(1972 m)	N2(1024 m)	N2-(1100 m)	N1(1178.68m)	N1-(1315m)	N6(1420 m)	N7(1702m)	N8(2003m)	N8(2286m)	N11(2337)	N10(2576)	N12(2703)			
22	1N	1320E-07	3.168E-08	7.40E-09	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	0.00E+00	4.40E-08	0.00E+00	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	6.80E-08	2.20E-07		
	2N	1320E-07	3.168E-08	7.40E-09	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	4.40E-08	4.40E-08	0.00E+00	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	6.80E-08	2.20E-07		
	3N	1320E-07	3.168E-08	7.40E-09	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	4.40E-08	4.40E-08	0.00E+00	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	6.80E-08	2.20E-07		
	4N	1320E-07	3.168E-08	7.40E-09	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	4.40E-08	4.40E-08	0.00E+00	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	6.80E-08	2.20E-07		
	5N	8.80E-08	7.92E-08	3.168E-08	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	8.80E-09	3.98E-07	4.40E-08	0.00E+00	1.32E-06	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07		2.20E-07		
	6N	5.72E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	3.26E-06	8.80E-08	1.00E-07	1.00E-07	4.40E-08	3.52E-07			
	7N	5.72E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	3.168E-06	8.80E-08	1.44E-07	1.44E-07	4.40E-08	3.52E-07			
	8N	5.72E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	3.168E-06	8.80E-08	1.00E-07	1.00E-07	4.40E-08	3.52E-07			
	9N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.64E-07	2.64E-07	2.64E-07	2.64E-07	5.72E-07				
	10N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	1.32E-06	1.32E-06	1.01E-06	1.01E-06	5.72E-07				
	11N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	12N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	13N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	14N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	15N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	16N	7.40E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	7.92E-07	3.26E-06	7.40E-07	7.40E-07	1.32E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.72E-07				
	17-10m	22	1320E-07	3.168E-08	7.40E-09	8.80E-08	4.40E-08	8.80E-09	0.00E+00	4.40E-08	0.00E+00	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	5.72E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	6.80E-08	2.20E-07	
	5	N5-W					1.00E-06	1.78E-06	4.40E-08	2.64E-06	7.40E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.32E-06						
	71+65m	N6-W						1.78E-06	4.40E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.32E-06						
	New	New						1.78E-06	4.40E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.32E-06						
	36	N11						1.78E-06	4.40E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.32E-06						
	42	N12						1.78E-06	4.40E-08	9.88E-08	9.88E-08	1.78E-07	1.78E-07	1.78E-07	1.32E-06						

3-4-1-2-2- تجارب الاختراق الديناميكي :

تهدف تجارب الاختراق الديناميكي إلى قياس قدرة تحمل التربة , باستخدام أنبوب اختبار طوله حوالي 650 mm , يتم دفعه في قاع البئر عن طريق ضربات من مطرقة منزلقة ذات كتلة 63.5 kg تسقط على بعد 760 mm . يتم دفع أنبوب العينة على ارتفاع 150 mm إلى التربة , و يسجل عدد الضربات التي يحتاجها الأنبوب لاختراق كل 150 mm حتى عمق 450 mm . يطلق على مجموع عدد الضربات المطلوبة للثاني و الثالث من الاختراق (مقاومة الاختراق القياسية) و يكون الاختراق بعد تسجيل 50 ضربة , و يكون عدد الضربات مؤشراً على كثافة التربة , و يوضح الشكل (3-20) جهاز الاختراق.

أجريت تجارب الاختراق الديناميكي في السبور الموضحة أرقامها و المنفذة حسب الجدول (3-13) وفقاً لما يلي :

1- اختراق لعمق (5m).

2 - حفر العمق المنفذ بقطر (108 mm) .

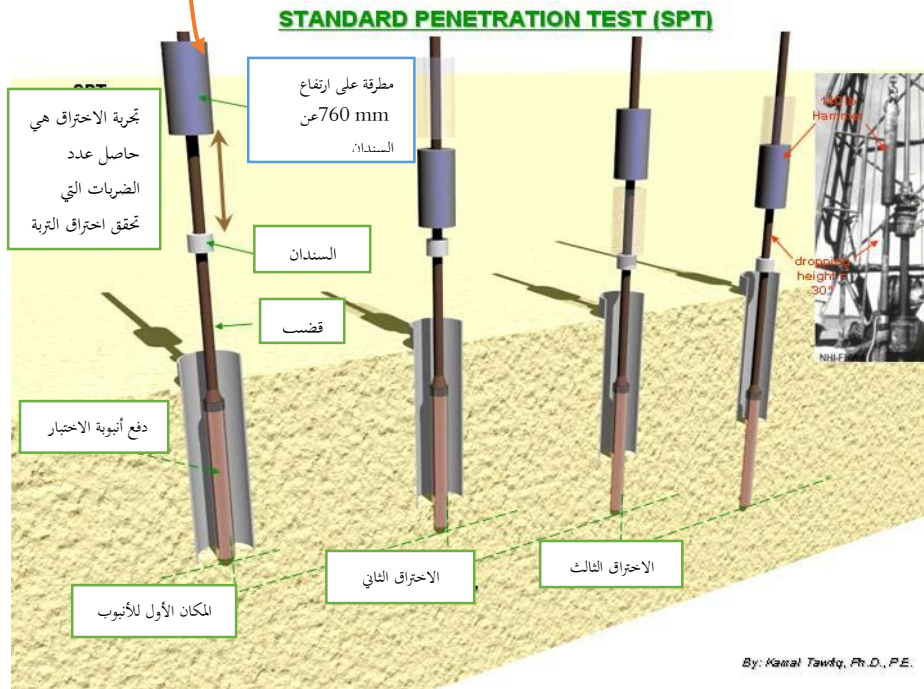
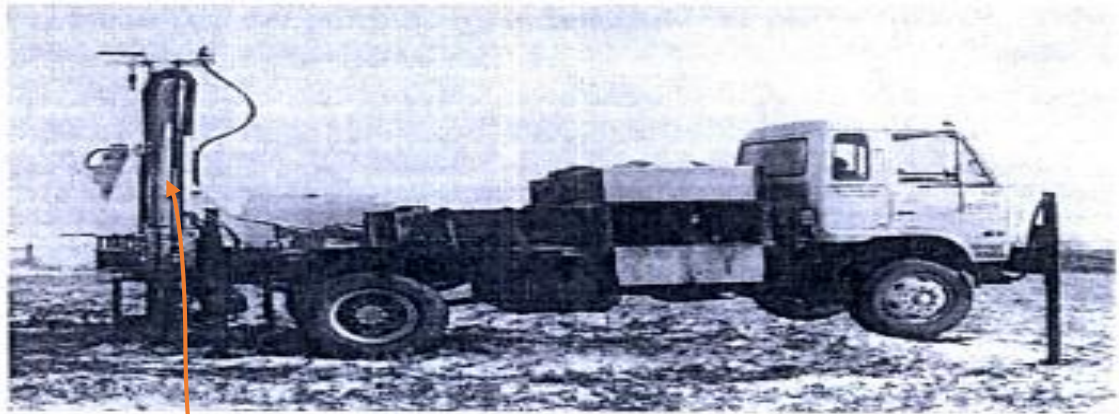
و تتم متابعة الاختراق في المجال التالي بالعمق , و هكذا حتى انتهاء السبر . و قد نفذت تجارب الاختراق الديناميكي بآلية روسية الصنع , و قد بلغ إجمالي تجارب الاختراق (120) تجربة مع (362 m/m) حفر في نفس السبور .

الجدول (3-13) تجارب الاختراق الديناميكي

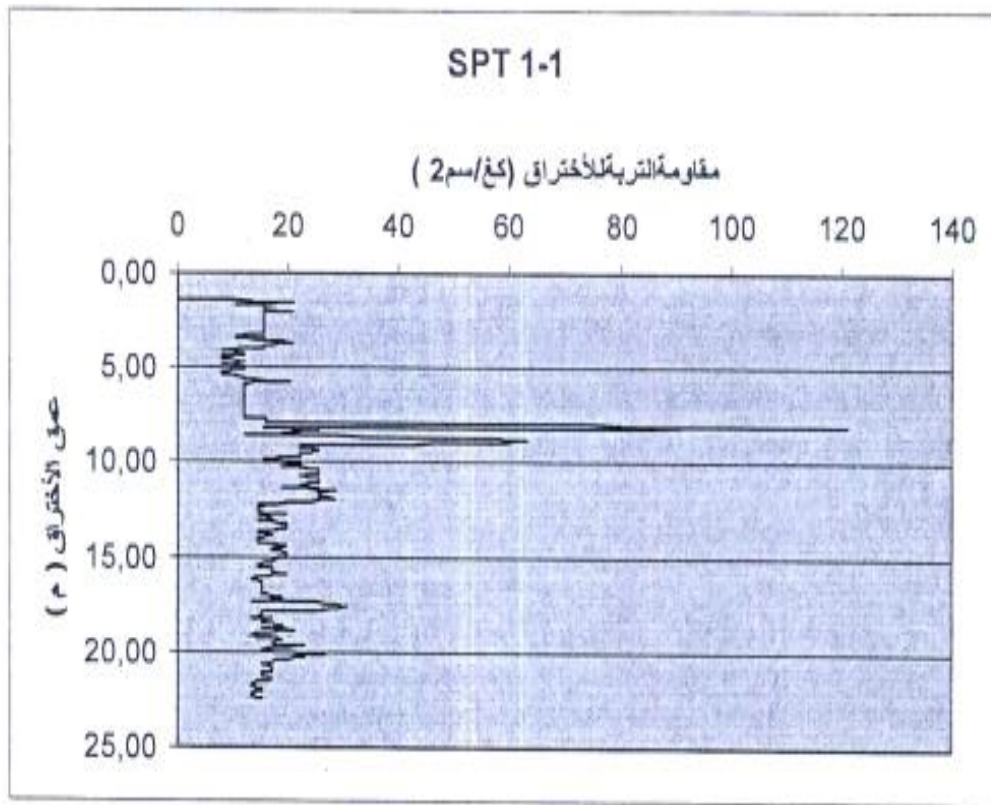
تجارب الاختراق الديناميكي			
رقم السبر	عمق السبر	تجربة الاختراق	ردم
-	م.ط	عدد	م.ط
SPTN1	23	8	23
SPTN2	28	9	28
SPTN3	22	7	22
SPTN4	16	5	16
SPTN5	12	4	12
SPTN6	21	7	21
SPTN7	19	7	19
SPTN8	16	5	16
SPTN9	12	4	12
SPTN10	6	2	6
SPT1-1	22.5	7	22.5
SPT2-1	21	7	21
SPT3-1	27	9	27
SPT4-1	18	6	18
SPT5-1	13.7	5	13.7
SPT1w	22.5	8	22.5
SPT2w	27	9	27
SPT5w	13	4	13
SPT6w	22	7	22

نفذت تجارب الاختراق في جميع الآبار المذكورة بواسطة الدقاقة الروسية , و تظهر النتائج بشكل عام إجهاد (مقاومة ميكانيكية) قيمته بين (10-20 kg/cm²) لغاية العمق (15 m) , ثم تأخذ المقاومة الميكانيكية بالازدياد . بشكل عام لا توجد اعتباراً من العمق المذكور مقارنة بين نتائج النفوذية و الاختراق الديناميكي , و لكن توجد بعض الإشارات التي تدل على فجوات صغيرة من خلال مقاومة الاختراق

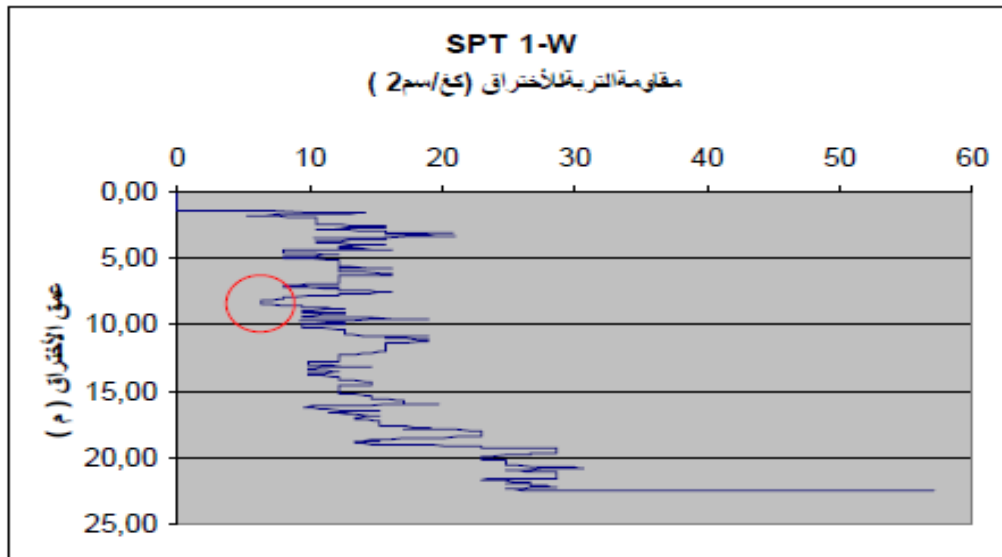
المنخفضة في العمق من 7 إلى 8 (صورة البئر N1-w) و لا نستطيع أن نعمم هذه الملاحظة على كافة الآبار , و يمكن القول إنّ هذه النفوذية العالية لا تشير بشكل أوتوماتيكي إلى مقاومة منخفضة و ربما تكون هذه المناطق SPT جافة أو فقط مشققة . و تظهر الأشكال (21-3,22-3,24-3,25-3,26-3,27-3,28-3,29-3,30-3,31-3,32-3,33-3,34-3,35-3,36-3,37-3,38-3) مقاومة التربة للاختراق في عدد من الآبار المدروسة .



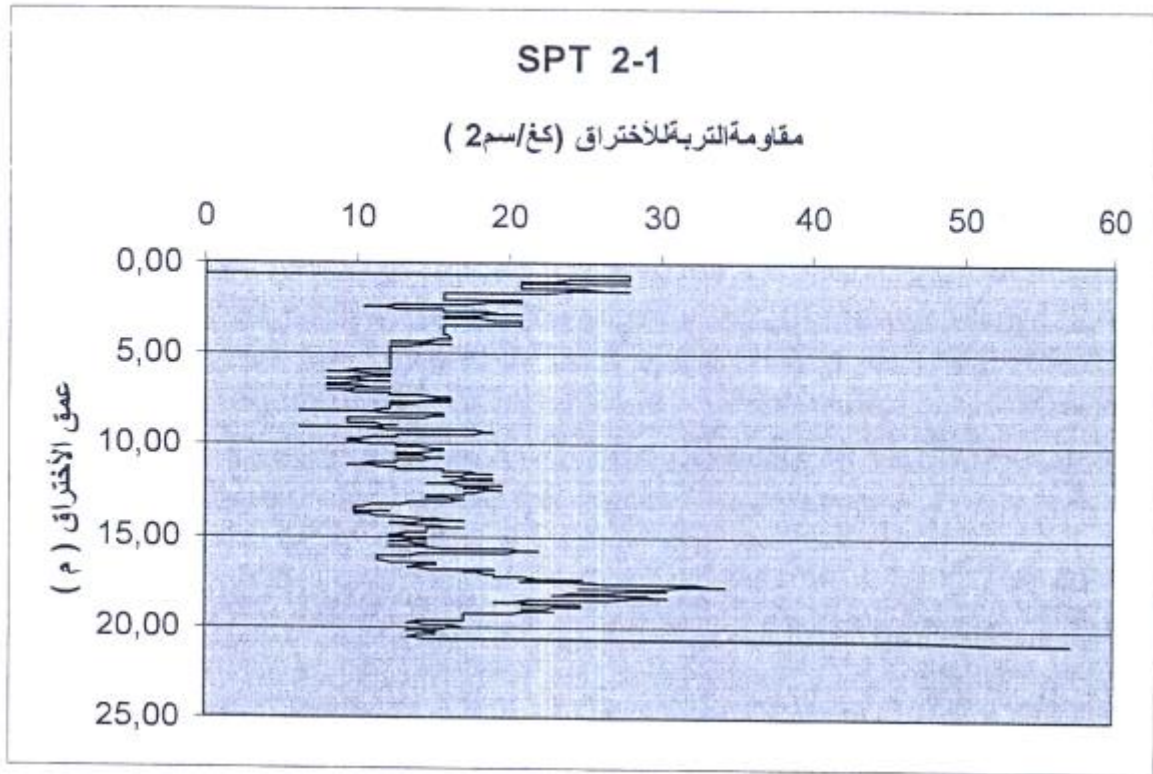
الشكل (3-20) جهاز الاختراق الديناميكي



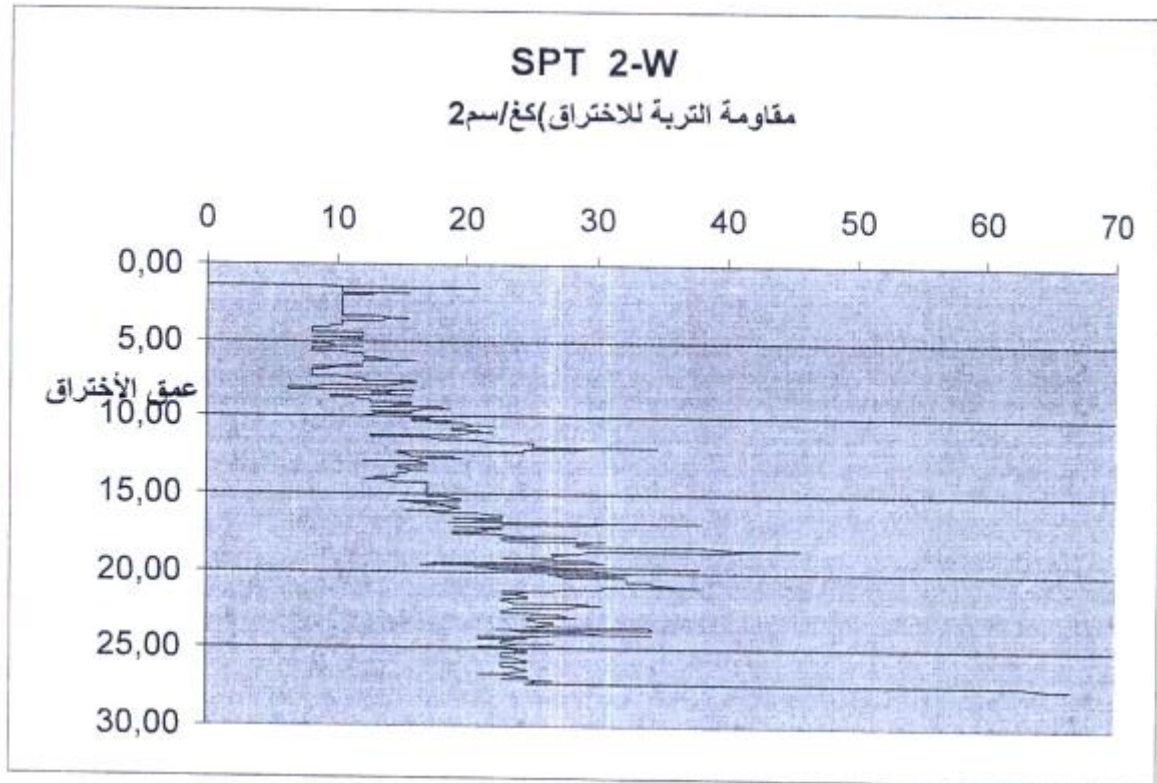
الشكل (21-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (1-1)



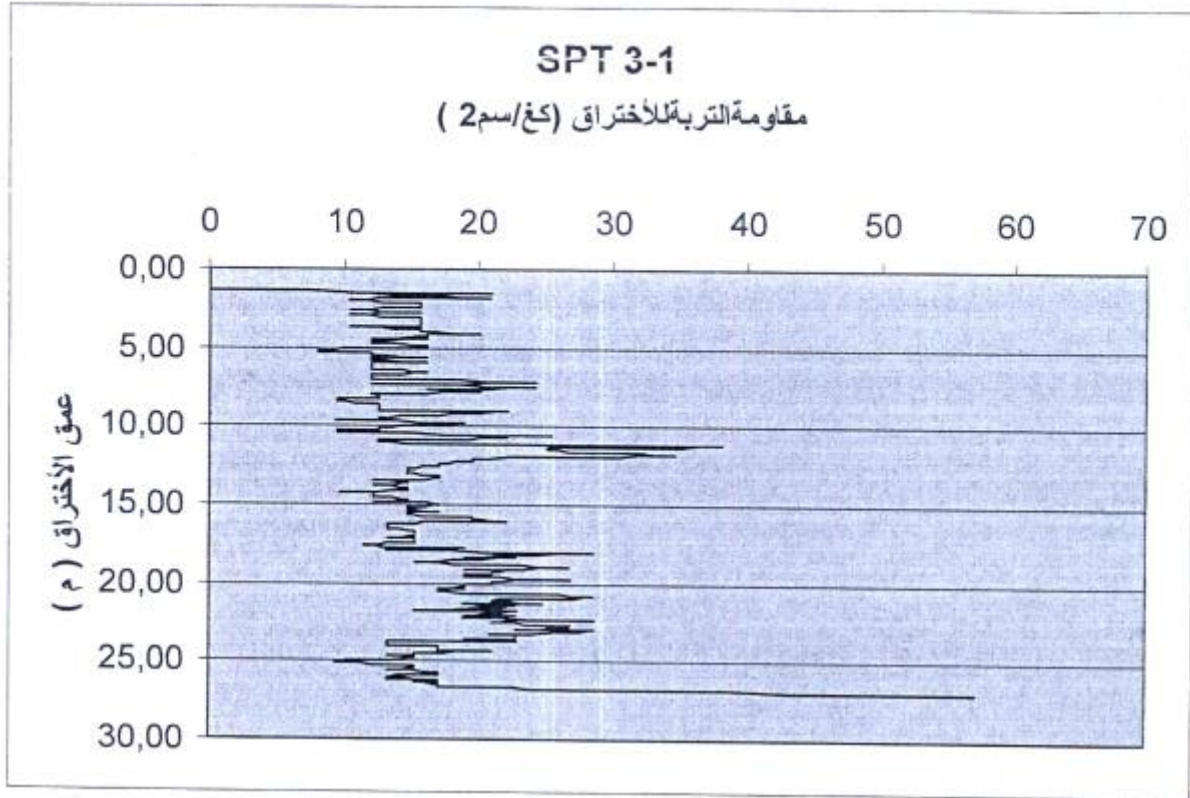
الشكل (22-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (1-w)



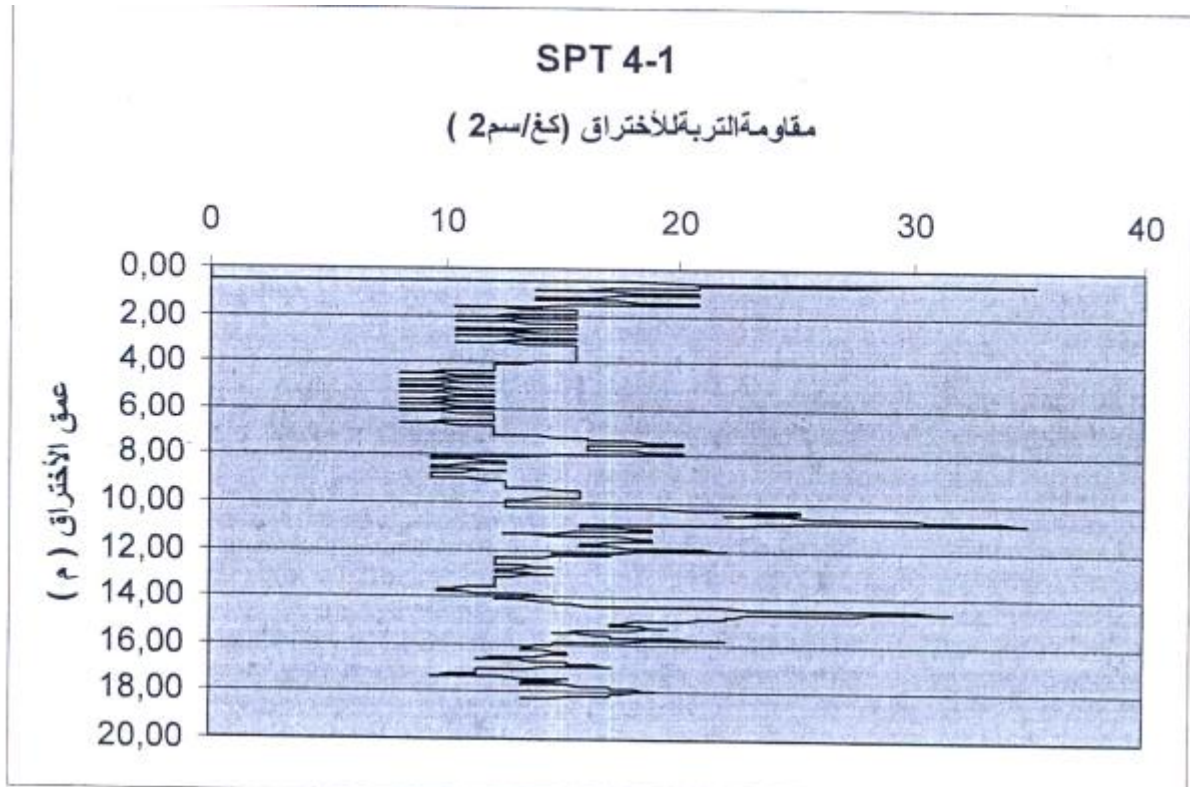
الشكل (23-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (2-1)



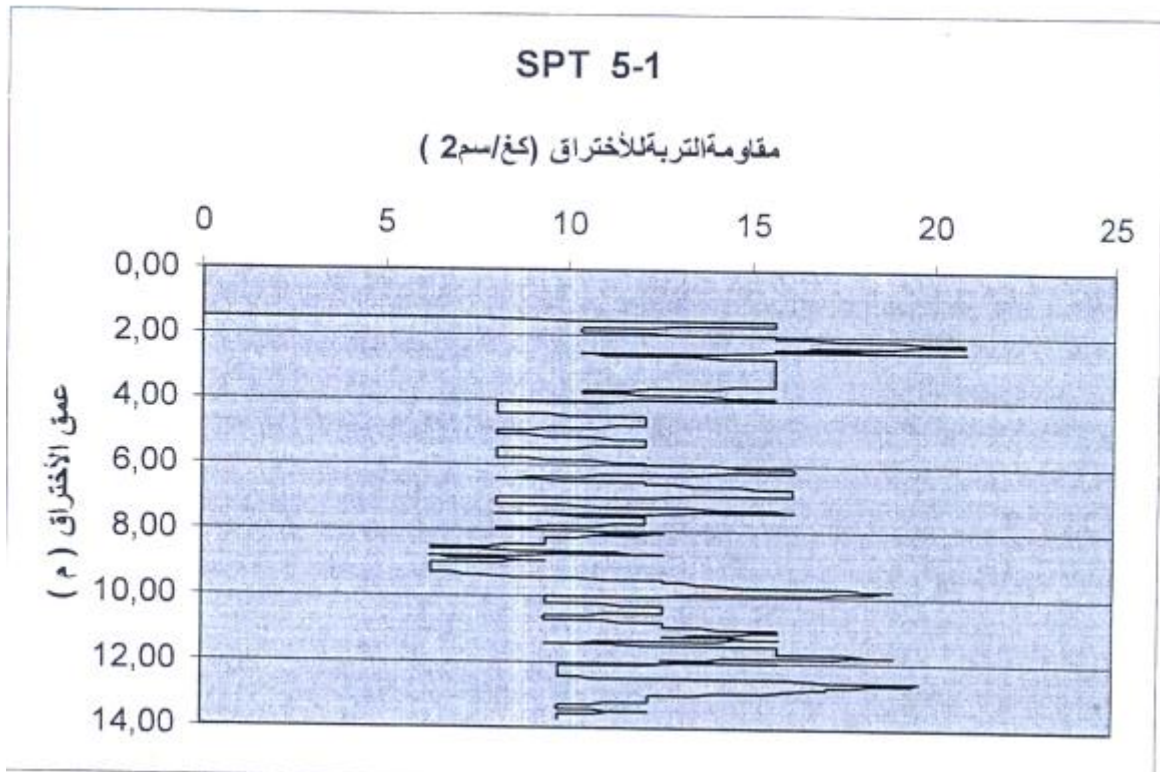
الشكل (24-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (2-w)



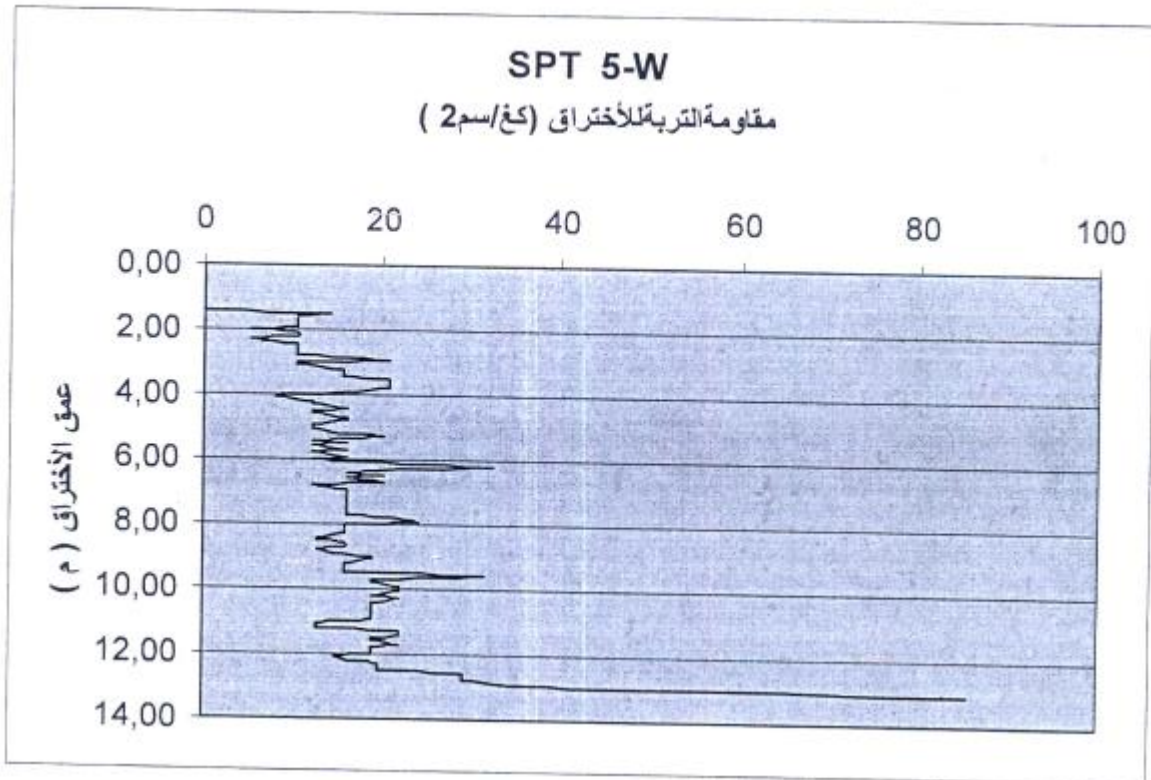
الشكل (25-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (spt3-1)



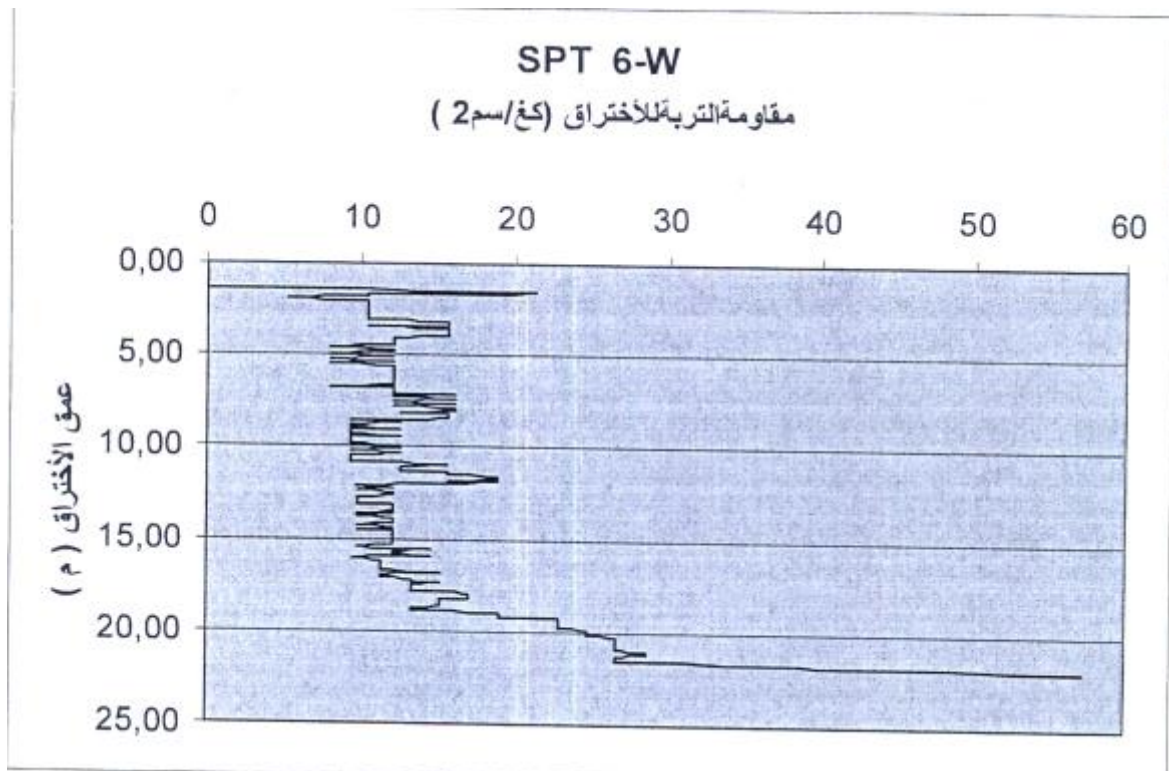
الشكل (26-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (spt4-1)



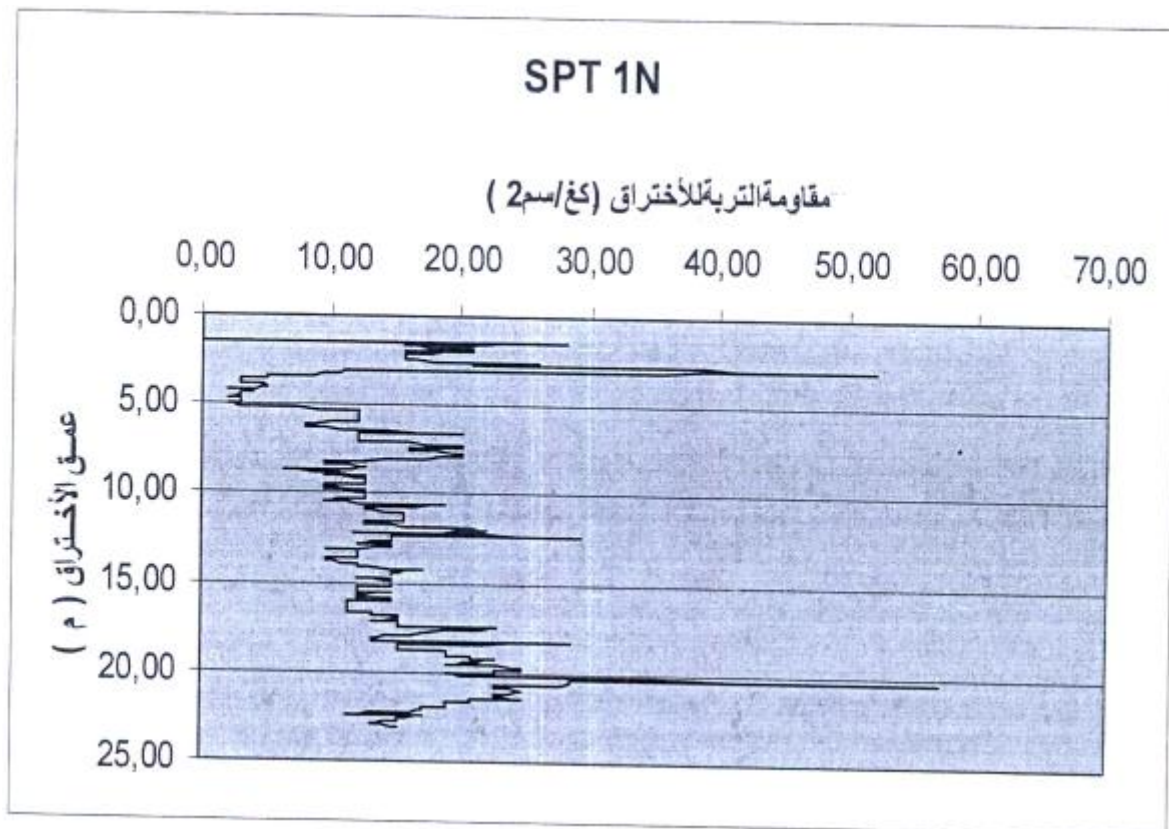
الشكل (27-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (spt5-1)



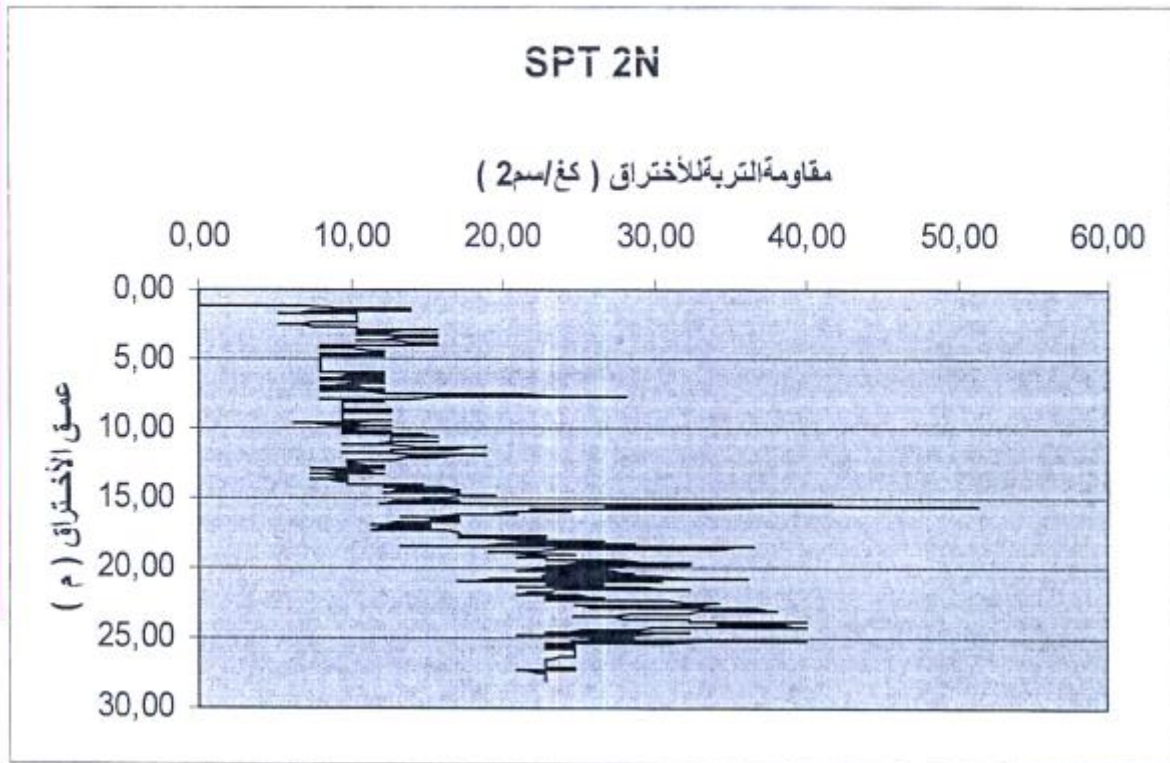
الشكل (28-3) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (spt5-w)



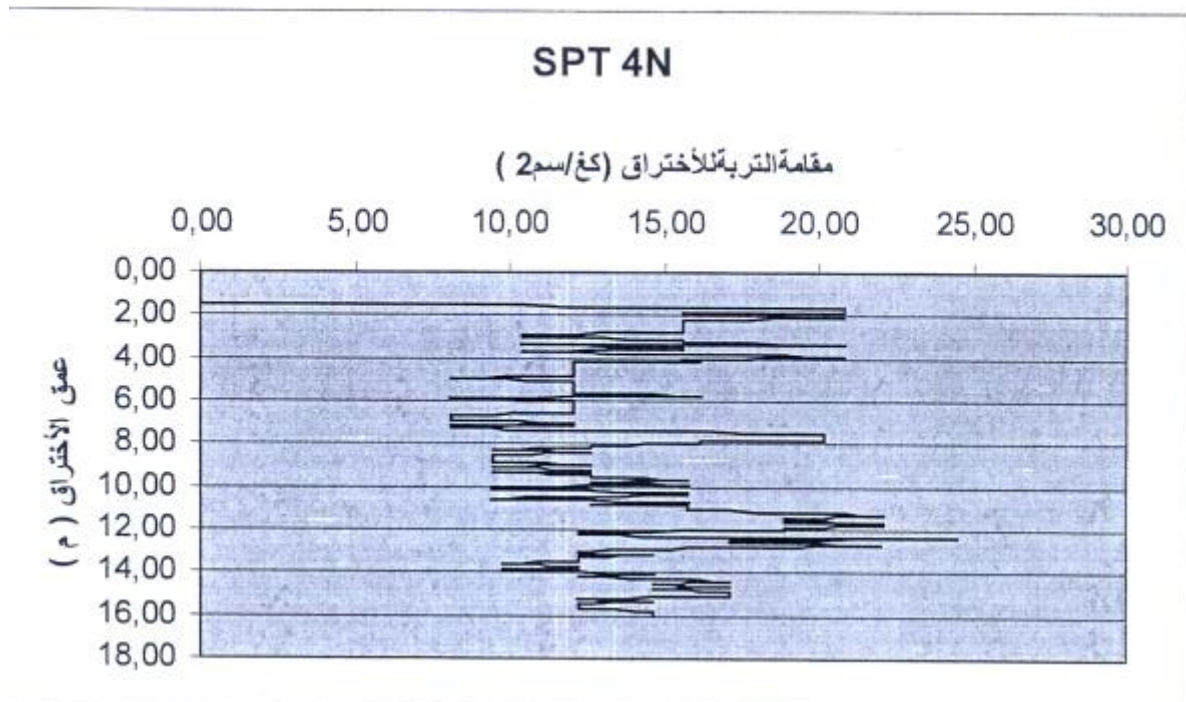
الشكل (3-29) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (spt6-w)



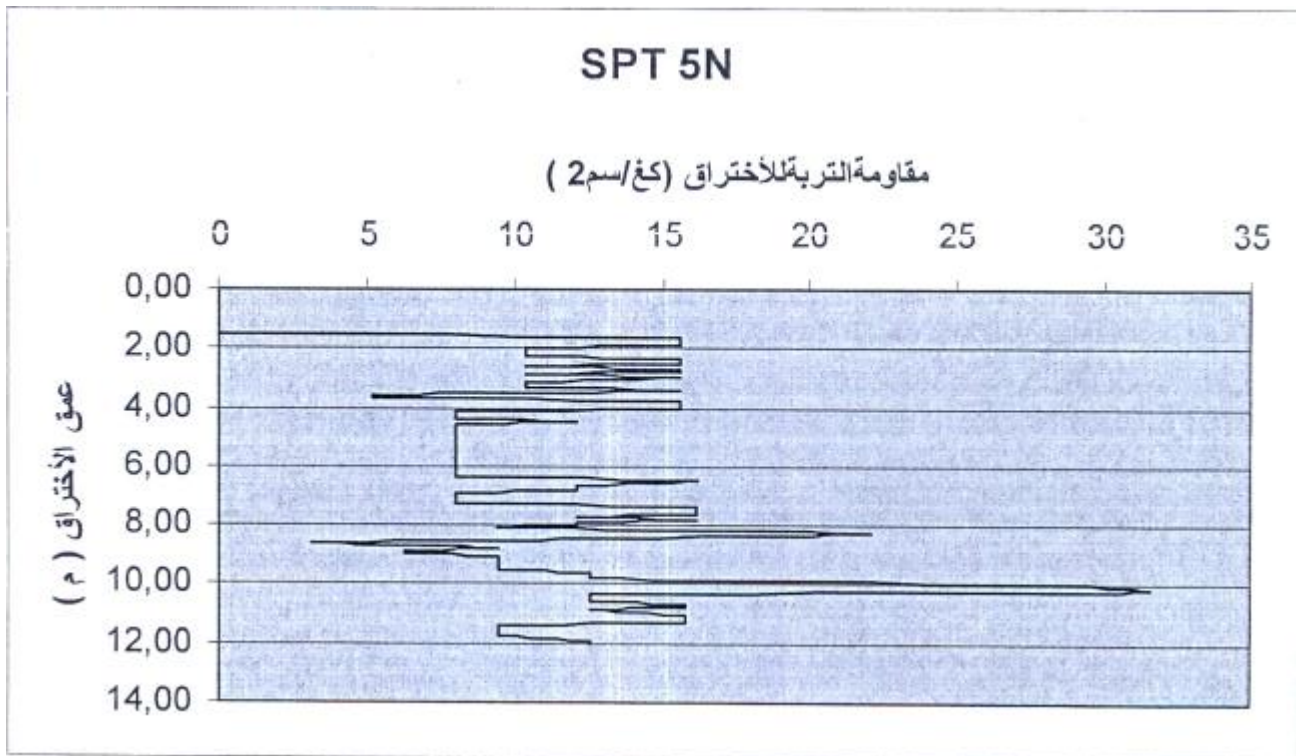
الشكل (3-30) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (1N)



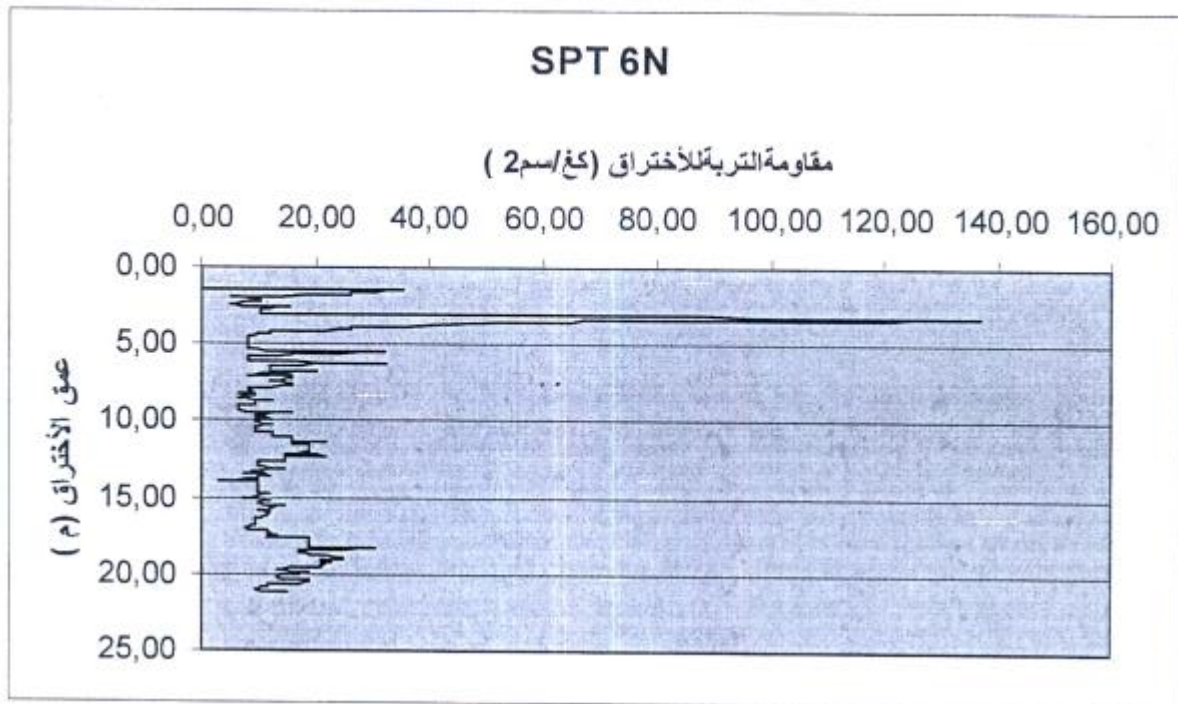
الشكل (3-31) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (2N)



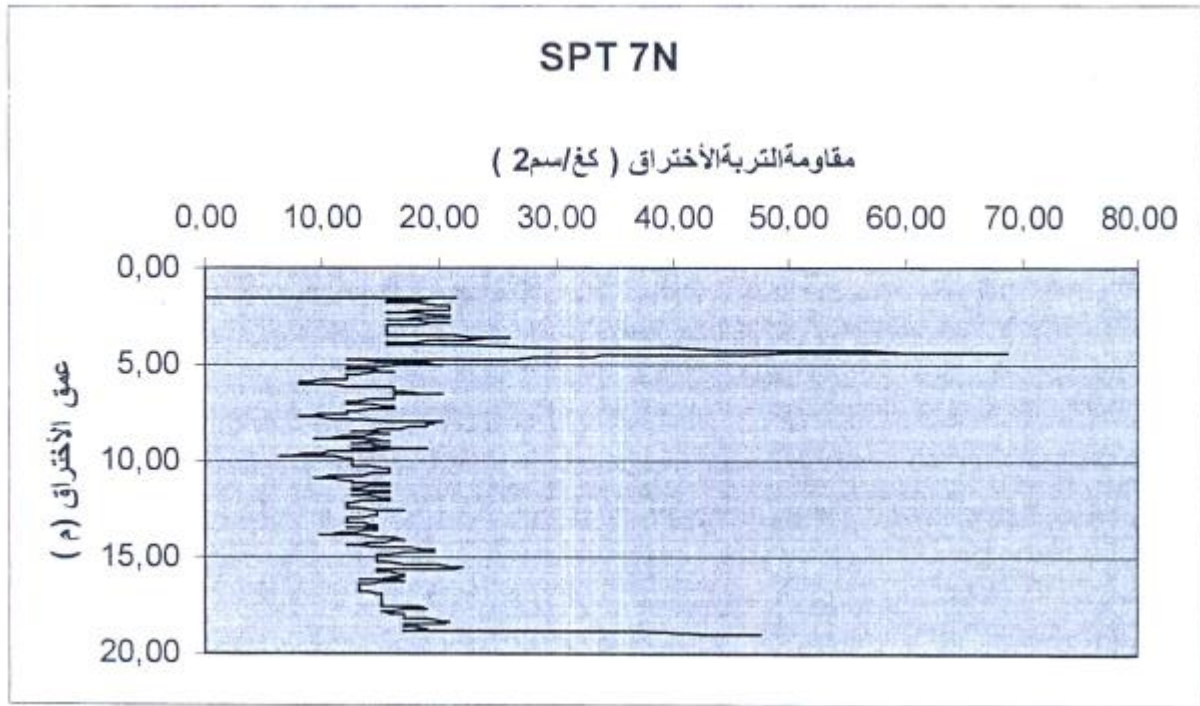
الشكل (3-32) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (4N)



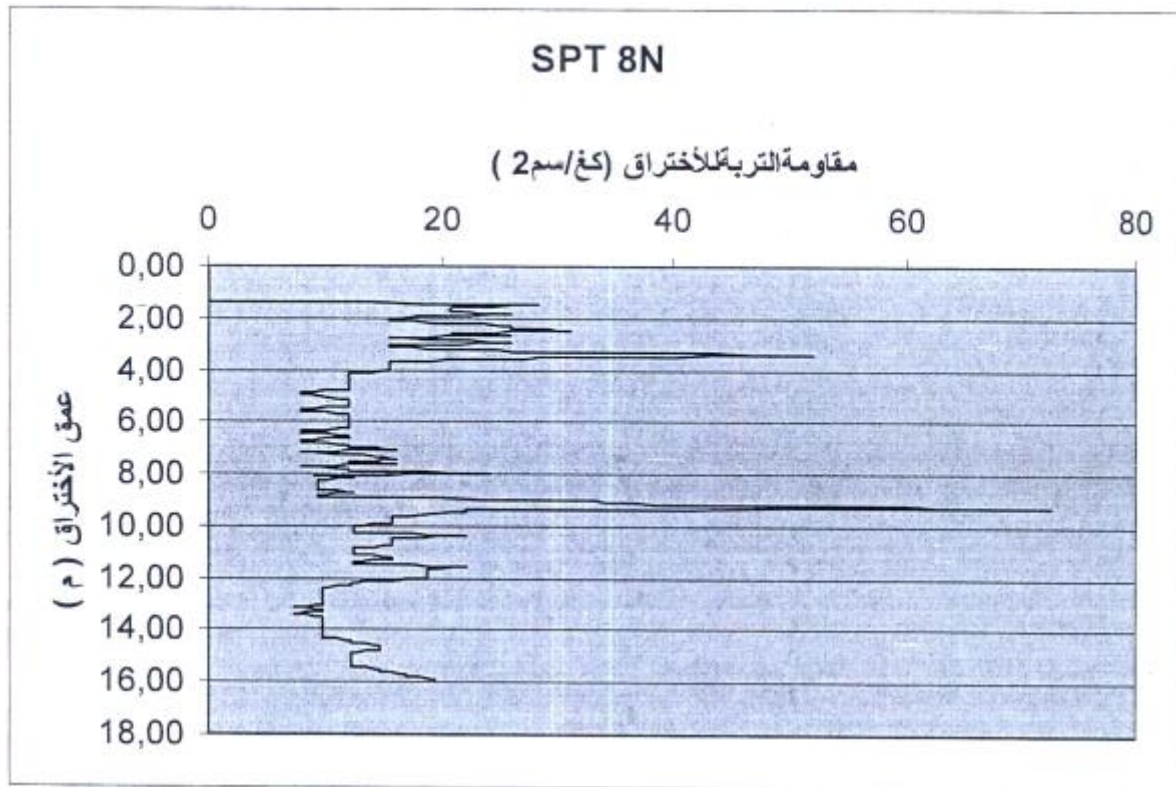
الشكل (3-33) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (5N)



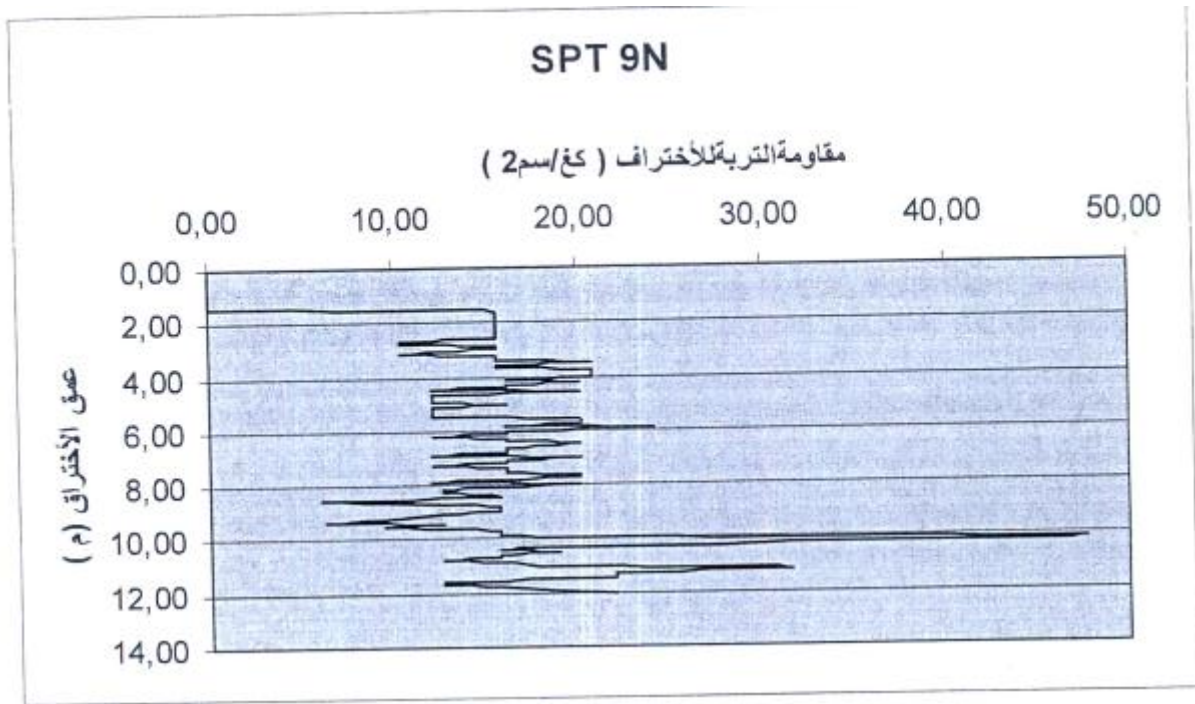
الشكل (3-34) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (6N)



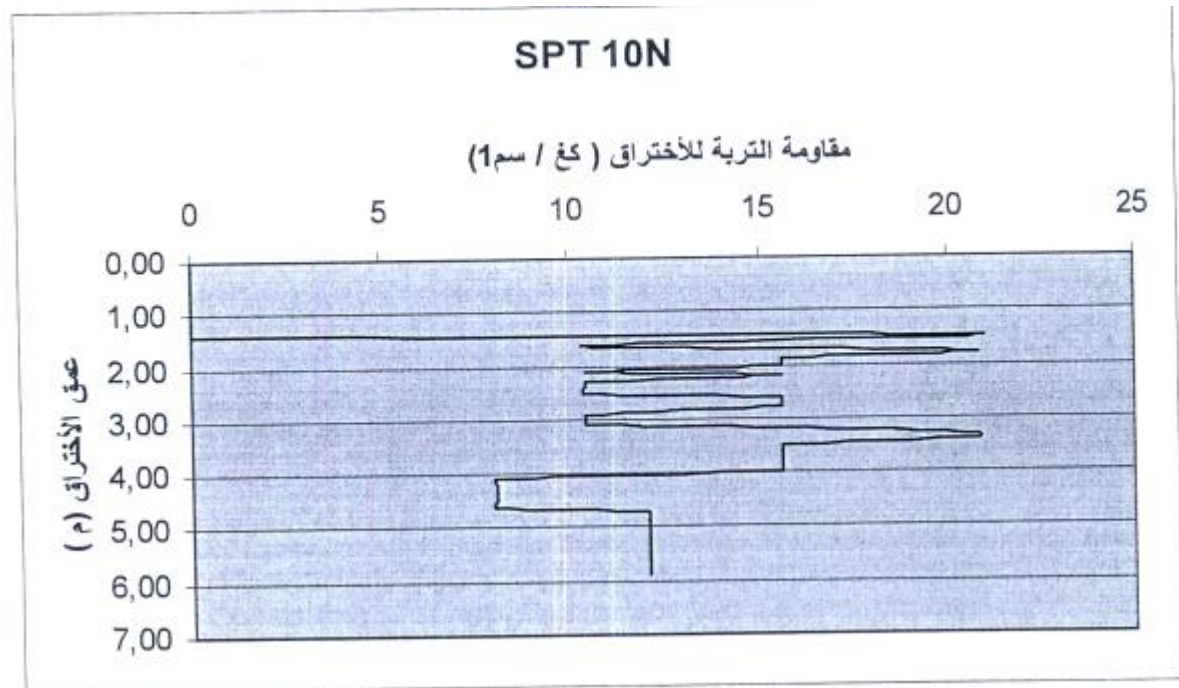
الشكل (3-35) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (7N)



الشكل (3-36) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (8N)



الشكل (3-37) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (9N)



الشكل (3-38) تجربة الاختراق الديناميكي في البئر (10N)

3-2-1-4-3- تجهيزات البيزومترات :

تم حفر و تجهيز السبور ذات الأرقام (N4-1w, F2 , N1 ,N2, N3, N4, N6, N7, N1w,N2w,N5w,N6w).

حيث تم وضع إكساء مثقب ووضع حصي حوله و مواد خشنة لتكون هذه السبور بيزومترات مراقبة , و بلغت أعمال تجهيز السبور :

1- حفر سبور 271 م. ط .

2- تركيب قساطل مثقبة 271 م. ط.

3- تجهيز فوهة السبر (صبة إسمنتية لتثبيت رأس البيزومتر) عدد 11 .

3-4-1-4-2-4- تحريات التصوير :

نفذت تحريات التصوير في بعض الآبار بغية فهم نتائج النفوذية , و تم ذلك بواسطة الكاميرا البئرية في ستة آبار , أربعة منها على الوجه الخلفي و اثنان على الوجه الأمامي , و أظهرت النتائج بوجود فجوات و شقوق صغيرة في مجالات عمقية مختلفة , و تظهر الأشكال (3-3,40-3,41-3,42-3,43-3,44-3) دليلاً واضحاً على وجود هذه الفجوات (أماكن تسرب المياه) .



الشكل (3-39) البئر N1 عند العمق 14 m



الشكل (3-40) البئر N1 عند العمق 14.29 m



الشكل (3-41) البئر N1 عند العمق 7.91 m



الشكل (3-42) البئر N1 عند العمق 5.04 m



الشكل (3-43) البئر N2 عند العمق 5.85 m



الشكل (3-44) البئر N2 عند العمق 15 m

3-4-2-2- التجارب و التحريات المخبرية :

نفذت التجارب و التحاليل المخبرية على العينات المأخوذة من الآبار المحفورة في النواة الغضارية , في مخبر ميكانيك التربة التابعة للشركة العامة للدراسات المائية و ذلك بهدف تحديد الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للتربة [10].

3-4-2-1- التركيب الحبي للنواة الغضارية :

أجريت تجارب التركيب الحبي بطريقة النخل و الغسيل و استكملت بتجارب الترسيب (الهيدرومتر) ووفق النورم الروسي OCT.1236-76 و كانت نسب الحبات وسطياً كالتالي :

- نسبة الغضار 55% بأقطار حبات أصغر من (0.005 mm) .
- نسبة السيلت 29.5% بأقطار حبات تتراوح بين (0.005-0.05mm) .
- نسبة الرمل 15% بأقطار حبات تتراوح بين (0.05-2mm) .
- نسبة البحص 0.5% بأقطار حبات تتراوح بين (2-20 mm) .

3-4-2-2- حدود أتبرغ :

أجريت تجارب حد السيولة بجهاز كراغراندي وفق الكود الروسي OCT64-5184 و تجارب حد اللدونة وفق الكود OCT5183 و كانت النتائج الوسطية كالتالي:

حد السيولة (63-64.5%) , و حد اللدونة (25-26.3 %) , و دليل اللدونة (38-38.2%) . و يظهر الشكل (3-45) جهاز تحديد السيولة .



الشكل (3-45) جهاز تحديد السيولة

3-2-4-3- الوزن النوعي :

أجريت التجارب بطريقة البكنومتر وفق الكود الروسي OCT5184-64 و كانت القيمة الوسطية للوزن النوعي للتربة الغضارية تساوي (2.71 g/cm^3) .

3-2-4-4- تجارب الرص :

أجريت تجارب الرص وفق شروط البروكتور المعدل و كانت النتائج الوسطية كالتالي :

- الرطوبة المثالية : W_{opt} تتراوح بين (25-27%).

- الكثافة الجافة العظمى : $\gamma_{d \max} = 1.53 - 1.55 \text{ g/cm}^3$.

3-2-4-5- مقاومة التربة للقص :

أجريت تجارب على عينات لها نفس مواصفات بروكتور المعدل بطريقة الإشباع و التوطيد بمحمولة تساوي (3 kg/cm^3) بسرعة قص تساوي (20 mm/h) باستخدام جهاز القص الوضع بالشكل (3-46) و كانت النتائج الوسطية التالي :

معدل التماسك $c = 81 - 91 \text{ (KN/m}^2)$ و زاوية الاحتكاك الداخلي : $\phi = 13^\circ - 23^\circ$



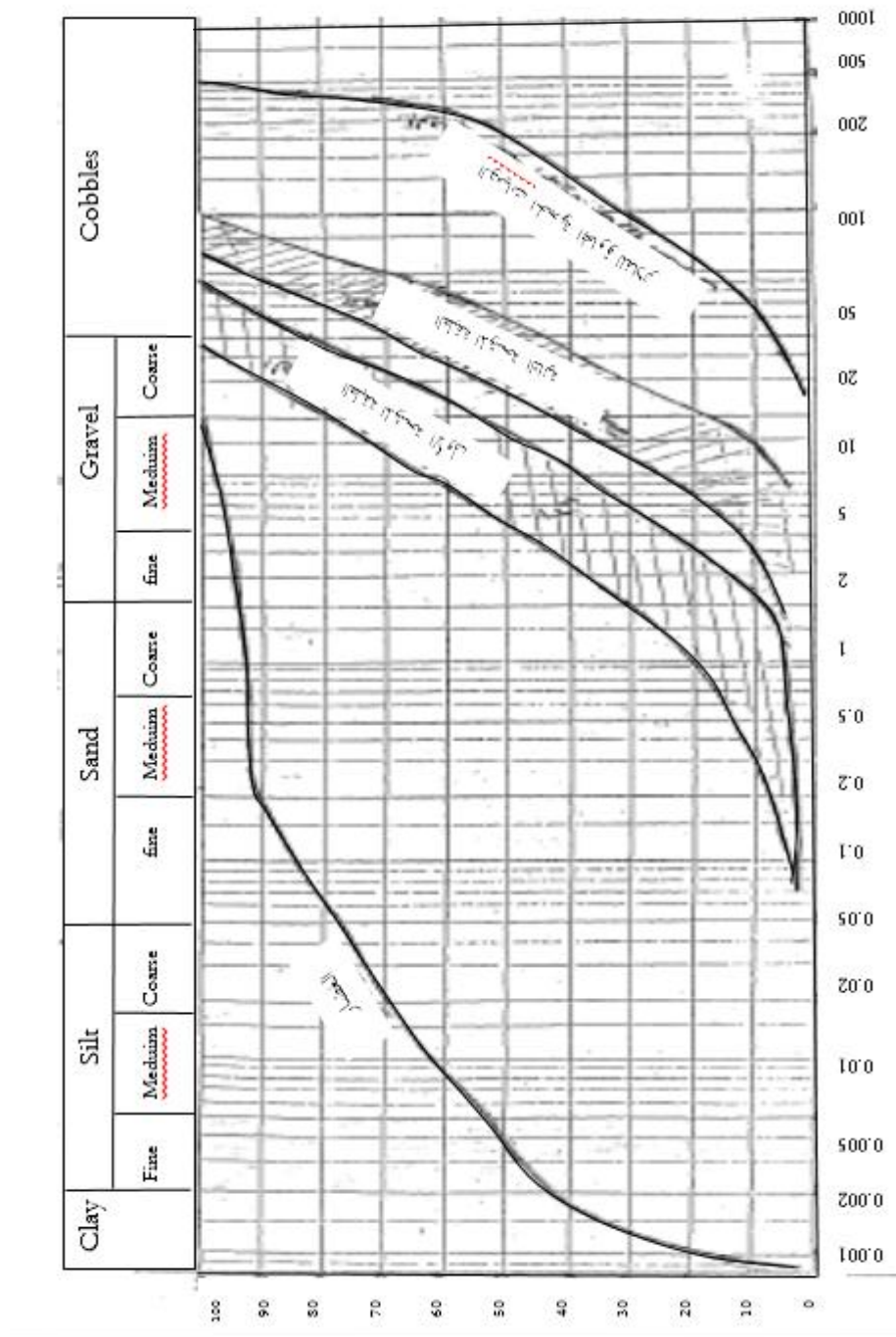
الشكل (3-46) جهاز القص المباشر

و يبين الجدول (3-14) مقارنة قيم نتائج التحاليل و القياسات المخبرية و قيم العوامل التصميمية لتربة النواة الغضارية

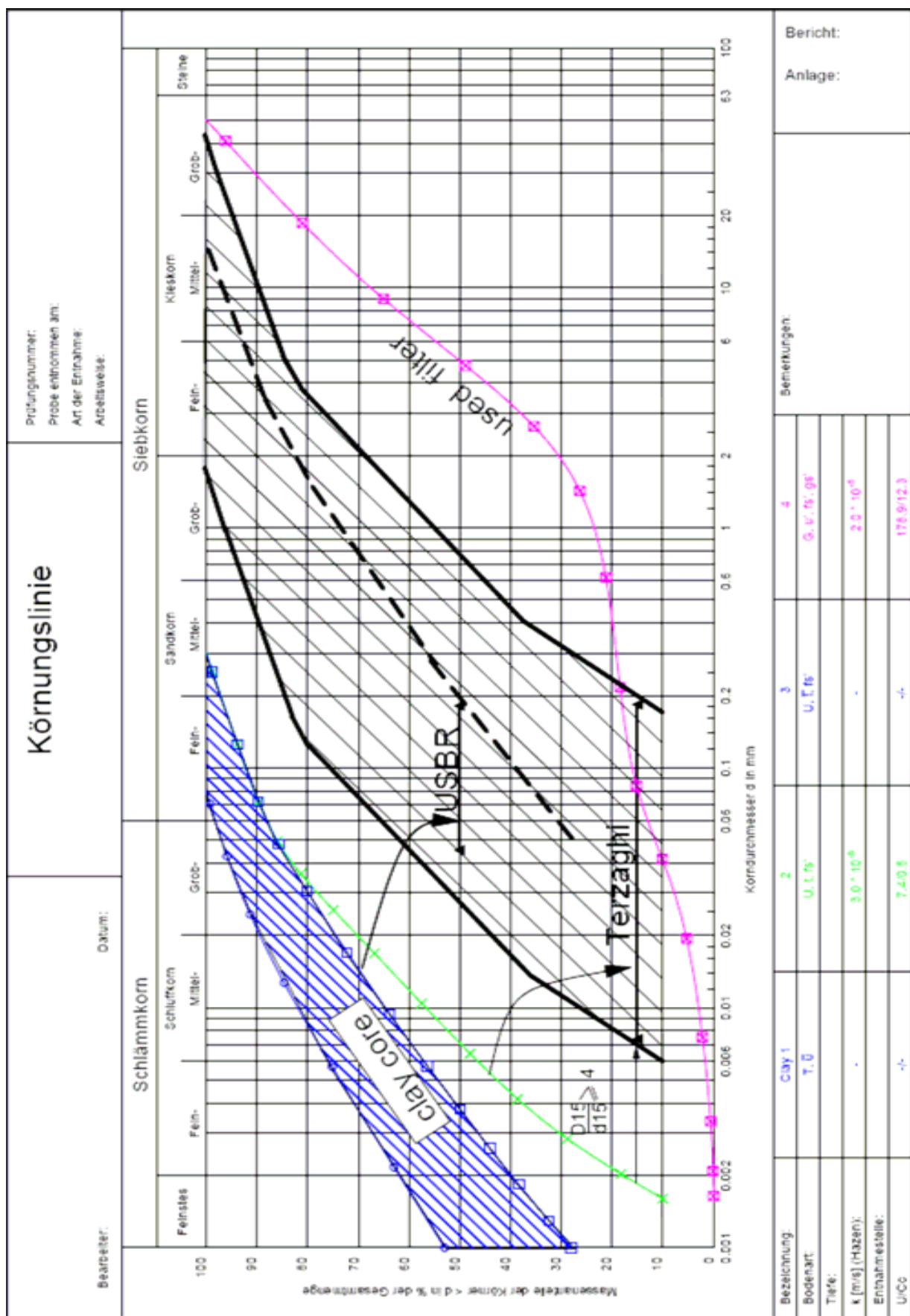
الجدول (3-14) : مقارنة قيم نتائج التحاليل و القياسات المخبرية و قيم العوامل التصميمية لتربة النواة الغضارية

المواصفات التصميمية (نوعين من الغضار حسب المقلع)	التحاليل المخبرية (مخبر الشركة العامة للدراسات المائية)	الخواص
1.54-1.8	1.53-1.55	الكثافة الجافة الظاهرية (t/m^3)
26-28	25-27	الرطوبة المثالية ($w_{opt}\%$)
51.3-56.1	63-64.5	حد السيولة ($w_l\%$)
26.5-27.3	25-26.3	حد اللدونة ($w_p\%$)
24.8-29.6	38-38.2	دليل اللدونة ($I_p\%$)
43-44.4	43.5-44.3	المسامية ($n\%$)
18-26	13-23	زاوية الاحتكاك الداخلي
85-172	81-91	التماسك kN/m^2

يبين الشكل (3-47) نتائج التحليل الحبيبي التصميمية للتربة المستخدمة في جسم السد و الفلاتر كما يوضح الشكل (3-48) و الجدول (3-15) نتائج التحليل المخبري لعينات من جسم السد .



الشكل (3-47) يبين نتائج التحليل الحبيبي التصميمي



الشكل (3-48) يبين نتائج التحليل المخبري

الجدول (3-15) يبين مقارنة بين النسب المئوية المارة للتربة الغضارية التصميمية و المخبرية المأخوذة من العينات

Dmm	0.001	0.002	0.004	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
p%(التصميمية)	21.5	31.7	41	52	71.2	76	80	86	91	93	99.5	100
p%(المخبرية)	29.7	39.8	50	64	87	92	97	99.5	-	-	-	-

تظهر التحاليل المخبرية بشكل عام نوعين من الترب الغضارية التي تم استخدامها في بناء النواة , و كلتا الترتين تظهران فعالية منخفضة إلى المتوسطة مما يعني قابلية انتفاخ من ضعيفة إلى متوسطة , قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة الأولى منخفضة (13°) و الثانية عالية بحدود (23°) , و الاختلافات بين العوامل الجيوتكنيكية التصميمية و المخبرية تم ملاحظتها في قيمة الكثافة الجافة (الكثافة الناتجة من خلال نتائج التحاليل المخبرية أصغر من قيمة كثافة بروكتور التصميمية) , بينما يكون حد السيولة الناتج من خلال نتائج التحاليل المخبرية أكبر من القيمة التصميمية بنسبة (10%) , و تكون زاوية الاحتكاك الداخلي أصغر من ($5^\circ - 3^\circ$) من قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية .

النتائج :

- 1- تظهر نتائج اللوحات الجيوكهربائية وجود مقاومات عالية في جسم السد و هذا إشارة واضحة على ظهور فجوات ضمن السد و كذلك تظهر قيم مقاومات مشتركة على كلا الوجهين و ضمن النواة و هذا أيضاً إشارة إلى وجود ظاهرة الأنابيب .
- 2- فيما يتعلق بالعوامل الجيوتكنيكية لتربة النواة الغضارية , فتدل التربة الغضارية على تطابق جيد مع العوامل الجيوتكنيكية التصميمية , تم ملاحظة الاختلافات في قيمة الكثافة الجافة , حد السيولة , و زاوية الاحتكاك , بحيث وجدنا بأن قيمة الكثافة الناتجة من خلال نتائج التحاليل المخبرية تكون أصغر من قيمة كثافة بروكتور التصميمية . بينما تكون حدود السيولة أكبر و زاوية الاحتكاك الداخلي أصغر من ($5-3$) درجة من قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي التصميمية
- 3- أظهرت التحاليل و الدراسات المخبرية بأن الخواص الحالية للنواة و خاصة النفوذية لا تحقق متطلبات الخواص التصميمية , و ذلك بسبب التآكل الداخلي للنواة .
- 4- توضح الأشكال (3-47 , 3-48) مخطط توزيع التركيب الحبي للنواة و الفلاتر , مع غياب واضح لجزيئات الرمل , و تظهر أيضاً بأن مادة الفلاتر لمواد سد كودنة لا تحقق المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية مقارنة بقاعدة (USBR) وترزاكي و هذا دليل على إمكانية حدوث التآكل الداخلي للفلاتر .

الفصل الرابع

دراسة خطوط الرشح و تحاليلها و استقرار سد كودنة

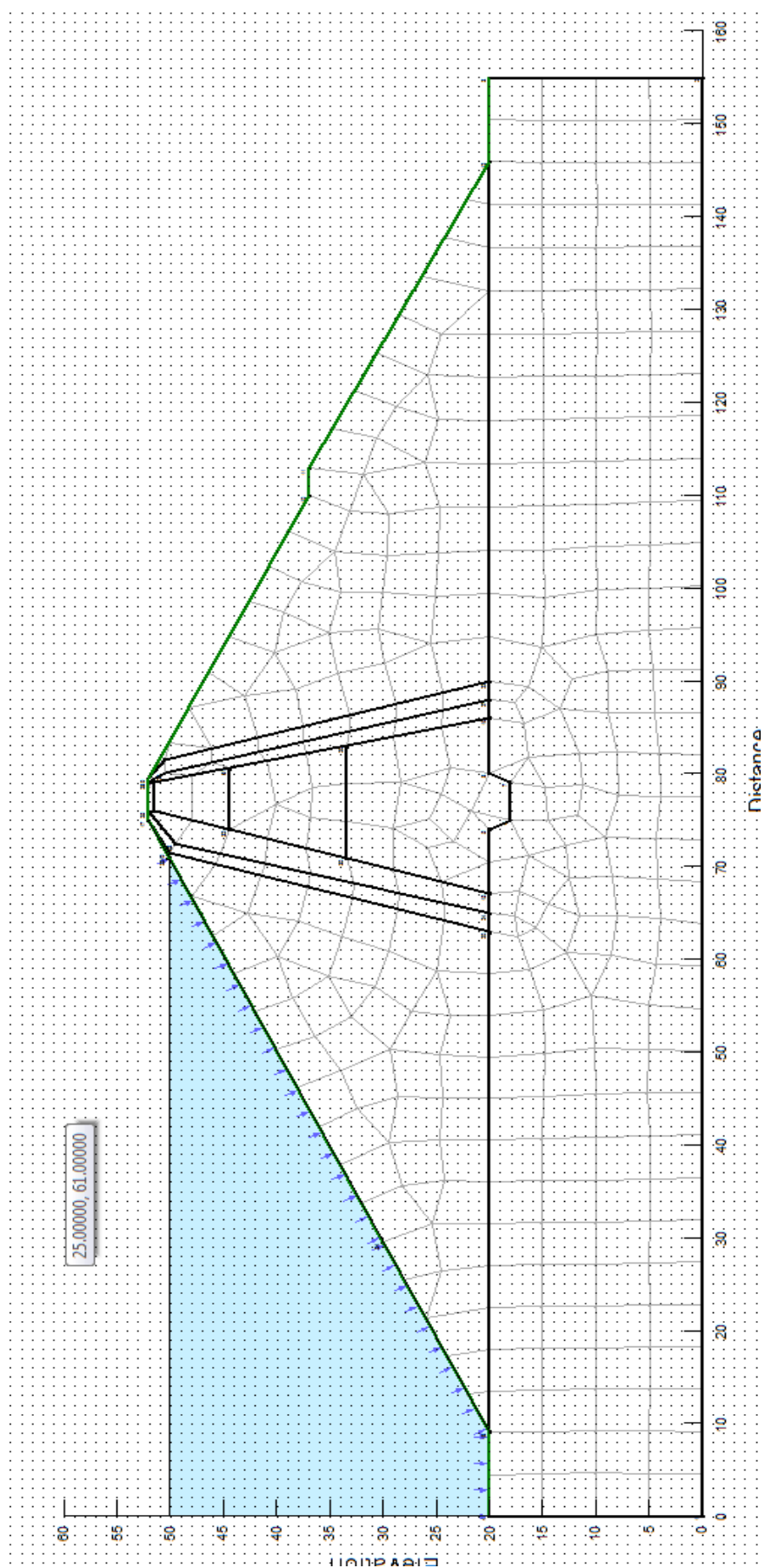
1-4- دراسة خطوط الرشح و تحاليلها :

تم استخدام النمذجة الرقمية لتحليل التسرب في سد كودنة باستخدام طريقة العناصر المحدودة , حيث تم اختيار أكبر مقطع عرضي ضمن منطقة التسرب . المقطع المدروس هو أكبر مقطع تسرب في السد يبعد 1000 m عن الكتف الأيمن للسد .
تم اعتبار منسوب التخزين في السد هو منسوب التخزين الأعظمي (level 765.5 m) أما منسوب الماء خلف السد فتم اعتباره مساوياً للصفر , و يبين الجدول (1-4) قيم النفاذية المستخدمة في برنامج seep/w .
الجدول (1-4) : قيم النفاذية المستخدمة في برنامج seep/w

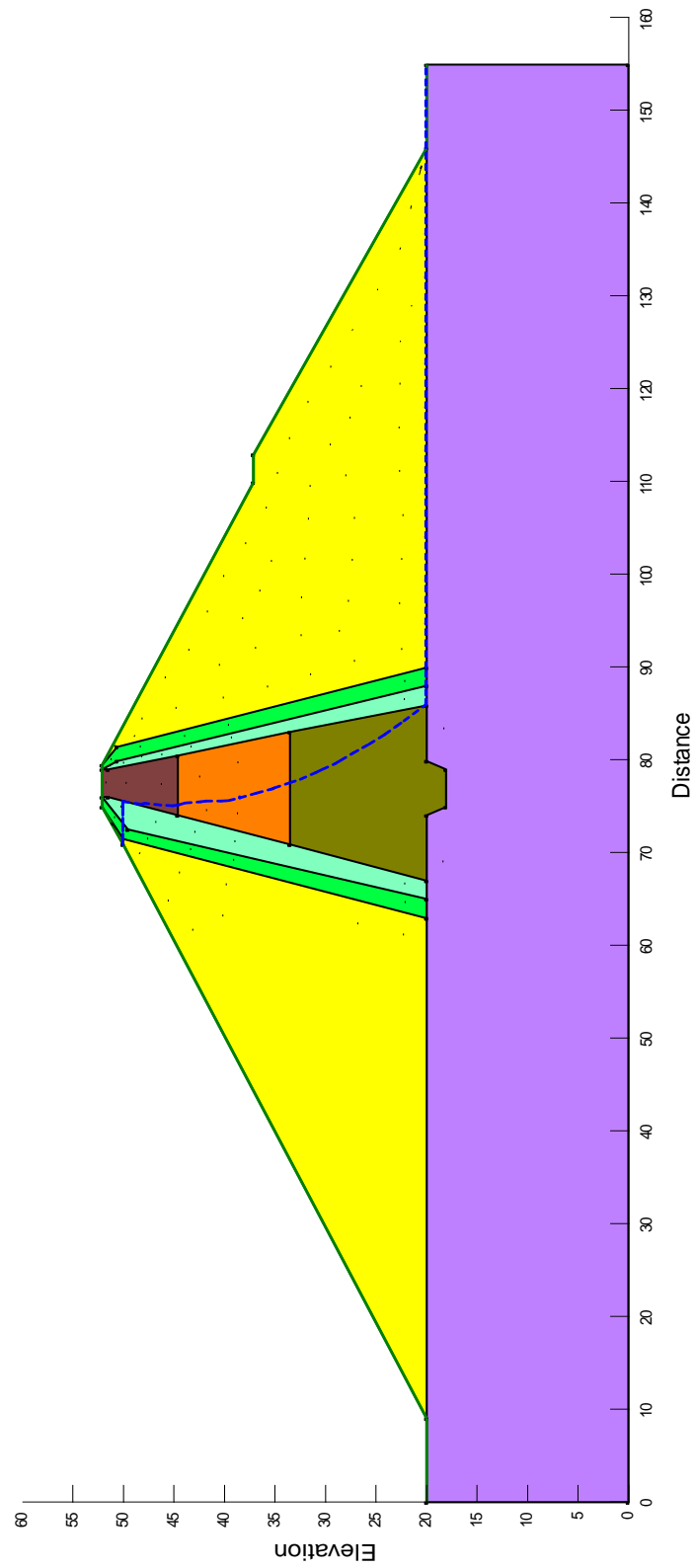
الجزء	ارتفاع المقطع بدءاً من الأساس	النفاذية
الركام الحجري	-	10E-1
الفلتر الخارجي	-	10E-3
الفلتر الداخلي	-	10E-4
الأساس	-	10E-7
النواة الغضارية	الجزء السفلي 13m	1.7E-7
	الجزء المتوسط 11m	1.3E-6
	الجزء العلوي 7.5m	4.4E-8

ارتفاع المقطع العرضي المدروس (32m) و كمية تصريف التيار الراشح في المقطع المدروس هي
 $(5.516 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} = 3.4 \text{ l}/\text{min}/\text{m})$

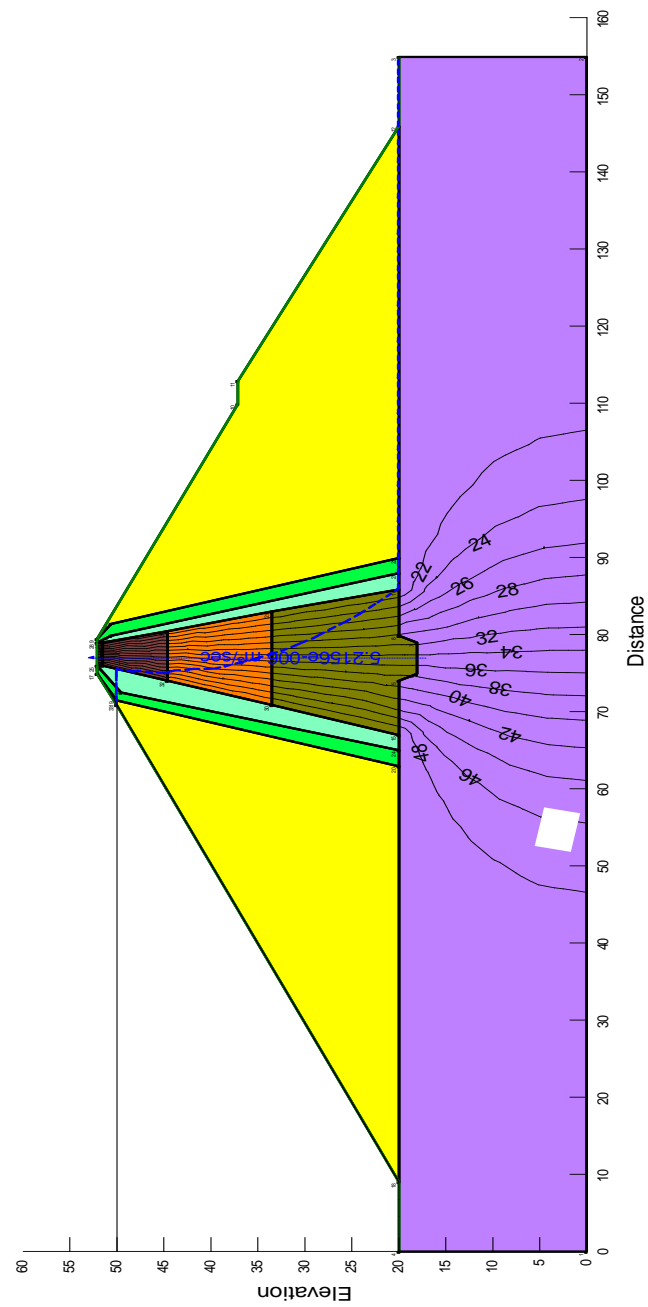
و تبين الأشكال (1-4, 2-4, 3-4, 4-4, 5-4, 6-4) شبكة الجريان , خط التسرب , قيمة تصريف التيار الراشح ضمن السد و خطوط الجريان ضمن جسم السد .



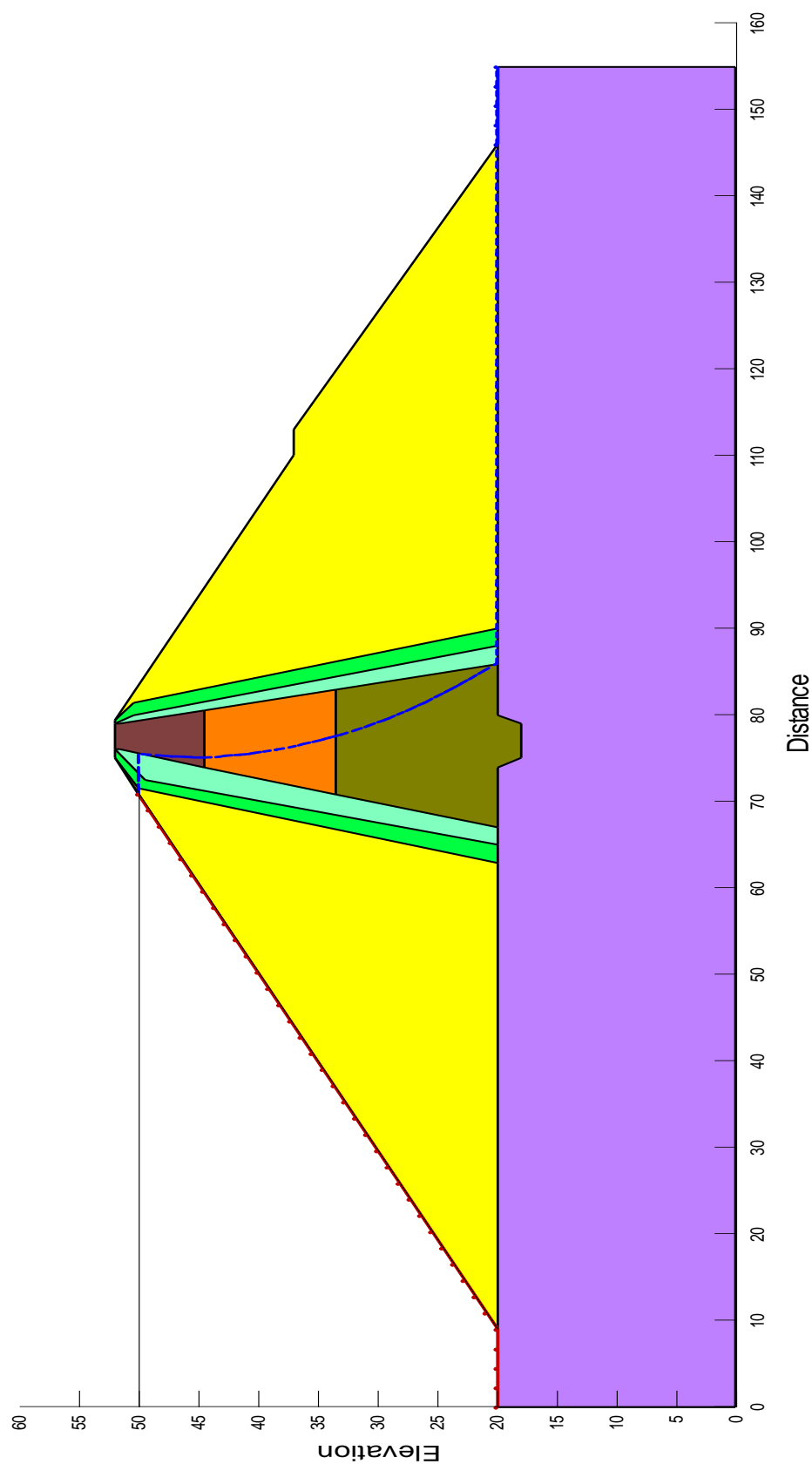
الشكل (4-1) شبكة الجريان



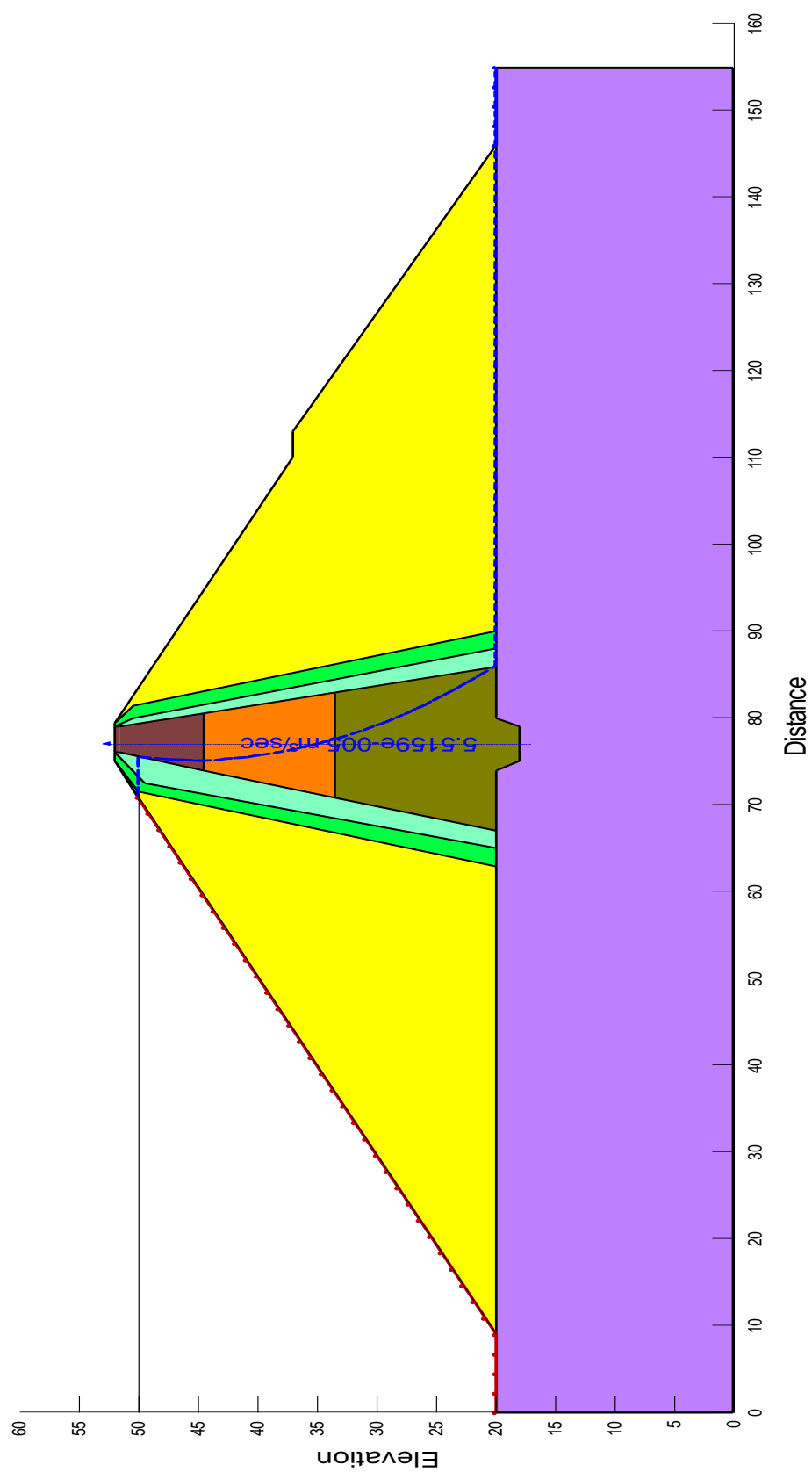
الشكل (2-4) خط التسرب التصميمي



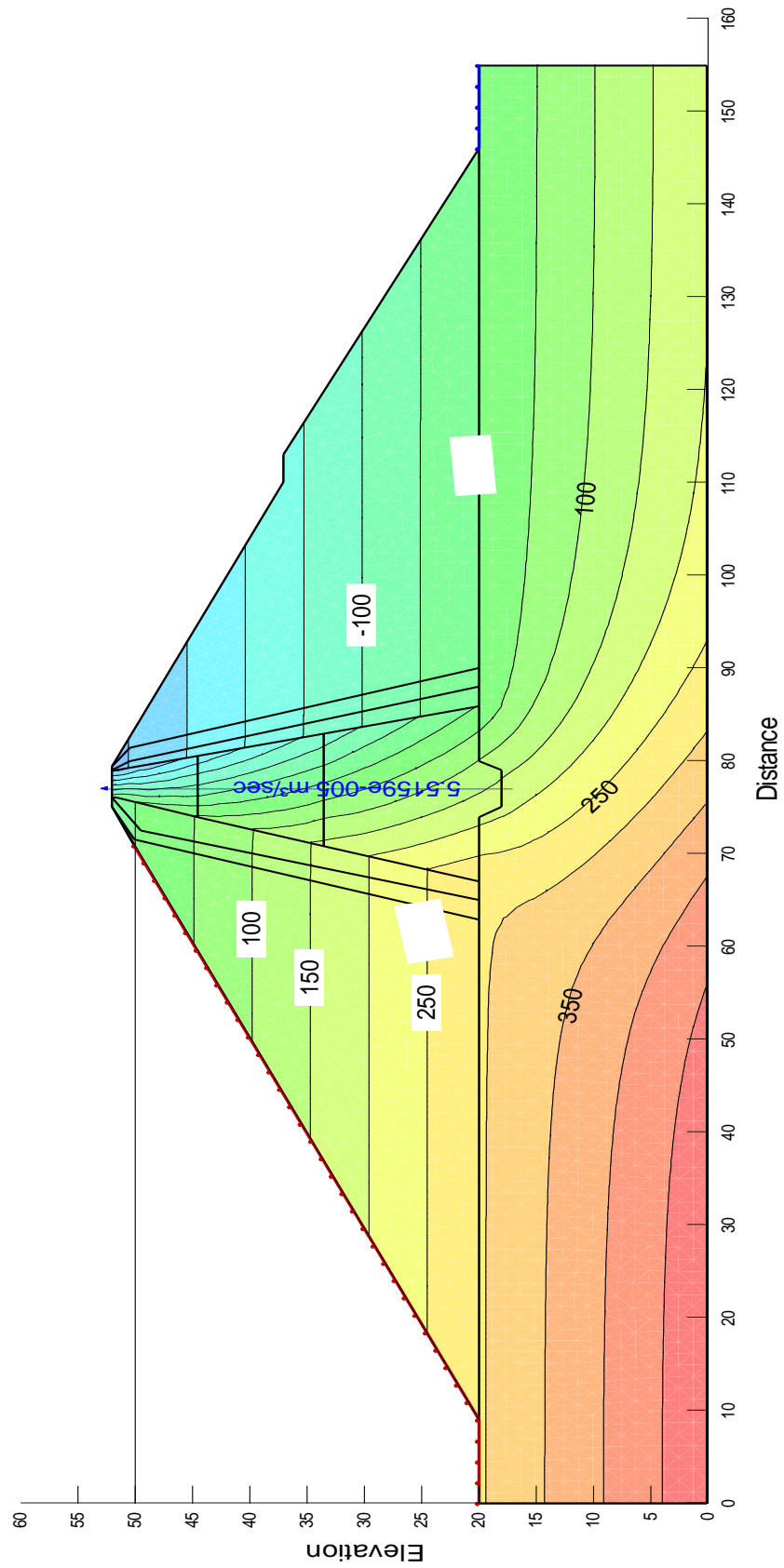
الشكل (3-4) قيمة التيار الراشح التصميمية و خطوط الجريان



الشكل (4-4) يبين خط التسرب نتيجة التحريات و نتائج النفوذية



الشكل (5-4) قيمة التيار الراشح ضمن جسم السد



الشكل (4-6) يبين خطوط الجريان ضمن السد

4-2- دراسة استقرار جسم السد باستخدام برنامج slope/w :

تم استخدام طريقة الشرائح في تحليل استقرار المنحدرات لسد كودنة , و جرى اختيار نفس مقطع التسرب و تم اعتماد مواصفات التربة للمواد المكونة للسد الموضحة في الجدول (4-3) , و اعتبار حالتي دراسة للوجه الأمامي و حالتي دراسة للوجه الخلفي .

a- حالات الدراسة :

تكون حالات الدراسة للوجهين الأمامي و الخلفي :

1- حالة الامتلاء الكامل للسد (منسوب تخزين أعظمي) و الحمولات المؤثرة هي حمولات الوزن الذاتي للمواد بالإضافة لقوى ضغط الماء المسامي الناجمة عن تسرب الماء ضمن جسم السد .

2- حالة الامتلاء الكامل مع احتمال التعرض لهزة أرضية , و هنا يضاف للقوى المؤثرة من الحالة الأولى قوى ناجمة عن الهزة الأرضية .
ويبين الجدول (4-2) نتائج البرنامج في الحالتين المذكورتين.

الجدول (4-2) : نتائج برنامج slope/w

الجزء	الوجه الأمامي	الوجه الخلفي
حالة الامتلاء الأعظمي	2.131	2.288
حالة الامتلاء مع احتمال لهزة أرضية 0.1g	1.528	1.267

b- الطريقة المستخدمة في التحليل :

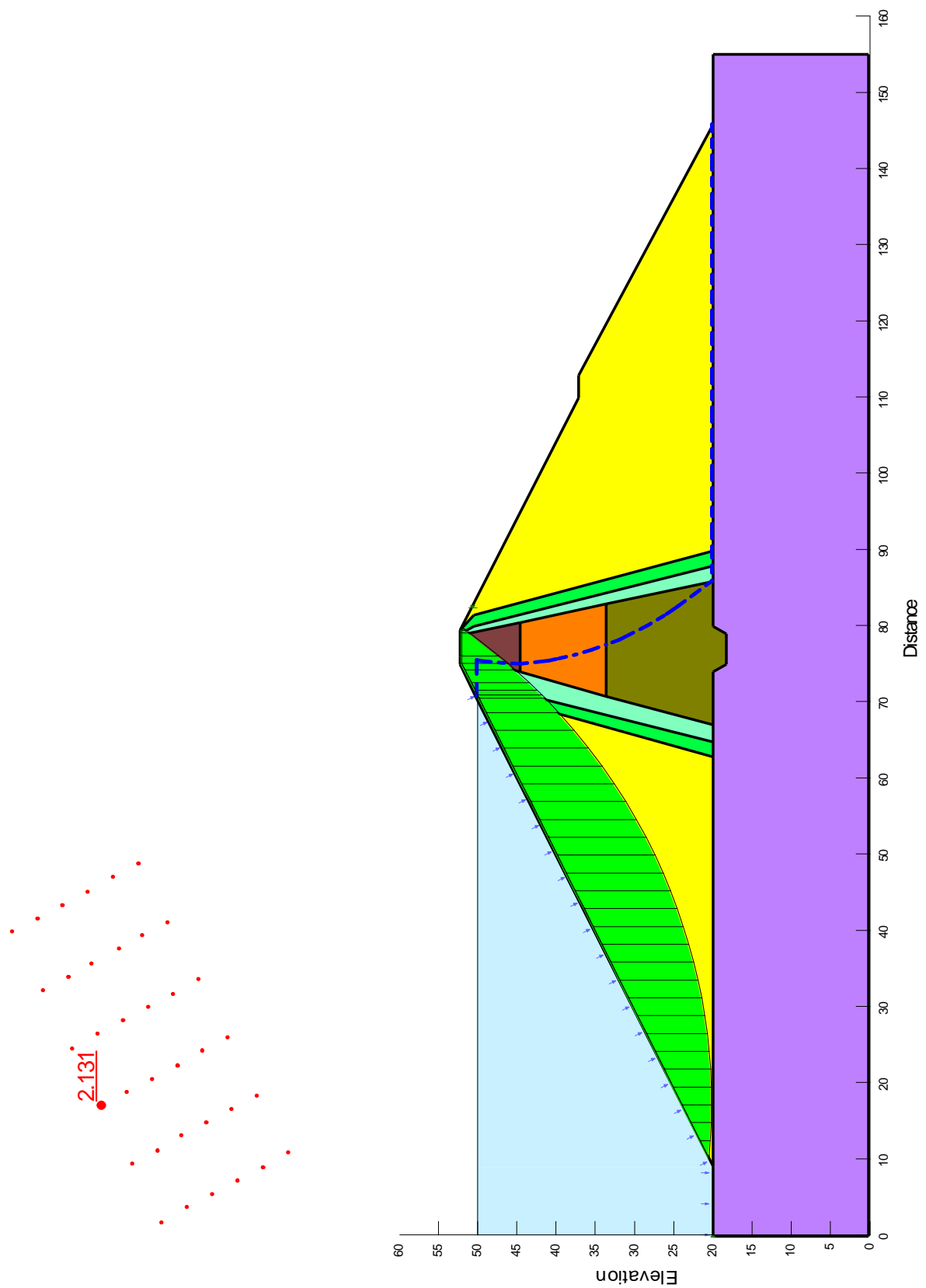
تم اعتماد طريقة الشرائح في تحليل توازن المنحدرات و بالتحديد طريقة التوازن الحدي العام (General limit equilibrium) التي تعتمد على افتراض سطح الانزلاق دائري و تقسيم الكتلة المنزلقة إلى شرائح طولانية و حساب عامل الأمان على أنه النسبة بين مجموع عزوم القوى المثبتة و عزوم القوى المحركة العاملة على هذه الشرائح و تأخذ هذه الطريقة بالحسبان القوى الداخلية بين الشرائح .

تمت عملية الحساب باستخدام برنامج (slope/w) و يقوم البرنامج بتوليد العديد من سطوح الانزلاق و حساب معاملات الأمان المرتبطة بها ثم تحديد عامل الأمان الأصغري و سطح الانزلاق الحرج .

الجدول (3-4) يبين المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية لمواد سد كودنة

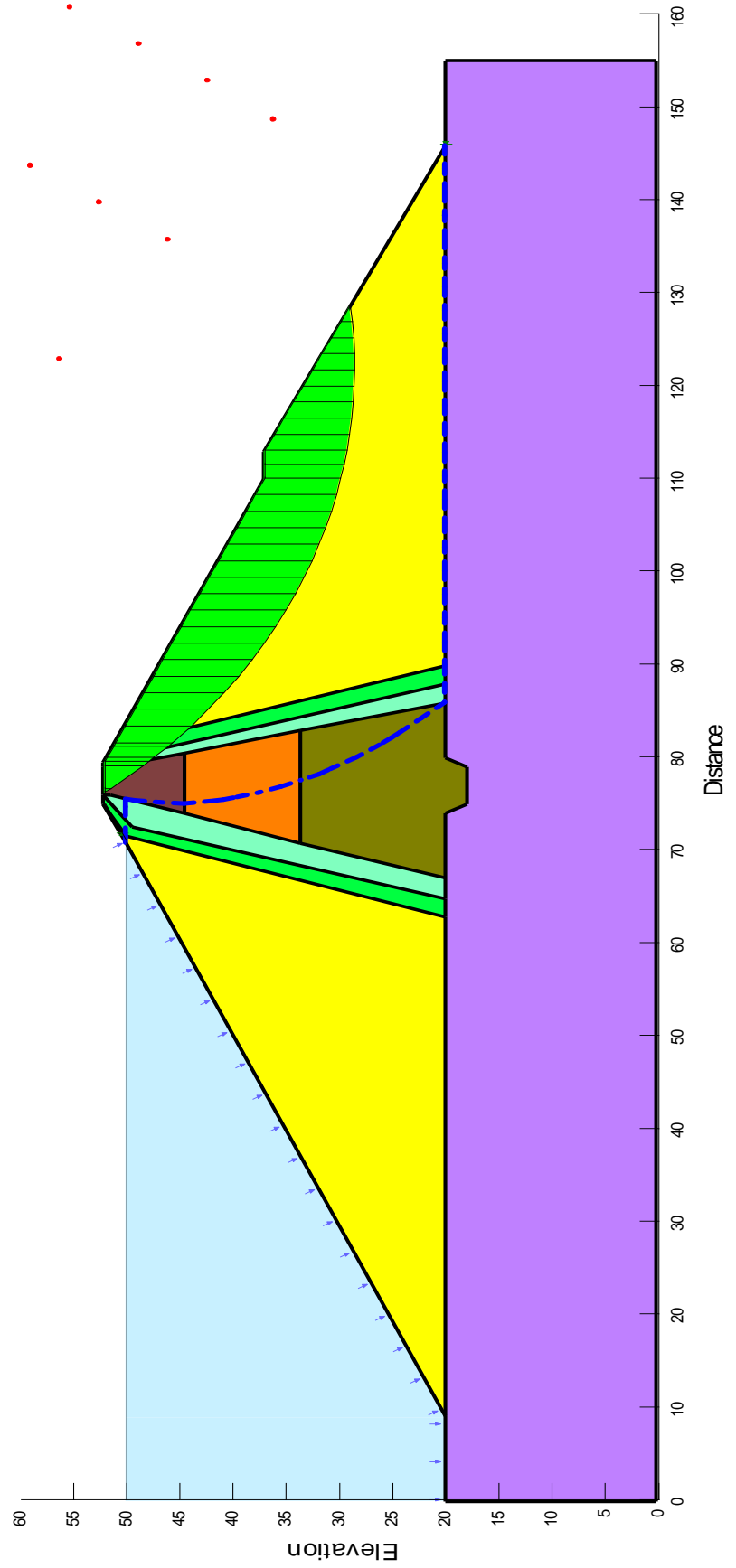
الجزء	الوزن الثقلي	زاوية القص	التماسك الفعال (KN/m ²)
الركام الحجري	21	42	0
الفلتر الخارجي	20	35	0
الفلتر الداخلي	20	30	0
النواة الغضارية	18	16	20
صخور الأساس	21	42	–

و توضح الأشكال (4-10, 4-9, 4-8, 4-7) دوائر الانزلاق و عامل الأمان للوجهين الأمامي و الخلفي في حالتي الامتلاء الأعظمي و حالة هزة أرضية باحتمال 0.1 g .

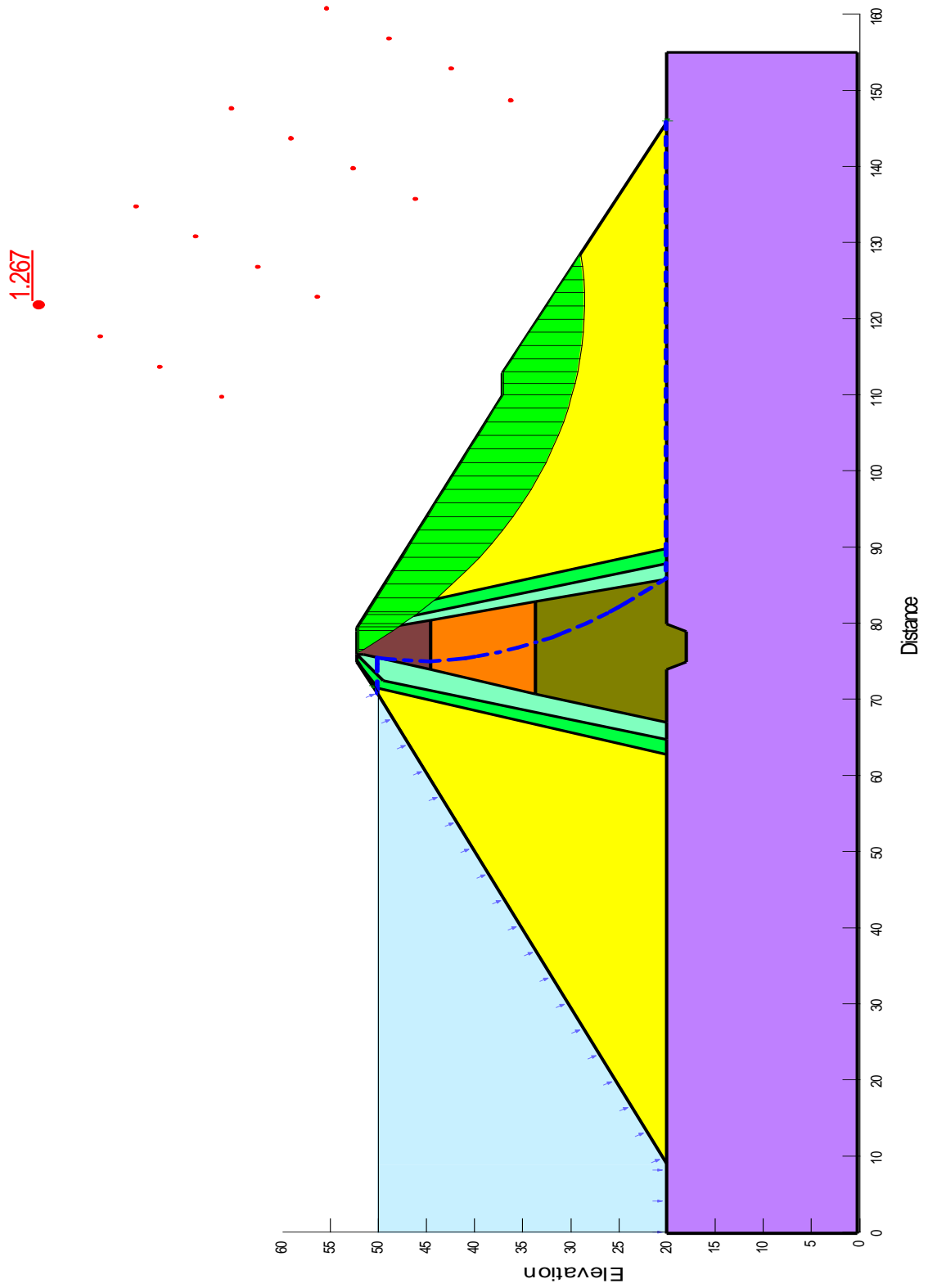


الشكل (4-7) يبين عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الأمامي حالة الامتلاء الأعظمي

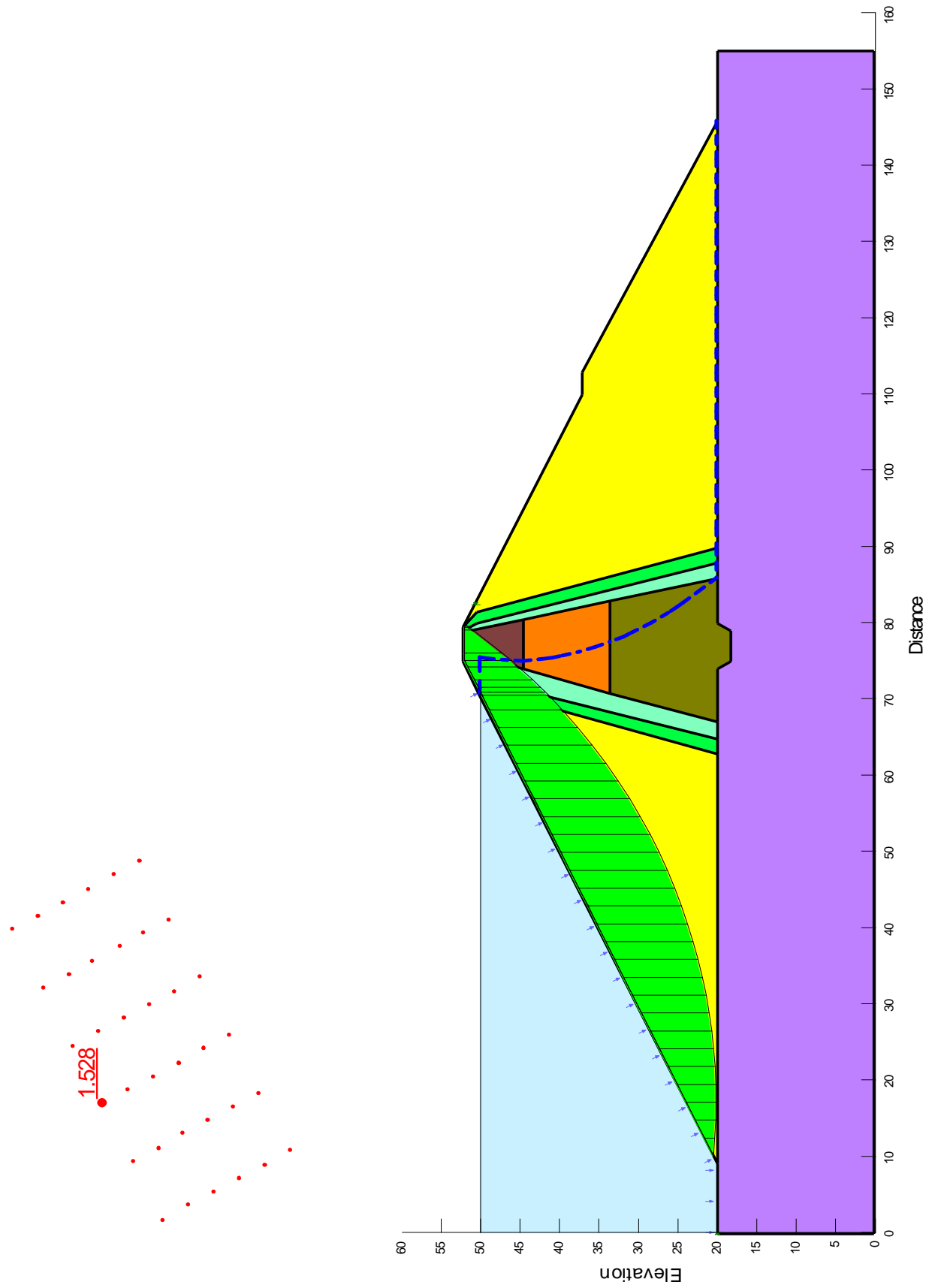
2.288



الشكل (4-8) يبين عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الخلفي حالة الامتلاء الأعظمي



الشكل (4-9) يبين عامل الأمان و دائرة الازلاق للوجه الخلفي من أجل موجة زلزالية 0.1g



الشكل (4-10) يبين عامل الأمان و دائرة الانزلاق للوجه الأمامي من أجل موجة زلزالية 0.1g

النتائج

- 1- تظهر نتائج برنامج seep/w إلى زيادة قيمة عامل النفاذية التصميمية التي كانت أقل من (10^{-8} m/sec) إلى أن أصبح (10^{-5} m/sec) , الأمر الذي أدى إلى تآكل النواة و تشكل الأنابيب و تشكل خط رشح عالٍ و الذي بدوره سوف يؤدي إلى عدم استقرار السد .
- 2- توضح نتائج البرنامج الأشكال (4-3 , 4-5) زيادة في قيمة تصريف التيار الراشح من القيمة التصميمية (0.4 l/min) إلى (3.56 l/min) أي بنسبة 87% .
- 3- تظهر أيضاً الأشكال تغييراً في خطوط الجريان و هذا دليل واضح على وجود مناسيب مائية ضمن جسم السد و هذه إشارة واضحة إلى وجود فجوات و تشكل ظاهرة الأنابيب .
- 4- أظهرت نتائج الدراسات الرقمية الخاصة بأمان و استقرار السد , بأن السد مستقر و آمن لكلا الوجهين في حالة التعبئة و حالة احتمال هزة أرضية 0.1 g .

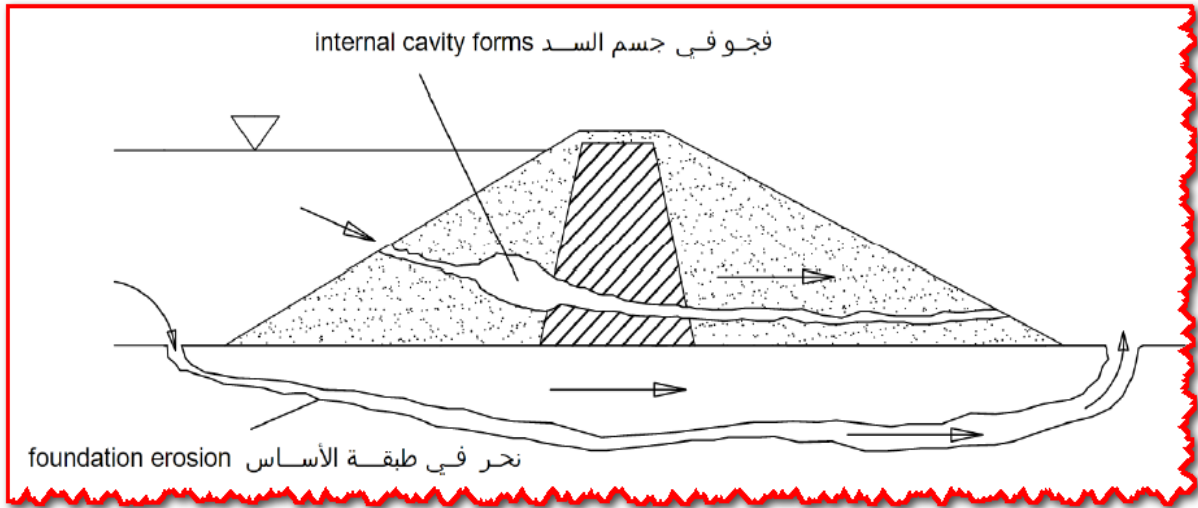
الفصل الخامس

الإجراءات و الحلول الممكنة لإعادة تأهيل سد كودنة

5-1- مقدمة :

لقد أظهرت نتائج التحريات و الدراسات بأن هنالك ضياعاً في المياه ضمن منطقة النواة المتميزة باحتوائها على شقوق و فجوات , بناءً عليه يجب إعادة تأهيل السد لتجنب حدوث زيادة في عدد الأنابيب المتشكلة كنتيجة للحالة الراهنة.

هناك العديد من الإجراءات التي يمكن تطبيقها لإعادة تأهيل السد التي تهدف جميعها إلى التقليل من النفوذية و بالتالي تسرب المياه و خروجها عن طريق ظاهرة الأنابيب المعروفة يوضح الشكل (5-1) رسماً توضيحياً لظاهرة الأنابيب ضمن جسم السد و الأساسات.



الشكل (5-1) رسم توضيحي لظاهرة الأنابيب

تجدر الإشارة بأن عدم تنفيذ هذه الإجراءات سوف يعرض السد إلى الخطر و الانهيار .

يمكن أن نقسم طرائق إعادة التأهيل إلى قسمين :

1- إجراءات و حلول فنية حصراً في النواة .

2- إجراءات و حلول فنية حصراً على الردميات الحجرية المؤلفة للوجه المائي (الأمامي) للسد .

5-2- الإجراءات و الحلول الفنية المتبعة حصراً في النواة [11] :

تعتمد هذه الإجراءات بشكل رئيسي على تكتيم النواة لتجنب حدوث ظاهرة الأنابيب و تشمل :

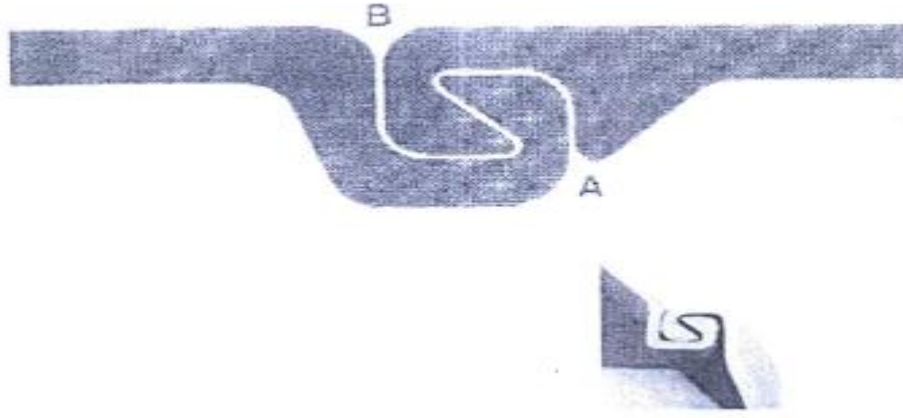
1- جدار تكتيم البيتونايت الإسمنتي :

يبنى الجدار ضمن حفريات خاصة مجهزة , و ذلك من خلال مراحل متتالية ضمن قطاعات مجهزة سابقاً . حيث يُجهز الخندق أو الحفرة بواسطة حفارة أو سطل ذي كماشة , و بعد ذلك يتم صب المزيج من الغضار مضافاً إليه البيتونايت الإسمنتي .

يتراوح عرض الجدار ما بين نصف إلى واحد متر و يكون حده الأدنى مساوياً لعرض الحفرة .

2- جدار الأوتاد الستائرية :

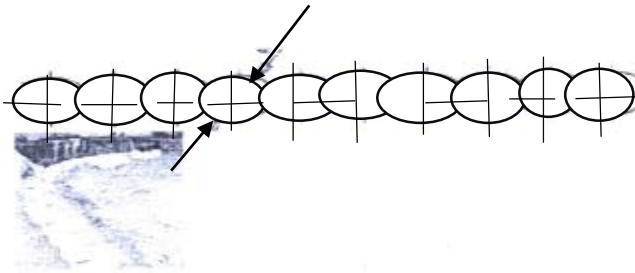
تتألف جدران الأوتاد الستائرية من أوتاد فولاذية مزودة بجوانات سفلية عمودية يمكن ضغطها في التربة أو إدخالها بواسطة سواقة الوتد الاهتزازية. يعتمد بناء هذه الجدران على الشكل الهندسي و نوعية التربة التي ستدخل ضمنها . يوضح الشكل (2-5) مقطعاً في الأوتاد الستائرية و الشكل (3-5) يوضح طريقة تنفيذ الأوتاد .



الشكل (2-5) مقطع في الأوتاد الستائرية

3- الجدار الوتدي المسلح و غير المسلح :

يتألف الجدار من أوتاد ذات جوانات إسمنتية صلبة بأقطار تتراوح من (16 in إلى 60) , بحيث يتم اختيار قطر الوتد حسب سماكة الجدار المطلوب , و يجب أن يكون تباعد الأوتاد عن بعضها أقل من قطر الوتد . الشكل (3-5) الجدار الوتدي المسلح. توجد تصميمات متعددة لهذه الجدران المتتالية , فمنها على سبيل المثال الصلب - الطري أو صلب - صلب بحيث تتركب أولاً الأوتاد الرئيسية و من ثم الثانوية التي تبنى بين الأوتاد الرئيسية .

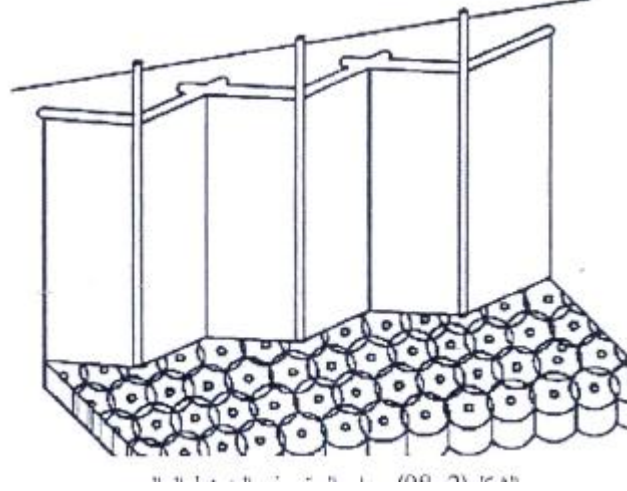


الشكل (3-5) الجدار الوتدي المسلح

4- جدار الحقن ذو الضغط العالي :

يبنى الجدار عن طريق حقن التربة بمواد سائلة أو ملاطية تحت ضغط عالٍ جداً و التي يمكن خلطها بمادة الغضار .

توجد عدة خلطات حقن , منها و الأكثر استعمالاً (مياه- اسمنت) سريعة التصلب . يتميز جدار الحقن ذو الضغط العالي بالوصول إلى القطر المطلوب عن طريق صب أعمدة ذات أقطار صغيرة ضمن آبار معدة لذلك . و يبين الشكل (4-5) جدار الضغط العالي .



الشكل (4-5) جدار الضغط العالي

5-3- الإجراءات و الحلول الفنية المطبقة حصراً على الردم الحجري (الوجه الأمامي) :

1- سجادة اسمنتية بيتونية .

2- سجادة اسفلتية .

1- السجادة الاسمنتية البيتونية

تبنى السجادة البيتونية على الردم الحجري للوجه الأمامي للسد , باستخدام مواد بناء رخيصة مثل الصخور المحواة . كمرحلة أولى يتم سد الفجوات بين الصخور الموجودة على الوجه الأمامي و من ثم صب البيتون الإسمنتي بشكل متجانس و متماسك .

2- السجادة الإسفلتية

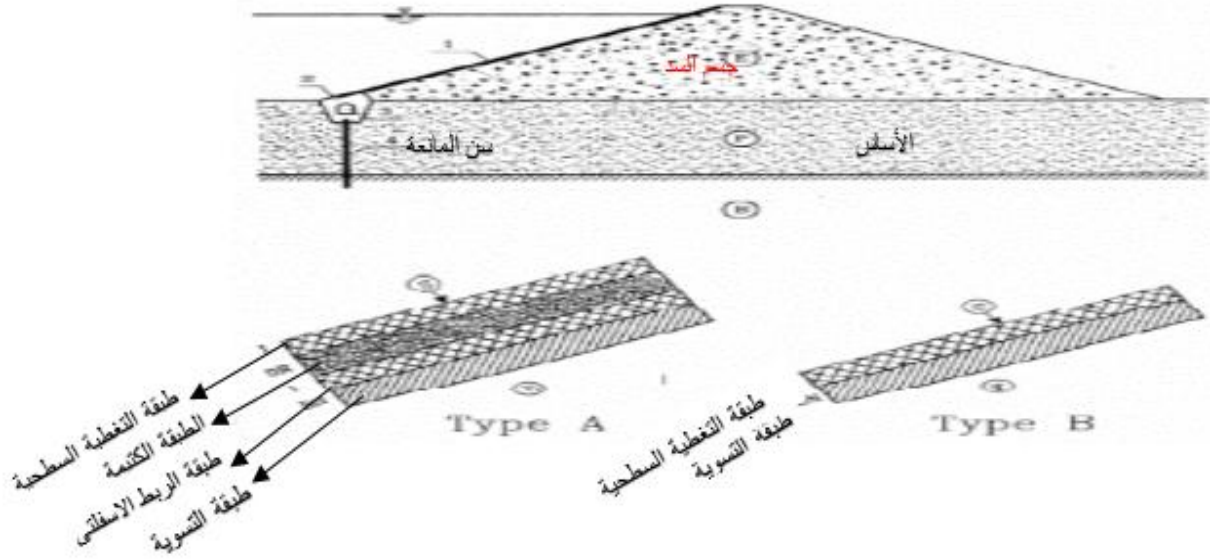
تعتبر مشكلة رشح السدود من المشاكل الحدية التي تؤدي إلى تشكل ظاهرة الأنابيب و بالتالي اخيار السدود و كسرها, و بهدف تجنب هذه المشاكل تبنى السجادة الإسفلتية البيتونية المؤلفة من حصويات و رمل و بيتون , و تتميز هذه السجادة باستقرارها و أمانها للإنسان و الحيوان و الحياة المائية .

تتألف السجادة الإسفلتية من طبقتين تتحملان ضغطاً عالياً من دون حدوث شقوق أو تكسرات و بسماكة الطبقة العليا

(6-10 cm) و السفلى (20-30 cm) .

تتميز السجادة الإسفلتية البيتونية بأنها أكثر مرونة من السجادة البيتونية .

يجب أن يتألف الوجه المقترح على الأقل من طبقتين - طبقة أساسية بسماكة (20-30 cm) و طبقتين بينية و عليا (6-10 cm) في بعض الحالات يتم بناء قناة تصريف مائية بين الطبقتين و ذلك لمراقبة الرشح . و يبين الشكل (5-5) مقطعاً عرضياً في السجادة الإسفلتية.



الشكل (5-5) مقطع عرضي في السجادة الإسفلتية

5-4- تقييم الإجراءات و الحلول الفنية المعروضة بناء على فعاليتها - استقرار طويل الأمد - و قابلية تنفيذها :

يعتمد تقييم الإجراءات الممكن تطبيقها على إمكانية تنفيذها اعتماداً على الخبرة المحلية و فعاليتها

1- جدار التكتيم :

يعتبر جدار التكتيم حلاً فعالاً لمشكلة سد كودنة , بحيث يحقق كثافة عالية , و لكن كون طول الجزء المطلوب تكتيمه ليس صغيراً يزيد على (1800 m) و خصوصاً في المنطقة الوسطى من السد , حيث يجب أخذ الحيطة أثناء تجهيز الحفرة أو الخندق و خاصة فوق منطقة وجود المفرغ السفلي .

يتطلب تنفيذ بناء الجدار خبرة فنية عالية و تنفيذاً بدقة حيث لا يتحمل بناؤه خطأ .

2- جدار الوتد الستائري :

يعتبر جدار الوتد الستائري حلاً فعالاً لمشكلة سد كودنة , و لكن يمكن أن تحدث مشكلة فنية أثناء بنائه في المجال العميق أكبر من (20 m) من جراء ضغط الأوتاد الفولاذية عن طريق الأوتاد الاهتزازية , و علاوة على ذلك المشاكل الفنية التي تسببها عملية الرج .

3- جدار الأوتاد المتناوبة :

يعتبر حالاً لمشكلة السد , و لكن يمكن أن تحدث مشكلة فنية أثناء بنائها في المجالات العميقة , و المشاكل الفنية التي تسببها عملية الرج و الاهتزاز .

4- جدران الحقن ذوات الضغط العالي :

يعتبر جدار الحقن ذو الضغط العالي حالاً فعالاً لمشكلة سد كودنة , و لكن يمكن أن تحدث مشكلة فنية أثناء التنفيذ بسبب الضغوط العالية للحقن .

5- السجادات الإسمنتية البيتونية و الإسفلتية :

يهدف بناؤها إلى تخفيض ضغط المياه على النواة , و يفضل الإسفلتية كونها ذوات مرونة أكبر من الإسمنتية , بحيث يمكن إجراء بعض التصليحات بأقل التكاليف الممكنة و يوجد في سوريا شركات مختصة بتنفيذ هذه الأعمال .

سيتم اعتماد تنفيذ الشاشة الاسفلتية لمرونتها و توفر إصلاحاتها في سوريا.

الفصل السادس

النتائج و المقترحات

6-1- النتائج :

1- من خلال التحريات المخبرية و تجارب النفوذية و الاختراق الديناميكي و تحريات التصوير و التحريات الجيوكهربائية تبين هناك تطابق بين نتائج كافة التحريات لتحديد المشكلة التي تعرض لها السد بنسبة مقبولة 90% , و تم تحديد المشكلة في جسم السد اعتماداً على نتائج هذه التحريات .

2- اعتماداً على التطابق بين نتائج التحريات المختلفة (الحقلية و المخبرية) و نظراً للتكلفة الباهظة للتحريات الجيوكهربائية و حاجتها لمشغل خبير , يمكن الاستغناء عن التحريات الجيوكهربائية في دراسة التسرب ضمن السدود .

3- بينت نتائج التحريات و التجارب المخبرية للنواة الغضارية لسد كودنة أنه أثناء بناء السد تم استخدام نوعين من التربة الغضارية , و يبين كلا النوعين نشاطاً ضعيفاً إلى متوسط مما يعني قابلية انتفاخ ضعيفة إلى متوسطة , و كثافة جافة أصغر من الكثافة الجافة التصميمية , و حد السيولة أكبر من التصميمي بنسبة 10% , و بينت تجارب القص زاويتي احتكاك داخلي للترب أقل من التصميمية بحدود (3-5) درجة مما يدل إما على سوء في التنفيذ أثناء بناء السد أو بفعل العوامل المؤثرة في بناء السد أثناء تنفيذه (أمطار - فيضانات) .

4- من خلال التحريات المخبرية و تجارب النفوذية و الاختراق الديناميكي و تحريات التصوير و التحريات الجيوكهربائية تبين زيادة في عامل النفوذية بنسبة تزيد عن 38% عن القيمة التصميمية مما يؤكد تعرضها لتشوهات ارتشاحية على الغالب تآكل ميكانيكي .

5- تظهر نتائج النفوذية و دراسة الرشع باستخدام برنامج (seep/w) زيادة في قيمة تصريف التيار الراشح ضمن نواة السد بنسبة تصل من (79-87 %) مقارنة مع القيمة التصميمية مما يؤكد حدوث ظاهرة الأنابيب .

6- تظهر نتائج التحليل الحي للنواة الغضارية ضياعات في الترب ذات الأقطار أصغر من (1 mm) و بالتالي إشارة واضحة على وجود ظاهرة الأنابيب ضمن نواة السد الغضارية .

7- تظهر نتائج برنامج seep /w (الشكل (2-52) و الشكل (2-55)) تغيراً في خطوط الجريان و هذا دليل على وجود مناسيب مائية ضمن جسم السد و هذا إشارة واضحة على وجود فجوات و تشكل ظاهرة الأنابيب .

6-2- المقترحات

- 1- ضرورة إجراء القياسات في جميع الآبار البيزومترية , و المراقبة المشددة و اليومية و بشكل دوري و منتظم و مراقبة تصريف الرشوحات و منسوب الماء في سرير الوادي من أجل الكشف المبكر عن أي مشكلة مباشرة لتلافي الوقوع في مشاكل كبيرة تمتد على كامل السد و تحدده بالانقيار الكامل و حصول كارثة بيئية و بشرية .
- 2- يجب إعادة تأهيل كافة المنشآت الملحقة بالسد (المفيض - المفرغ السفلي - البوابات - مجرى المفيض) و مراقبتها بشكل دوري و مراقبة الرشوحات التي قد تحصل عندها .
- 3- يجب وضع خطة عمل طوارئ و مراقبة لسد كودنة و للسدود الموجودة على نفس مجرى الوادي , و القرية منه لمعرفة الضرر الذي قد يلحق بالمنشأة بالسرعة الممكنة و اكتشاف السلامة الإنشائية أو التهديد كي يتم اتخاذ الإجراءات المناسبة .
- 4- ضرورة الالتزام بآلية تنفيذ العمل أثناء بناء السدود , ووضع خطط زمنية مناسبة لكل مرحلة من مراحل بناء المنشأة , لأن معظم المشاكل التي تحدث في السدود ناتجة عن سوء التنفيذ و التأخير في العمل نتيجة عدم التقيد بخطة عمل مناسبة .
- 5- تطوير منهجية المراقبة الخاصة بالرشوحات .
- 6-إعادة النظر في أجهزة مراقبة الرشوحات لسد كودنة بما يتناسب و تطور أجهزة المراقبة الحديثة و الحالة الاستثمارية للسد , كتركيب بعض الحساسات للكشف المبكر عن المشاكل و سرعة أخذ القياسات .

ملحق

بناء الشاشة الإسفلتية على الوجه الأمامي للسد

1- مقدمة

أوضحت نتائج الدراسات و التحريات التي نفذت على سد كودنة , بضرورة إعادة تأهيله , و ذلك ببناء شاشة (سجادة اسفلتية) على الوجه الأمامي للسد , مع تسوية الوجه الخلفي بميل 1:2 , و رفع و تعريض القمة , مع بناء جدار حماية جديد .

2- عناصر بناء و أقسام الشاشة الإسفلتية في السدود :

يشمل البناء الإسفلتي بشكل عام على عدة طبقات إسفلتية , تقوم هذه الطبقات و المركبات الصخرية غير المترابطة بشكل رئيسي بدورها الفعال عندما تكون مجتمعة كوحدة متكاملة .

ملاحظة : يجب أن يكون كامل البناء مدروساً بشكل كافٍ بحيث يحقق الكثامة المطلوبة, و أن يتميز بقابلية جديدة لتغيير شكله , و باستقرار و ثبات جيدين .

2-1- عناصر الشاشة الإسفلتية

يتألف بناء الشاشة الإسفلتية من طبقات الربط و التصريف و الكثامة و الحماية الإسفلتية بالإضافة إلى طبقة الإغلاق السطحية .

و يجب التأكد من نظافة كل طبقة قبل بناء الطبقة اللاحقة , و المقصود بذلك تنظيفها من الأوساخ و الأجزاء غير المتماسكة , و بعد التأكد من نظافتها يجب رشها بمادة ملاطية بيتومينية , و ذلك بمهدف تجميع مكونات الطبقة كي لا تشكل طبقة مستقلة .

يتم تحديد كمية و نوعية المادة اللاصقة بحيث تكون قادرة على تحقيق تماسك كافي من دون تشكيل طبقة انزلاق , و بعيار لا يتجاوز حداً أعظمياً مقدار (Mco=3kg/m²) , و يجب أن تحقق عملية الرش توزيعاً متجانساً للمادة اللاصقة , و تضمن عدم تشكيل طبقات رقيقة من الطبقة اللاصقة , و يجب التأكد من تصلب البيتومين و جفافه قبل بناء الطبقة التالية [12] . تتألف طبقات السجادة الإسفلتية من طبقة واحدة أو عدة طبقات كتيمة , و يمكن أن تكون الطبقات الكتيمة مفصولة بطبقات تصريف (فلتر) . تتألف عناصر الشاشة الإسفلتية من :

2-1-1- الأساس :

يشكل القاعدة في بناء السجادة أو الشاشة الإسفلتية, و يشترط بناء الطبقات الإسفلتية على أن يكون الأساس القاعدي مستوياً , و قادراً على التحمل , و أن يكون ثابتاً . و الهدف من ذلك هو الحفاظ على الارتفاعات المحسوبة للسطح العلوي لطبقة التكتيم , حيث يجب أن يكون الأساس ثابتاً ومستقراً أثناء و بعد التنفيذ .

يجب أن يتميز الأساس بقدرة تحمل كافية و ذلك قبل بناء الطبقات اللاحقة و السعي للوصول إلى عامل تشوه يحقق ما يلي :

$$E_2/E_1 \leq 2.5 \quad (3-1)$$

حيث إن :

E_1 : نسبة المرونة قبل بناء طبقة الأساس .

E_2 : نسبة المرونة بعد عمليات البناء .

يمكن تحقيق درجة الرص المطلوبة مع الأخذ بالحسبان بارامترات ميكانيكية أخرى للحصول على قدرة تحمل مناسبة للأساس , و حسب الحالة المدروسة هنالك اجراءات أخرى لتحسين قدرة التحمل .

2-1-2- طبقات الفلاتر :

لكي تكون الشاشة الإسفلتية مستقرة و مقاومة للجرف , يتم بناء فلاتر ذات تدرج حيي مناسب , و يجب أن تتميز الفلاتر بنفوذية جيدة و ثبات كافٍ.

و يمكن التمييز بين نوعين :

a- فلاتر حبيبية منفصلة :

تبنى عادة على شكل طبقة واحدة أو عدة طبقات من الحبيبات الصخرية , و بتدرج حيي مناسب , و نوعية مناسبة للمواد الصخرية وذلك بواسطة (الباكر - المدادة - المداخل) . و هنا تجدر الإشارة حسب الحالة يمكن استخدام طبقات الفلاتر المذكورة لتحسين قدرة التحمل و تسوية الأساس .

b- فلاتر حبيبية متصلة :

تتألف الفلاتر الحبيبية المتصلة من مواد صخرية متصلة مع بعضها بملاط بيتوميني . و بما أن فلاتر الحبيبات المتصلة يجب ألا تسمح بحدوث التآكل و تغيير مواقع الحبيبات , فتلعب فقط دوراً مساعداً للأساس . و بناء عليه يكفي فقط بناء فلاتر أحادية الطبقة .

تكتسب الفلاتر المتصلة مقاومة جيدة جداً ضد التآكل , وذلك بسبب ترابطها بطبقة رقيقة جداً من مادة البيتومين الجامعة و التي تتصلب بشكل سريع , و باعتبار أن الهبوطات تحصل أثناء تصلب الملاط البيتوميني فلا يلاحظ أية تأثيرات سلبية لاحقاً .

حيث تمثل الفلاتر المنفصلة و المتصلة طبقات الرشح , و تؤدي دور التصريف .

يجب أن تتميز الفلاتر المذكورة بنفوذية جيدة , بحيث يكون لها قدرة على تصريف المياه في حال هبوط مفاجئ لمستوى المياه من دون أن يحدث تخريب لطبقة الإسفلت العليا .

2-1-3 - الطبقات الحاملة و طبقات التسوية

يمكن استخدام المواد الصخرية المتصلة ذات الملاط البيتوميني أو المواد الصخرية المنفصلة كطبقات حاملة . و تعتبر كطبقة أساس للطبقات الإسفلتية المغطية . و تعتبر أيضاً المواد الصخرية المتصلة ذات الملاط البيتوميني كطبقة تسوية . يمكن اختيار الطبقات الحاملة حسب

المعايير المتبعة في بناء الطرق . يتم بناء الطبقات الحاملة غير المتصلة بواسطة المدادة تتم عملية التسوية , ووظيفتها هي تسوية السطح ما بين الأساس أو الطبقات الحاملة الفلتية غير المتصلة مع طبقات التكتيم .

, أما بناء الطبقات الحاملة المتصلة فيتم بواسطة المدادة و بعد ذلك تتم عملية الرص بواسطة مداحل رجاجة .

2-1-4- طبقات التصريف

تتألف طبقات التصريف من مواد صخرية متصلة ذات ملاط بيتوميني أو مواد صخرية منفصلة بعد اختيار تدرج حي مناسب , و يجب أن تتميز طبقات الفلاتر المتصلة بخاصية عدم التآكل . يتم بناء طبقات التصريف بواسطة المدادة أو المداحل , و يمكن أيضاً بناء طبقات التصريف ذات الملاط البيتوميني عند هطول أمطار ضعيفة كونها مفتوحة . و هنا تؤدي فلاتر الحبيبات المنفصلة دور طبقة التصريف .

2-1-5- طبقات الربط

تؤدي دوراً في جمع المواد الصخرية المنفصلة , و في تسوية طبقات الأساس , كما تشكل حاضنة لطبقة التكتيم الإسفلتي .

2-1-6- طبقات التكتيم الإسفلتي

يتم بناء طبقات التكتيم الإسفلتي على الوجه المائي للسد , و تكون مكشوفة , و بالإضافة لدورها كعناصر تكتيم فإنها تقوم بدورها كطبقة تغطية . يجب أن تكون مسامية الطبقة الكتيمة (الفراغات ما بين الحبيبات) مساوية أو أصغر من (3%) . كما يجب أن تكون طبقات التكتيم الإسفلتي مرنة , و قابلة لتغيير شكلها , بحيث تكون لديها القدرة على استيعاب و امتصاص الهبوطات لطبقة الأساس من دون أن تتخرب . و هنا تجدر الإشارة إلى ضرورة تهذيب و تسوية مواد الأساس الصخري ذات الحواف الحادة الذي يسهم في تخانس الهبوطات . كما أن تقوية الطبقة الحاملة التحتية من دون استخدام مادة رابطة تؤدي إلى توزع أفضل للضغوط .

2-1-7- طبقات الحماية

يتم استخدام طبقات الحماية في الأماكن التي يمكن أن يتوقع فيها حمولات ميكانيكية عالية , و التي يمكن أن تسبب تخريب لطبقة التكتيم الإسفلتية , و يتم إنتاج طبقات الحماية حسب الطلب و يمكن أن تكون كتيمة أو نفوذة .

2-1-8- طبقات الإغلاق السطحي (الماستكس)

تستخدم طبقات الإغلاق السطحي لحماية طبقات التكتيم الإسفلتية من تكسر المادة الجامعة , و كذلك تسوية و إغلاق السطح الخشن , مع العلم أن طبقة الإغلاق ليس لها دور تكتيمي .

تبنى هذه الطبقات من خلال دهن مادة غنية بالبيتومين , إما بالطريقة الحارة أو بالطريقة الباردة , و تتراوح درجة حرارة بناء الماستكس بين (180-230) درجة مئوية . و تبنى على طبقتين بعبارة (3kg/m^2) .

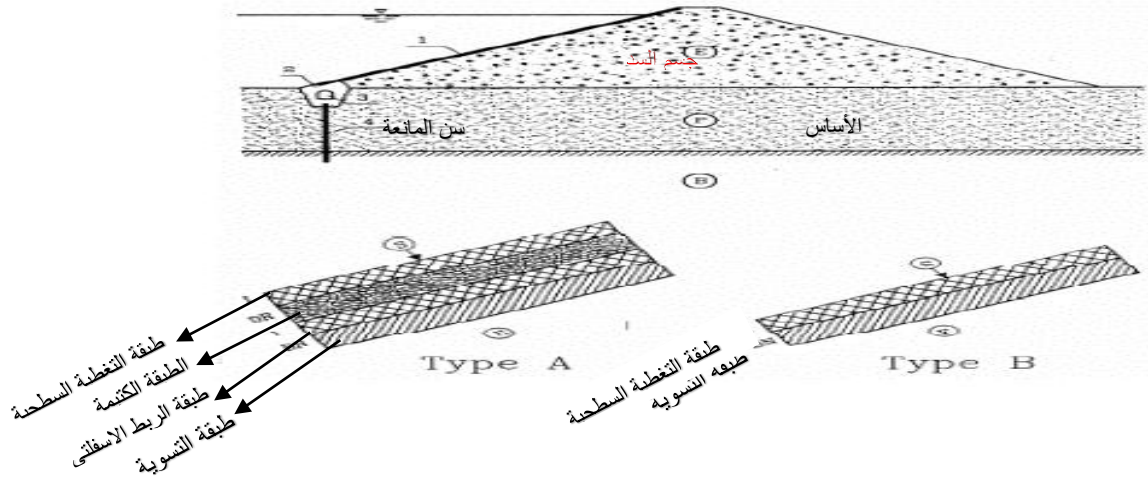
2-1-9- حائط الإغلاق و سن المانعة (قدم السجادة الإسفلتية) :

يعتبر حائط الإغلاق عنصر الربط بين الشاشة الإسفلتية و أساس السد , و الذي يشكل نهايات عناصر التكتيم (السجادة الإسفلتية) . يبنى الحائط لحماية قدم المنحدر من التآكل و الانجراف (ثبات قدم السجادة أو ثبات قدم المنحدر أو السد) . ينصح عند بناء السجادة الإسفلتية باتباع القيم التالية الواردة في الجدول (1)

الجدول (1) : المعايير الواجب اتباعها عند بناء السجادة الإسفلتية

سجادة ذات طبقتين	سجادة ذات طبقة واحدة	
$\geq 3\text{kg/m}^2$	$\geq 3\text{kg/m}^2$	طبقة الإغلاق السطحية
$\geq 6\text{cm}$	$\geq 6\text{cm}$	الطبقة الإسفلتية الكتيمية (وجه واحد)
$\geq 8\text{cm}$	—	طبقة التصريف الإسفلتية (وجه واحد)
$\geq 7\text{cm}$	$\geq 7\text{cm}$	طبقة الربط الإسفلتية (وجه واحد)
تحت شروط خاصة يمكن اختيار طبقة تصريف إسفلتية عوضاً عن طبقة الربط		ملاحظة

و يبين الشكل (1) مقطعاً عرضياً في الشاشة الإسفلتية



الشكل (1) مقطع عرضي في الشاشة الإسفلتية

3- طرق تنفيذ الشاشة الإسفلتية في السدود

قبل البدء بتنفيذ بناء الطبقات المذكورة سابقاً , يجب وضع خطة عمل مناسبة تضمن السرعة في التنفيذ , و هذا يتطلب تحديد عدد الآليات اللازمة و الأجهزة الاختبارية الضرورية لتنفيذ ذلك . يجب أن يؤخذ بالحسبان وجود ترابط طبقي كاف بين الطبقات الإسفلتية , و لتحقيق ذلك يتم تحضير طبقات وصل كافية بين الطبقات الإسفلتية بترابك (50 cm) على الأقل أو بمقدار نصف عرض المادة . تمد الخلطة بشكل عام بواسطة المادة , و علينا هنا تجنب المد اليدوي قدر الإمكان و يستخدم المد اليدوي فقط في الأماكن التي لا يمكن تغطيتها بواسطة المادة , و هنا يجب استخدام عمال ذوي خبرة جيدة كي لا تصبح هذه المناطق ضعيفة . تجدر الإشارة هنا إلى أن حرارة الخلطة عند إعطائها إلى المادة يجب ألا تقل عن (150 درجة مئوية) .

يتم تحديد نوع المداخل و عددها و وزنها اعتماداً على استطاعة التنفيذ المتعلقة بسماكة الطبقات و نوع الخلطة و حالة الطقس في منطقة العمل. الأشكال (2,3,4,5) تبين أنواع المداخل التي يمكن استخدامها في بناء الشاشة الإسفلتية .

تستمر عملية الدحل حتى زوال أي وجود للشقوق , بحيث تصبح المنطقة مستوية تماماً , و يجب أن تنجز العملية بحرارة الإسفلت لا تقل عن (110 درجة مئوية) , كما يجب أن تكون حواف الطبقة المنجزة و المناطق الفاصلة بين المسارات ذات كتامة جيدة [12] .

يتم بناء طبقات السجادة الإسفلتية بجو جاف بحيث لا تقل درجة الحرارة عن الهواء (3 درجة مئوية) , كما يجب التأكد من خلو الطبقات من الثلج و الجليد . وإن استخدام عدة آليات بأن معاً يضمن توزيعاً و تكتيماً متجانساً للطبقات الإسفلتية .

يجب بناء طبقة الإغلاق السطحي على سطح جاف و نظيف . و حسب الحالة يمكن رشها بالبيتومين . و يمكن الاستعاضة عن طبقة الحماية بواسطة مادة الماستكس الباردة و الجاهزة , و يتم بناء طبقة الإغلاق بمواد متشابهة و متجانسة الخواص .

أما طرق بناء الشاشات الاسفلتية :

1- البناء بالطريقة العمودية

تفرش الخلطة بشكل منفصل على مسارات بعرض (2.5-6 m) من قدم السد باتجاه القمة و يتم الدحل باتجاه ميل المنحدر .

يتم سحب المداخل و المادة بواسطة أجهزة سحب خاصة رافعة مثبتة في أعلى قمة السد , و يتم تعبئة المادة بواسطة حاويات متنقلة اعتباراً من القمة و يبين الشكل (6) طريقة البناء العمودية .

2- البناء بالطريقة الأفقية

تستخدم هذه الطريقة لبناء الشاشات الإسفلتية للسدود الممتدة طولياً و ذات المنحدرات غير الطويلة و بميل أشد من (1:1.8) . حيث يتم سحب المادة أفقياً بواسطة جهاز يتحرك على قمة السد . يتراوح عرض المسار بين (2.5-6 m) , حيث يتم سحب المداخل اعتباراً من قمة السد , بحيث يتم الدحل باتجاه الميل أفقياً , و يتم تعبئة المادة بواسطة بلدوزر و الذي يأخذ الخلطة من خزانات مؤقتة موضوعة في قدم المنحدر للسد .

و من إمكانيات طريقة البناء الأفقي هو البناء باستخدام المدادة الجسرية , و التي تسير على قشاطين متحركين , و تتألف من قواعد معدنية رجاجة و مسخنة و منفصلة عن بعضها البعض , هذه الطريقة تسمح ببناء مسارات يصل عرضها إلى 30 m و قادرة على وصل النهايات عند القمة و قدم المنحدر . و عليه يمكن بناء سجادة اسفلتية لمنحدرات بطول 60 m بمسارين فقط و يتم تعبئتها بخزان مثبت بسلاسل على الجسر يتم الدحل باتجاه ميل السد .



الشكل (2) نموذج من مداحل ذات عجلات فولاذية ملساء



الشكل (3) نموذج من مداخل ذات عجلات مطاطية



الشكل (4) نموذج من مداخل اهتزازية بسطح أملس



الشكل (5) رجّاج اهتزاز يدوي

To avoid damage the surface should be smooth and stable.



الشكل (6) طريقة البناء العمودي

4- وصلات الشاشة الإسفلتية في السدود عند التنفيذ :

4-1- مقدمة عامة :

عند بناء الشاشة الإسفلتية يجب التأكد من حسن تنفيذ وصل المسارات ببعضها , وكذلك الأمر في المنشآت البيتونية مثل منشآت دخول المياه , أحواض تهدئة , جدران تكتيم مسلحة .

تعتمد كتامة المنشأة بشكل كامل على كتامة الوصلات , حيث يجب إجراء الوصلات آلياً و تجنب التوصيل يدوياً . ويجب التأكد بأن كتامة الوصلة متطابقة مع كتامة الشاشة , و يجب أن يتميز تصميم الوصلات و موادها بالمرونة , بحيث تكون قادرة على امتصاص الحركات النسبية و اختلاف الهبوطات و الاهتزازات من دون أن تتخرب .

كما يجب التأكد من تكتيم الفراغات في حال وجودها , و ذلك بتعبئتها بالرمل البيتوني أو بالرمل البيتوميني , و يتم إملء الفراغات و تكتيمها بفترة كافية قبل البدء ببناء السجادة الإسفلتية و الوصلات بغية ضمان انتهاء حدوث الهبوطات .

و بشكل خاص في المنشآت المائية التي تتميز بتغيرات سريعة و كبيرة لمنسوب المياه يجب أن تكون الوصلات قادرة على تحويل حتى الكميات القليلة من المياه الراشحة [13].

تصمم الوصلات (الجوانات) عادة بواسطة عناصر التمدد , و يراعى تصميم الوصلة لمقاومة الحركات الممكن حدوثها ضمن بناء عنصر التمدد. تستخدم أيضاً وصلات من دون عناصر التمدد في حالات خاصة , و هنا يجب ضغط الشاشة الإسفلتية بشكل كافٍ على سطح البناء البيتوني.

تتألف عناصر التمدد من أريطة معدنية أو بلاستيكية مقاومة للحرارة أو أريطة وصل بلاستيكية , فعلى سبيل المثال في أماكن الإجهادات العالية كالسدود , يفضل استخدام أريطة معدنية من النحاس بسماكة ($d \geq 0.2 \text{ mm}$) , و يجب ألا تتجاوز الإجهادات المطبقة حد المرونة لعنصر التمدد المستخدم , و تستخدم أشكال هندسية متعددة لعناصر التمدد, وذلك بهدف استيعاب الإجهادات المختلفة , حيث يتم لصق هذه الأريطة بواسطة البيتومين.

يتم التأكد من تثبيت عناصر التمدد بشكل جيد على البناء و الشاشة الإسفلتية . و يتم وصل عناصر التمدد على الأبنية بواسطة مادة لاصقة, و في طرف الشاشة الإسفلتية يتم استخدام مواد لاصقة بيتومينية أو ماستكس إسفلتي .

يجب أن تحقق عناصر التمدد المستخدمة الشروط الآتية :

- 1- أن تتحمل حرارة الإسفلت .
- 2- أن تكون قابليتها للتشوه عند أدنى درجة حرارة مستخدمة .
- 3- قدرتها على التحمل و التماسك لفترات طويلة .
- 4- يجب بناء الوصلة بشكل يتناسب مع اتجاه الجريان .

4-2- ملاحظات خاصة بتنفيذ الوصلات الإسفلتية فيما يتناسب مع شكل أسطح الأبنية البيتونية :

- 1- يتم اختيار شكل سطح البناء بحيث يتضمن عدم ظهور مناطق سيئة التكتيم , و هنا ينصح بتميل الأسطح لضمان كتامة جيدة و متجانسة بضغطها على الأسطح .
- 2- التأكد من تراض لصقات المعجون لضمان الكتامة المطلوبة .
- 3- في حال وصل الشاشة الإسفلتية على جدران بيتونية مسلحة , فإنه يفضل تثبيتها بواسطة رأس بيتومين مسلح .
- 4- تجنب الحواف الحادة و ذلك عن طريق تدويرها أو كسرها .
- 5- تبنى المونة الإسفلتية على شكل معينات و تعبأ بواسطة قوالب خاصة .
- 6- يجب استشارة صانع المونة (المنتج) بغية استخدامها بالشكل الأمثل متطابقاً مع هدف استخدامها و خاصة عند تنفيذها على السطوح المائلة .

4-3 - حلول التوصيل و أنواع الوصلات :

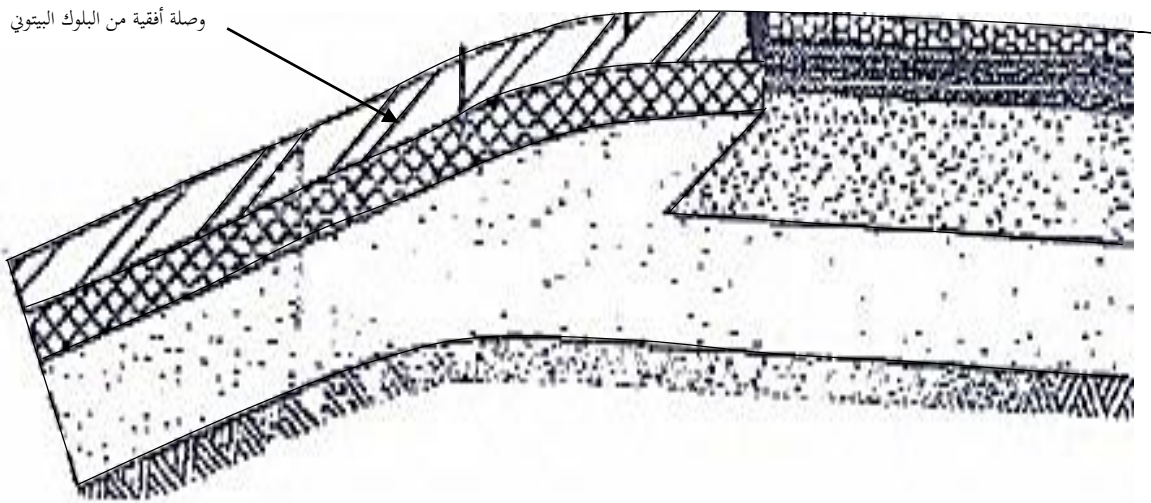
يجب الأخذ بالحسبان عند التصميم معرفة التأثير المتبادل بين الأساس و الشاشة الإسفلتية , و اختيار عناصر التصميم كل على حدة , بحيث يتم تصميم الوصلة بشكل يتناسب مع التنفيذ و حالات التحمل و التشغيل و يوجد عدة أنواع للوصلات منها :

1- وصلة أفقية مع شاشة إسفلتية مستمرة :

يتم اختيار هذه الوصلة عندما تغطي الشاشة الإسفلتية البناء (الجسور) أو ممرات مائية بيتونية .

2- صلة أفقية أو مائلة على بناء جداري ذي عنصر قابل للتمدد :

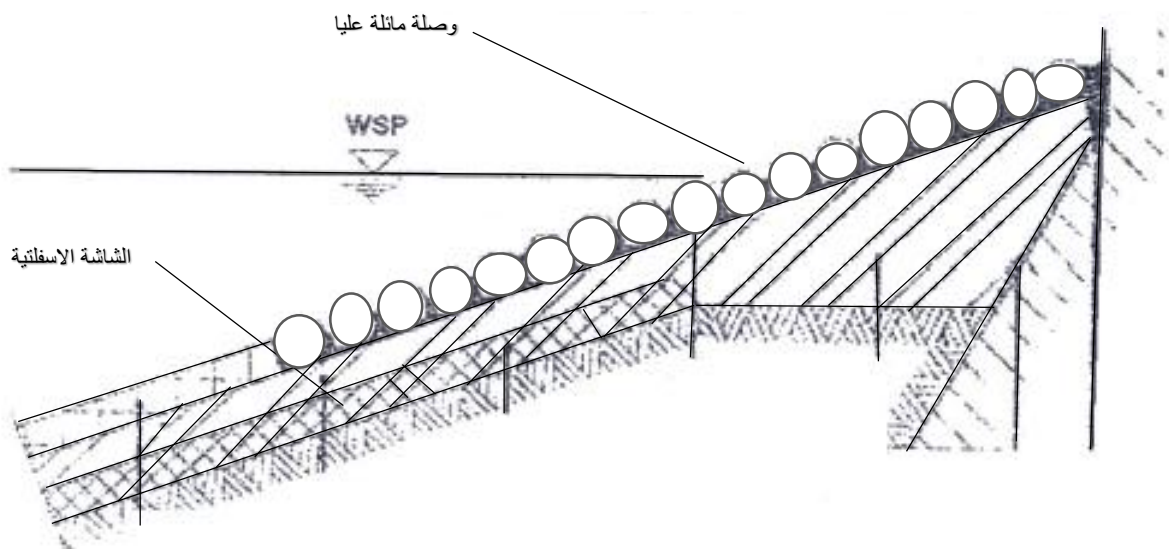
تستخدم هذه الوصلات في حال عدم كفاية الضغط المطبق على سطح البناء , فهنا يجب استخدام عنصر قابل للتمدد , و ذلك باستخدام (بلوك) بيتوني متعدد الأشكال , و بما يتناسب مع شكل سطح جدار البناء . و يبين الشكل (7) وصلة أفقية على شارع القمة.



الشكل (7) وصلة أفقية على شارع القمة

3- وصلة مائلة عليا على البناء البيتوني من دون عنصر تمدد :

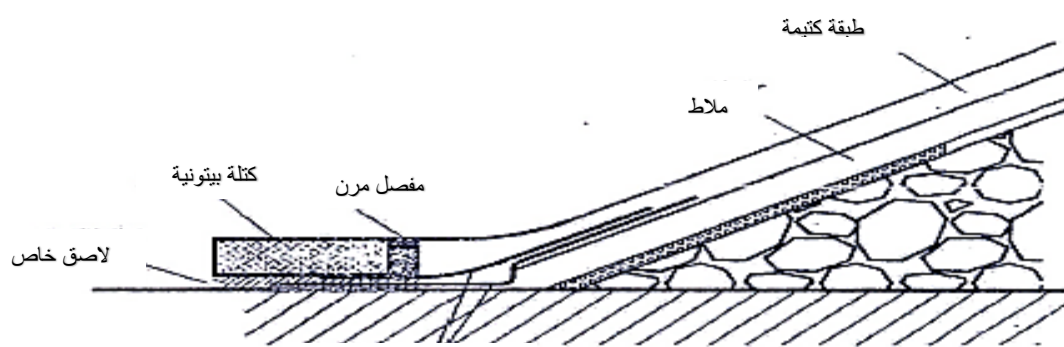
تستخدم هذه الوصلات على المنحدرات التي تكون أعلى من مستوى المياه , و التي يمكن الاستغناء عن العنصر القابل للتمدد بحيث تبقى الوصلة جافة , و مع ذلك يجب مراقبة الوصلة و تحسينها بشكل مستمر و خاصة عند حدوث الأمواج , و يمكن اختيارها عند وصل الشاشنة الإسفلتية مع طريق قمة السد . يوضح الشكل (8) وصلة مائلة عليا على البناء البيتوني من دون عنصر تمدد



الشكل (8) وصلة مائلة عليا على البناء البيتوني من دون عنصر تمدد

4- وصلة سفلية مائلة على البناء البيتوني من دون عنصر قابل للتمدد :

تصمم هذه الوصلة عند عدم الحاجة إلى عنصر قابل للتمدد و خاصة في السدود (وصلة الشاشنة الإسفلتية بالجدران) . و يجب أن تبقى الوصلة دائماً تحت المياه , بحيث لا يتوقع حدوث حركات , مما يطيل مسار الرشح , و بالتالي يجب تكبير طول مساحة الوصلة , و تم إمالة و تدوير حواف البناء البيتوني لتقليل تأثيرات القص. يبين الشكل (9) وصلة مائلة سفلية .



الشكل (9) وصلة مائلة سفلية

5- مواد و خلائط الشاشنة الإسفلتية :

5-1- مواد بناء الشاشات الاسفلتية :

لا يجوز استخدام بقايا مواد إسفلتية أو مواد بناء حبيباتها مدورة أو نواتج بناء صناعية .

و تشمل مواد البناء :

1- الحبيبات الصخرية :

تعدّ قيمة قطر الحبيبات الصخرية ($D_{max}= 22 \text{ mm}$) القيمة الحدية العليا لتكسير مادة البحص . و يمكن السماح بتجاوز هذه القيمة بمقدار 5% .

يجب ألا تتجاوز نسبة الحبيبات الصخرية الناعمة (في الرمل المستخدم) ذات القطر الأصغر ($D_{min}=0.02 \text{ mm}$) بنسبة 5% .
أما بالنسبة للمادة المعبأة (الطحين الصخري) , فيجب أن تستخرج من حبيبات صخرية طبيعية , و التأكد من عدم احتوائها على أجزاء عضوية (شوائب) , أو على أجزاء قابلة للانتفاخ (الكميات الكبيرة قد تؤدي إلى رداءة المادة المعبأة) .

2- الخلطة الإسفلتية :

يتعلق اختيار حجم الحبيبات تبعاً لسماكة الطبقة , حيث يتم الحصول على تركيب الخلطة من خلال الاختبارات المتعلقة بالخلطة , و في حال وجود قيم حدية معطاة , فيجب الحصول على خلطة تحقق القيم المعطاة الخاصة بتركيب الخلطة و ذلك من خلال رسم منحني التحليل الحبي لها و مقارنتها مع القيم المعطاة .

عند استخدام خلطة حبيبة صخرية بكثافة أكبر من (2.8 g/cm^3) فيمكن عندها تجاوز الحدود الدنيا لمحتوى المادة الجامعة و يجب أن يكون محتوى المادة الملائية كافياً لكي يتم التمكن من إجراء التحاليل الحجمية , يتم تحديد مواصفات البناء اعتماداً على التحليل الآنف الذكر حسب مايلي :

1- نوع و منشأ الخلط

2- نوع و منشأ الحبيبات الصخرية

3- نسبة الجزء الحبي الذي تكون أقطاره أكبر من 2 mm .

4- نسبة الجزء الحبي الذي تتراوح أقطار حبيباته من 0.063mm إلى 2mm .

5- نسبة الحبيبات المدورة و حادة الجوانب و نسبة الرمل الكسر .

6- نسبة الجزء الحبي الذي تكون أقطاره أصغر من 0.063 mm من الخلطة .

7- محتوى و تركيب المادة الملائية .

8- نوع و كمية المواد المضافة .

حيث تعتبر هذه المواصفات الأساس في تصميم الخلطة الإسفلتية لتنفيذ و تسليم و حساب التكاليف للبناء .

3- خلطة مادة العزل أو الإغلاق :

يتم تحديد تركيب مادة العزل من خلال تحاليل خاصة , و في حال وجود قيم هامة معطاة مسبقاً فيجب التقيد بها , و بناء على نتائج التحليل فيجب تحديد و توثيق مواصفات البناء حسب ما يلي :

1- نوع و منشأ مادة العزل .

2- نوع و منشأ الرمل المطحون

3- نسب الجزء الحبي الذي أقطاره أصغر من 2mm و أكبر من 0.063mm.

4- أنواع المادة الملائية .

5- محتوى المادة الملائية بالنسبة المئوية .

6- كمية المادة المضافة و نوعيتها .

7- قدرة ثبات مادة العزل .

5-2- إنتاج الخلطات :

5-2-1- إنتاج الخلطة الإسفلتية

عند استلام مواد البناء يجب تخزينها بشكل منفصل و حفظها نظيفة , و يجب أن يحفظ الرمل المطحون جافاً . و عند تسخين المادة الملائية (البيتومين) يجب ألا تتجاوز درجة حرارتها العظمى في الحاويات الخاصة بها عن 180°C درجة مئوية , و بعد ذلك يتم إضافتها بواسطة الصب بشكل وزني أو حجمي , و هنا يجب مراعاة الكثافة لدى إضافتها و الحفاظ على درجة الحرارة .

تتعلق درجة حرارة الخلطة بنوع المادة الملائية و تركيب الخلطة . تجفف و تسخن الحبيبات الصخرية ضمن أوعية تجفيف خاصة , و ذلك بإضافة مادة التعبئة للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة , و في بعض الحالات يتم تسخين الرمل المطحون . يتم إعادة الحبيبات الصخرية الموجودة في أوعية الغبار و ذلك حسب الأجزاء النوعية المحددة سابقاً . و ذلك حسب سير عملية الإنتاج , بحيث يتم مزج مواد البناء آلياً , و للحصول على خلطة متجانسة يجب اختيار عملية المزج بشكل مناسب للوصول إلى التغطية كاملة للحبيبات الصخرية بواسطة المادة الملائية .

5-2-2- إنتاج مادة العزل و الإغلاق

يحفظ الرمل المطحون جافاً , و يتم تسخين المادة الملائية ضمن الحاويات الخاصة بها , و من ثم إضافتها بشكل حجمي أو وزني, و لدى إضافتها يجب الحفاظ على كثافتها . تتعلق درجة حرارة المادة العازلة بنوعية المادة الملائية و تركيبها , و هنا يجب ألا تتجاوز درجة حرارتها 230 درجة مئوية . تمزج مواد البناء إما بواسطة خلاطات أو عن طريق تحريكها آلياً في حاويات الطبخ , و للحصول على خلطة متجانسة يجب اختيار عملية و مدة المزج بشكل مناسب مما يحقق تجانس الخلطة .

6- تخزين و نقل الخلطة و المادة العازلة :

يجب أن تحقق عمليات تخزين و نقل الخلطة الشروط التالية :

1- يجب أن تتم المحافظة على درجة حرارة الخلطة و هي (180 درجة مئوية) أثناء تخزينها و نقلها .

2- يجب التأكد من عدم دخول الهواء إلى الخلطة , بحيث يتم نقل الخلطة و ذلك حسب تقدم عمليات البناء و الانتباه عند نقل الخلطة أن تبقى ممزوجة بشكل جيد .

3- تنقل الخلطة مغطاة إلى مكان استخدامها و يجب الحفاظ على درجة حرارتها , و يتم ذلك بواسطة أوعية طبخ مزودة بأجهزة قياس درجة الحرارة .

7- تركيب محتوى خلطات مواد بناء الشاشة الإسفلتية :

7-1- طبقات العزل الإسفلتي :

تعرف طبقات العزل الإسفلتية بأنها عبارة عن بيتون إسفلتي تتألف من خليط حبيبات صخرية متدرجة و ممزوجة بالبيتومين أو بيتومين بوليمري كمادة ملاطية و مواد إضافية , تمد الخلطة و هي في الحالة الساخنة , و يتم رصها , و يجب اختيار تركيبها بحيث يكون لها القدرة على إنتاج طبقات كثيفة أو عازلة , و لتحقيق الكثامة المطلوبة يتم الخلط في مجال الرمل (2 mm-0.063) بين الحبيبات المدورة مع رمل مكسر ذي حبيبات حادة الجوانب , و هنا يجب ألا تتجاوز حجم الفراغات في الطبقة الممدودة قيمة (vol=3%) , فيما تبلغ هذه القيمة (vol =5%) لطبقات العزل المستخدمة كجدران عازلة في حماية الشواطئ .

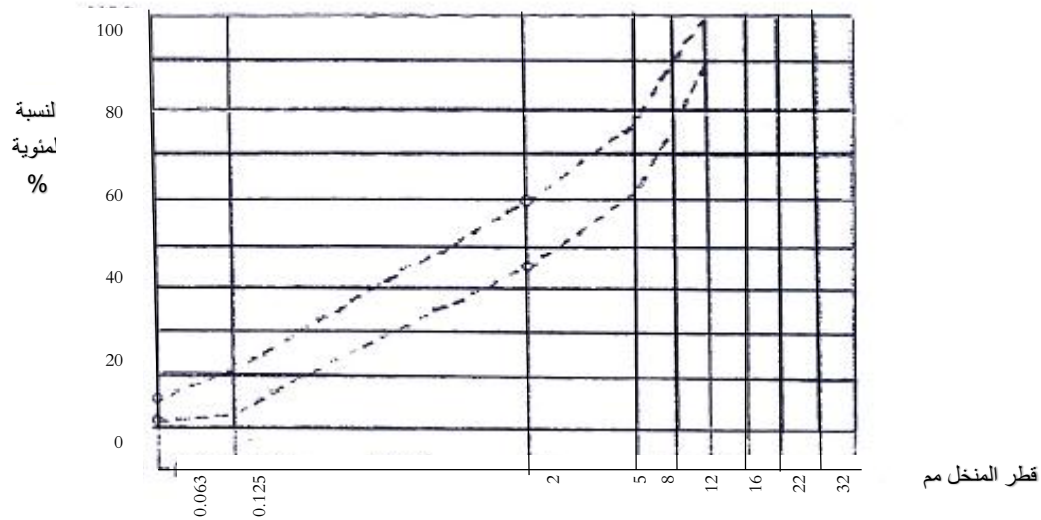
يجب ألا تتجاوز الاختلافات في سماكة الطبقات الممدودة لكل نقطة قياس عن 10% , و يجب ألا يتجاوز الاختلاف في مجال عدم التسوية بشكل أعظمي (± 1 cm) لكل (4m) من الطبقة الممدودة .

1-تركيب خلطة طبقات الشاشة الإسفلتية

يبين الجدول (2) القيم المعيارية لطبقات العزل الإسفلتي , ويوضح الشكل (10) منحنى التركيب الحبي لطبقات العزل الإسفلتي .

الجدول (2) : القيم المعيارية لطبقات (البيتون) العزل الإسفلتي

المواصفات	البيتون الإسفلتي
نوع المادة الملاطية (درجة اللزوجة)	بيتومين (100)
نسبة محتوى المادة الملاطية	6-8 %
نسبة البحص الصغير أقطار < 2mm	40-60 %
نسبة مادة التعبئة أقطار > 0.063	11-16 %
حجم الفراغات أو المسامية	Vol% (Max=3)



الشكل (10-3) منحنى التركيب الحبي لطبقات العزل الإسفلتي

2- القيم الحدية و قيم التسامح لخلطة طبقات الشاشة الإسفلتية

يجب ألا تتجاوز محتوى المادة الملائية لكل عينة مأخوذة من الخلطة القيمة المحددة بشكل أعظمي مقدار (0.3%) , و عندما تكون الأجزاء الوزنية معطاة للتركيب الحبي للبحص الصغير و الرمل و المادة المعبأة أو المائلة $0.063 \geq$ عندها تكون قيمة التسامح لكل عينة من كامل الخلطة الحبيبية الصخرية الموضحة في الجدول (3):

الجدول (3) : قيم التسامح لكل عينة من كامل الخلطة الحبيبية الصخرية

الحبيبات	القيم الحدية و قيم التسامح	أقطار الحبيبات
بحص صغير	$\pm 6\%$	$> 2\text{mm}$
رمل	$\pm 6\%$	$0.063 - 2\text{ mm}$
المادة التعبئة	$\pm 3\%$	$0.063 \geq$

ملاحظة : يجب ألا تتجاوز قيمة الطراوة 5 درجات مئوية للحد الأعلى لدرجة المواد الملائية المستخدمة .

7-2- طبقات الوصل الإسفلتية

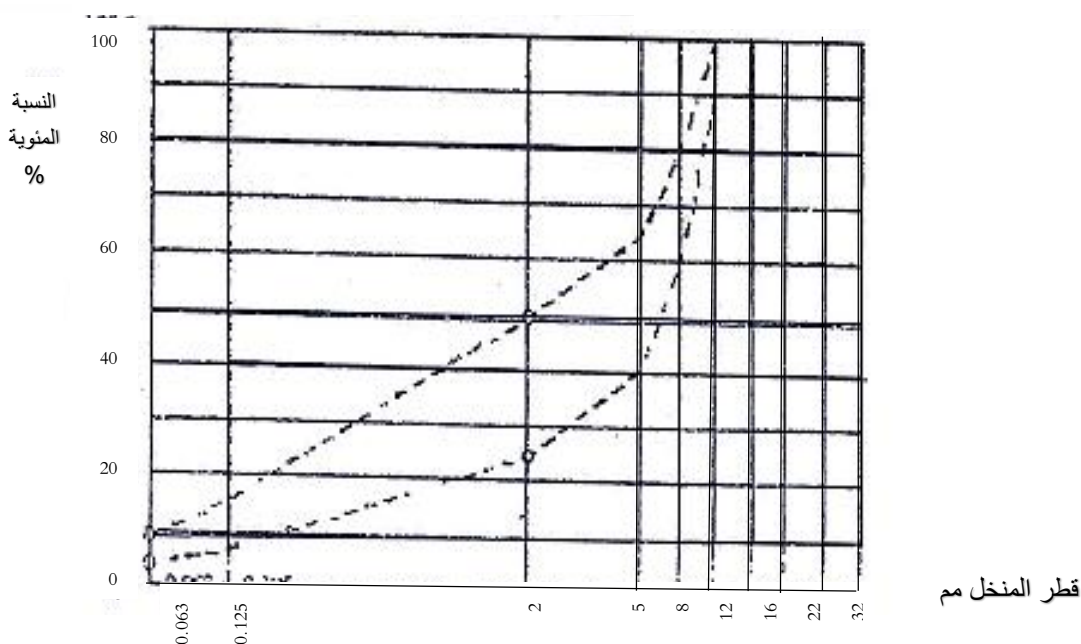
تكون طبقات الوصل الإسفلتية عبارة عن طبقات إسفلتية تتألف من خليط طبيعي صخري متدرج الحبيبات , و مضافاً إليه بيتومين الشوارع أو بيتومين بوليمري معدل كمادة ملاطية مع المواد الإضافية , تمد الخلطة و هي بحالة ساخنة و من ثم يتم رصها , و يجب أن يبلغ الحجم الفراغي لطبقات الوصل الإسفلتية (9-12%).

1- تركيب طبقات الإسفلت المترابط

يجب أن تحقق طبقات الوصل الإسفلتية القيم المعيارية الخاصة بها الواردة في الجدول (4) , و يوضح الشكل (11) منحنى التركيب الحبي لطبقات الإسفلت المترابط

الجدول (4) : القيم المعيارية الخاصة لطبقات الإسفلت المترابط

المواصفات	الإسفلت المترابط
نوع المادة الملائية	بيتومين (100)
نسبة محتوى المادة الملائية	6-4 %
نسبة البحص الصغير $2\text{mm} <$	80-50 %
نسبة مادة التعبئة $0.063\text{mm} >$	9-4 %
حجم الفراغات أو المسامية	Vol% (12-9)



الشكل (11) منحنى التركيب الحبي لطبقات الإسفلت المترابط

2- القيم الحدية و قيم التسامح لخلطة طبقة الوصل الإسفلتية :

يجب ألا تتجاوز محتوى المادة الملائية لكل عينة مأخوذة من الخلطة القيمة المحددة بشكل أعظمي مقدراً (0.3%) عندما تكون الأجزاء الوزنية معطاة للتركيب الحبي للبحص الصغير و الرمل و المادة المعبأة أو المائلة بأقطار $(\geq 0.063 \text{ mm})$, و قيمة التسامح لكل عينة من كامل الخلطة الحبيبية الصخرية حسب الجدول (5) .

الجدول (5): قيم التسامح لكل عينة من كامل الخلطة الحبيبية الصخرية

الحبيبات	القيم الحدية	أقطار الحبيبات
البحص الصغير	$\pm 8\%$	$>2\text{mm}$
الرمل	$\pm 8\%$	$0.063-2\text{ mm}$
المادة المألثة	$\pm 3\%$	$9\text{ mm} \geq$

ملاحظة : يجب ألا تتجاوز درجة الطراوة 5 للحد الأعلى لدرجة المواد الملاطية المستخدمة .

7-3- طبقات التصريف الإسفلتي :

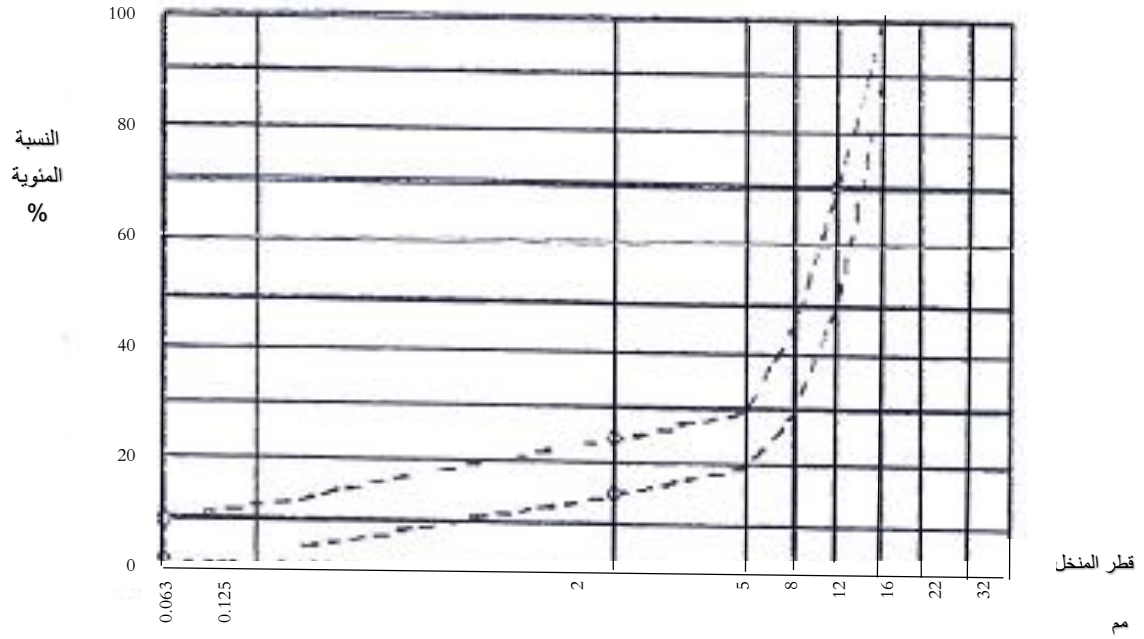
تكون طبقات التصريف الإسفلتية عبارة عن إسفلت مخلوط مع فلاتر , و تتألف من خلطة حبيبية صخرية متدرجة الحبيبات بالإضافة إلى بيتومين الشوارع أو بيتومين بوليمري معدل كمادة ملاطية , بالإضافة إلى مواد إضافية , تمتد الخلطة و هي في الحالة الساخنة , و من ثم يتم رصها . يجب أن تتميز طبقات التصريف الإسفلتية المبنية بمحتوى فراغي ($\text{Vol}\% = 10-25$) .

1- تركيب طبقات التصريف الإسفلتية

يجب أن تحقق طبقات التصريف الإسفلتية القيم المعيارية الخاصة بها و الموضحة في الجدول (6) , و يبين الشكل (12) منحنى التركيب الحبيبي لطبقات التصريف الإسفلتي .

الجدول (6) : القيم المعيارية الخاصة لطبقات التصريف الإسفلتية

المواصفات	طبقات التصريف الإسفلتية
نوع المادة الملاطية (درجة اللزوجة)	بيتومين (100)
نسبة محتوى المادة الملاطية	$3.5-5.5$
نسبة البحص الصغير $>2\text{mm}$	$70-85$
نسبة مادة التعبئة > 0.063	$2-9$
حجم الفراغات أو المسامية	$10-25$
	$\text{Vol}\%$



الشكل (12) منحنى التركيب الحبي لطبقات التصريف الإسفلتي

2- القيم الحدية و قيم التسامح لخلطة طبقات التصريف الإسفلتية

يجب ألا يتجاوز محتوى المادة الملائية لكل عينة مأخوذة من الخلطة القيمة المحددة بشكل أعظمي بمقدار $\pm 0.5\%$, عندما تكون الأجزاء الوزنية المحددة معطاة للتركيب الحبي للبحص الصغير و الرمل و المادة المعبأة أو المائلة بأقطار (0.063 mm) , و قيمة التسامح لكل عينة من كامل الخلطة الحبيبية الصخرية موضحة في الجدول (7).

الجدول (7) : قيم التسامح لكل عينة من طبقات التصريف الاسفلتي

الافطار	القيم الحدية	الحبيبات
$>2\text{mm}$	$\pm 8\%$	بحص صغير
0.063-2 mm	$\pm 8\%$	رمل
$0.063 \geq$	$\pm 3\%$	المادة المعبأة أو المائلة

ملاحظة : يحدد محتوى المادة الملائية حسب التحليل يجب ألا تتجاوز درجة الطراوة 8 درجات للحد الأعلى للطراوة للمواد الملائية المستخدمة .

7-4- طبقة التغطية السطحية

تكون طبقة التغطية السطحية عبارة عن ماستكس غني بالبيتومين , و تستخدم لحماية طبقة الشاشة الإسفلتية , و التي تتألف من مواد ناعمة بالإضافة إلى البيتومين كمادة ملاطية و مواد إضافية مثبتة .

1- تركيب الخلطة

يجب أن تحقق طبقات التغطية السطحية القيم المعيارية الخاصة بها و الواردة في الجدول (3-8)

الجدول (8) القيم المعيارية الخاصة بطبقات التغطية السطحية

طبقة التغطية السطحية	
بيتومين (100)	نوع المادة الملاطية
(25-30) %	محتوى المادة الملاطية
(70-75) %	نسبة مادة التعبئة > 0.063
Vol% ≥ 90	درجة الطراوة

2- القيم الحدية و قيم التسامح لخلطة التغطية السطحية

يجب ألا تتجاوز محتوى المادة الملاطية للعينات المأخوذة من الماستكس بشكل أعظمي مقدار (1% \pm) , وقيمة التسامح لكل عينة

موضحة بالجدول (9) كالتالي :

الجدول (9) : قيم التسامح لكل عينة من طبقة التغطية السطحية

المادة المعبأة أو المائلة	$\pm 2\%$	$0.063 \text{ mm} \geq$
---------------------------	-----------	-------------------------

8- تحاليل و اختبارات عينات طبقات الشاشة الإسفلتية

تعدّ القيم الحدية و قيم التسامح المعطاة عن الانحرافات الناتجة من جراء أخذ العينات , بالإضافة إلى الانحرافات الناتجة عن عدم النظامية

في تنفيذ التجارب , عاملاً مهماً تؤخذ نتائجه في المساحات التي يراد بناؤها . و تختلف التحاليل و الفحوصات فهناك فحوصات صلاحية

المطابقة , فحوصات المراقبة , و فحوصات التأكد الخاصة الذاتية . يجب أن تتميز الفحوصات بشمولية عامة , كأخذ العينات , و تغليف و

إرسال العينة و نقل العينة من موقع أخذها إلى مكان فحصها و كتابة تقرير الفحص .

الفحوصات التي يتم اجراؤها على عينات الشاشة الاسفلتية :

1- فحوصات الصلاحية المطابقة :

تكون فحوصات المطابقة عبارة عن فحوصات خاصة , هدفها التأكد من مطابقة مواد البناء و الخلائط للمواصفات المحددة لها , و تحقيق

الغاية التي يتم استخدامها من أجلها و مطابقة الشروط المحلية طبقاً للشروط الفنية الخاصة المتعلقة بعقد التنفيذ . يجب التأكد من مطابقة

المواصفات الفنية لمواد البناء و الخلائط التي نريد استخدامها بحيث تتطابق المواصفات الفنية لنتائج التحاليل مع المواصفات الفنية الخاصة المعلنة و ذلك يجب أن يتم من خلال مخبر معترف به .

يجب أن تتضمن شهادة تحليل المعطيات عن كل مرحلة بناء , و بالتالي مواد البناء و الخلائط الخاصة بهذه المرحلة بما فيها نتائج التحليل مضافاً إليها تركيب الخلطات المراد استخدامها و تسليم ذلك بوقت كاف قبل البدء بمرحلة التنفيذ . و في حال تغيير مواصفات و صفات و نوع مواد البناء و الخلطات و شروط البناء فلا بد من إعادة فحوصات المطابقة من جديد [13].

و قبل كل شيء يجب تسليم عدد كاف من العينات الكبيرة لمواد البناء للجهة المنفذة بغية الحفاظ عليها لفحصها عند الحاجة و تتضمن مراحل فحص المطابقة :

- (a) تقييم الحبيبات الصخرية .
 - (b) تحديد التركيب الحي للحبيبات المرسله و الخاصة بتركيب الخلطات بيانياً و حسابياً .
 - (c) فحوصات أخرى على الحبيبات المرسله , و ذلك ضمن فحص المطابقة اعتماداً على مواصفات الحبيبات الصخرية .
 - (d) اختيار تركيب الخلطة , مع الأخذ بعين الاعتبار تحديد و حسابات التحليل الحي للخلطة , بالإضافة لذلك يجب مراعاة صفات و أنواع المواد المستخدمة و تحديد التدرجات الحبيبية و أنواعها .
 - (e) اختيار أنواع المادة الملاطية و المواد الإضافية .
 - (f) إنتاج عينات الخلائط .
 - (g) تحديد الكثافات الصافية للخلطات العينية (الطبيعية) .
 - (h) تحديد الكثافات الفراغية (الحجمية) للعينات .
 - (i) تحديد المحتوى الفراغي (لعينات مارشال) .
- تدون و تقيم نتائج التحليل لكل عينة خلطة رقمياً , و ذلك بهدف اختيار محتوى المادة الملاطية الذي يحدد من خلال تحليلين لمحتوى المادة الملاطية , و إثبات الصفات الناتجة من خلال عينات إضافية .
- و في حالات خاصة يمكن زيادة تحاليل المطابقة عندما يطلب ذلك من صاحب المشروع , على أن يتم تحديدها مسبقاً و تدون في جداول الوصف و الكميات .

2- تحاليل المراقبة الذاتية :

الهدف من هذه التحاليل هو التأكد من مطابقة مواد البناء و الخلطات للجودة المطلوبة حسب الشروط الفنية الخاصة , و لذلك يجب القيام بالتحاليل الذاتية بشكل دقيق و تفصيلي و تدوين النتائج أصولاً , و في حال وجود اختلاف عن الشروط المطلوبة يجب إزالة هذا الاختلاف بشكل فوري [13].

يمكن تنفيذ التحاليل الذاتية في المخبر الحقلية لكل عينة حسب التالي :

- 1- التركيب الحي .
- 2- محتوى المادة الملاطية .
- 3- تحديد المحتوى الفراغي , و تجربة مارشال للتأكد من النسبة المثلى للإسفلت في الخلطة .

و يتم إجراء التحاليل الذاتية لكل (4000 m^2) لمشاريع بناء السجادة الإسفلتية أو على الأقل عينة لكل يوم بناء , و هناك عدد من التحاليل الواجب اتخاذها أو تنفيذها عند البناء و تشمل:

- (a) درجة حرارة الخلطة عند البناء .
- (b) صفات الخلطة و يتم التأكد منها من خلال العين المجردة .
- (c) كميات و سماكة الطبقات .
- (d) صفات متجانسة للسطح و يتم التأكد منها من خلال العين المجردة .
- (e) صفات الوصلات و يتم التأكد منها من خلال العين المجردة .

3- تحاليل مراقبة الجودة :

تكون تحاليل المراقبة أو التأكد عبارة عن تحاليل خاصة , و تنفذ من أجل تحديد صفات الجودة لمواد البناء و الخلائط المتفق عليها , و إنجاز الخدمات حسب الشروط , و اعتماداً على الشروط العامة يتم التأكد من نظامية الجباله و الخلائط و نوع و تحاليل المراقبة حسب التالي :

1- الحبيبات الصخرية

يتم أخذ عينات من الحبيبات الصخرية المسلمة بالشكل التالي :

- (a) 2kg للحبيبات التي تكون أقطارها أصغر من 8 mm .
- (b) (5-15 kg) للحبيبات التي تزيد أقطارها عن 8 mm .

2- المادة الملاطية

تؤخذ عينتان إضافيتان كل واحدة وزن 2 kg , و تفحص الاثنتان , و في حال تغيير المواصفات الخاصة (تجانس اللون - اللمعان - النظافة) تؤخذ عينة من المادة المغطيه للشاشة , و عينة من الشاشة الإسفلتية , و من كل طبقة , و لكل 800 m من الشاشة , و يمكن زيادة عدد العينات في النواة الإسفلتية لكل 250 t من الخلطة .

9- طرق التحاليل الخاصة لعينات الشاشة الإسفلتية :

1- تحليل الثبات على الميول :

لا يوجد طريقة معينة لفحص الثبات على الميول , و لكن هناك إمكانية لإجراء هذا التحليل عن طريق وضعها في جهاز مارشال بحرارة عالية و على سطح مائل بحيث يتم وضع أجسام مارشال المنصفة و المتميزة بكثافة فراغية تطابق الكثافة العملية , و من ثم يتم رفع درجة حرارة التجربة على سطوح مائلة تطابق ميل المنحدر , و نختار درجة الحرارة الأعظمية المأخوذة من موقع التنفيذ . يتم تسخين العينات على الوجه المائل لها ووضعتها لمدة 48 h و بعد 24h يتم إجراء القياس الثاني [13].

2- تحديد نفوذية الطبقات الكتيمة :

يتم اختيار نفوذية أو كثافة الطبقات الكتيمة الإسفلتية بواسطة جرس حجمي في الموقع و ذلك بدون أخذ عينة , حيث يتم وضع الجرس على الطبقة الإسفلتية و يطبق ضغط بمقدار (80 KN/m^2) بواسطة منفاخ حجمي و بعد الوصول إلى هذا الضغط يتم إغلاقه و في حال تحملت الطبقة هذا الضغط يمكن القول بأن الطبقة كتيمة .

3- اختيار التشرب للماء : يمكن إجراء هذا الاختبار بالمخبر أو في الموقع .

4- قابلية التكتيم أو الرص :

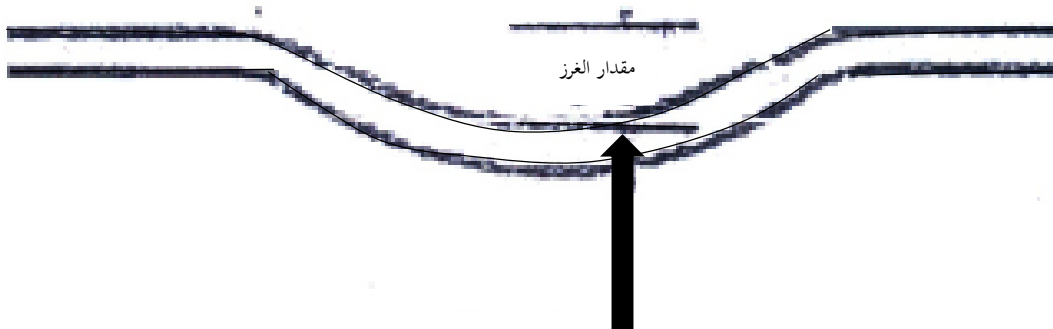
يتم تحديدها عملياً عن طريق إجراء فحوصات و اختبار المطابقة , و يتم معرفتها و تقييمها من خلال اختلاف عدد الضربات لها .

5- قابلية التشوه و التأقلم (درجة الغرز) :

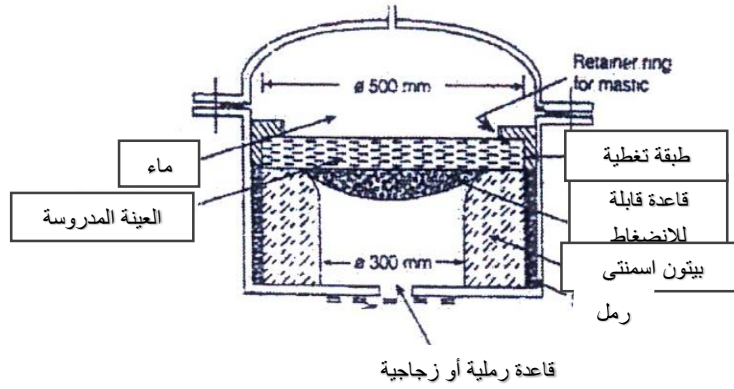
تعدّ قابلية التشوه و تأقلم الإسفلت من الصفات الهامة جداً له , و دليلاً هاماً على دوره , و بالتالي يجب أن تعطى قيمة كثافة الإسفلت الأعظمية لجسم العينة .

كما هو معلوم بأن التشوه يتعلق ب (سرعة التشوه , الحرارة , لزوجة الإسفلت , و سماكة جسم العينة) بحيث تعرف قابلية التأقلم على أنها نسبة قطر جزء جسم العينة الحر لعمق التشوه . و تبقى العينة كتيمة عندما تكون نسبة قطر التقرع إلى عمقه مساوياً إلى ($1/10$) و بذلك يتم إنتاجها على هذا الأساس (يسمى عيار الإسفلت).

لنفرض أن لدينا جسم العينة بقطر (500 mm) و المطابق للسماكة المطلوبة , و ذو كثافة حجمية متطابقة مع شروط التجربة , و يمكن ملاحظة التقرع تحت جسم العينة و المغطى بمادة قابلة للتشوه و نفوذة للماء , بحيث يتم إشباع العينة بشكل كامل في بداية التجربة و بعد إغلاق التجربة بغطاء محكم جيداً لا يسمح بدخول الهواء , و من ثم تعبئة الفراغ بين العينة و الغطاء بالماء و بناءً عليه سيتم الضغط على العينة بضغوط مائي مما يسمح للعينة بالتشوه البطيء للوصول إلى الانحناء الأعظمي و المتميز بعدم خروج المياه و عند النسبة ($1/10$) قطر التحدب إلى عمقها يمكن القول إن العينة كتيمة. يبين الشكل (3-13) نسبة التشوه , أما الشكل (3-14) يوضح أقسام تجربة قابلية التأقلم .



الشكل (13) نسبة التشوه



الشكل (14) تجربة قابلية التأقلم

6- تحديد لزوجة البيتومين : تحدد اللزوجة بواسطة مقياس اللزوجة .

10- تصليحات السجادة الإسفلتية :

تتميز السجادة الإسفلتية المبنية على أسس تقنية حديثة بقلّة التصليحات إذا تم تنفيذها بعناية فائقة , و بناءً عليه هناك فحوصات دورية لكل الصفات المرئية و القابلة للقياس للوقوف على الحالة الراهنة لتصرف السجادة , و بالتالي تصليح العيوب بشكل مبكر , و كما هو معروف لا تظهر تغيرات نوعية متجانسة على كامل مساحة السجادة , أما تحت مستوى تخزين المياه فيبقى بشكل عام سطح السجادة مغلقاً بشكل كامل و غير متغير . تتعرض مادة الماستكس للتغيرات و بالتالي التشققات , و هنا يجب معالجتها مباشرة و ذلك بصب ماستكس ساخن أو بارد , و في حال تحديد أو ملاحظة تخريب في الطبقة المانعة الإسفلتية فيجب إصلاحها بحيث يتم تصليح الشقوق الظاهرة على المسارات الإسفلتية أو عند وصلات المسارات و إذا دعت الحاجة الوصول إلى العمق المطلوب و لو كان داخل طبقة البيتون الإسفلتي , و يتم بعد ذلك تكتيمها [13]. أما بالنسبة لوصلات المسارات فيتم لحم الشقوق بحيث يتم تسوية السطوح بدهنها بمادة الماستكس , كما و تتم معالجة ظاهرة تشكل الفقاعات أثناء بناء السجادة الإسفلتية أو بعد سنوات من الاستثمار , و التي تكون ناتجة عن الرطوبة بين طبقتين كتيمتين أو داخل طبقة كتيمة من خلال :

1- إزالة غطاء الفقاعة .

2- تخفيف الرطوبة .

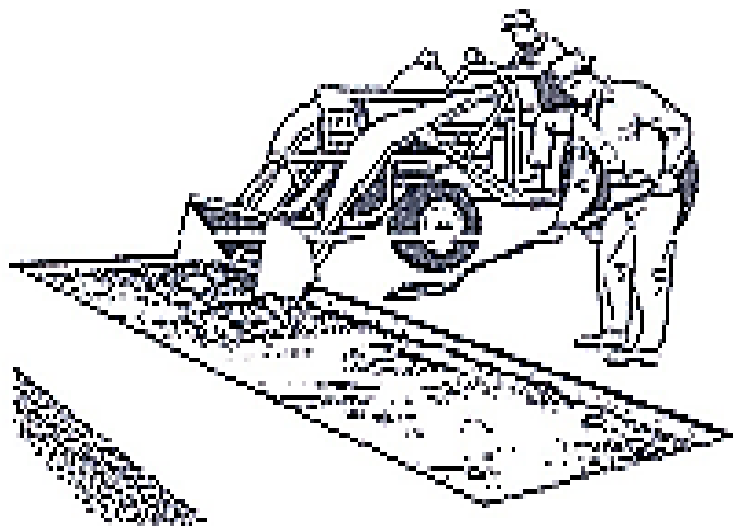
3- معالجة الأساس و الحواف لتأمين مستقبلي أفضل .

بناء كتلة إسفلتية مناسبة و من ثم رصها .

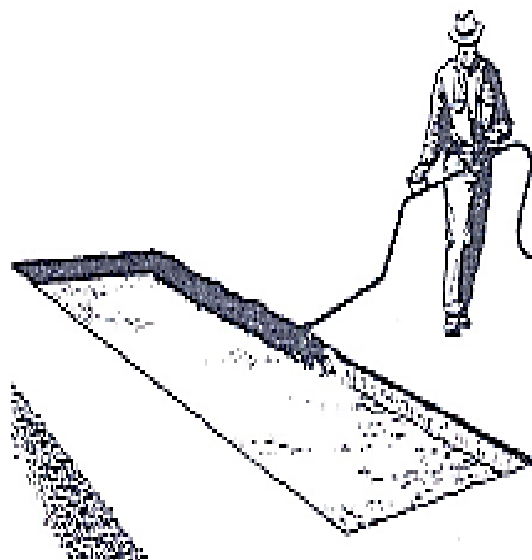
بحيث يتم لحم خط الوصلة إلى سطح السجادة القديم , و من ثم وضع مادة الماستكس عليه , و في حال انفتاح الوصلات يجب إغلاقها مباشرة.

بشكل عام يتم تنفيذ التوصيلات إما بصب كميات الوصلة الإسفلتية أو إذا دعت الحاجة لبناء الوصلة من جديد , و في حال تخریب مساحة كبيرة فيجب إزالة المنطقة المتضررة و بناؤها من جديد , و في حال عدم التأكد من جودة مواصفات السجادة الإسفلتية فيجب أخذ العينات و تحليلها و التي تعطي فكرة عن تركيب العينة , و بناء عليه يتم تحديد أو اتخاذ القرار بإعادة صفات البيتومين الإسفلتي .

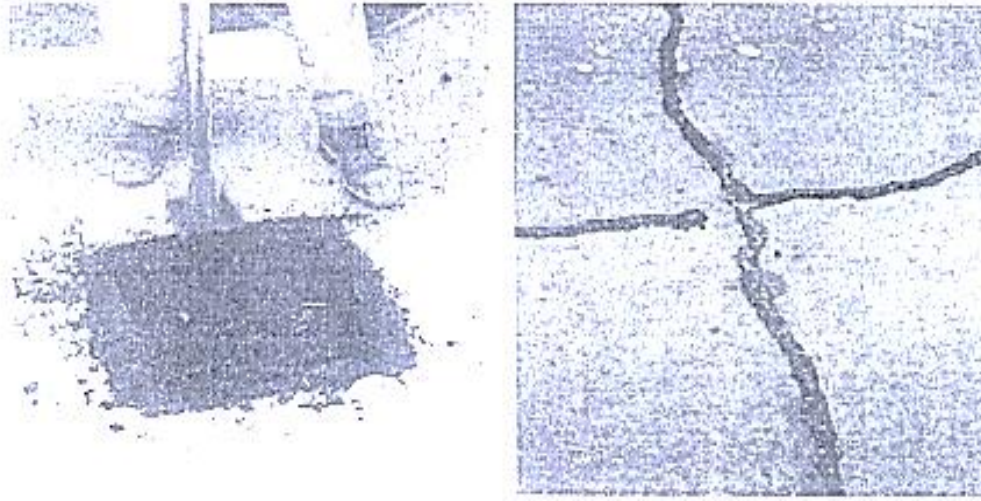
توضح الأشكال (15,16,17,18) كيفية صيانة الشاشات الاسفلتية .



الشكل (15) يبين كيفية إزالة التشقق حتى الوصول إلى التربة



الشكل (16) رش بيتومين سائل



الشكل (17) صيانة التشققات و الحفر



الشكل (18) ملء الحفر بالخلطة الإسفلتية و عملية فرش الخلطة

11- تأهيل و تنفيذ الشاشة الإسفلتية في السد المدروس (سد كودنة)

11-1- مقدمة

يجب تحضير المخططات التنفيذية الخاصة بإعادة تأهيل سد كودنة , و نلاحظ بأن هناك اختلافات في المناسيب لبعض المقاطع , و بهدف تجاوز هذه الاختلافات و تسويتها يجب القيام قبل البدء بالتنفيذ بإجراء مسح طبوغرافي للتأكد و المقارنة بين مناسيب المقاطع , و ذلك بهدف

تحديد الانحرافات على أرض الواقع و من ثم تسويتها و تحضيرها للبدء بعملية إعادة التأهيل . و يكون بناء الشاشة الإسفلتية بميل 1:2 على الوجه الأمامي للسد مع جميع وصلات الشاشة الإسفلتية على جدار الحماية الجديد و برج المفرغ السفلي و مواقع الوصلة الإسفلتية العمودية (سن المانعة) و الأفقية في نهاية الشاشة الإسفلتية .

يعرف الإسفلت بأنه عبارة عن خليط مكون من البيتومين و حبيبات صخرية , و لكن البيتومين بالأصل مرن , فيتميز الإسفلت بالمرونة و قدرته على تغيير شكله , و بالتالي قدرته على استيعاب الهبوطات و الثني و القص لدرجة محددة , و بناء على ذلك يتميز الإسفلت بقدرته على التأقلم مع الظروف المتغيرة بالإضافة إلى ثباته الجيد على المنحدرات .

أما البيتومين فهو مادة كربوهيدراتية لاصقة مركبة من الهيدروجين و الكربون , لونه أسود و يصبح سائلاً إذا تم تسخينه و يتم الحصول على البيتومين إما من البترول الخام بطريقة التقطير أو من مصادر طبيعية مثل بحيرات الإسفلت الصخري . يتميز البيتومين بكونه عديم الرائحة و ذا مذاق حيادي بالمقارنة مع المواد القابلة للانحلال بالماء , و اعتماداً على تميز طبقات الإسفلت المانعة بفترات حياة طويلة و بالتالي إمكانية استخدامها كمادة كتيمة في مجال المنشآت المائية .

يستخدم البيتون الإسفلتي كمادة تكتيم (عزل) في السدود و الذي يمد بواسطة المدادة على الوجه الأمامي للسدود . تبنى السجادات الإسفلتية عند الانتهاء من بناء السد , أو عند الانتهاء من مراحل البناء الكبيرة كونه يتم الوصول إلى الحد الأعظمي للهبوطات .

يجب أن تتميز الشاشات الإسفلتية المستخدمة بقدرتها على استيعاب الهبوطات و الحركات التي يمكن حدوثها لدرجة معينة من دون أن يحدث أي تحريب لها . و بشكل عام يوجد طريقتان لبناء السجادات الإسفلتية للسدود و الخزانات المائية :

أ- **الطريقة الأولى :** تعتبر الأسهل و هي بشكل عملي طريقة كافية و التي تتلخص بمد مادة على طبقة الأساس و من ثم إغلاقها بعد مد طبقة الربط و طبقة الكتامة و طبقة الماستكس (طبقة الإغلاق السطحي) .

ب- **الطريقة الثانية :** تتضمن بناء طبقتين من الإسفلت تفصلها طبقة التصريف و إغلاق السطح العلوي للطبقة الإسفلتية العليا بمادة عازلة . بالنسبة لسد كودنة ينصح باستخدام الطريقة الأولى الأسهل تنفيذاً و للحصول على المتانة المطلوبة , و يجب أن تتميز الوصلات المستخدمة بقابليتها للتشوه أو تغير شكلها من دون أن يحدث أي تحريب للسجادة الإسفلتية .

ملاحظة : لكي يتم تنفيذ أعمال التأهيل لابد من التوقف عن استثمار السد , و هذا يقتضي التحضير لحفرة خاصة في البحيرة لتجميع المياه و من ثم صرفها أو ضخها عن طريق المفرغ السفلي .

لقد تم حساب الاستقرار للحالة الراهنة للسد و أظهرت النتائج أن السد مستقر بميل 1:1.75 و سوف يصبح السد أكثر استقراراً بعد عملية التأهيل بالميل الجديد 1:2 للوجه الخلفي للسد , و بالتالي لا يوجد ضرورة لإجراء حسابات الاستقرار بعد بناء الشاشة الإسفلتية .

ملاحظة : النموذج الرشحي الجديد للسد على النحو الآتي :

كما هو معلوم بأن عامل النفوذية لطبقة الإسفلت البيتونية أقل من (10^{-15}m/s) عندما تكون المسامية أقل من 3% , و في حال عدم التمكن من تحقيق قيمة النفوذية المشار إليها فيمكن الاكتفاء بقيمة (10^{-11}m/s) . ضمن هذه النفوذية ينكسر خط الرشح مباشرة على سطح

السجادة , و لأمان الشد يجب مراقبة ضغط المياه خلف طبقة الإسفلت الكثيمة من خلال قياسه في عدة مواقع حسب منظومة القياس و المراقبة التي يجب أن تنفذ قبل البدء بأعمال إعادة التأهيل .

11-2- بناء طبقات الشاشة الإسفلتية في سد كودنة

تتألف السجادة الإسفلتية من ثلاث طبقات و طبقة رابعة تغطي السطح العلوي للسجادة الإسفلتية . في بداية الأمر يتم فرش أو بناء طبقة التسوية التي تتألف من بحص متغير الحجم يوضع على الصخور البازلتية الموجودة على الوجه الأمامي للسد بسماكة عظمى لا تتجاوز (10 cm) و يتم إجراء ذلك بغية ملء الفراغات في الصخور و بناء طبقة الأساس , و بعدها يتم بناء الطبقة التالية و هي طبقة الربط و التي تتألف عادة من بحص متوسط الحجم متصل مع بعضه عن طريق مادة الإسفلت و التي يجب من خلالها أن تتم تسوية السطح العلوي بشكل نهائي و هنا يجب الانتباه ألا يتجاوز اختلاف الارتفاعات (±1 cm) لكل 4m .

تبلغ السماكة العظمى لطبقة الربط (8-10 cm) , بعد ذلك يتم بناء طبقة المانعة الإسفلتية و التي تتألف من بيتون إسفلتي مضاف إليه بحص ناعم (مواد تعبئة) بحيث لا يتجاوز حجم الفراغات المسامية في هذه الطبقة (3%).

تبلغ سماكة طبقة الشاشة (10 cm) , و بعد الانتهاء من تنفيذ طبقة الشاشة يتم تغطيتها بمادة الماستكس بسماكة (1 cm).

و فيما يلي سوف يتم شرح خطوات العمل بالإضافة إلى المواصفات الفنية لمواد البناء التي سوف يتم استخدامها في بناء السجادة :

أ- كخطوة أولى لكي يتم تصريف المياه الراشحة يمكن إجراء مايلي كحل مناسب :

وصل قسطل صغير بمهدف تصريف المياه بين السجادة الإسفلتية للسد و سطح التأسيس , و ذلك بغية عدم السماح للمياه الراشحة بالارتفاع و بالتالي إمكانية تخريب الشاشة الإسفلتية . و بشكل موازٍ لذلك يتم وضع حساسات لقياس ضغط المياه في الأماكن المخصصة لها و يتم وصل الحساسات عن طريق كوابل خاصة ضمن أنابيب بلاستيكية مغلقة لها تصل إلى القمة و بالتالي إلى أماكنها المحددة في جدار الحماية الجديد .

ب- كخطوة هامة يجب تحضير أماكن خاصة كافية على القمة لتثبيت الأجهزة و المعدات الخاصة بعملية التنفيذ , و في تلك الأثناء يجب

تحضير أماكن الوصلة المانعة الإسفلتية العمودية على قاع البحيرة (سن المانعة) .

قبل البدء بفرش طبقة التسوية يجب التأكد من إغلاق أو تعبئة جميع الفراغات و لو بشكل يدوي . و سوف يتم شرح المواصفات الفنية لمواد البناء التي سيتم استخدامها لكل طبقة على حدة حسب التالي :

أولاً : طبقة التسوية :

تمثل طبقة التسوية سطحاً مستوياً قادراً على تحمل الطبقات المتتالية , و لكن يجب التأكد من ملء الفراغات و لو تم ذلك بشكل يدوي (الفراغات التي تزداد أطوالها عن 8 cm) , و من ثم يتم طلاء هذا السطح أو هذه الطبقة بمادة البيتومين السائل , و من ثم يتم فرش طبقة التسوية حسب مواصفات البناء الموضحة في الجدول (10).

الجدول (10) : يبين مواصفات مواد بناء طبقة التسوية

طبقة التسوية الإسفلتية	
بيتومين 100	نوع المادة الملاطية
% 5	محتوى المادة الملاطية
% 80	نسبة البحص ذلت أقطار $2\text{mm} \leq$
$\geq 35\%$	نسبة الحبيبات ذات أقطار $16\text{ mm} \leq$
% 8	نسبة مادة التعبئة ذات أقطار $0.063\text{ mm} \geq$
Vol% (10-25)	محتوى الفراغ الحجمي للعينة

ملاحظات :

- 1- يجب ألا يتجاوز تغيير محتوى المادة الملاطية لكل عينة مأخوذة عن القيمة المحددة لها $\pm 0.5\%$ بشكل أعظمي .
- 2- فيما يتعلق بالتحليل الحي للعينات المأخوذة من الخلطة أو من الطبقة نفسها , يجب ألا تتجاوز قيمة الانحراف (التسامح) عن $\pm 8\%$ لكامل البحص الناعم (الصغير) من كامل الخلطة , و أيضاً $\pm 8\%$ لكامل الرمل بأقطار (2 mm - 0.063 mm) من كامل الخلطة , و $\pm 3\%$ مادة التعبئة بأقطار ($0.063\text{ mm} \geq$) من كامل الخلطة .

ثانياً : طبقة الربط الإسفلتية :

هي عبارة عن بيتون إسفلتي ، و التي تتألف من خلطة حبيسية صخرية متدرجة ممزوجة بمادة البيتومين المستخدم في بناء الطرق كمادة ملاطية (يستخدم البيتومين المعدل البولييري). تفرش الخلطة بالحالة الساخنة و من ثم يتم تكتيمها على ألا يتجاوز المحتوى الفراغي بعد فرشها أو مدها نسبة حجمية لا تتجاوز نسبة (9-12%) و ذلك حسب مواصفات البناء المذكورة في الجدول (11) :

الجدول (11) : يبين مواصفات بناء لطبقة الربط الإسفلتية

طبقة الربط الإسفلتية	
بيتومين 100	نوع المادة الملاطية (درجة اللزوجة)
% 6	محتوى المادة الملاطية
% 86	نسبة البحص ذات أقطار $2\text{mm} \leq$

نسبة مادة التعبئة ذات أقطار $\geq 0.063 \text{ mm}$	9 %
محتوى الفراغ الحجمي للعينة	(9-12) Vol%

ملاحظات :

1- يجب ألا يتجاوز تغير محتوى المادة الملاطية لكل عينة مأخوذة من العينة عن القيمة المحددة لها بشكل أعظمي $\pm 3\%$.

3- فيما يتعلق بالتحليل الحبي للعينات المأخوذة من الخلطة أو من الطبقة نفسها , يجب ألا تتجاوز قيمة الانحراف (التسامح) عن $(\pm 8\%)$ لكامل البحص الناعم من كامل الخلطة , و أيضاً $(\pm 8\%)$ لكامل الرمل بأقطار (0.063-2mm) من كامل الخلطة , و $(\pm 3\%)$ لمادة التعبئة بأقطار $(\geq 0.063 \text{ mm})$ من كامل الخلطة .

ثالثاً : الطبقة الكتيمية :

تكون طبقات الكتامة عبارة عن طبقات بيتون إسفلتي و التي تتألف من خلطة حبيبية متدرجة يصل بينها مادة البيتومين المستخدمة في بناء الطرق . تمدد الخلطة على السطح في حالتها الساخنة و من ثم يتم رصها , يجب أن يتصف تركيبها بقدرته عند مدها الوصول إلى كتامة جيدة جداً , أي لا يتجاوز محتوى الحجم الفراغي vol% قيمة 3% عند استخدام الرمل بأقطار (0.063-2mm) ذو الحبيبات المدورة مع الحبيبات حادة الجوانب (رمل مكسر) .

يجب ألا تتجاوز الفروقات في سماكة الطبقة المانعة 10% من السماكة أي يجب مدها بدقة $\pm 1 \text{ cm}$ لكل مسافة $> 4 \text{ m}$.

و ذلك حسب مواصفات البناء الموضحة في الجدول (12).

الجدول (12) يبين مواصفات البناء للطبقة الكتيمية

الطبقة الكتيمية	
نوع المادة الملاطية (درجة اللزوجة)	بيتومين 100
محتوى المادة الملاطية	8 %
نسبة البحص ذات أقطار $\leq 2 \text{ mm}$	55 %
نسبة مادة التعبئة ذات أقطار $\geq 0.063 \text{ mm}$	16 %

محتوى الفراغ الحجمي للعينة	Vol% (3)
----------------------------	----------

ملاحظات :

1- يجب ألا يتجاوز تغير محتوى المادة الملاطية لكل عينة المأخوذة من العينة عن القيمة المحددة لها بشكل أعظمي ($\pm 0.3\%$).

2- فيما يتعلق بالتحاليل الحبيبة المأخوذة من الخلطة أو من الطبقة نفسها يجب ألا تتجاوز قيمة الانحراف عن ($\pm 6\%$) لكامل البحص الناعم من كامل الخلطة , و أيضاً ($\pm 6\%$) لكامل الرمل بأقطار (2 mm - 0.063) من كامل الخلطة , و ($\pm 3\%$) لمادة التعبئة بأقطار (≥ 0.063 mm) من كامل الخلطة .

رابعاً : طبقة التغطية السطحية :

بعد مد طبقة السجادة الإسفلتية الكتيمة يتم فرشها بمادة الماستكس , و المؤلفة من مادة الرمل الناعم الممزوج بمادة البيتومين و ذلك وفق الشروط الموضحة بالجدول (13)

الجدول (13) : مواصفات طبقة التغطية السطحية

طبقة التغطية السطحية	
نوع المادة الملاطية	بيتومين 100
محتوى المادة الملاطية	30%
نسبة مادة التعبئة ذات أقطار ≥ 0.063 mm	70 %
درجة الطراوة	درجة ≥ 90

ملاحظات :

يجب ألا يتجاوز محتوى المادة الملاطية للعينات المأخوذة من الماستكس بشكل أعظمي مقداراً ($\pm 1\%$) فعندها تكون قيمة التسامح لعينة المادة المعبأة أو المائلة ($\pm 2\%$) .

11-3- وصلات المانعة الخارجية :

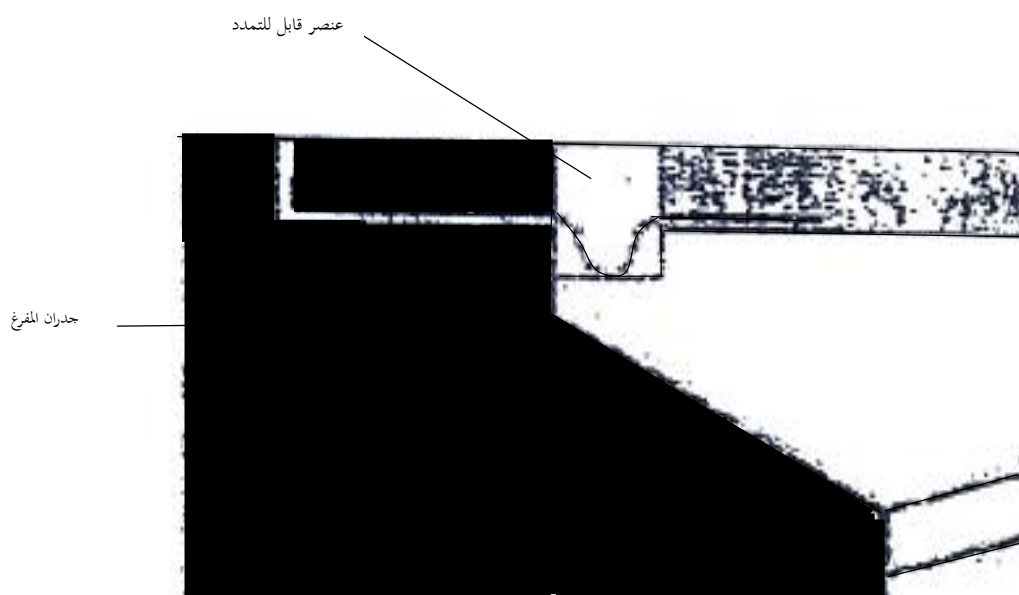
بهدف تحديد الكتامة المطلوبة , و قدرة السجادة الإسفلتية على تأقلمها مع الحركات المتوقعة , يتم إدخال عناصر مرنة قابلة للتمدد يمكن بناؤها في الوصلات المحددة لاستيعاب الحركات النسبية و التشوه على الأبنية البيتونية مثل المفرغ السفلي و جدار الحماية , دون أن تتأثر الشاشة بذلك و بالتالي عدم تخريبها , و بناءً عليه يوجد عدة أنواع من الوصلات .

بالنسبة لسد كودنة سوف يتم استخدام الوصلات الخاصة بالمانعة الإسفلتية و هي :

1- وصلة متحركة ذات عنصر قابل للتمدد مخصصة لوصل المانعة الإسفلتية مع جدران برج المفرغ السفلي الشكل (19).

2- وصلة تضغط مباشرة على جدار الحماية الشكل (20) .

3- وصلة مباشرة للشاشة الإسفلتية مع سن مانعة الشكل (21).



الشكل (19) وصلة متحركة ذات عنصر قابل للتمدد مخصصة لوصل المانعة الإسفلتية مع جدران برج المفرغ السفلي



الشكل (20) وصلة تضغط مباشرة على جدار الحماية

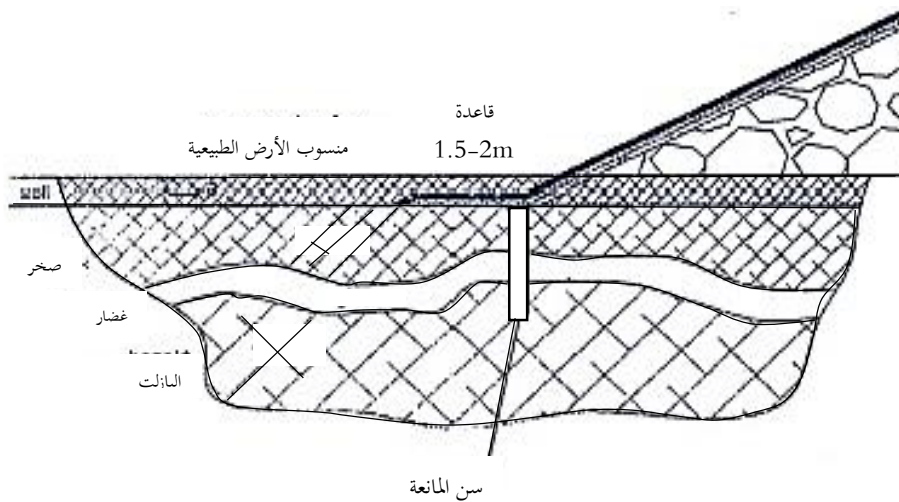


الشكل (21-3) وصلة مباشرة للشاشة الإسفلتية مع سن مانعة

11-4- سن المانعة :

هو عبارة عن جدار شاقولي من البتون الإسفلتي مقام على طول السد يخترق طبقة الأساس لمسافة تصل إلى (20 cm) داخل البازلت، و بهدف عدم جريان المياه تحت السد يتم وصل الشاشة بسن المانعة، و يفترض بأن عمق جدار التكتيم المشار إليه لا يتجاوز (2m)، و يمكن أن يكون متغيراً و المهم هنا دخول الجدار إلى عمق (20 cm) داخل البازلت الشكل (22). و يتم تحديد عرض الجدار تبعاً لعرض الباجر المستخدم أو عرض الأجهزة المستخدمة لذلك حوالي (40 - 50 cm) .

بعد ذلك يتم وصل الشاشة الإسفلتية أفقياً بسجادة أفقية لا يتجاوز عرضها (1.5 - 2m) يتم بناؤها على سطح البازلت حصراً .



الشكل (22) سن المانعة في الشاشة الإسفلتية

11-5- جدار الحماية على قمة السد :

قبل البدء ببناء جدار الحماية يتم رفع القمة بمقدار (100 cm) و من ثم تسويتها على أن يكون سطحها مائلاً بقدر (1%) باتجاه الوجه الخلفي , يتم رفع القمة بواسطة بحص مرصوص أو مواد ترابية بحصية مناسبة . و يتم بناء جدار الحماية على شكل قطع مسبقة الصنع طول الواحدة منها (30 m) بحيث يتم تصنيعها , أو صبها في الموقع بأطوال (12 m).

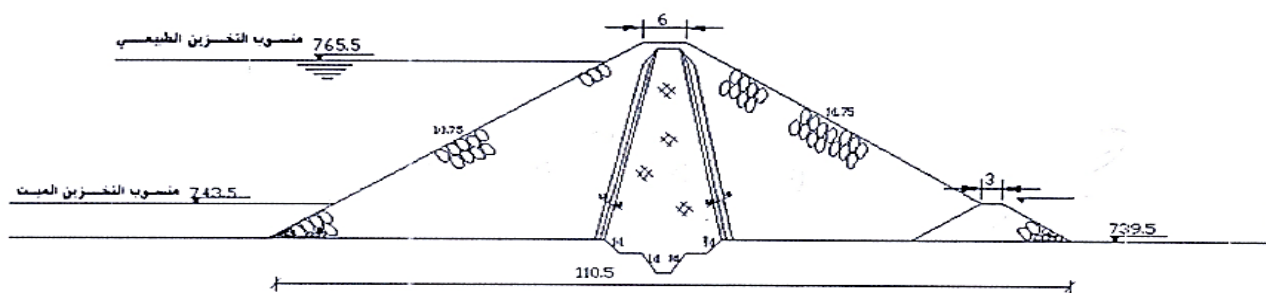
يجب أن يجهز جدار الحماية بأماكن أو فتحات صندوقية ذات أبعاد (20 - 25 cm) و ذلك من خلال صب قوالب بالأبعاد المذكورة تخصص هذه الفتحات لإدخال أنابيب التغليف بأسلاك الحساسات الخاصة بقياس ضغط المياه أسفل الشاشة الإسفلتية إلى جدار الحماية , تبنى هذه الصناديق أسفل جدار الحماية التي تبلغ سماكته (30 cm) . يتم بناء جدار الحماية على ردميات الأحجار البازلتية (الأحجار البازلتية الموجودة حالياً) مبتعداً (50 cm) عن حافة القمة من الوجه الأمامي .

11-6- رفع قمة السد :

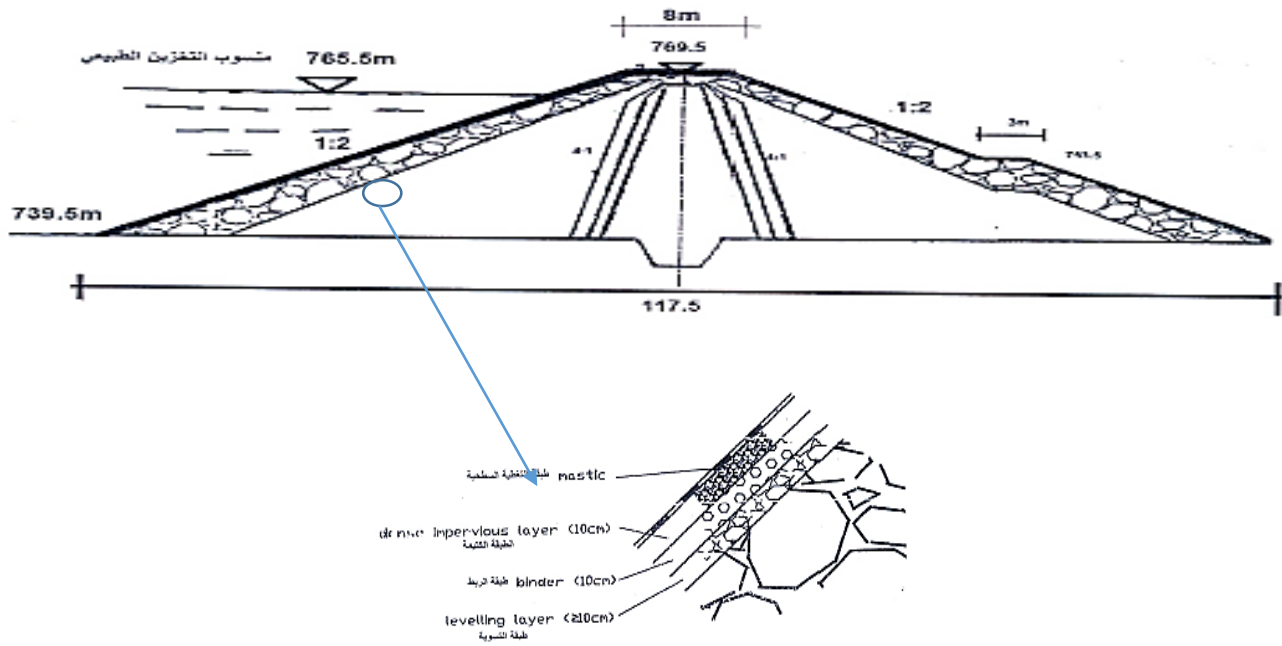
ترفع قمة السد بمقدار (100 cm), و لتحقيق ذلك يمكن استخدام مواد بناء مختلفة مثل الأحجار البازلتية المتوفرة في المنطقة مع البالاست أو الرمل البحصي (حسب المتوفر) , بعد فرش هذه المواد يتم رصها بشكل جيد بطريقة رص ثلاثية المراحل و ذلك بغية حصول هبوطات مختلفة , و يجب الانتباه أن يكون سطح القمة الممدد مائلاً بمقدار (1%) باتجاه الوجه الخلفي , و بعد انتهاء عملية التسوية و الرص لسطح القمة الجديد يتم بناء الطبقة الإسفلتية بسماكة (15 cm) السفلى منها بسماكة (10 cm) و تكون عبارة عن طبقة بحصية تليها الطبقة الإسفلتية العليا بسماكة (5 cm) (في حال استخدام مواد بناء متغيرة الأحجام لرفع القمة) .

11-7- تسوية الوجه الخلفي

يتم تسوية الوجه الخلفي للسد بميل جديد و هو (1:2) ليصبح سداً متناظراً الشكل (24) , و يجب مراعاة عرض القمة الجديد الذي أصبح (8m) المقاس اعتباراً من حافة الوجه الأمامي إلى حافة القمة للوجه الخلفي الجديد الذي يميل بمقدار (1:2) . يبين الشكل (23) مقطعاً في جسم السد قبل التأهيل .



الشكل (23) مقطع في السد قبل التأهيل



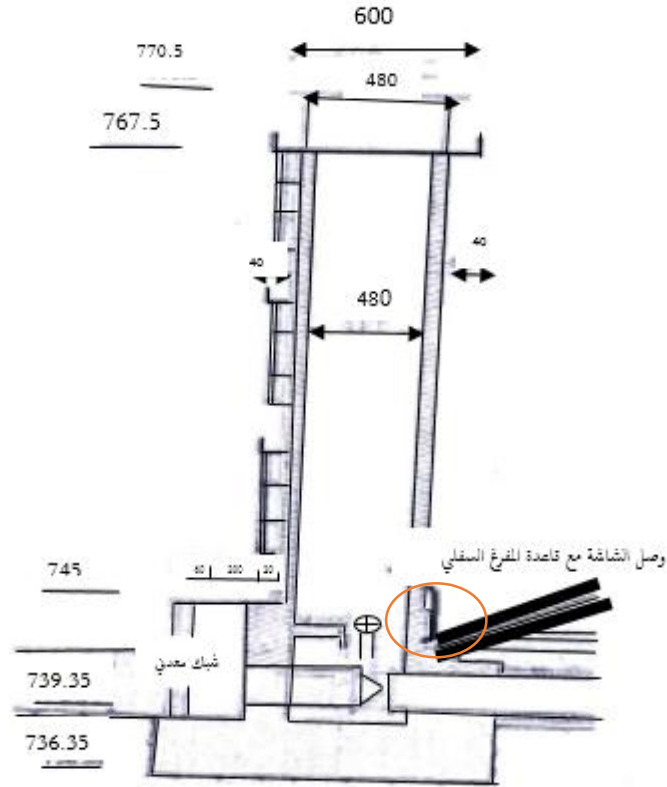
الشكل (24) مقطع في السد بعد التأهيل

11-8- تأهيل المفيض :

نتيجة لعملية تأهيل السد أصبح منسوب فتحة المفيض (768.5 m) بعد أن كان قبل عملية التأهيل (765.5 m), و نتيجة لذلك أصبح الارتفاع الاحتياطي (3.2 m) , بالإضافة إلى ارتفاع جدار الحماية و هو (1.5m) وبالتالي هناك ارتفاع حماية كافٍ عند حدوث فيضان و بناء عليه تكون قمة السد محمية .

11-9- الأعمال البيتونية الإضافية على قاعدة برج المفرغ السفلي :

اعتماداً على المخطط التنفيذي الخاص بالمفرغ السفلي الشكل (25) نلاحظ بأن نقاط التماس للسجادة الإسفلتية المائلة (1:1:2) مع جدار البرج الحالية , سوف تكون مختلفة لامتدادها على قطرين مختلفين للبرج . و بغية التغلب على هذه الصعوبة يجب رفع منسوب الدرجة الأولى بمقدار 1.9 m بحيث يتم وصل السجادة الإسفلتية على برج المفرغ من دون مشكلة . و لتحقيق ذلك يجب بناء جدارين بيتونيين على طرفي البرج , و يجب أن تصل أساسات الجدار المقترح إلى البازلت .



الشكل (25) وصل الشاققة الإسفلتية مع قاعدة المفرغ السفلي

12- الكلفة التقديرية و حجوم الأعمال التقريبية اللازمة لإعادة تأهيل سد كودنة

تم حساب حجوم أعمال إعادة التأهيل على كامل طول السد (3000 M) , علماً أن الجزء المتضرر في جسم السد حوالي (1800 m) . لأن نفاذية الجزء المراد إعادة تأهيله ستكون أقل من باقي القسم إذا تم تنفيذه من دون الأخذ بالحسبان باقي جسم السد , و في هذه الحالة ستزداد سرعة تدفق المياه عبر المساحات التي لم يتم إعادة تأهيلها , مما قد يسبب المشكلة نفسها التي تم معالجتها بعد عدة سنوات , بسبب الغمر الدائم بالماء , و طبقات الفلاتر لا تعمل بشكل جيد على كامل طول السد تقريباً . لذلك تم إعادة التأهيل على كامل جسم السد بوجهيه الأمامي و الخلفي .

تبين الجداول (14,15,16,17), حجوم أعمال الوجه الأمامي و الخلفي و الأعمال المنفذة على قمة السد و كذلك أعمال الجدار البيتوني

الجدول (14) : حجم الأعمال المنفذة على الوجه الأمامي

الوجه الأمامي	طبقة الماستكس	الطبقة الكتيمة	الطبقة الرابطة	طبقة التسوية	حفر
---------------	---------------	----------------	----------------	--------------	-----

0.5	0.1	0.1	0.1	0.01	السماكة (m)
3000	3000	3000	3000	3000	الطول (m)
2.04	35	35	35	35	العرض وسطياً (m)
1.02	105000	105000	105000	105000	المساحة (m ²)
3060	10500	10500	10500	1050	الحجم (m ³)

الجدول (15) : حجم الأعمال المنفذة على الوجه الخلفي

الوجه الخلفي	طبقة التسوية
السماكة (m)	3.5
الطول (m)	3000
العرض وسطياً (m)	35
المساحة (m ²)	105000
الحجم (m ³)	367500

الجدول (16) : مجموع الأعمال المنفذة على قمة السد

قمة السد	الطبقة الكتيمة	الطبقة الرابطة	طبقة التسوية
السماكة (m)	0.05	0.15	0.8
الطول (m)	3000	3000	3000
العرض وسطياً (m)	8	8	8
المساحة (m ²)	24000	24000	24000
الحجم (m ³)	1200	3600	19200

الجدول (17) : مجموع أعمال جدار القمة

جدار قمة السد	بيتون
السماكة (m)	0.5
الطول (m)	3000
العرض وسطياً (m)	1.5
المساحة (m ²)	0.75
الحجم (m ³)	2250

الجدول (18) : مجموع حجوم الأعمال على كامل السد

الوجه الأمامي	الوجه الخلفي	قمة السد	جدار قمة السد	مجموع حجوم الأعمال
10500	367500	19200	-----	397200
10500	-----	3600	-----	14100
10500	-----	1200	-----	11700
1050	-----	-----	-----	1050
3060	-----	-----	-----	3060
-----	-----	-----	2250	2250

تكلفة المتر المكعب من مواد طبقة التسوية (A) ل.س , و تكلفة المتر المكعب من مواد طبقة الربط (B) ل.س , و تكلفة المتر المكعب من طبقة التكتيم (C) ل.س , و تكلفة المتر المكعب من طبقة الماستكس (D) ل.س , و تكلفة المتر المكعب للحفر (E) ل.س , و تكلفة المتر المكعب من البيتون (F) ل.س .

فتكون التكلفة الإجمالية لمشروع إعادة التأهيل لسد كودنة كالتالي :

$$(A*397200) + (B * 14100) + (C*11700) + (D * 1050) + (E*3060) + (F*2250) \text{ ل.س}$$

المراجع العربية

- 1- الربيعي صاحب, خبير في شؤون المياه , الأسباب و المعالجات لانحيار السدود (سد الموصل) 1994.
- 2- حلاوة ليلي, الإدارة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي و التخفيف من آثارها (منطقة دراسة مجرى نهر العاصي بين سد قطينة و الرستن و محردة) , جامعة البعث , 2014-2015.
- 3- عودة سمر , دراسة مشاكل السدود الترابية و كيفية مراقبتها , جامعة البعث , 2015-2016 .
- 4- شحود علي , دراسة جيولوجية و تكتونية أولية لبناء سد ديفة , مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية , جامعة تشرين , 2013 .
- 5- فويتي فاطمة , تحليل تأثير سماكة النواة الشاقولية على استقرار السدود الترابية (حالة سد الدويسات) , مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية , جامعة تشرين , 2013 .
- 6- حديد شعبان , إبراهيم بسام , منشآت مائية (السدود) , جامعة البعث , حمص , 2006-2007 .

- 7- د. العبد الله جمال, مقرر جيوتكنيك السدود , كلية الهندسة المدنية , جامعة البعث , حمص .
- 8- مصطفى الشافعي أسامة , (ميكانيكا التربة أساسيات و خواص التربة) الجزء الأول , دار الراتب الجامعية, بيروت , 1998.
- 9- تقارير فنية وبيانات لدراسة الحالة الفنية لسد كودنة في محافظة القنيطرة , الهيئة العامة للموارد المائية , مديرية الموارد المائية بالقنيطرة , 2004 .
- 10- دراسات و تقارير فنية و بيانات لدراسة الحالة الفنية لسد كودنة , شركة الدراسات المائية , حمص .
- 11- حديد شعبان , ليوس الياس , استثمار و صيانة المنشآت المائية , جامعة البعث , حمص , 2014-2015 .
- 12- سالم محمد توفيق , هندسة الطرق الجزء الأول , دار الراتب الجامعية , بيروت 1985.
- 13- سالم محمد توفيق , هندسة الطرق الجزء الثاني , دار الراتب الجامعية , بيروت 1985 .

المراجع الأجنبية

- 14- Guidelines for Inspection and Maintenance of Dams, Arthur J. Rocque , Jr. ,Connecticut Department of Environmental Protection,2001
- 15- Lambe,T,W 'soil Mechanics' New York 1969.
- 16- Design of small dams ,U.S.Bureau of Reclamation,1987.
- 17- Investigating leaks in Dams& Reservoirs, International Atomic Energy AgencyDepartment of Technical Co-operationWagramer Strasse.
- 18- Dornstädter, J. (1997). Detection of internal erosion in embankment dams. ICOLD, Florence.Q.73R.7. 2: 87-101, International Comission on Large Dams, Paris.
- 19- Aufleger, M., Dornstädter, J., Fabritius, A., Strobl, Th. (1998). Fibre optic temperature measurements for leakage detection – applications in the reconstruction of dams. 66th ICOLD annual meeting, New Delhi, pp. 181-189, International Comission on Large Dams, Paris.
- 20- Aufleger, M., Dornstädter, J., Strobl, Th., Conrad, M., Perzlmaier, S., Goltz, M. (2007). 10 Jahre verteilte faseroptische Temperatur-messungen im Wasserbau. 14. Deutsches Talsperrensymposium/ 7th ICOLD European Club Dam Symposium, pp. 8 14, Freising.
- 21- Carslaw H.S., Jaeger I.C. (1959): Conduction of heat in solids. Oxford University Press, London, 2nd ed.
- 22- Müller, G., Katolnig, D. (2013): BioSealing – Innovative Soil Sealing. European Working Group on Internal Erosion in Embankment Dams & Their Foundations, 21st Annual Meeting, Vienna .