الفصل الحادى عشر

تخفيض منسوب المياه الجوفية السطحية

من المشاكل الهامة الـــتي تواجه مهندس تنفيذ مشروعات نظم الـــصرف الـــصحى هوأختيار الأسلوب المناسب للـــتخلص من مياه الرشح أو تخفـــيض نـــسوب الميـــاه الجوفية لذلك فمن المهم أن يكون علي دراية كافية بهذا التخصص من أعمال التنفيذ. وتعتبر عمليه الـــتحكم في المياه الجوفية من العمليات المؤثرة علـــي أقـــتـــصاديات المشروع. ويمكن أن يخسر المقاول عطاء تقدم اليه بسبب الأختيار الخـــاطىء فـــي أسلوب مقاومة المياه الجوفية. كما يمكن أن يتسبب عدم درايه المهندس بالأســـاليب الصحيحه لتخفيض نسوب المياه الجوفية في هبوط وتصدع المباني المجاورة.

١١-١ الطرق الشائعة الأستخدام في الـــتحكم في المياه الجوفية السطحية

١ - طريقة النزح السطحي Surface Dewatering

٢ - طريقة الآبار الأبرية Well Point System

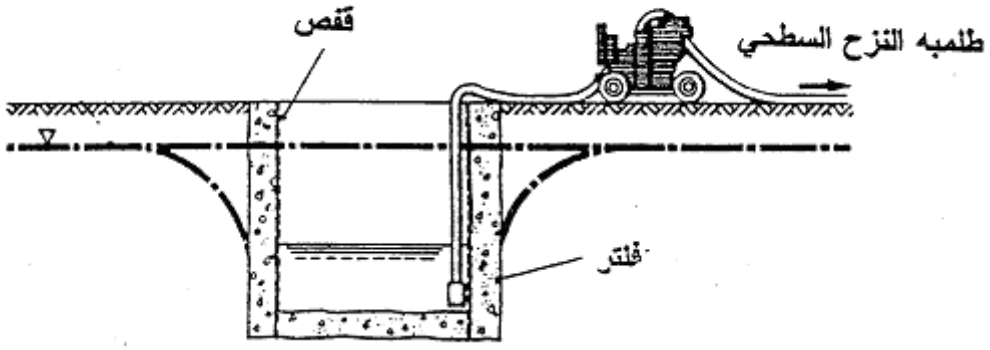
٣ - طريقة الآبار العميقة Deep Wells.

١١-١-١ طريقة النزح السطحى

هي أكثر الطرق بساطـــــة وشيوعا وأقلهـــــا تكلفـــــة وتتلخص في أختيار أوطي نقطة في منقة المشروع لوضع طلمبة النزح حيث تتجمع المياه الجوفية فـــي أوطـــي نقطة لـــتـــقوم طلمبة النزح بسحبها وإلقاء المياه في أقرب مجري مـــائي أومطبـــق صرف صحي، كما هو موضح بالشكل رقم(١١-١).

وسحب المياه بهذه الطريقة ولمده طويلة دون الأخذ في الأعتبار الأحتياطات اللازمة ممكن أن يؤدي الي هبوط المباني المجاورة، حيث تأتي مياه الرشح الي أوطي نقطة (الطلمبة) ومن أسفل المباني المجاورة حاملة معها الجزيئات الدقيقة للـــتربة, ممـــا يحدث خلخلة التربة أسفل هذه الأساسات نتيجة استمرارية الهبوط لمنـــسوب الميـــاه الجوفية مع النزح لفترة طويلة.

لذلك يجب الأحتياط بأن تكون عملية النزح في أقل وقت ممكن – بالأضافة الي أنه يفضل عمل بئر صغير عبارة عن برميل مثقب ومحاط بطبقة من (زلط + رمل) لزوم فانوس الطلمبة, حيث سيمنع هذا الفلتر نسبة كبيرة من جزيئات التربة المحمولة بواسطة مياه الرشح.



شكل (١١-١) طلمبة النزح السطحي

ويمكن لهذا النظام سحب مياه الرشح حتي عمق حفر = ٣ متر في الأحوال العادية. وفي بعض الأحوال عندما تكون طبقات التربة شديدة التماسك، قليلة النفاذية, الأمر الذي يمكن من نزح المياه الي أعماق أكبر من ثلاثة امتار. ومثال لذلك في أحد مشروعات الصرف الصحى بالقاهرة, تم عمل نزح سطحي لخط مواسير بعمق ٨ أمتار منهم ٦ أمتار مياه رشح وكانت الأرض من الطمي شديد التماسك. بينما – في مشروع آخر – كان عمق الحفر = ٢ متر منهم ١ متر مياه رشح وكانت طبيعه التربة من الطمي السيلتي Silty Clay ولم يتمكن من تجفيف المياه بطريقة النزح السطحية حيث كانت النفاذية عالية وتم التنفيذ بواسطة الآبار الأبرية.

١١-١-١-١ تقدير الهبوط أسفل الأساسات بسبب أنخفاض منسوب المياه الجوفية (مياه الرشح)

١ – حساب R_o من المعادلة رقم (١١-١) وكذلك من الجدول رقم (١١-٢), حيث Ro هي نصف قطر دائره التأثير.

٢ – تحسب R ، كما هو موضح بالشكل رقم(١١-٢). وهي المسافة بين منتصف قاعدة أول عامود علي الواجهه وفانوس طلمبة سحب المياه السطحية.

٣ – حساب R_o / R من المنحني و إيجاد نسبة إنخفاض المياه h_o / h من الرسم، ومن ثم إيجاد قيمة h_o.

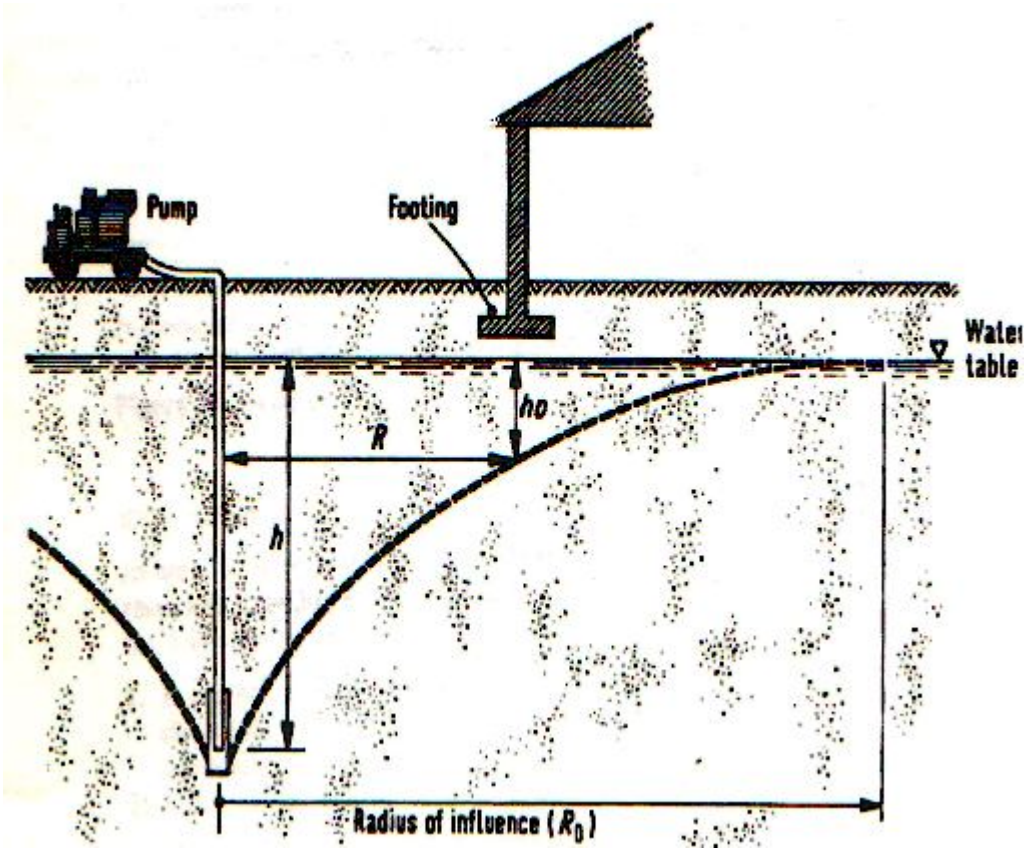
٤ – بمعلومية الأجهاد الآمن للتربة Bearing Capacity – q_a يمكن حساب قيمة الهبوط من المعادلة :

$$\text{Settlement (mm)} = 490\ h_o / q_a \qquad (١-١١)$$

حيث

h_0 بالمتر

q_a لكل متر مسطح



شكل (١١-٢) منحني الهبوط لمنسوب المياه الجوفية)مياه الرشح)
بطريقة النزح السطحي

جدول رقم (١١-١)

العلاقة بين إنخفاض منسوب المياه الجوفية بالآبار السطحية مع إختلاف النفاذية طبقا لأنواع التربة

إنخفاض المياه h داخل البئر متر	رمل ناعم		خليط من الزلط والرمل النظيف		زلط نظيف	
	النفـــــــــــــــــــــــاذيه (متر/ ث)					
	$١٠^{-٥}$	٥ × $١٠^{-٥}$	$١٠^{-٤}$	٥ × $١٠^{-٤}$	$١٠^{-٣}$	٥ × $١٠^{-٣}$
١	٩	٢١	٣٠	٦٧	٩٥	٢١٢
١.٥	١٤	٣٢	٤٥	١٠١	١٤٢	٣١٨
٢	١٩	٤٢	٦٠	١٣٤	١٩٠	٤ ٤٢
٢.٥	٢٤	٥٣	٧٥	١٦٨	٢٣٧	٥٣٠
٣	٢٨	٦٤	٩٠	٢٠١	٢٨٥	٦٣٦
٣.٥	٣٣	٧٤	١٠٥	٢٣٥	٣٣٢	
٤	٣٨	٨٥	١٢٠	٢٦٨	٣٧٩	٨٤٩
٤.٥	٤٣	٩٥	١٣٥	٣٠٢	٤٢٧	٩٥٥
٥	٤٧	١٠٦	١٥٠	٣٣٥	٤٧٤	١٠٦١
٥.٥	٥٢	٧٧	١٦٥	٣٦٩	٥٢٢	٧٦٧
٦	٥٧	١٢٧	١٨٠	٤٠٢	٥٦٩	١٢٧٣
٦.٥	٦٢	١٣٩	١٩٥	٤٣٦	٦١٧	١٣٧٩
٧	٦٦	١٤٨	٢١٠	٤٧٠	٦٦٤	١٤٨٥
٧.٥	٧١	١٥٩	٢٢٥	٥٠٣	٧١٢	١٥٩١
٨	٧٦	١٧٠	٢٤٠	٥٣٧	٧٥٩	١٦٩٧
٨.٥	٨١	١٨٠	٢٥٥	٥٧٠	٨٠٦	١٨٠٣
٩	٨٥	١٩١	٢٧٠	٦٠٤	٨٥٤	١٩٠٩
٩.٥	٩٠	٢٠٢	٢٨٥	٦٣٧	٩٠١	٢٠١٥
١٠	٩٥	٢١٢	٣٠٠	٦٧١	٩٤٩	٢١٢١
١٢	٧٤	٢٥٥	٣٦٠	٨٠٥	٧٣٨	٢٥٤٦
١٥	١٤٢	٣١٨	٤٥٠	١٠٠٦	١٤٢٣	٣١٨٢

(٢-١١) $$Ro = 3000\ h\ (k)^{0.5}$$ Radial flow)

(٣-١١) $$Ro = 1500 - 2000\ h\ (K)^{0.5}$$ For line flow to trenches or line of wellpoint.

١١-١-٢ طريقة الآبار الأبرية Well Point System

هونظام للتحكم فى المياه الجوفية, يمكن تنفيذه لتجفيف وخفض مياه الرشح في خندق للمواسير أولأحد المنشآت تحت منسوب الأرض ويتكون هذا النظام من الأعمال التالية.

أولا - طلمبة سحب المياه

ولها القدرة علي أمتصاص مياه الرشح الموجودة في باطن الأرض وهي من نوع الطلمبات التي تعمل بالتفريغ Vaccum Pump. يتكون النظام من عدد ٢ طلمبة تكون أحداهما أحتياطية للأخري. يستمر العمل ٢٤ ساعة بدون توقف حتي أنتهاء العمل. يحسب تصرف الطلمبة من عدد الحربات العاملة وباعتبار أن طاقة سحب المياه لكل حربة = ١.٥ - ٢ م^{٣} / ساعة.

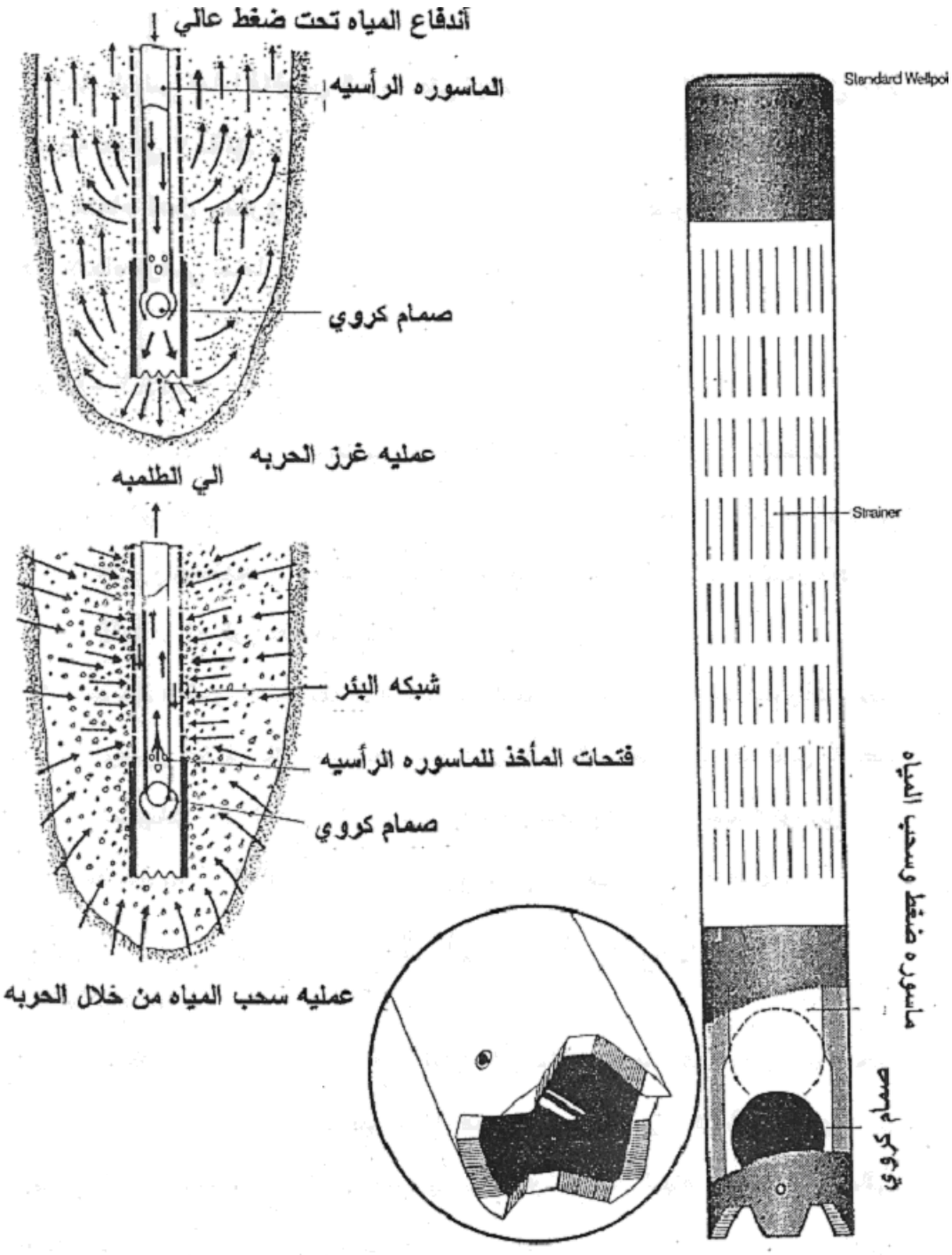
ثانيا - الحربة

وهي مكونة من جزئين :

الجزء الأسفل : علي شكل ماسورة Strainer - أسطواني الشكل غير قابل للصدأ وطوله ١ متر وقطره ٢". به فتحات دقيقة تسمح بدخول المياه دون جزيئات التربة، ويمكن تغيره بعد أنتهاء العمر الأفتراضي له. يخترق هذا الجزء الأسطواني أنبوبة داخلية لها محبس كروي في نهايتها بالأضافة الي وجود ثقوب علي الجدار الخارجي لغرض دفع المياه من خلالها لزوم عملية غرز الحربة في الأرض، كما هو موضح بالشكل رقم (١١-٣).

الجزء العلوي : وهومتصل بالجزء السفلي - قطره ٢" - وهوعبارة عن ماسورة من الحديد المجلفن طولها ٦ متر - في نهايتها العليا جزء كروي لأمكان توصيله بالخرطوم مباشرة بالأضافة الي صمام حاجز يستخدم وقت تغيير الحربة. يكون الطول الأجمالي للحربة = ٧ متر.

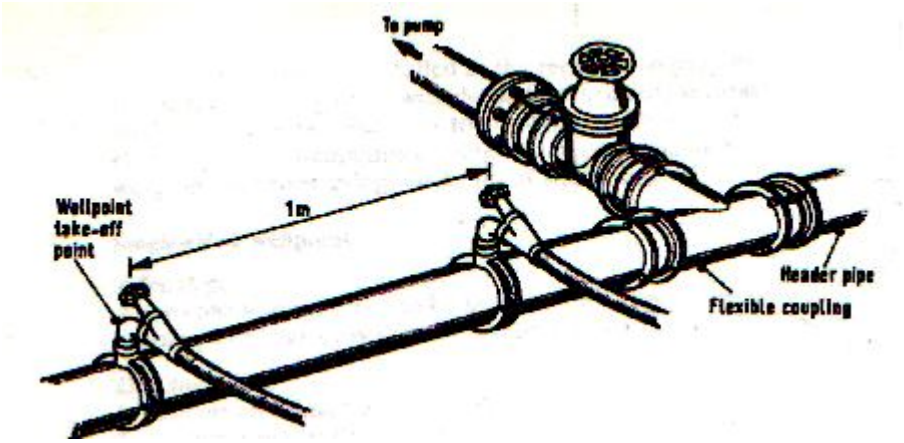
يتم غرز الحربة في طبقات التربة بدفع المياه بواسطة طلمبة الغـــرز, حيـــث تـــدفع المياه تحت ضغط عالي بقوة فتحدث ثقبا في الأرض يمكن من غرز الحربة بسهولة ويجب أن تكون في وضع رأسي تماما.



شكل رقم (١١-٣) تفاصيل الحربة

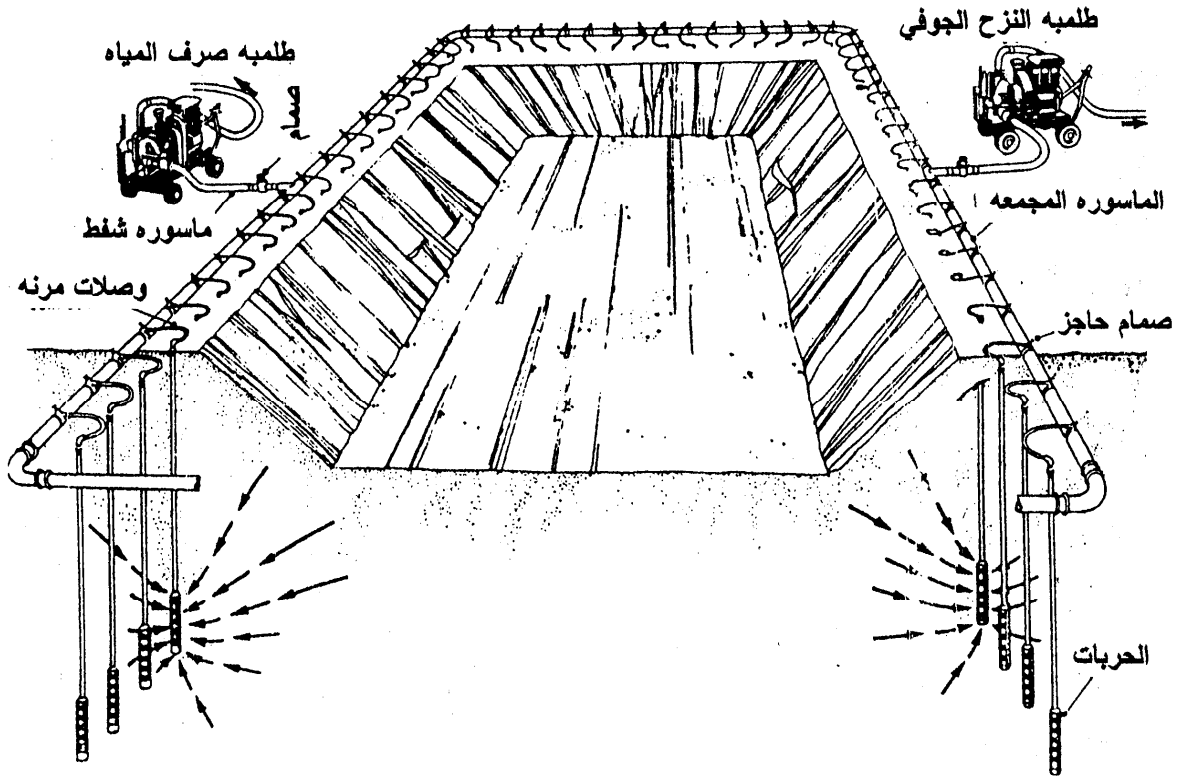
ثالثا – الماسورة المجمعة Header Pipe

وهي الماسورة الـــتي تجمع تصرفات جميع الحربات وتنقلها الي الطلمبة. تكـــون غالبا مواسير سريعة الأ تصال Quick Coupling ، قطر ٦"–١٢"من الألومنيـــوم أومن من ماده P.V.C الخفيفه الوزن لأمكان تركيبها أوفكها بسرعة وسهولة. تزود أيضا بالقطع الخاصة مثل الأكواع والمشتركات وخلافه من نفـــس المـــادة وكـــذلك سرعة الفك والـــتركيب. تصمم هذه الماسورة باعتبار أن سرعه الميـــاه = ١متـــر / ثانية. تزود هذه الماسورة بمخارج كروية خاصة قطر ٢" لـــتركيب خراطيم السحب للحربات، كما هو موضح بالشكل رقم (١١–٤).

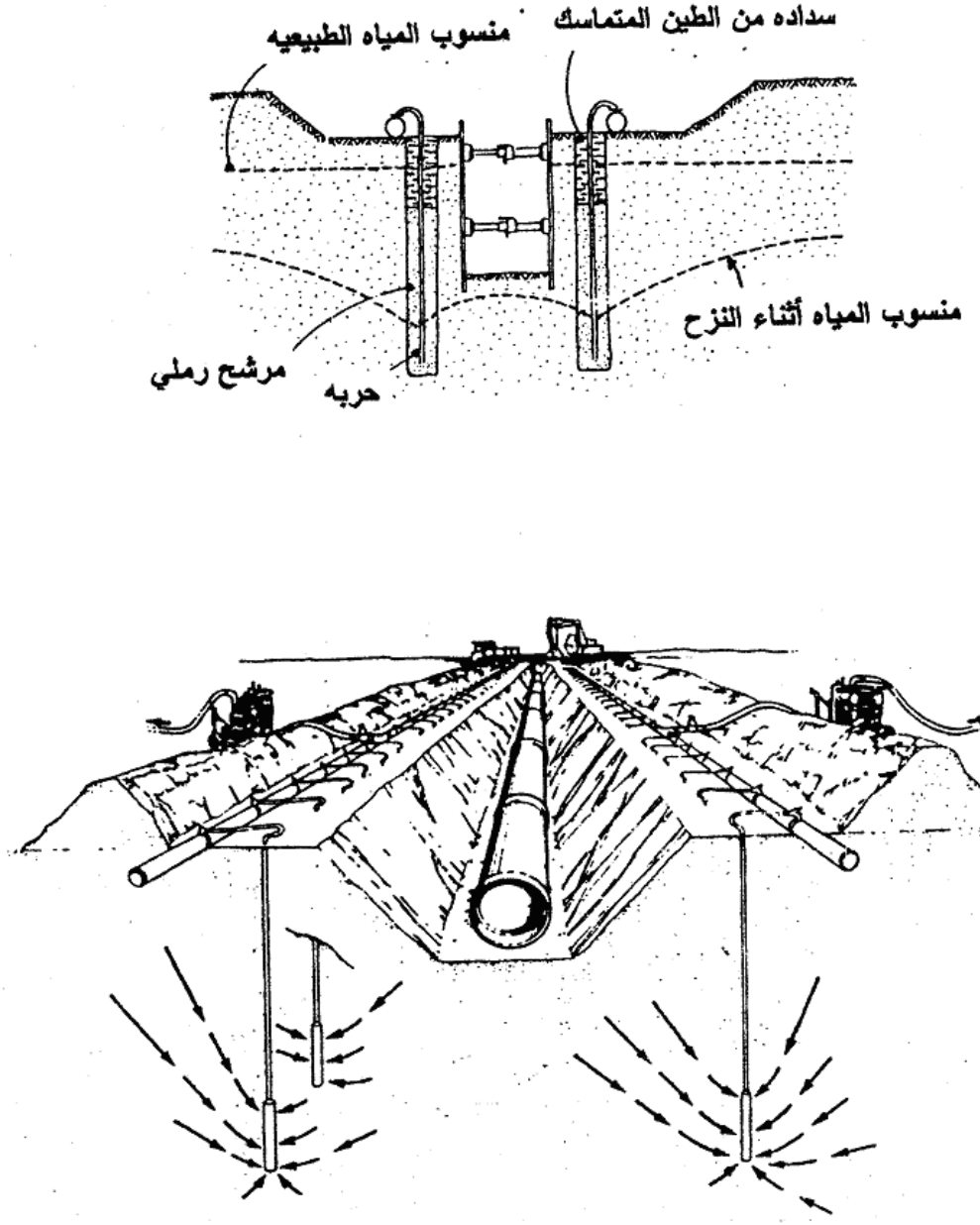


شكل رقم (١١–٤)
أتصال الحربة مع خط التجميع العمومي

والشكل رقم (١١–٥) يوضح نموذجا لعملية تجفيف المياه لموقع عمل، كما يوضـــح والشكل رقم (١١–٦) نموذجا لتجفيف ترانشات المواسير.



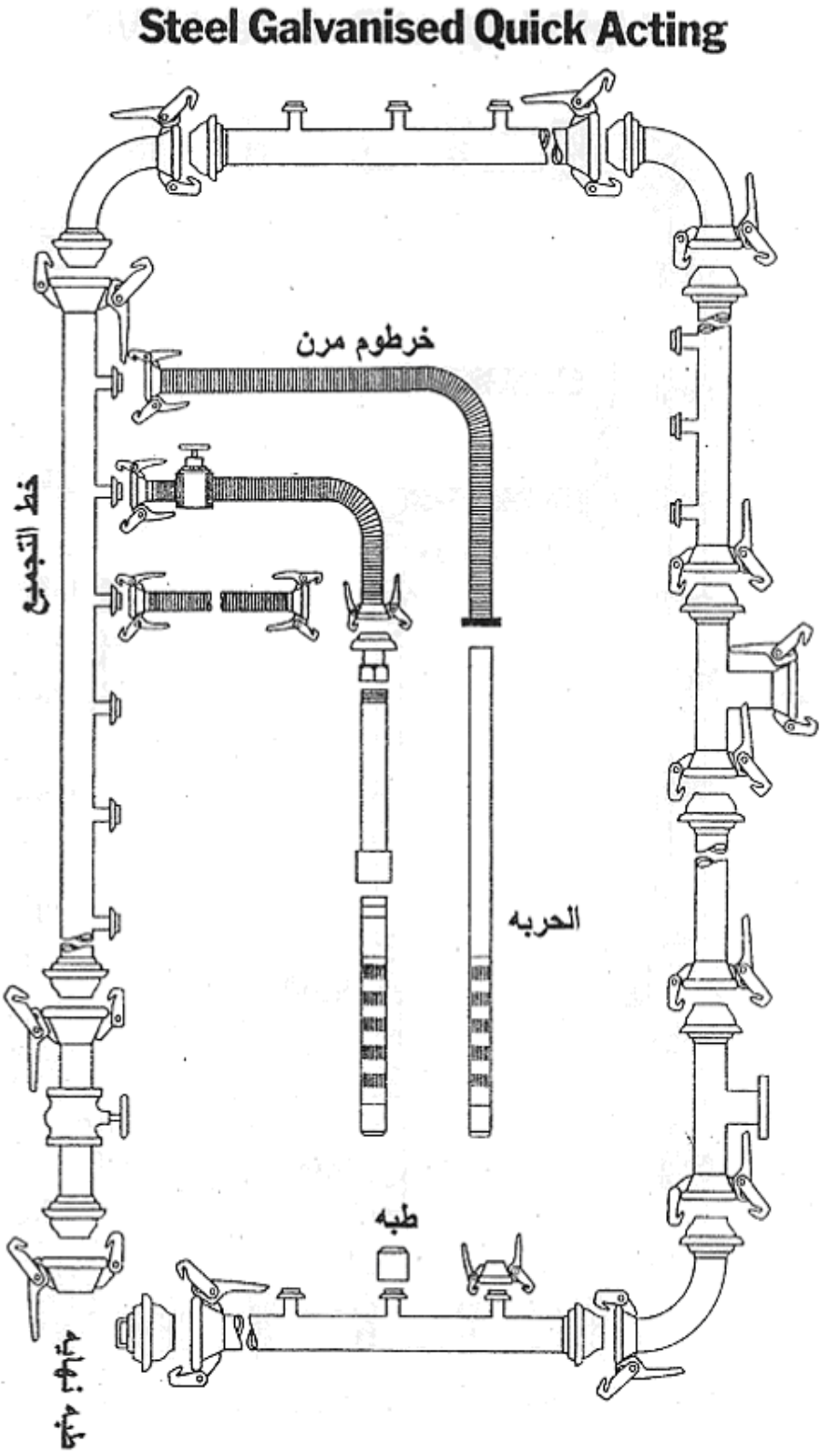
شكل رقم (١١-٥) تجفيف موقع العمل بالحربات



شكل (١١-٦)

تجفيف ترانشات المواسير – بواسطة الحربات

والشكل رقم (١١-٧) يوضح نظام الحربات ومواسير التجميع جاهزة وسريعة التركيب – حديد مجلفن الألومنيوم أوPVC



شكل رقم (١١-٧)

تفاصيل مكونات نظام النزح باستخدام الآبار الأبرية (مواسير مجلفنة سريعة التركيب)

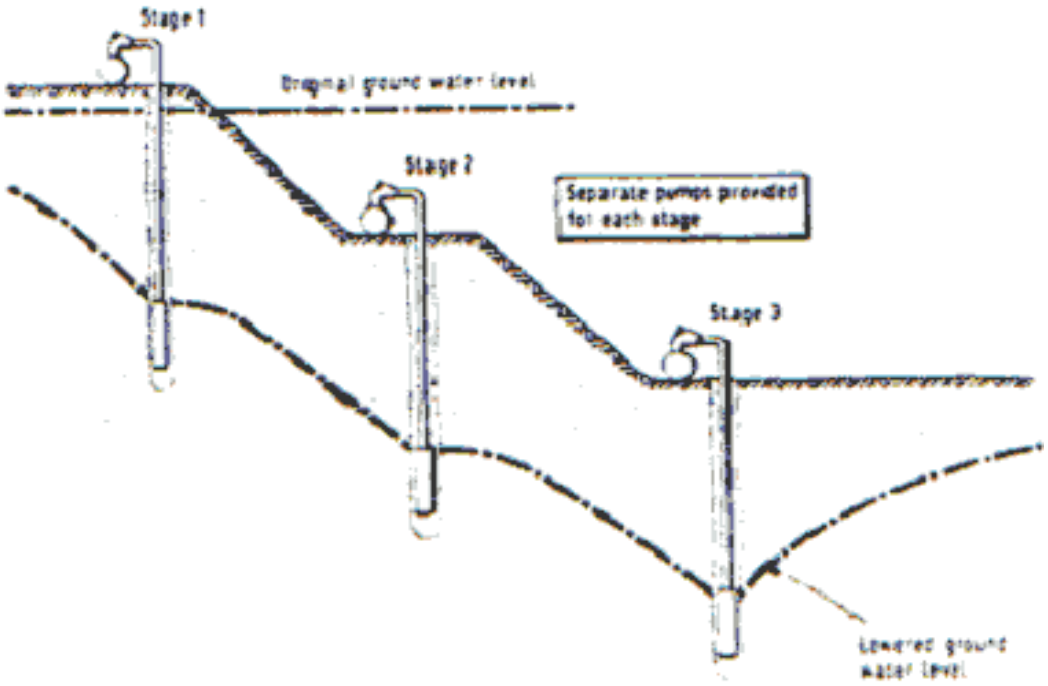
١١-١-٢-١ طريقة الـــتنفيذ للآبار الأبرية

حتى يمكن التحكم فى منسوب المياه الجوفية بطريقة الآبار الأبرية يتم التنفيذ طبقـــا للأعمال التالية :

١ – تحدد حدود المشروع المطلوب تجفيفة أذا كان خط مواسير أوأحد المنشآت.
٢ – نبدأ في عملية غرز الحربات في صف مستـــقيم موازي للحدود السابق تحديدها وعلي بعد منها = ٥٠ سم – تستخدم ماكينة الغرز, يتم غرز حربة كل ٥٠ – ١٠٠سم حسب نفاذية الأرض وزمن الخفض المطلوب لمنسوب المياه.
٣ – مد خط الماسورة المجمعة موازيا لحدود المنشأ ومجاورا لصف الحربات. يتم توصيل الخط بماكينة السحب مع عمل نظام الصمامات للـــتحكم في تشغيل الماكينات. يتم توصيل الحربات علي نفس الخط بواسطة خراطيم الـــتوصيل.
٤ – مد خط صرف الطلمبة الي أقرب مجري مائي لصرف مياه النزح الجوفي أومطبق صرف صحي (بعد موافقة المسئولين).

١١-١-٢-٢ ملاحظات فنية لطريقة الآبار الأبرية

١ – يتم أختبار الحربات كل فترة للأ طمئنان علي كفاءة سحبها وفي أحوال كثيـــرة نجد عدم قدرة الحربة علي السحب بسبب أنسداد فـــتحات ومـــسام الجـــزء الـــسفلي للحربة. ولأصلاح ذلك يتم رفع الحربة الي سطح الأرض ثـــم توصـــيلها بماكينـــة الغرز ثم فتح المياه تحت ضغط عالي لفتح مسامها ثم يعاد غرزها مرة أخري.
٢ – يمكن لـــتخفيض مياه الرشح لأي منشأ وعلي عمق كبير، عمل أكثر من صف للحربات وعلي مصاطب. كما يمكن مزج أكثر من نظام للنزح الجوفي مثل أستخدام الآبار العميقة مع الآبار الأبرية لنصل في النهاية الي تجفيف كامل للموقع –وكما هوموضح بالشكل رقم (١١-٨).



شكل رقم (١١-٨) تفاصيل وضع الحربات علي ثلاثة مستويات

١١-١-٣ الآبار العميقة :

هي أحد الوسائل الفعالة لـتخفيض مياه الرشح. يتم اللجوء لها في حالة ما أذا كـان عمق المياه المراد خفضها كبيرا ولا يستطيع أي من الطرق السابقة أن يحقـقه.

ويتكون نظام الأبار العميقة للتحكم فى المياه الجوفية من الأعمال الآتية:-

أولا - البئر :

يتكون البئر من ماسورة معدنية يتراوح قطرهـا عـادة مـن ٨" - ١٦" حـسب التصرف المطلوب في الساعة. يثـقب الجزء الأسفل من الماسورة (ثلث الارتفاع) بثـقوب = ٢٠% من المساحة السطحية - قطر الثـقب = ١٣- ١٦مم مع تـرك مسافة = ضعف قطر الـثقب بين الـثقوب - كما تقـفل فـتحة ماسورة البئر مـن أسفل.

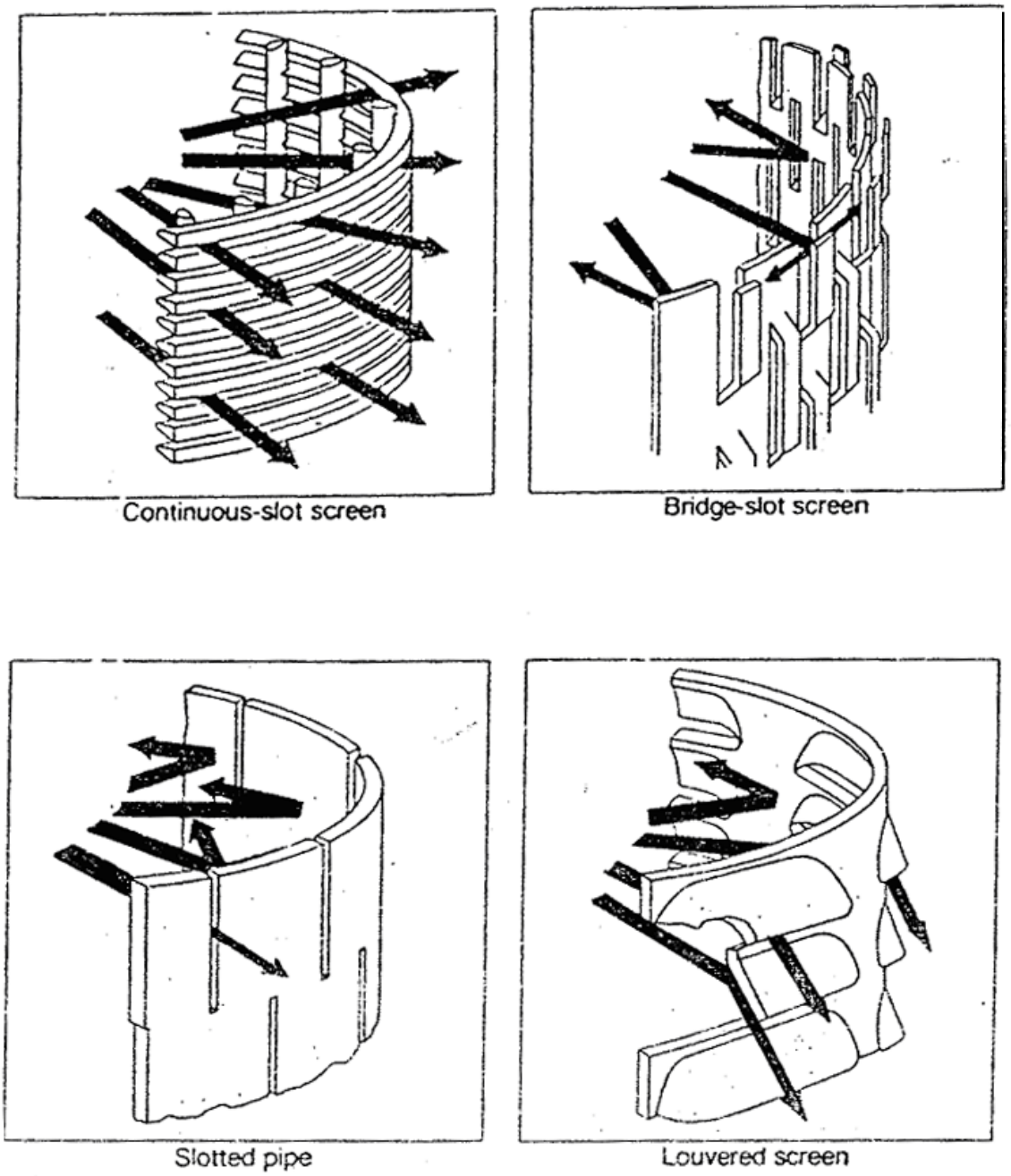
يتم كسوة الجزء المثـقوب بواسطة شبكة من النحـاس أوالبلاسـتيك ذات ثـقوب ضيقة قطرها = ١مم مع رباطها جيدا في الماسورة علي أن تمثل هذه الفتحـات ٩% من المسطح الخارجي.

يمكن أستخدام نوع آخر من المواسير المفلجة (ذات فتحات رأسية ضيقة) Bridge Slots حيث يمكن الأستغناء عن الشبكة، كما أن هناك أنظمة أخري لفتحات البئـر - وكما هوموضح بالشكل رقم (١١-٩).

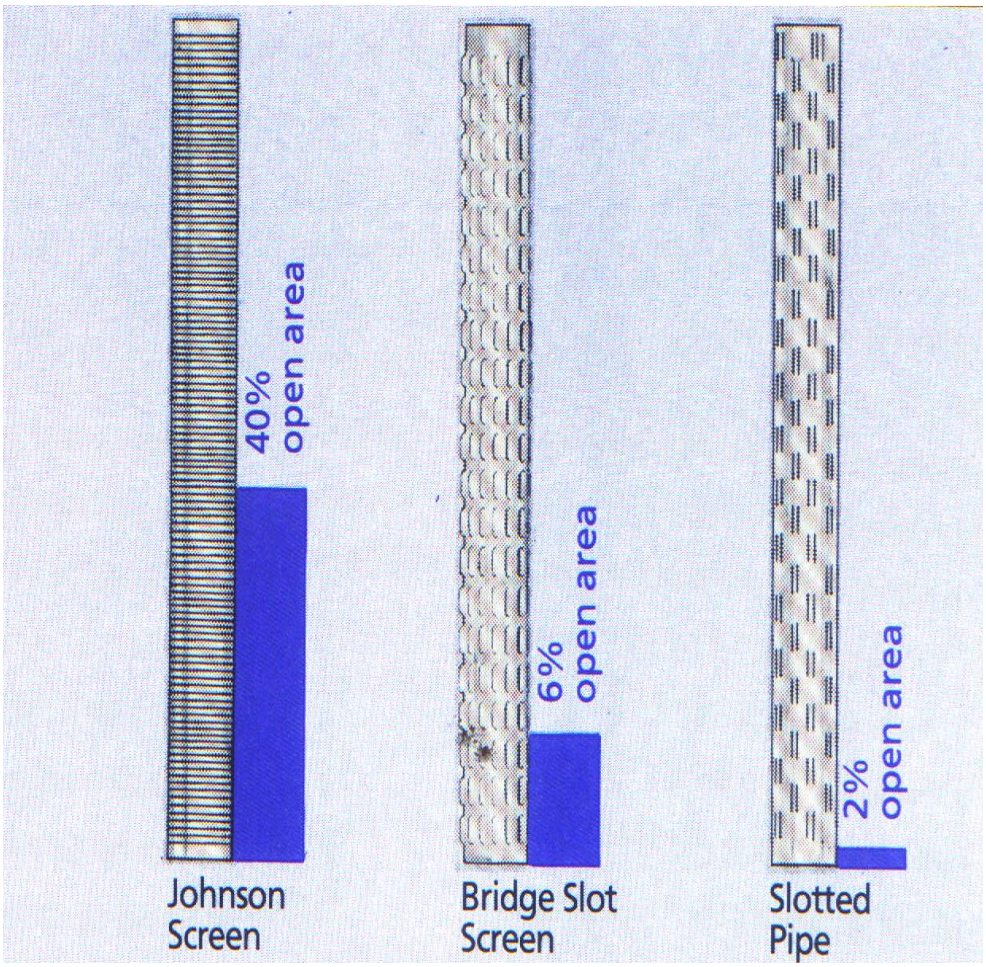
يلاحظ كفاءة شبكة البئر طراز جونسون لأحتوائها علي مسطح فتحات أكبر من الشبك الآخر، وكما هوموضح بالشكل رقم (١١-١٠).

كما أن الشكل رقم (١١-١١) يوضح مكونات البئر العميق وبئر الملاحظة.

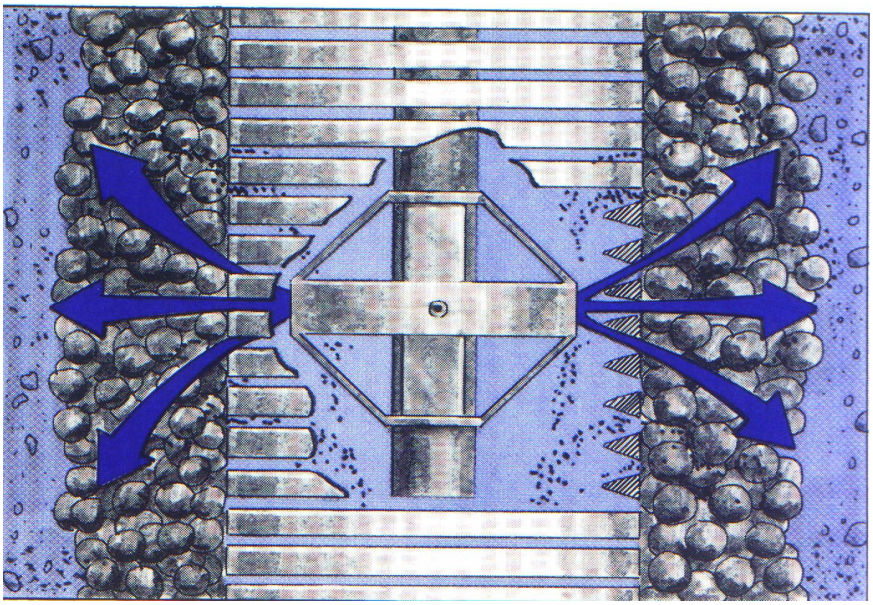
كما يستخدم ماسورة للبئر من مادة بولى فينيل كلوريد pVC فى حالة أحتواء المياه الجوفية على نسبة من الأملاح المعدنية ذائبة فى المياه والتى تتفاعل مع الماسورة الصلب وكما هوموضح بالشكل رقم (١١١-١٢).



شكل رقم (١١-٩) أنواع مختلفة لمصافي الآبار

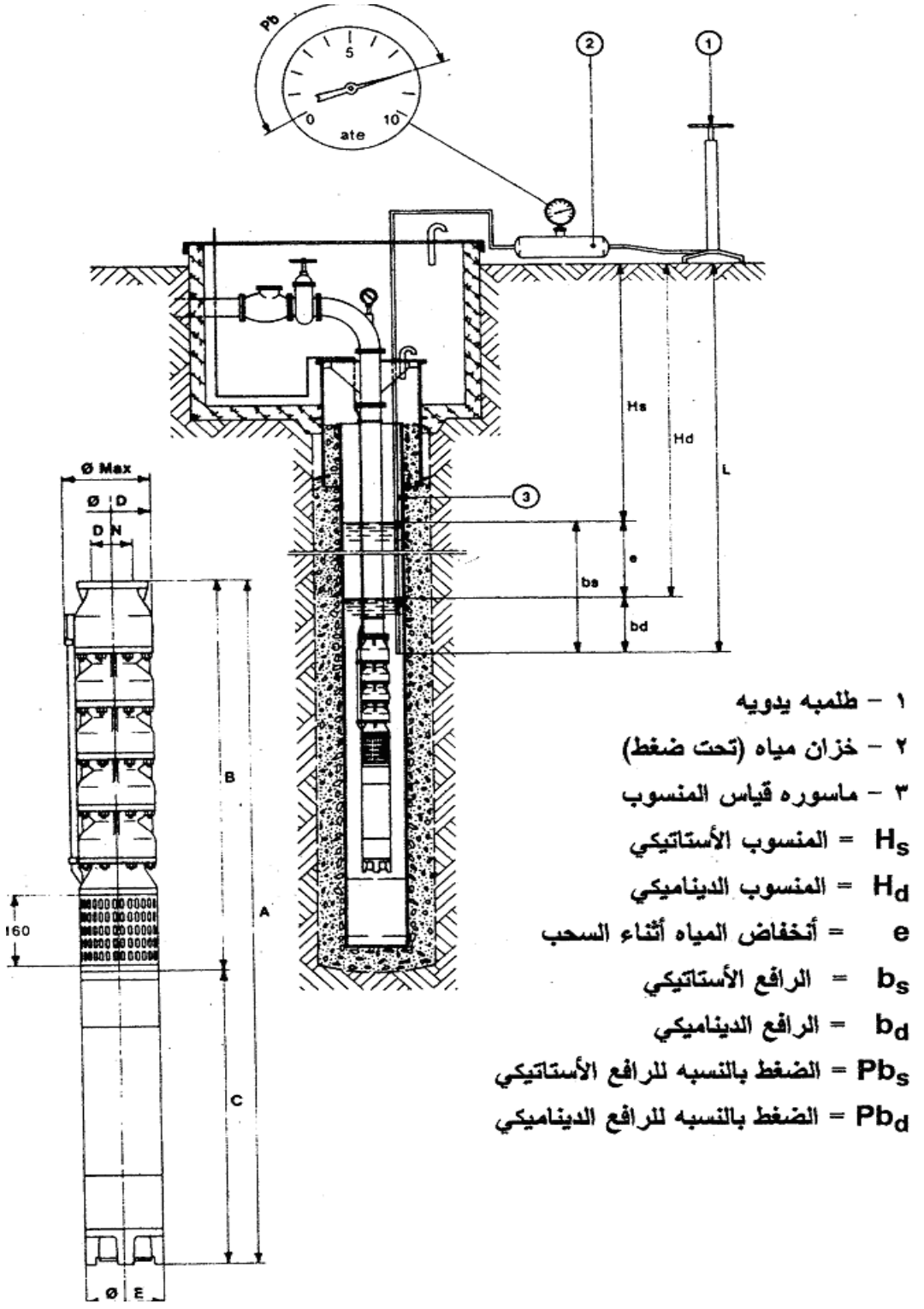


كفاءة المصافى المحيطة بالبئر



شكل رقم (١١-١٠)

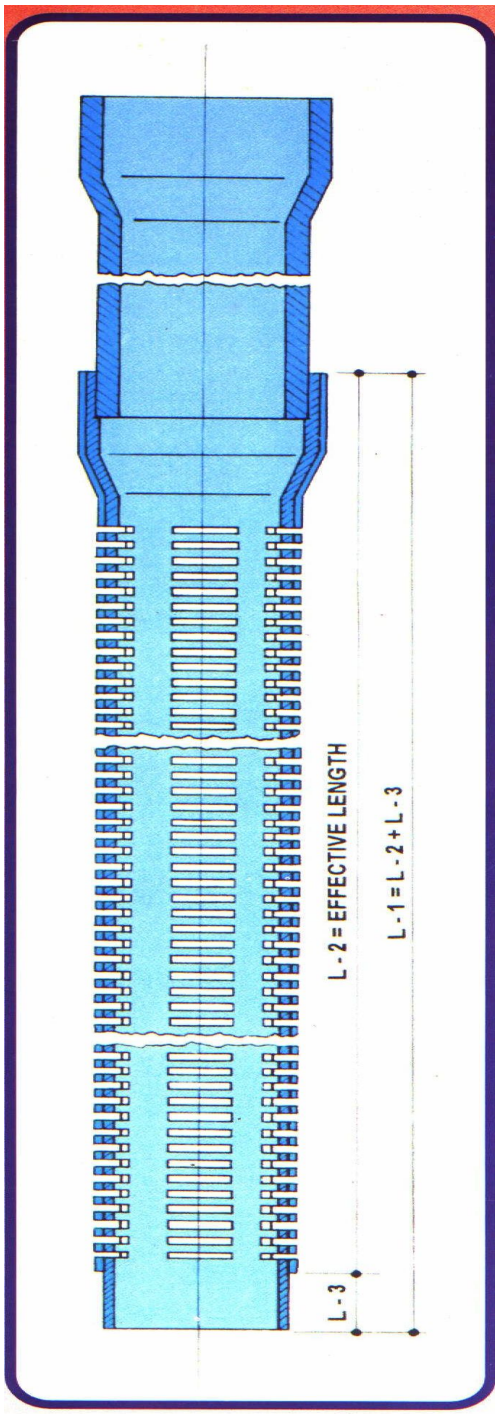
المصافى طراز جونسون – تتميز باتساع المساحة المفتوحة بالآبار العميقة



١ – طلمبه يدويه
٢ – خزان مياه (تحت ضغط)
٣ – ماسوره قياس المنسوب
H_s = المنسوب الأستاتيكي
H_d = المنسوب الديناميكي
e = أنخفاض المياه أثناء السحب
b_s = الرافع الأستاتيكي
b_d = الرافع الديناميكي
Pb_s = الضغط بالنسبه للرافع الأستاتيكي
Pb_d = الضغط بالنسبه للرافع الديناميكي

شكل رقم (١١-١١)

تفاصيل البئر العميق – وبئر الملاحظة



شكل رقم (١١-١٢)

ماسورة البئر - من مادة PVC شديدة الصلابة

ثانيا - الطلمبة :

هي طلمبة غاطسة متعددة المراحل - يتم توصيفها علي التصرف المطلوب في الساعة وكذلك الرفع المانومتري. تتصل هذه الطلمبة بمواسير رأسية مجلفنة تصل

حتي سطح الأرض. تتصل هذه المواسير مع بعضها بواسطة الفلانشات ويركب علي ماسورة الطرد صمام حاجز وعداد قياس التصرف ومصيدة رمال.
ويجب حساب كمية الرواسب الخارجة مع المياه والتي يجب ألا تزيد عن ١٥ جزىء/دقيقة، وأذا زادت يتم رفض البئر وكذلك صمام عدم رجوع وكذلك الخرطوم والذى يصل ماسورة البئر والماسورة المجمعة.

ثالثا – الماسورة المجمعة :

هي ماسورة تأخذ تصرفات كل الآبار وتصرفها الي أقرب مجري مائي. تصمم هذه الماسورة بقطاع مناسب مع أعتبار أن سرعة المياه = ١ متر / ث. يفضل أن تكون من الصلب أومن الألومنيوم سريعة التركيب.

رابعا – المصدر الكهربائي :

يفضل استخدام كهرباء المدينة لتغذية الطلمبات، بجانب مصدر كهرباء يعمل بالديزل يعمل كأحتياطي في حالة انقطاع التيار الأصلي، ويكون ذا قدرة مناسبة لتشغيل الطلمبات. كما يفضل أن يكون متصلا بسكينة لتشغيل النظام فور انقطاع التيار الكهربي.

خامسا – حوض الترسيب :

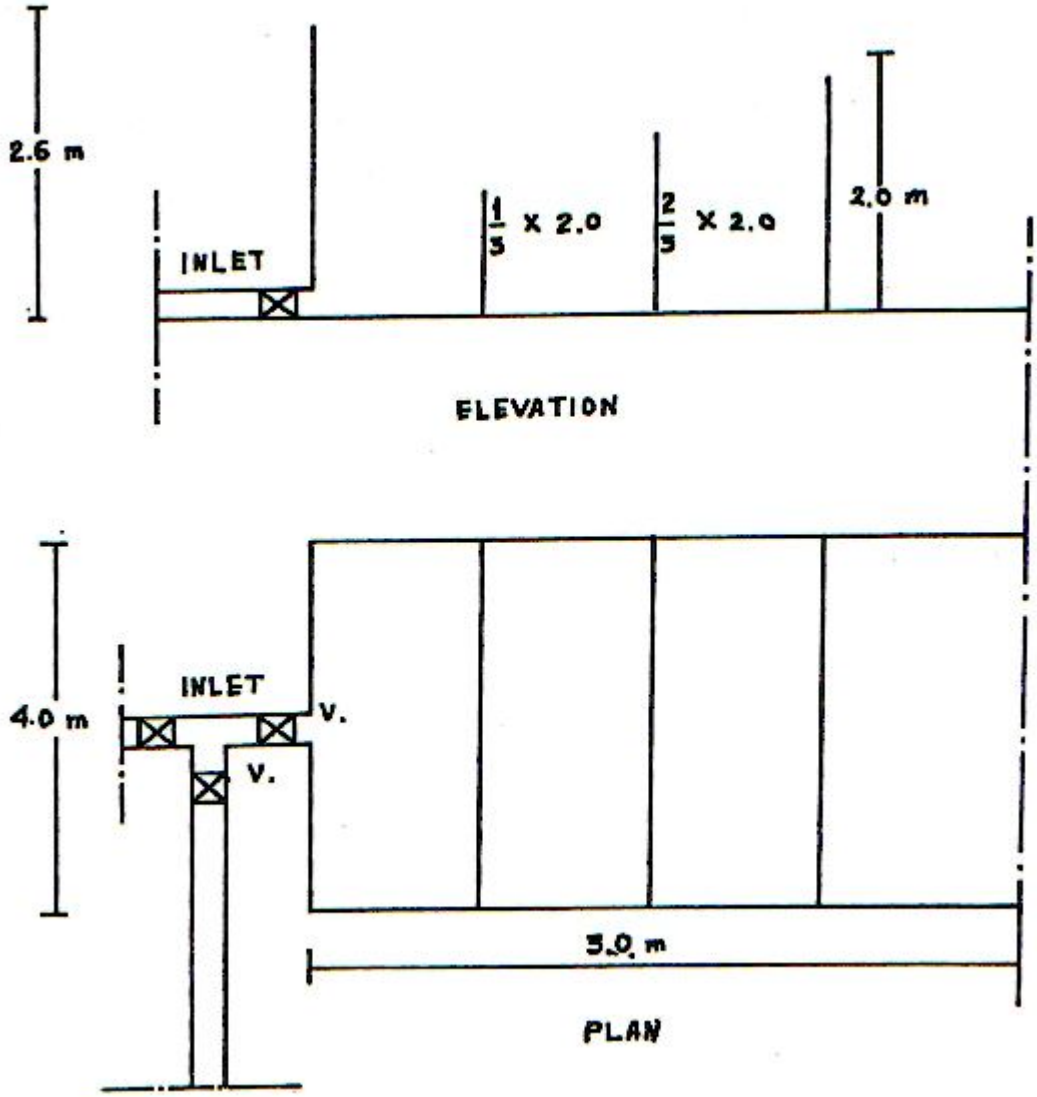
تزود الماسورة المجمعة بحوض ترسيب في نهاية الخط لترسيب جزيئات التربة – يخرج من هذا الحوض خط آخر الي المجري المائي – وكما هوموضح بالشكل رقم (١١-١٣). يصمم الحوض بحيث تكون سرعة المياه لا تتعدي ٧٠ م/س أوأقل حتي يمكن أن تترسب الحبيبات.

١١-١-٣-١ طريقة التنفيذ لنظام الآبار العميقة

يتم تنفيذ نظام الآبار العميقة وذلك لتخفيض منسوب المياه الجوفية العميقة بإتباع الخطوات التالية :

١ – تحدد أماكن الآبار طبقا للتصميمات ثم نبدأ الحفر بواسطة البريمة والقيسون. قطر القيسون يزيد عن قطر البئر بمقدار ١٠ سم. يستمر العمل حتي الوصول الي العمق المطلوب والذي يجب أن يكون الجزء المثقب داخل طبقة الرمل

٢ – تنزيل ماسورة البئر داخل ماسورة القيسون – يفضل تزويد ماسورة البئر بزوائد علي البدن الخارجي Spacers حتي تنزل في منتصف القيسون تماما. كما تلقي كمية من زلط الآبار أسفل الماسورة تقدر بمسافه ٣٠ سم.



شكل رقم (١١-١٣) تفاصيل حوض الترسيب

٣ - يجهز زلط من نوع خاص هو زلط الآبار Pea Gravel, قطر الحبيبات١- ٤مم ويوضع بين ماسورة البئر والقيسون حتي أرتفاع ١ متر فوق الجزء المثـقب.

٤ - ترفع ماسورة القيسون الي الخارج. يضغط هواء داخل البئر عن طريق خرطوم ضاغط الهواء للعمل علي نظافة البئر وفتح مسام الـتربة.

٥ - ننزل الطلمبة متصلا بها المواسير الخاصة بها داخل البئر وتستكمل باقي الـتركيبات حتي الماسورة المجمعة. في أول تشغيل للطلمبة يتم تشغيل الطلمبة فترات بسيطة - ثلاث دقائق - ثم الأيقاف خمس دقائق ثم الـتشغيل ثلاث دقائق أخري وهكذا أربع أوخمس مرات. السبب في ذلك أن مسام الـتربة تكون في حالة أنسداد جزئي، وبمرور المياه خلال المسام عده مرات فأن مياه الرشح تشق لنفسها مسارات الي البئر مما يزيد في معدلات وصول المياه اليه.

١١-١-٣-٢ ملاحظات فنية لطريقة نظام الآبار العميقة

١ – يؤخذ عينة من المياه الخارجة من الماسورة المجمعة ووضعها في كأس شفاف وتركها بعض الوقت. أذا لوحظ وجود ترسيب عالي لحبيبات التربة، فنخشي من سحب هذه الجزيئات مع الماء أسفل المنشآت القريبة والـتسبب في هبوط المنشآت المجاورة مما يلزم أيقاف عملية الـتجفيف. السبب في ذلك يكون خطأ في تنفيذ أي من الآبار بالموقع. ولهذا يتم أختبار المياه الخارجة من كل بئر ثم أكتشاف البئر الموجود به خطأ. ترفع الطلمبة ثم ماسورة البئر منه ثم الكشف عن الشبكة وأصلاح العيب. يعاد دق البئر في مكان مجاور مع التدقيق في وضع الفلتر.

٢ – بعد أنتهاء أعمال التجفيف، يمكن رفع مواسير الآبار بواسطة رافع علي أن يكون أتجاه الرفع رأسيا.

٣ – يركب عداد قياس الـتصرف لقياس تصرف كل طلمبة. فأذا فرض أن تصرف الطلمبة = ١٢٠ م^{٣}/ساعة وأصبح ٦٠ م^{٣}/ساعة – مثلا – دل ذلك علي أنخفاض كفاءة الطلمبة ويجب تغيرها أوصيانتها.

٤ – يفضل دق بئر ملاحظة Pizometer قطر٢" في الموقع لبيان ومتابعة مدي أنخفاض منسوب المياه.

١١-١-٤ تجربة الضخ بالموقع Pumping test

يجب عمل تجربة الضخ بالموقع لغرض تصميم طلمبات سحب المياه الجوفية (تصرفات الطلمبة الواحدة وعددها) ومن ثم الطاقة الكهربية اللازمة للتشغيل ويتم إجراء تجربة الضخ بالموقع طبقا للخطوات التالية:-

١ – ينشأ بئر جوفي علي مسار الخط قطر ١٠" داخل قيسون خارجي = ١٦" بطول ٢١ متر. يكون ١٠ متر من ماسورة البئر من سطح الأرض مصمتة، بينما يكون ١٠ متر أخري مثقبة ثم يكون المتر الأخير مصمت، كما يتم سد البئر من أسفل بواسطة طبة حديد.

٢ – تنشأ آبار ملاحظة أوآبار جوفية (لأستخدامها فيما بعد)، علي بعد ٧ متر، ١٤.٥ متر، كذلك ٢٥ متر علي التوالي من بئر السحب.

٣ – تركب طلمبة غاطسة في بئر السحب كما يتم تركيب عداد لقياس تصرف الطلمبة الخارج في الساعة، كما يتم قراة مقدار التخفيض الحادث في آبار الملاحظة (بعد ثبات المنسوب نهائيا – أي بعد قرابة ساعتين).

٤ – يتم تطبيق المعادلات الآتية لاستخراج معامل النفاذية K.

** في حالة الآبار السطحية (العمق من ١٥– ٣٠متر)، تطبق المعادلة :

$$Q = 2\,\pi\,KD\,(h_2 - h_1) / Lin\,(r_2 / r_1) \qquad (٤-١١)$$

Or

$$Q = 2.72\,KD\,(h_2 - h_1) / \log\,(r_2 / r_1) \qquad (٥-١١)$$

حيث :

K معامل النفاذية (متر/ ساعة).

Q هي تصرف البئر (م٣ / ساعة).

R نصف قطر دائرة التأثير للبئر (متر).

H عمق المياه قبل الضخ (متر).

H-h مقدار هبوط المياه داخل البئر أثناء السحب (متر).

r نصف قطر البئر (متر).

h عمق المياه في البئر (متر).

r_1 و r_2 مسافة البيزومترات من البئر.

h_2،h_1 منسوب المياه في البيزومترات.

وذلك مع فرض الآتي :

** البئر يخترق الطبقة أختراقا كاملا.

** الطبقة تمتد أفقيا الي مسافة لا نهائية.

** الطبقة بسمك ثابت ومتجانسة ومتشابهة الخواص في جميع الأتجاهات.

** مستوي المياه الأرضية أفقي تقريبا.

** الضخ بمعدل ثابت والتصرف من البئر في حالة مستقرة.

ولحساب التصرف من الطبقة الحرة، تستخدم المعادلة المسماه (ديبوي) وهى كما يلى

$$Q = \pi\,KD\,(h_2^{\,2} - h_1^{\,2}) / lin\,(r_2/r_1) \qquad (٦-١١)$$

Or

$$Q = 1.36\ KD\ (h_2^2 - h_1^2) / \log (r_2 / r_1) \qquad (٧-١١)$$

والحالتين السابقتين هما أبسط الأمثلة، ألا أنه توجد بعض الحالات المعقدة لكثرة المتغيرات كتداخل الآبار وعدم التأكد من معامل النفاذية في الحقل والاختراق الجزئي للآبار والحالة الهيدرولوجية ٠٠٠.

$$Q = 2\ \pi\ KD\ (h_2 - h_1)\ G / Lin\ (r_2/r_1) \qquad (٨-١١)$$

Or

$$Q = 2.72\ KD\ G\ (h_2 - h_1) \log (r_2 / r_1) \qquad (٩-١١)$$

حيث G هومعامل التصحيح للأختراق الجزئي والذي يساوي النسبة بين تصرف بئر ذي أختراق جزئي وتصرف بئر ذي أختراق كامل تحت نفس فرق منسوب المياه في البيزومترات وعند نفس مسافات البيزومترات من البئر.

ويمكن حساب G بدقة أبتدائيه مقبولة لحين أختبار الضخ من المعادلة :

$$C = W/D\ (1 + 7\ r_w / 2w \cos \pi\ W / 2D) \qquad (١٠-١١)$$

حيث W هوعمق الأختراق.

D عمق الطبقة المحصورة.

r_w نصف قطر البئر.

ويعتمد أختيار المعادلات المستخدمة في حساب نزح المياه الجوفية علي الظروف الهيدرولوجية للمنطقة. وتطبق معادلات المياه الجوفية لحالات المياه الجوفية في الطبقات الحرة أوالمحصورة أوشبه المحصورة أوالتسربية مع حساب الأختراق الجزئي وكذلك الأخذ في الأعتبار أقتصاديات المشروع.

تطبيقات هندسية :

مطلوب عمل تجربة ضخ بأحد المواقع لاستخراج معامل النفاذية للتربة K، علما بأن سمك الطبقة المياه المراد خفضها = ٦.٧٥ مترا، ويضاف ٠.٥ متر مسافة أمان ليكون الأجمالي ٧.٢٥ متر.

الـــحـــــل :

١ – يتم عمل بئر للسحب وكذلك البيزومترات كما ذكر في بند رقم ١. كما يتم إنشاء البيزومترات كما ذكر في بند رقم ٢

٢ – تركب طلمبة غاطسة داخل بئر السحب ومزودة بعداد لقياس التصرف Flow Meter ، كما هو مبين بالشكل رقم (١١-١٤).

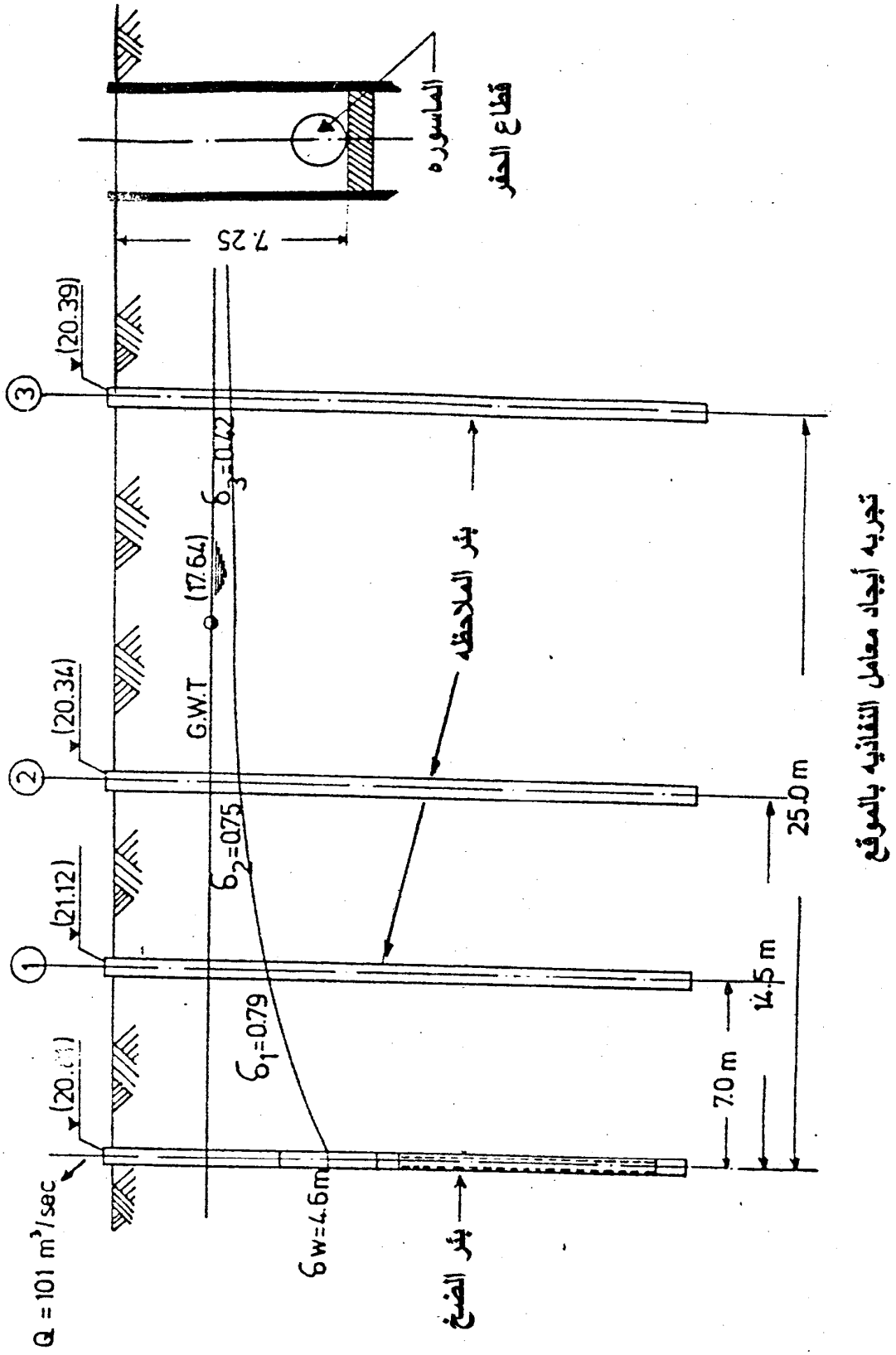
أما قراءات تجربة الضخ بالموقع فهى موضحة بالجدول رقم (١١-٢).

جدول رقم (١١-٢) قراءات تجربة الضخ

الزمن	قراءة عداد الطلمبة	المدة (دقائق)	بئر السحب (الهبوط)	بئر الرصد رقم (١)	بئر الرصد رقم (٢)	بئر الرصد رقم (٣)	التصرف م٢ / ساعة
٧.٣٠	٧٩٩٣	–	–	–	–	–	
–	–	١٠	–	٠.٦٩	٠.٤٤	٠.٣٦	–
–	٨٠٢٠	١٥	–	٠.٧١	٠.٤٧	٠.٣٤	١٠٨
–	٨٠٤٥.٣	٣٠	–	٠.٧٢	٠.٤٨	٠.٣٥	١٠٤.٦
–	٨٠٩٦	٦٠	٤.٦	٠.٧٦	٠.٥٦	٠.٣٩	١٠٣
١.٠	٨١٤٦.٥	٩٠	–	٠.٧٥	٠.٥٥	٠.٤٢	١٠٢.٣
–	٨١٩٧.٥	١٢٠	–	٠.٧٦	٠.٥٥	٠.٤٢	١٠٢.٢٥
٢.٠	٨٢٤٨	١٥٠	–	٠.٧٦	٠.٥٥	٠.٤٣	١٠٢
–	٨٢٩٨	١٨٠	٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٨	٠.٤٣	١٠١.٧
٣.٠	٨٣٤٨.٦	٢١٠	–	٠.٧٩	٠.٥٨	٠.٤٢	١٠١.٦
–	٨٣٩٩	٢٤٠	–	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠١.٥
٤	٨٤٤٩	٢٧٠	–	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠١.٣
٤.٣٠	٨٥٠٠	٣٠٠	٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠١.٤
المتوسط			٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠٢

وقد تم الحصول في نهاية التجربة علي النتائج التالية :

مسافة بئر الرصد من بئر السحب (متر)	٧	١٤.٥	٢٥
مقدار خفض منسوب المياه (متر)	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢



شكل رقم (١١-١٤) منحني الهبوط أثناء تجربة الضخ

بتطبيق المعادلة الخاصة بالآبار السطحية (بين النقطة (٢) والنقطة (٣) لإستنتاج K وبالرجوع الي شكل رقم (١١-١٦) ، والتطبيق في المعادلة رقم (١١-١١) يمكن إستنتاج معامل النفاذية (K).

$$Q = 1.36\ K(H_2 - h_2) / \text{Log}_{10}\ (R / r) \quad (١١-١١)$$

$$85.6 = 1.36K\ \{ (18.4 - 0.57)^2 - (18.4 - 0.79)^2 \} / \text{Log}\ (14.5 / 7)$$

$$k = 2.64 m / h$$

بتطبيق المعادلة رقم (١١-١١) لإستنتاج قيمة R (نصف قطر دائره التأثير) :

$$85.6 = 1.36K\ \{ (18.11 - 0.57)^2 - (18.4 - 0.79)^2 \} / \text{Log}_{10}\ (R / 7) \quad (١٢-١١)$$

$$R = 100.723\ m$$

بفرض أن طول الجزء المراد تجفيفه D = وأن سمك الطبقة الحاملة للمياه= T

بتطبيق المعادلة:

$$Q_T = 2.72\ K.D.T\ (H - h) / \text{Log}_{10}\ R / r \quad (١٣-١١)$$

يكون التصرف الكلي:

$$Q_T = 1390\ m^3/h \quad (١٤-١١)$$

بأخذ معامل أمان = ٣٥% يكون التصرف الكلي للجزء المطلوب تجفيفة :

$$1.35 = 1876.5\ m^3 / h \times \qquad Q_T = 1390 \quad (١٥-١١)$$

بفرض أن تصرف الطلمبة = ١٢٠م^3 / ساعة .

يكون عدد الطلمبات المطلوبة = ١٨٧٦.٥ ÷ ١٢٠ = ١٦ طلمبة.

يضاف الي العدد السابق طلمبة قبل بداية الفرعة وطلمبة بعد نهاية الفرعة، يكون عدد الطلمبات المطلوبة لهذا العمل = ١٨ طلمبة.

تكون مواصفات الطلمبة كما يلي:

تصرف الطلمبة = ١٢٠ م^3 / ساعة.

الرافع المانومتري = ٢٥ متر.

ويمكن حساب مقدار إنخفاض المياه داخل بئر ما عند النقطة (أ), وتأثير ذلك على الآبار العميقة الأخري المجاورة من الجدول رقم (١١-٣):

جدول رقم (١١-٣)

مقدار تخفيض المياه في النقطة (أ) بمعلومية K وبتطبيق المعادلات :

رقم البئر	المسافة من النقطة (أ) (متر)	مقدار الأنخفاض في منسوب مياه الرشح (متر)
١	٤	١.١٩
٢	٤	١.١٩
٣	١٠.٧	٠.٨٥٦
٤	١٧.٦	٠.٦٨٦
٥	٢٤.١	٠.٥٧٩
٦	٣١	٠.٤٩٣
٧	٣٨	٠.٤٢٤
٨	٤٥	٠.٣٦٧
٩	٥٢	٠.٣١٧
١٠	٥٩	٠.٢٧٤
٧	٦٦	٠.٢٣٦
١٢	٧٣	٠.٢٠٢
١٣	٨٠	٠.١٧١
١٤	٨٧	٠.١٤٢
١٥	٩٤	٠.٧٦
١٦	١٠١	٠.٠٩١
١٧	١٠٨	٠.٠٦٨
١٨	٧٥	٠.٠٤٧
١٩	١٢٢	٠.٠٢٧
المجموع		٧.٤٨ مترا

التخفيض المتوقع = ٧.٤٨ متر، (أكبر من ٧.٢٥ متر).

مقدار تخفيض المياه في النقطة (ب): كما موضح فى الجدول رقم (١١-٤)

جدول رقم (١١-٤)

مقدار تخفيض المياه فى النقطة (ب)

رقم البئر	المسافة من نقطة (أ) (متر)	مقدار الإنخفاض في منسوب مياه الرشح (متر)
١	٦٣	٠.٢٥٢
٢	٥٦	٠.٢٩٣
٣	٤٩	٠.٣٣٧
٤	٤٢	٠.٣٩٠
٥	٣٥	٠.٤٥٢
٦	٢٨	٠.٥٢٨
٧	٢١.١	٠.٦٢٤
٨	١٤.١	٠.٧٦٢
٩	٧.٢٨	٠.٩٨٧
١٠	٢	١.٤٢٧
٧	٧.٢٨	٠.٩٨٧
١٢	١٤.١	٠.٧٦٢
١٣	٢١.١	٠.٦٢٤
١٤	٢٨	٠.٨٢٨
١٥	٣٥	٠.٤٥٢
١٦	٤٢	٠.٣٩
١٧	٤٩	٠.٣٣٧
١٨	٥٦	٠.٢٩٢
١٩	٦٣	٠.٢٥٢
المجموع		١٠.٦٧٥

التخفيض المتوقع = ١٠.٦٧٥ متر، (أكبر من ٧.٢٥ متر)

ومن واقع الخبرة العملية فى مجال الهندسة الصحية, يوضح الجدول رقم (١١-٥) القيمة التقريبية لمعامل النفاذية بالنسبة للأنواع المختلفة من التربة.

جدول رقم (١١-٥)
معامل النفاذية لأنواع التربة المختلفة

م	نوعية التربة	معامل النفاذية (K) متر / يوم
١	تربة طينية سطحية	٠.٠١ - ٠.٢
٢	تربة طينية عميقة	$١٠^{-٨}$ - $١٠^{-٢}$
٣	تربة طفلية سطحية	٠.١ - ١
٤	تربة رملية ناعمة	١ - ٥
٥	تربة من الرمل المتوسط	٥ - ٢٠
٦	تربة من الرمل الخشن	٢٠ - ١٠٠
٧	تربة زلطية	٥ - ١٠٠
٨	تربة طينية رملية زلطية	٠.٠٠١ - ٠.١
٩	تربة من الحجر الرملي	٠.٠٠١ - ١
١٠	تربة من الصخور الكربونية	٠.٠١ - ١
١١	تربة من الصخور الصلصالية	$١٠^{-٧}$
١٢	تربة صخرية كثيفة	أقل من $١٠^{-٥}$
١٣	تربة صخرية غير كثيفة	٠.٠٠١ - ٣٠٠
١٤	تربة من الصخور البركانية	صفر - ١٠٠٠

١١-١-٥ آبار الشحن المستقبلة للمياه Recharge Wells:

تنشأ هذه الآبار للأغراض التالية :

١ – ضبط مناسيب المياه الأرضية، ففي حالة وجود أي عملية لنزح المياه الجوفية بالمنطقة والتي يترتب عليها أنخفاض منسوب المياه الجوفية بالمنطقة مما يحدث هبوطا في مناسيب مياه الرشح أسفل أساسات المباني مما يسبب هبوطا للمبني. وأنشاء هذا البئر ودفق المياه داخله لتعويض أي فارق في مناسيب مياه الرشح وملاشاة أية أضرار قد تحدث للمباني.

٢ – حالة الأضطرار لنزح المياه الجوفية من أي مشروع وعدم وجود مجري مائي أومطبق مجاري للصرف عليه، ولكن يتم ذلك يتم بعد دراسة جيوتكنيكية للموقع.

يصمم هذا البئر بنفس الطريقة التي يصمم بها البئر العميق – كما هوموضح بالشكل رقم (١١–١٥). مع ضرورة وضع مواد غير منفذة لسد مخارج المياه مثل الخرسانة أومواد حقن ليمكن للبئر أستيعاب كمية أكبر من المياه.

كما يختلف أيضا عن البئر العميق في أن فتحات المصافي أكبر لتسهيل خروج أكبر للمياه.

قد يتم دفق المياه مباشرة من الماسورة المجمعة الي البئر ولكن يفضل عمل حوض ترسيب قبل دخول المياه الي البئر للتخلص من أية حبيبات أوعوالق قد تحتويها المياه تتسبب في غلق مسام التربة حول البئر، كما هوموضح بالشكل رقم(١١–١٦).

١١–١–٥–١ ملاحظات فنية لطريقة آبار الشحن الجوفى :

١ – يفضل ضخ بعض المياه من البئر كل فترة لفتح مسام التربة وأستعادة كفاءة البئر.

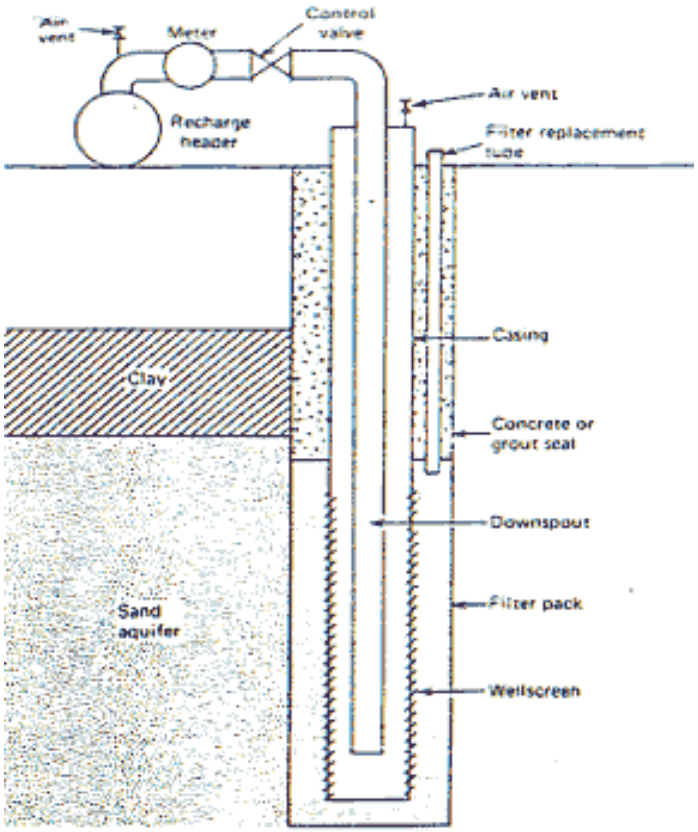
٢ – يمكن أن تكون طبقات الرمل حول البئر هي نفسها الفلتر المحيط بالبئر.

٣ – أن تكون المياه خالية من الميكروبات والجراثيم حتي لا تلوث المياه الجوفية.

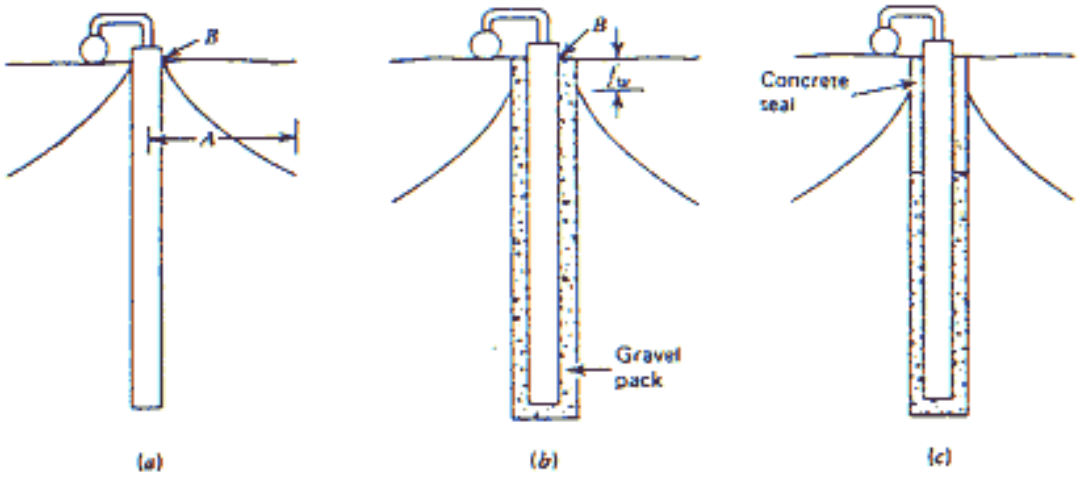
٤ – يجب أخذ موافقات الجهات المعنية قبل دفق المياه الي البئر.

٥ – يراعي تزويد البئر بصمام هواء قبل خزان الترسيب. هذا الخزان مصمم لكسر وتهدئة سرعة المياه لتذهب هادئة بسرعة ٣٠ سم/ث وترسب أية حبيبات قد تكون علقت بالمياه.

٦ – يجب مراقبة مناسيب المياه بالمنطقة بعدد من البيزومترات حول البئر المستقبل للمياه.

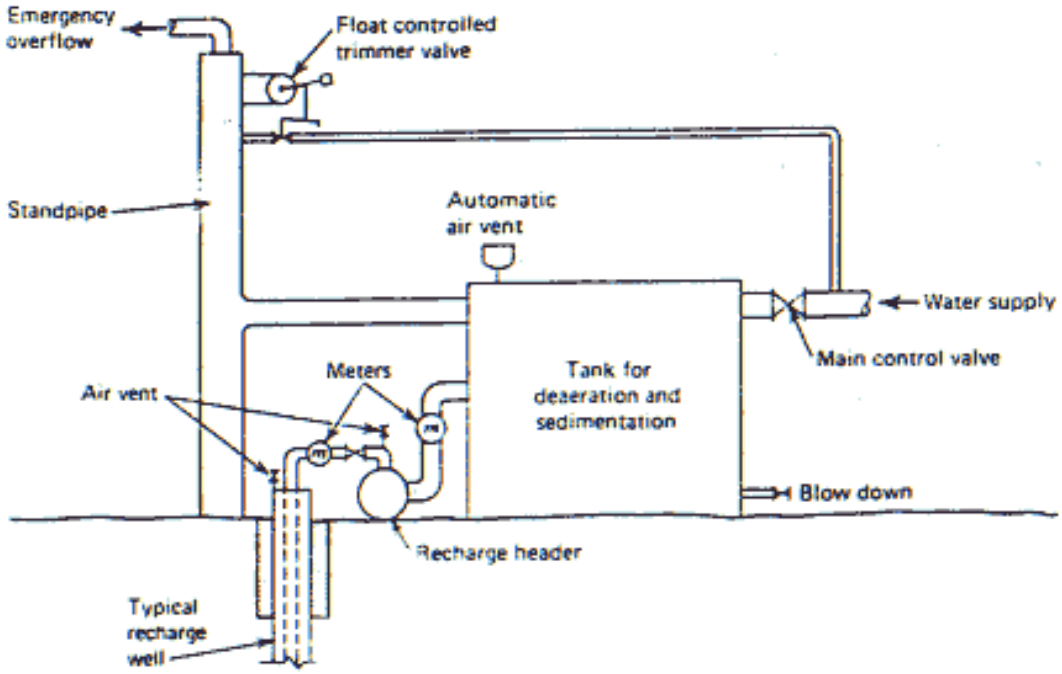


تفاصيل البئر الشاحن للمياه



A بئر بدون أحتكاك B بئر عادي C بئر بسدادة خرسانية

شكل رقم (١١-١٥) أنواع الآبار الشاحنة للمياه



شكل رقم (١١-١٦)

خزان الترسيب لحجز الرواسب قبل الدخول لبئر الشحن (المستقبل) للمياه

١١-٢ الطرق الخاصة للتحكم فى المياه الجوفية :

سنعرض في هذا الفصل الطرق الخاصة للتحكم فى المياه الجوفية، وتتلخص هذه الطرق في :

١ – حقن التربة Soil Grouting.

٢ – تبريد التربة Ground Freezing.

٣ – نزح المياه بطريقة النزح الأسموزي الكهربي Electro Osmosis.

١١-٢-١ : حقن التربة :

الغرض من عملية حقن التربة مايلى :

١ – تحسين الخواص الميكانيكية للتربة.

٢ – تقوية التربة.

٣ – تحسين خواص تقليل نفاذية الماء.

٤ – تثبيت الرمال المتحركة بملء الفراغات بالكيماويات. يفيد هذ الأمر في تنفيذ الأ نفاق.

٥ – ملء الفراغات خارج الأ نفاق.

٦ – ملء وحقن فراغات الخرسانة.

١١-٢-١-١ العوامل المؤثرة علي عملية حقن التربة

والعوامل المؤثرة علي عملية حقن التربة هى ما يلى:

١- أختلا ف نفاذية طبقات الـــتربة :

حيث تـــتخلل مواد الحقن في المسار الأسهل لها وسط حبيبات الـــتربة، فـــيمكن أن تمتلء طبقة ذات نفاذية عالية دون طبقة أخري ذات نفاذية ضعيفة.

٢ – حركة المياه Moving Water :

تقوم المياه المتحركة بحمل حبيبات مواد الحقن بعيدا عن مكان الحقن بالأضافة الي تخفيف تركيزها، الأمر الذي يتسبب في ضعفها.

٣ – الشقوق داخل طبقات التربة Soil Splitting :

وفيها تقوم مواد الحقن بملء شقوق والفتحات في الأرض أوالصخر خاصـــة عنـــد الحقن عند ضغط كبير وعلي عمق بسيط. ويحدث ذلك أيضا أذا كان ضغط الحقـــن أكبر من أجهاد الـــــتربة. يتسبب هذا الأمر في أهدار بعض مواد الحقن.

١١-٢-١-٢ أنواع حقن التربة :

يتم حقن التربة بغرض التحكم فى المياه الجوفية بالطريقة التالية :

١ – الحقن بالأسمنت Cement Grout :

وهومن أوائل المواد المستخدمة في أعمال الحقن. كما يستخدم الأسمنت مضافا اليه البنتونايت لأعطاء المحلول مزيدا من اللزوجه والشحومية بالأضافة الي تأخير زمن الشك. تضاف بعض الكيماويات الأخري للتحكم في زمن الشك وزمن الوصول الـــي القوة النهائية كما يضاف الرمل كمادة مالئة، وهومناسب لمـــلء شـــقوق الـــصخور ومسام طبقات التربة الرملية والزلطية.

٢ – البنتونايت + الأسمنت Bentonite Cement :

للحصول علي مواد حقن رخيصة يمكن حقنها في الطين الناعم والطين المتماســـك ولا يستخدم للطبقات الرملية.

٣ – الحقن بالمواد الكيميائية Chemical Grouts :

أشهر هذه المواد هي سيليكات الصوديوم ثم يليها مادة كلوريد الكالسيوم ليكونا مادة جيلا تينية داخل مسام الـــتربة. يمكن أن تضاف بعض المواد للـــتحكم فـــي فتـــره الشك النهائي للمادة والجدول رقم (١١-٦) يوضح فكرة مبسطة لمواد وطرق الحقن وكذلك مجال التنفيذ ومجال التطبيق :

جدول (١١-٦) طرق تنفيذ حقن التربة

طريقة الحقن PROCESS	مواد الحقن Materials – Mixture -Admixtures	طريقة التنفيذ Procedure	مجال التطبيق Applicability
الحقن بالأسمنت	تكون نسبة المياه : الأسمنت من ١:١ الي ٤ : ١. يخلط البنتونايت والسيليكا مع الخليط لتقليل النضح والأنفصال الحبيبي. كذلك تضاف مادة Lingo Sulphonate لتسهيل عملية الحقن.	تحقن تحت ضغط منخفض لعمل قميص من الحقن أوتحت ضغط عالي لعمل ستارة عميقة من الحقن. نسبة م / س ونوع الأسمنت والأضافات تحدد بالموقع لتلائم الظروف.	يستخدم لحقن طبقات الرمل المدموك ذوقطر حبيبات D10 = ١.٢ مم أوالرمل السائب ذوقطر حبيبات D10 = ٠.٨ مم أوالرمل الحرش ذوقطر حبيبات D10 أقل من ١ مم. لا يستخدم لحقن الفراغات الكبيرة مع وجود مياه جارية.
مستحلب البيتومين	حبيبات البيتومين بقطر من ٠.٠٠١ الي ٠.٠٠٥ مم تنتشر بالماء، يضاف حامض الفورميك لأحداث الترويب.	تتأثر عملية الترويب Coagulation بالكيماويات الموجودة بالتربة أوالمياه الأرضية. ينصح بالعناية والحرص أثناء العمل.	يستخدم لخفض نفاذية طبقات الرمل ذات حبيبات D10 أقل من ٠.١ مم.
الحقن بسيليكات الصوديوم – مرحلة واحدة	سيليكات الصوديوم + مادة لأحداث التصلب مثل ألومينات الصوديوم المذابة في الماء	يتم عمل خليط من سيليكات الصوديم والمادة المحدثة للتصلب للحصول علي زمن مناسب للتصلب من بضع دقائق الي عدة ساعات. يتم الحقن حلال مواسير الحقن.	يستخدم لخفض نفاذية طبقات الرمل ذات قطر حبيباتD10 أقل من ٠.٨ مم.
الحقن بسيليكات الصوديوم – علي مرحلتين	خليط من سيليكات الصوديوم وكلوريد الكالسيوم.	حقن السائلين علي التوالي، يتم التفاعل بينهما علي الفور وتترسب سليكات الكالسيوم داخل الفراغات.	يستخدم لحقن الطبقات الرملية ذات قطر حبيباتD10 أقل من ٠.٨ مم لتقليل نفاذيتها.
أكريل أمايد	٥ – ١٠ % مذاب في الماء مع مادة مساعدة للتحكم في تكوين الجيلاتين مثل بيرسلفات الأمونيوم أوثيوسلفات الصوديوم.	الحقن خلال ماسورة مثقبة Perforated Injection Point. زمن التصلب يتراوح بين دقيقة لي ساعة.	يستخدم لحقن طبقات الرمل والسيلت، قطر الحبيبات D10 أقل من ٠.٠١٣ مم. يمكن أن يستخدم مع وجود مياه جارية.

تابع جدول (١١-٦) طرق تنفيذ حقن التربة

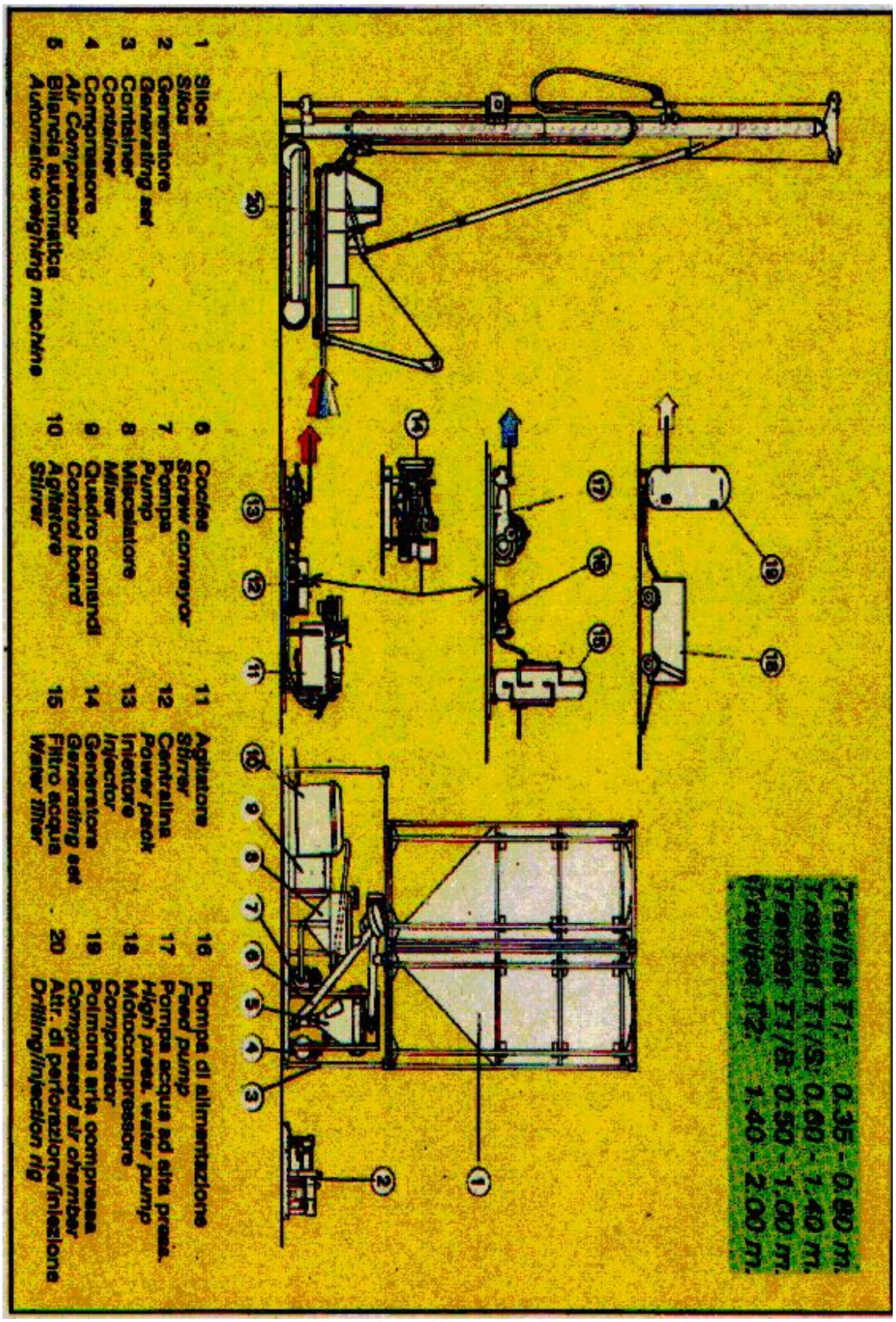
طريقة الحقن PROCESS	مواد الحقن Materials – Mixture - Admixtures	طريقة التنفيذ Procedure	مجال التطبيق Applicability
لجنين الكروم Chrome Lignin (مواد عضوية)	خليط من Ligno Sulphate وملح Hexa Valent Chromium مع مركبات أخري.	تحقن لتربة مع زمن شك يتراوح من دقيقة الي عدة ساعات وذلك بالتحكم في نسبة المياه. تتناسب مقاومة الحقن عكسيا مع كمية المياه.	يستخدم لخفض نفاذية طبقلت الرمل التي تكون قطر حبيباتها D10 أقل من ٠.٠٨ مم.
الحقن بارمل والأسمنت.	تتراوح نسبة الرمل : الأسمنت من ٢ : ١ الي ١٠ : ١. يمكن أضافة البنتونايت أوالرماد المتطاير لتقليل الأنفصال الحبيبي وتحسين قابلية الضخ. تكون نسبة المياه : الأسمنت ٢ : ١ الي ٥ : ١ بالحجم.	كمية المياه المطلوبة لتحسين قابلية الضخ Pump ability تتغير مع تغير نسبة الرمل : الأسمنت. يكون حجم المياه + الأسمنت : حجم لرمال = ١ : ٣.	يستخدم لحقن الفجوات الكبيرة أسفل الأساسات وكذلك الفجوات في طبقات الصخور وحول الأنفاق، أضافة لحقن الطبقة الزلطية التي يكون قطر حبيباتها حوالي ٢٠ مم. تتغير قوة الحقن بنسبة وجود المياه وتتراوح من ١٠٠ : ٧٠٠ باوند / البوصة المربعة.
الحقن بمادة الطمي والأسمنت.	نسبة الطمي : الأسمنت = ٣ : ١ حتي ٨ : ١، ونسبة المياه : الطمي = ٠.٧٥ : ١ حتي ٢ : ١ بالحجم. نسبة المياه : الأسمنت = ٣ : ١ الي ١٠ : ١ بالحجم.	تأخر زمن الشك, يمكن أستمرار عملية الحقن بشكل متقطع أومتواصل. يتم هز الطمي للتخلص من الحبيبا الكبيرة.	حقن الطبقات الرملية ذات الفراغات الكبيرة نسبيا. تعتمد قوة الحقن علي نسبة المياه : الأسمنت.
الحقن بخليط البنتونايت والطمي.	الطمي مع مادة مروبة مثل سلفات الألومنيوم لجعل مواد الحقن معلق بعد عملية الحقن. نسبة المياه : الطمي تعتمد علي كفاءة الضخ.	يضغط الخليط بمواسير الحقن. يجب تحديد نسبة الخلط التي يمكن ضخها بسهولة. وفي بعض الظروف الخاصة, يتم حقن خليط من السيلت لطبقات الطفلة ذات الفجوات والنفاذية العالية أوالشروخ	يستخدم لحقن التربة الرملية والتي يتراوح قطر حبيباتها من ٠.٢ الي ١ مم، تنخفض نفاذية طبقات الأرض. يمكن زوال مواد الحقن بفعل تحرك المياه الجوفية.

كما أن جدول رقم (١١-٧) يحدد أنواع وإستخدامات مواد حقن التربة والموضحة بالشكل رقم (١١-١٧)

جدول رقم (١١-٧)

أنواع وإستخدامات مواد حقن التربة

نوع مادة الحقن	أسمنت	أسمنت + بنتونايت	بنتونايت	كيماويات		مواد حقن مهواه	
				راتنج عضوي	سليكات الصوديوم		
					متماسكة	سائلة	عضوية	أسمنت
الحالة State	غير متماسك	متماسك	معلق Suspension	سوائل Liquids			مستحلبات مهواه Aerated emulsions	
مدي الأستخدام Range of use	صخور مفتته	معامل النفاذية (رمل - زلط) (K) أكبر من					فجوات	مياه متدفقة
		٥×١٠$^{-٤}$	١٠$^{-٤}$	١٠$^{-٥}$	١٠$^{-٤}$	١٠$^{-٦}$		
التحكم في الحقن	ضغط الحقن حتي الممانعة	كميات محسوبة Calculated quantities					ملء الفجوات Cavity filling	
التكلفه النسبية لملء ١ م٣ من فراغات التربة	٤	١	١	٢- ٤	٦	١٠- ٥٠٠	١	١٠



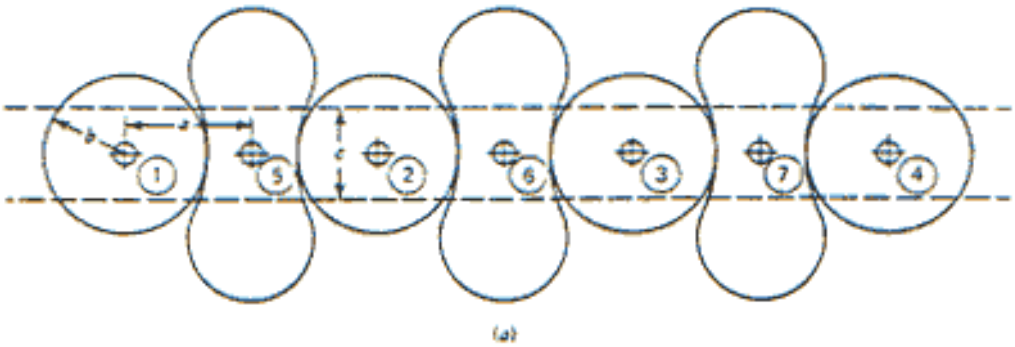
شكل (١١-١٧)

آلة الثقب وحقن التربة

١١-٢-١-٣ طرق الحقن للتربة :

الطريقة الأولي لحقن التربة :.

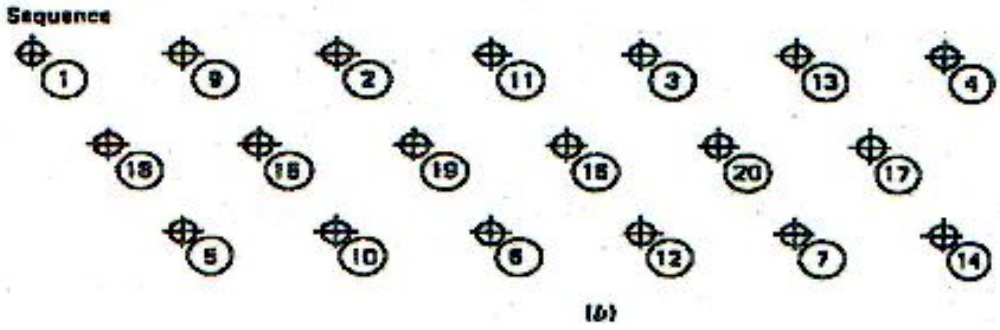
حقن الستارة بصف واحد من ثقوب الحقن. يحقن الثقب رقم (١) ثم الثقب رقم (٢) ثم الثقب رقم (٣) ثم الثقب رقم (٤). نجد أن مجال الحقن لكل ثقب هوأسطوانة رأسية نصف قطرها (b)، ثم يتم حقن الثقب رقم(٥) ثم رقم (٦) ثم رقم (٧). نستكمل حقن الستارة علي أن يتم تحديد كمية مواد الحقن في كل ثقب أوحتي لا يقبل الثقب أي حقن آخر وبشرط عدم شق طبقات التربة. نحصل علي ستارة بسمك (c) والذي يجب أن يكون أقل من المسافة (a) - شكل رقم (١١-١٨).



شكل رقم (١١-١٨) الطريقة الأولي لحقن التربة

الطريقة الثانية للحقن :

وهي عبارة عن عمل ٣ صفوف متوازية - يتم حقن الصفين الخارجين أولا - يكون قطر الحقن (b) كما هوواضح من الترقيم. يتم حقن الصف الأوسط حتي رفض مزيدا من الحقن Refusal أوأذا تم تحديد كمية الحقن المطلوبة مسبقا، كما هو موضح بالشكل رقم (١١-١٩).



شكل رقم (١١-١٩) الطريقة الثانية لحقن التربة

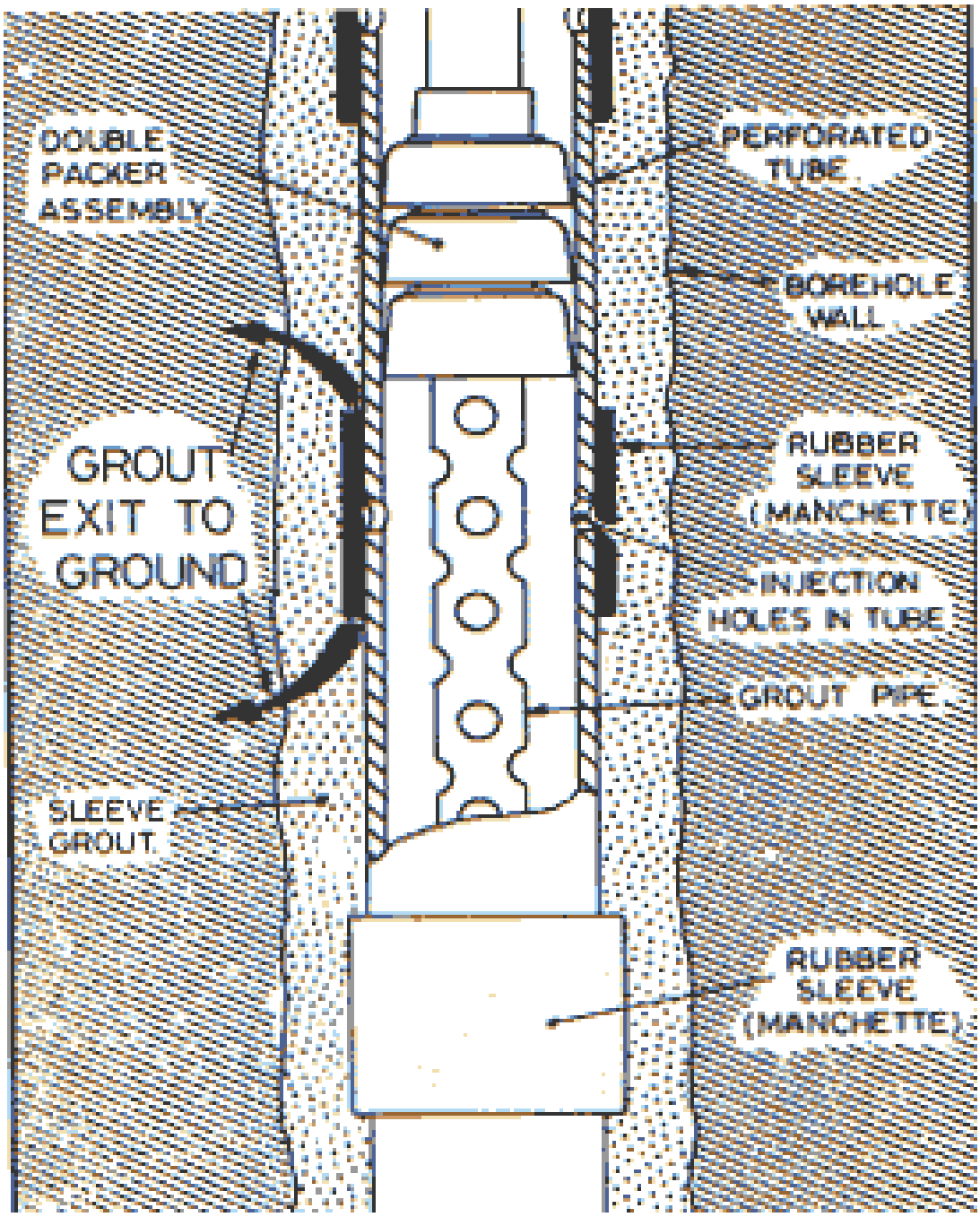
الطريقة الثالثة : حقن التربة علي مرحلـــتين Multistage Grouting :

وفيه يتم حقن طبقة الزلط أولا ثم نظافه الفتحة. بعد تمام شك مواد الحقــن، يمكــن حقن باقي الطبقات. وفي بعض الأحوال يمكن أستخدام مواد حقن مختــلفه لكل طبقة مثل حقن الأسمنت والبنتونايت في طبقه الزلط ثم حقن الكيماويات لطبقــة الرمــل. ويمكن عمل حقن من خلال الــثقب الرأسي، حيث يتم الحفــر حتــي المنطقــة ذات الفراغات الكبيرة – الزلط أوالأحجار – ثم أجراء الحقن لهذه الطبقة. ثــم نــستكمل الحفر في الــثقب الرأسي الي نهاية الطبقة الــــثانية وهكـــــــــذا.

وتجدر الأشارة الي أن عمل الــثــقب الرأسي يتم بواسطة دفع المياه Water Jet, وتعتبر هذه الطريقة أرخص قليلا من حفر الــثــقب بالحفارة الميكانيكيــة. ويمكــن عمل الحفر بطريقة أخري حيث يتم حفر الــثــقب بكامل الأرتفاع ثم عمــل الحقــن اللازم لأوطي طبقة. تسحب ماسورة الحقن الي أعلي حتي الطبقة الــتالية ليتم حقنها كذلك وهكذا. تعتبر هذه الطريقة أرخص من السابقة.

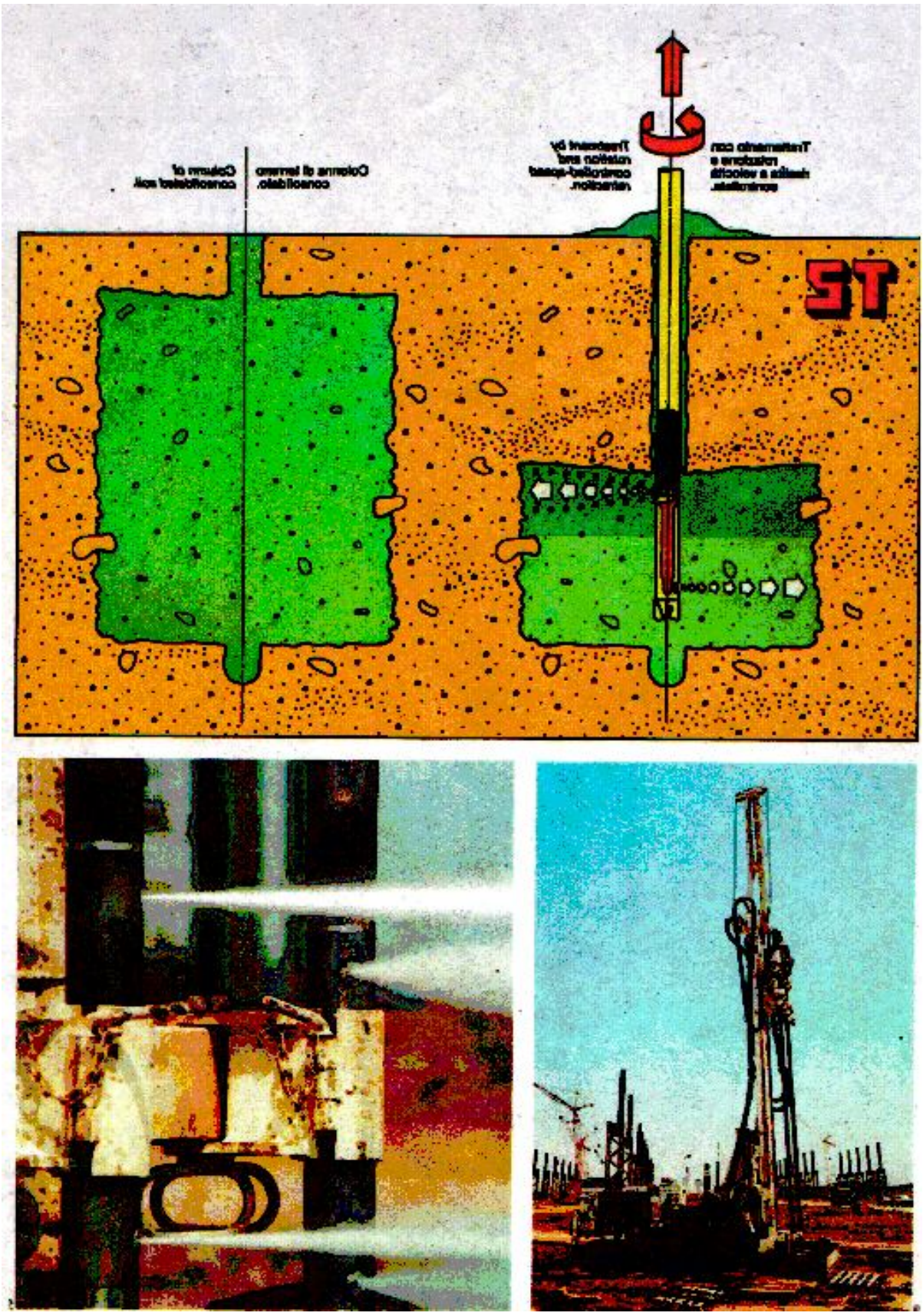
الطريقة الرابعة لحقن التربة بواسطة ماسورة مثــقبة Manchette Tube :

وهي طريقة معقدة وتستخدم بكثرة في الدول الأوروبية، كما هو موضح بالشكل رقم (١١-٢٠)، ورقم (١١-٢١). والماسورة المثــقبة تكون بقطر ٢" وطــول ١٢" – مقفولة من أسفل – منطقة الــثــقوب مغلفة بغلاف مطــاطي. تــتــصل الماســورة المثــقبــــــة بمواسير رأسية حتي سطح الأرض. عند أجراء عملية الحقن, تخرج مواد الحقن خلال الغلاف المطاطي لتملأ الفراغات والشقوق والمسام داخل التربة.



شكل (١١- ٢٠)

تفاصيل ماسورة حقن التربة



شكل (١١- ٢١)

نموذج حقن التربة بطريقة الماسورة المثقبة

يبدأ الحقن بتشغيل الطلمبات تحت ضغط عالي كاف لتمزيق الغلاف المطاطي الخارجي وأختراق الطبقة الأسمنتية الضعيفة ثم التغلغل في مسام التربة. يبلغ الضغط المذكور ٣٤ كجم / سم^{٢}.تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة مع ضروره الوضع في الأعتبار أن يكون العاملين القائمين بالعمل علي درايه كافية خوفا من حدوث أي شقوق في التربة Splitting Of Soil.

١١-٢-٢ : تجميد التربة GROUND FREEZING

تعتبر عملية تجميد التربة من التقنيات المعقدة في مجال التحكم في المياه الأرضية، ولكنها – رغم ذلك – لها الأهمية لتنفيذ الأنشاءات التي لها طبيعة خاصة مثل التي تنشأ في أرض مفككة أورخوة.

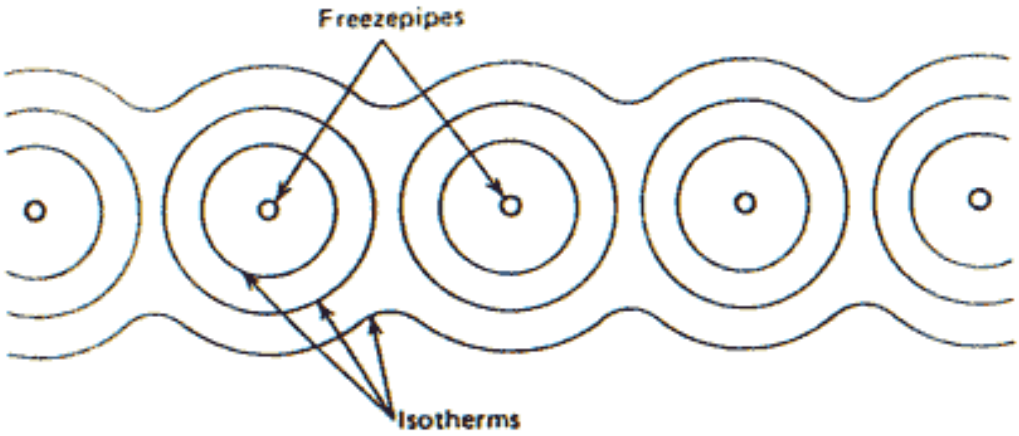
وعملية تجميد التربة تعمل علي تحسين قوة التربة Improving Soil Strength بالأضافة الي التحكم في المياه الأرضية حتي نتمكن من تنفيذ هذا المنشأ. وهذه العملية عبارة عن تحويل المياه الأرضية داخل مسام التربة الي ثلج. تساعد هذه العملية في التحكم في المياه لأرضية في مشروعات الأنفاق والمناجم والمشروعات المنشأه بعمق كبير تحت الأرض والتي تكون طبيعة التربة بها مفككة أو رخوة.

وتكون عملية تجميد التربة مؤقته تزول بانتهاء العمل، بينما في أحيان خاصة جدا يكون تجميد التربة بشكل دائم مثل عملية صيانة وضبط التربة المجمدة أسفل المنشآت الحرارية والمنشأة علي الطبقات

المتجمدة (المناطق القطبية) وكذلك المخازن المنشأه تحت الأرض والمحتوية علي سوائل في حالة تجمد

١١-٢-٢-١ خطوات تنفيذ عملية تجميد التربة

تتم عملية تجميد التربة بتمرير غاز النتروجين – أوأي غاز مماثل – من خلال مجموعة من المواسير المركبة في شكل رأسي والمدفونة في الأرض والتي تحتوي خلالها علي المنشأ المراد تنفيذه. عند ضخ الغاز وقيام هذه المواسير بالعمل، يتكون عامودا ثلجيا حول كل ماسورة. مجموعة الأعمدة الثلجية المتجاورة تشكل الحائط الثلجي حول المنشأ، كما هو موضح بالشكل رقم (١١-٢٢).



Formation of a freezewell.

شكل رقم (١١-٢٢)

مواسير تجميد التربة لعمل حائط ثلجي

ويحدد شكل المنشأ المطلوب تنفيذة والفتره الزمنية اللازمة للأنشاء، بالأضافة الي شكل ونوعية طبقات الأرض والمياه الجوفية، شكل الحائط الثلجي وكذلك تصميم الماسورة والمسافة بينها وكذلك طاقة وحدة التجميد.

وصف وحدة التجميد : نظام السائل الملحي – الأمونيا التقليدي Conventional Ammonia Brine System :

تتكون وحدة التجميد من :

١ – ضاغط Compressor :

يضغط غاز الأمونيا أوالفريون، والذي يستخدم في تجميد محلول ملح كلوريد الكالسيوم والذي يمر داخل المواسير الرأسية. تصل درجة التجميد – ١٨ درجة مئوية الي – ٣٥ درجة مئوية.

٢ – المواسير الرأسية :

تكون من الصلب أوالبولي إثيلين، يتم دقها رأسيا ومتوازية وعلي مسافات محددة وعلي بعد مناسب من حدود المنشأ (حوالي ١ متر).

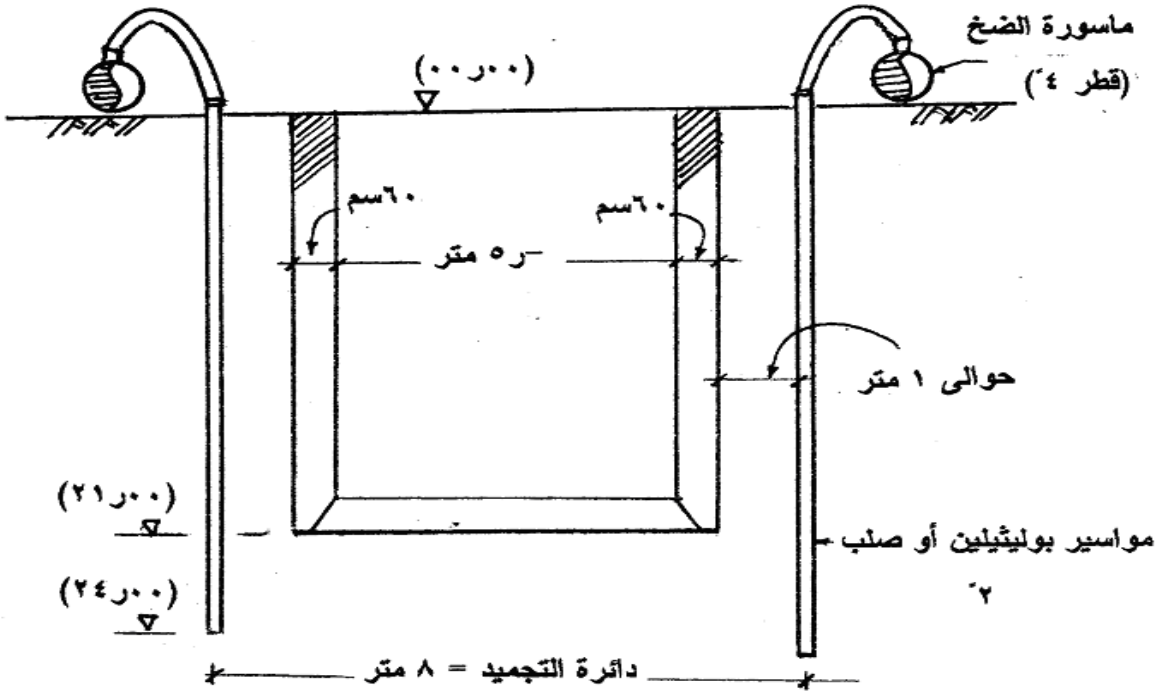
٣ – ماسورة الضخ العمومية :

وترتبط المواسير الرأسية بها من علي سطح الأرض. تتصل هذه الماسورة بالضاغط.

٤ – خزان النتروجين (أوالغاز المماثل) :

يأتي هذا الغاز في حاويات خاصه مقفلة ومعزولة.

وحاليا، فقد تم تصميم وتصنيع وحدات تجميد كاملة داخل حاويات مقفلة لتسهيل النقل والتشغيل والفك. هذه الوحدات تحتوي علي الضاغط والطلمبات والمبادل الحراري والصمامات ٠٠٠وقد وصلت طاقة هذه الوحدات الي ١٠٠ طن تجميد وكما هوموضح بالشكل رقم (١١-٢٣)



شكل رقم (١١-٢٣) تجميد التربة حول البيارة

١١-٢-٢-٢ مميزات عملية تجميد التربة :

١ – زيادة في قوه التربة عدة مرات خاصة في الأراضي الرخوة والضعيفة. يكون الحفر حينئذ في حالة ثبات وتماسك ويمكن العمل بدون الحاجة الي أي نوع من الصلبات.

٢ – عدم نفاذية المياه ، حيث يكون الجدار المتجمد Frozen Membrane غير منفذ للمياه ولذلك تكون عملية نزح المياه معدومة.

٣ – ثبات التربة Stability : عدم حدوث أي هبوط للتربة خاصة في حالة دق الستائر المعدنية.

٤ – يمكن أتمام عملية تجميد الـــتربة في وقت أقل من الطرق الأخري.

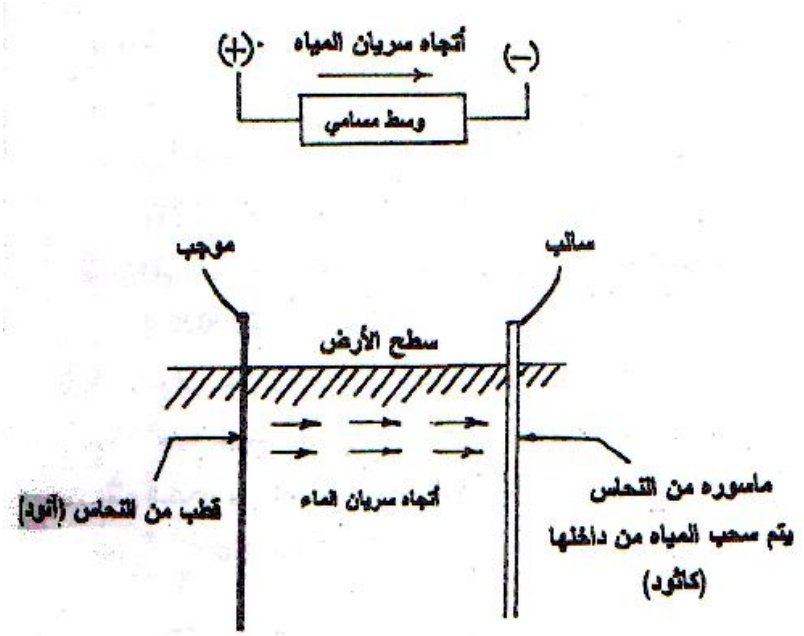
١١-٢-٣ التحكم في المياه بطريقة النزح الأسموزي الكهربي Drainage by Electro Mosis

تستخدم طريقة الـــتحكم في المياه بالنزح الأسموزي الكهربي لنوعية الـــتربة الـــتي لها معامل نفاذية منخفض (K=1/100000 - 1/10000000).

وهذه الطريقة لا تستخدم في أعمال الـــتحكم في المياه الأرضية علي درجة واسعة، ولكن تستخدم أساسا لعملية تثبيت الـــــتربة Soil Stabilization، كـــذلك لعمليـــة تحسين خواصها من الـــتدعيم والـــتصلب Consolidation، بالأضافة الي تـــــقليل نسبة المحتوي المائي Decreasing Of Water Content وكـــذلك زيـــــــادة كثافة الـــتربة.

١١-٢-٣-١ نظرية التحكم فى المياه الجوفية بالنزح الأسموزى الكهربى :

أذا تعرض جسم مسامي رطب الي فرق جهد بين طرفيه، فأن الماء يـــسير خـــلال المسام من الطرف الموجـــب Anode الـــي الطـــرف الـــسالب Cathod ، وكمـــا هوموضح بالشكل رقم (١١-٢٤). وعند توقف سريان الـــتيار الكهربي، فأنه تتوقف عملية سريان المـــاء خلال المسام أيضا.



شكل (١١-٢٤) طريقة النزح الأسموزي الكهربي

١١-٢-٣-٢ عناصر طريقة النزح الأسموزى الكهربى

تتكون طريقة النزح الأسموزى الكهربى من العناصر التالية :

١ – الطرف الموجب (الآنود) :

عبارة عن قضيب معدني قطره ٢.٥ بوصة – يمتد من سطح الأرض حتي طبقة الصخر. قد يصل هذا العمق الي ٤٠ متر حتي طبقة الصخر.

٢ – الطرف السالب (الكاثود) :

عبارة عن بئر لتجميع المياه، قطره الخارجي ١٢ بوصة وداخله ماسورة السحب من الصلب (القطب الكهربي). ماسورة السحب محاطة بفلتر من الرمل ومتصلة مع باقي المواسير بماسورة تجميع عمومية تتصل بدورها بطلمبة النزح العمومية.

يتصل الطرف الموجب والطرف السالب بأسلاك كهربية ذات قطاع مناسب، متصلة بدورها بمصدر للتيار المستمر. يتكون نظام النزح من عدة صفوف متوازية، كل صف يحتوي علي مجموعة من الأطراف الموجبة والسالبة.

المسافه بين الطرف الموجب والطرف السالب = ٣– ٥ متر. كما تكون المسافة بين صفوف كل نظام حوالي ٦متر. يصل العمق حتي طبقة الصخر.

٣ – مولد كهربي لتوليد تيار كهربي مستمر :

يكون المولد بقدرة ٢٢٠ كيلووات ويحسن وجود مولد آخر أحتياطي حيث يستمر العمل بشكل متواصل دون أنقطاع.

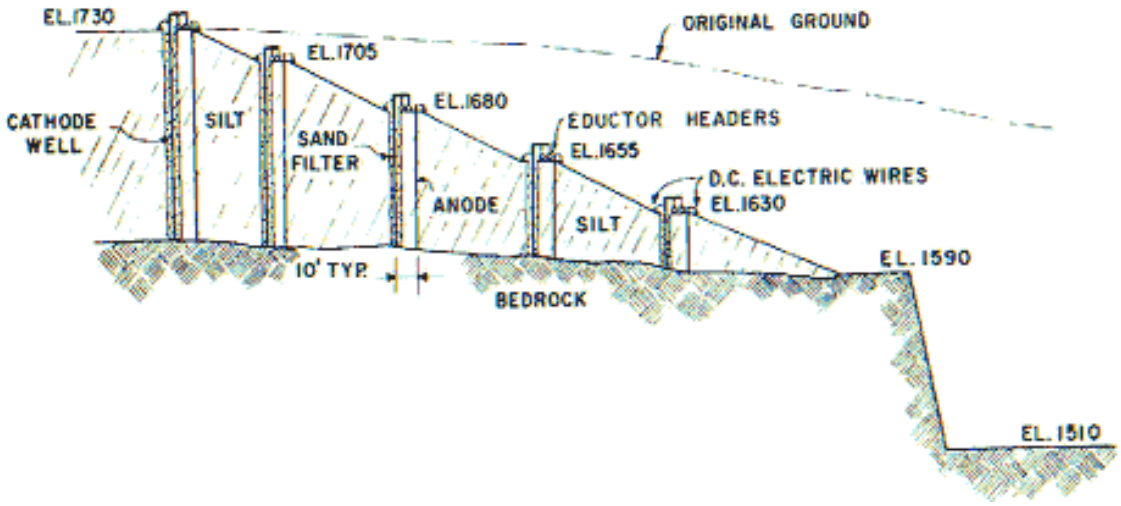
٤ – الماسورة المجمعة للمياه Header Pipe :

تقوم هذه الماسورة بتجميع مياه الآبار من مواسيرالكاثود وتوصلها الي مضخة مياه مركزية.

٥ – طلمبة تجميع المياه من اللآبار :

تقوم بسحب المياه بشكل متواصل، ولهذا ينصح بوجود طلمبة أخري أحتياطية حتي لا يتعطل العمل.

وشكل (١١–٢٥) يوضح أحد المشروعات التي أستخدم فيها نظام النزح بطريقة النزح الأسموزي الكهربي.



شكل (١١-٢٥)

أحد المشروعات المنفذة

١١-٢-٣-٣ تنفيذ طريقة النزح الأسموزى الكهربى :

١ – يتم تحديد الصفوف المتوازية للأقطاب الكهربائية.

٢ – يتم دق الأطراف الموجبة باستخدام طلمبة مياه (ضغط عالي) لأحداث ثـقب في الأرض وتنزيل الطرف الموجب بشكل رأسي تماما.

٣ – يتم عمل بئر السحب (مماثل لطريقة تنفيذ الآبار العميقة). يكون قطر القيسون الخارجي ١٢ بوصة. توضع ماسورة السحب داخل البئر (و الـتي تعمل كطرف سالب). تحاط الماسورة بالرمل ثم تسحب ماسوره القيسون الخارجي

٤ – تـتصل مواسير السحب بالماسورة الرئيسية المجمعة المتصلة بطلمبة السحب. يخرج من طلمبة السحب خط مواسير لصرف المياه الي مكان التخلص منها.

٥ – يتم توصيل الأطراف الموجبة و السالبة مع بعضها و تتصل في النهاية بمصدر التيار الكهربي المستمر.

٦ – عند بدأ أطلاق الـتيار الكهربي، تبدأ المياه في الـتوجه الي البئر و تتجمع داخلة. تقوم طلمبات النزح الجوفي برفع المياه و صبها داخل الماسورة الرئيسية المجمعة ثم الـتخلص منها.