

رقم الموضوع : T – 4

التحكم في المياه الجوفية



تأليف

المهندس / محمود حسين المصيلحي

المدير العام (السابق) بشركة المقاولين العرب – مهندس استشاري

٢٠١٢

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

الفهرس

الصفحة	البيان
٤	طريقة النزح السطحي . تقدير الهبوط أسفل الأساسات بسبب هبوط مياه الرشح .
٩	طريقة الآبار الأبرية . طلبية سحب المياه . الحربة . الماسورة المجمعة لمخارج الحربات . طريقة التنفيذ .
٢٦	الآبار العميقة . البيزومتر . طلبية الأعماق . الماسورة المجمعة . المصدر الكهربى . حوض الترسيب . طريقة التنفيذ . تجربة الضخ في الموقع .
٤٦	الآبار المستقبلية للماء .
٥٥	حقن التربة . آلات و معدات الحقن . طريقة الحقن . أعداد مواد الحقن و خلطها بالنسب المقررة . طريقه أخرى للحقن . حساب كمية الحقن . اختبار قياس معامل النفاذية لطبقة الحقن . تطبيقات علي حقن التربة .
٨٤	تجميد التربة . وصف وحدة التجميد . أعمال نفذت في الطبيعة .
٩٨	التحكم في المياه الجوفية بطريقة النزح الأسموذى الكهربى .
١٠٢	المراجع .

التحكم في المياه الجوفية Ground Water Control

مقدمة :

من المشاكل الهامة التي تواجه مهندس تنفيذ الأعمال الصحية الخارجية هو اختيار الأسلوب المناسب للتخلص من مياه الرشح . لذلك فمن المهم أن يكون علي دراية كافية بهذا النوع من الأعمال. و تعتبر عملية التحكم في المياه الجوفية من العمليات المؤثرة علي أمان و اقتصاديات المشروع. و يمكن أن يخسر المقاول عطاء تقدم إليه بسبب الاختيار الخاطيء في أسلوب مقاومة المياه الجوفية. كما يمكن أن يتسبب عدم دراية المهندس بالأساليب الصحيحة للتجفيف في هبوط و تصدع المباني المجاورة.

الطرق الشائعة في التحكم في المياه الأرضية :

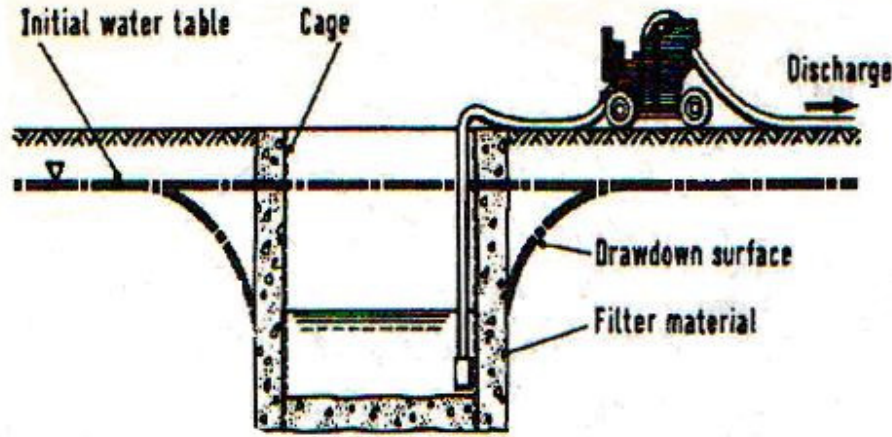
١ - طريقة النزح السطحي Surface Dewatering

٢ - طريقة الآبار الأبرية Well Point System

٣ - طريقة الآبار العميقة Deep Wells.

أولا : طريقة النزح السطحي Surface Dewatering

هي أكثر الطرق بساطة و شيوعا و أقلها تكلفة، تتلخص في اختيار أوطي نقطة في الأرض لوضع طلمبة النزح حيث تتجمع المياه في أوطي نقطة (يفضل خارج موقع العمل) لتقوم الطلمبة بسحبها و ألقاء المياه في أقرب مجري مائي أو مطبق صرف صحي - شكل (١) .



شكل (١)

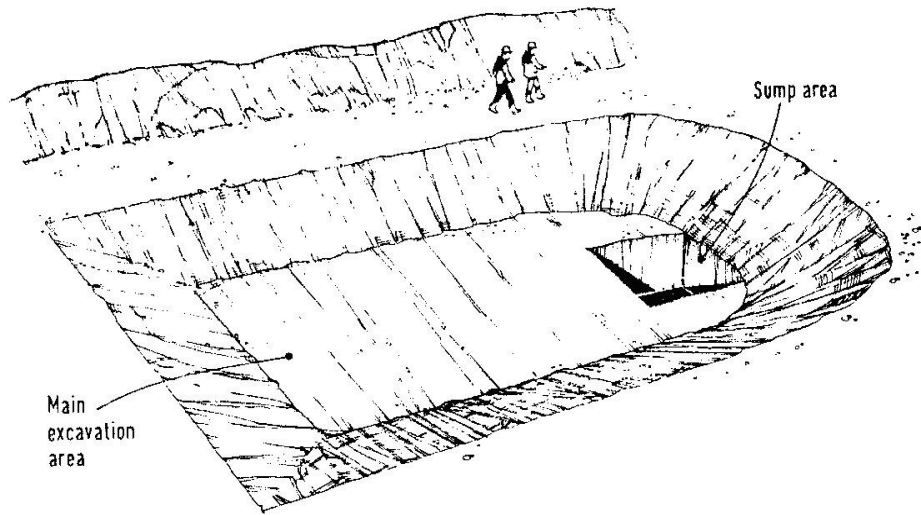
ظلمية النزح السطحي

سحب المياه بهذه الطريقة و لمدته طويلة دون الأخذ في الاعتبار الاحتياطات اللازمة ، ممكن أن يؤدي إلي هبوط المباني المجاورة ، حيث تأتي مياه الرشح إلي أوطي نقطة (الظلمية) و من أسفل المباني المجاورة حاملة معها الجزيئات الدقيقة للتربة ، مما يحدث خلخلة باستمرار النزح لفترة طويلة ، أسفل هذه الأساسات ثم الهبوط.

لذلك يجب الاحتياط بأن تكون عملية النزح في أقل وقت ممكن - بالإضافة إلي أنه يفضل عمل بئر صغير عبارة عن برميل مثقب و محاط بطبقة من الفلتر (زلط + رمل) لزوم فانوس الظلمية ، حيث سيمنع هذا الفلتر نسبة كبيرة من جزيئات التربة المحمولة بواسطة مياه الرشح.

و يمكن لهذا النظام سحب مياه الرشح حتي عمق حفر = ٣ متر في الأحوال العادية . و في بعض الأحوال تكون طبقات التربة شديدة التماسك، قليلة النفاذية، الأمر الذي يمكن من نزح المياه إلي أعماق أكبر.

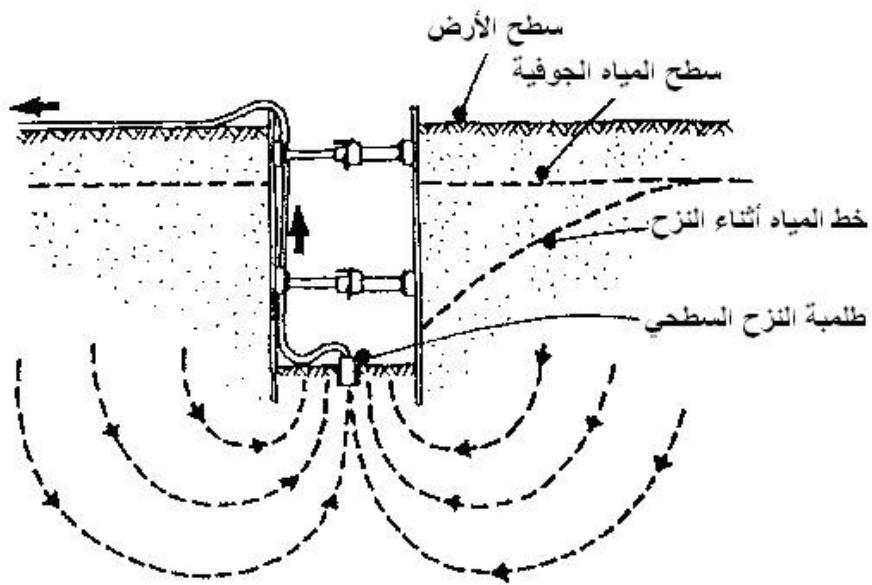
و في أحد مشروعات الصرف بالقاهرة، تم عمل نزح سطحي لخط مواسير بعمق ٨ أمتار منهم ٦ أمتار مياه رشح و كانت الأرض من الطمي شديد التماسك. بينما - في مشروع آخر - كان عمق الحفر = ٢ متر منهم ١ متر مياه رشح و كانت طبيعة التربة من الطمي السيلتي، لم نتمكن من تجفيف المياه بالطريقة السطحية حيث كانت النفاذية عالية وتم التنفيذ بواسطة الآبار الأبرية.



Sumps outside main construction area

شكل (١)

يجب سحب المياه خارج مسطح العمل



شكل (١)

شكل المياه الداخلة إلى خندق الحفر مع وجود صلبات للحفر على النزح السطحي

تقدير الهبوط أسفل الأساسات بسبب هبوط مياه الرش :

١ - حساب R_0 من المعادلة أسفل الجدول رقم (١) ، R_0 هي نصف قطر دائرة التأثير.

٢ - تحسب R - شكل (٢) ، وهي المسافة بين منتصف قاعدة أول عامود علي الواجهة وفانوس ظلمبة سحب المياه السطحية .

٣ - حساب R_0 / R من المنحني وإيجاد نسبة انخفاض المياه h_0 / h من الرسم، ومن ثم إيجاد قيمة h_0 .

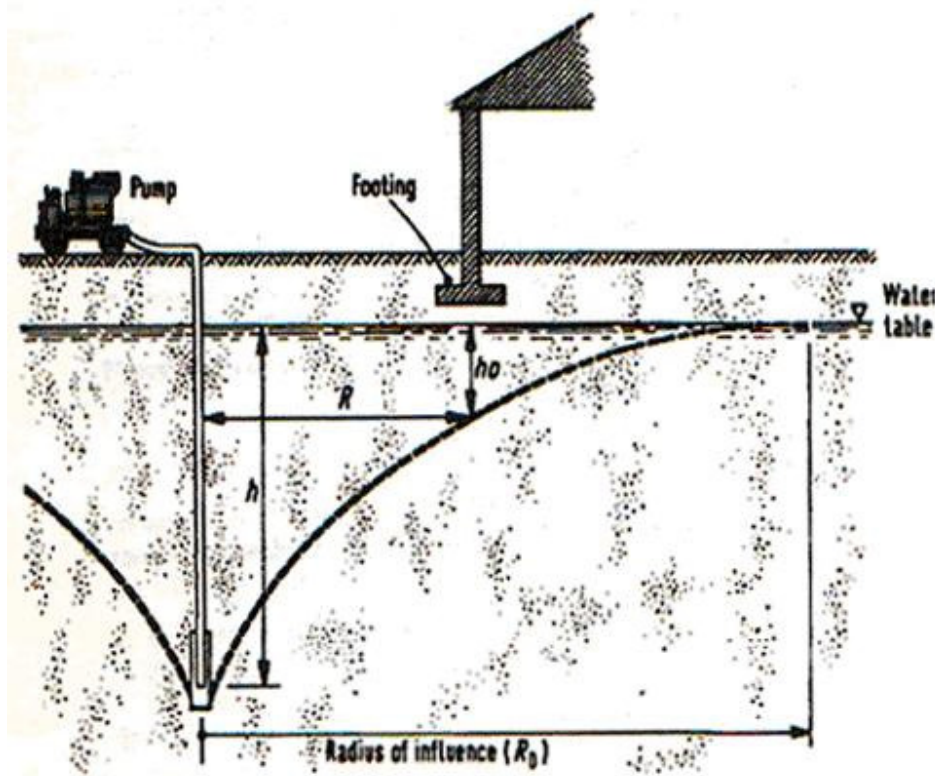
٤ - بمعلومية الإجهاد الآمن للتربة Bearing Capacity - q_a يمكن حساب قيمة الهبوط من المعادلة :

$$\text{Settlement (mm)} = 490 h_0 / q_a$$

$$h_0 \text{ in meters , } q_a \text{ in kN/m}^2$$

$$R_0 = 3000 h (k)^{0.5} \text{ Radial flow)}$$

$$R_0 = 1500 - 2000 h (K)^{0.5} \text{ For line flow to trenches or line of well point.}$$



شكل (٢)

منحني الهبوط - حالة النزح السطحي

جدول (١)

استخراج قيمة معامل النفاذية

			إنخفاض المياه
--	--	--	---------------

زلط نظيف		خليط من الزلط والرمل النظيف		رمل ناعم		h داخل البئر متر
النفــــــــــــــــــــاذية (متر/ ث)						
٣-١٠ × ٥	٣-١٠	٤-١٠ × ٥	٤-١٠	٥-١٠ × ٥	٥-١٠	
٢١٢	٩٥	٦٧	٣٠	٢١	٩	١
٣١٨	١٤٢	١٠١	٤٥	٣٢	١٤	١.٥
٤٤٢	١٩٠	١٣٤	٦٠	٤٢	١٩	٢
٥٣٠	٢٣٧	١٦٨	٧٥	٥٣	٢٤	٢.٥
٦٣٦	٢٨٥	٢٠١	٩٠	٦٤	٢٨	٣
	٣٣٢	٢٣٥	١٠٥	٧٤	٣٣	٣.٥
٨٤٩	٣٧٩	٢٦٨	١٢٠	٨٥	٣٨	٤
٩٥٥	٤٢٧	٣٠٢	١٣٥	٩٥	٤٣	٤.٥
١٠٦١	٤٧٤	٣٣٥	١٥٠	١٠٦	٤٧	٥
١١٦٧	٥٢٢	٣٦٩	١٦٥	١١٧	٥٢	٥.٥
١٢٧٣	٥٦٩	٤٠٢	١٨٠	١٢٧	٥٧	٦
١٣٧٩	٦١٧	٤٣٦	١٩٥	١٣٩	٦٢	٦.٥
١٤٨٥	٦٦٤	٤٧٠	٢١٠	١٤٨	٦٦	٧
١٥٩١	٧١٢	٥٠٣	٢٢٥	١٥٩	٧١	٧.٥
١٦٩٧	٧٥٩	٥٣٧	٢٤٠	١٧٠	٧٦	٨
١٨٠٣	٨٠٦	٥٧٠	٢٥٥	١٨٠	٨١	٨.٥
١٩٠٩	٨٥٤	٦٠٤	٢٧٠	١٩١	٨٥	٩
٢٠١٥	٩٠١	٦٣٧	٢٨٥	٢٠٢	٩٠	٩.٥
٢١٢١	٩٤٩	٦٧١	٣٠٠	٢١٢	٩٥	١٠
٢٥٤٦	١١٣٨	٨٠٥	٣٦٠	٢٥٥	١١٤	١٢
٣١٨٢	١٤٢٣	١٠٠٦	٤٥٠	٣١٨	١٤٢	١٥

ثانيا : طريقة الآبار الأبرية Well Point System

هو نظام لتجفيف المياه، يمكن تنفيذه لتجفيف مياه الرش في خندق للمواسير أو لأحد المنشآت تحت الأرض.

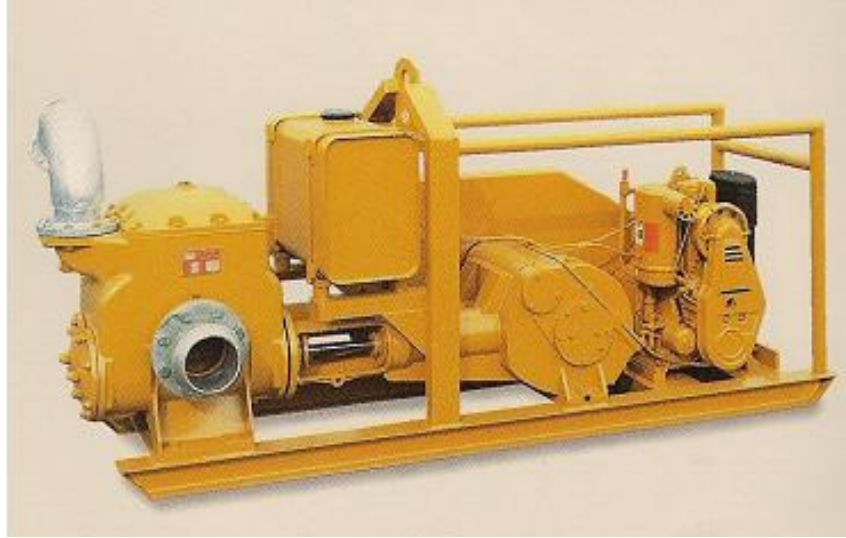
مكونات النظام :

١ - طلمبة سحب المياه :

و لها القدرة علي امتصاص مياه الرش الموجودة في باطن الأرض و هي من نوع الطلمبات التي تعمل بالتفريغ Vacuum Pump . يتكون النظام من عدد ٢ طلمبة تكون أحدهما احتياطية للآخري . يستمر العمل ٢٤ ساعة بدون توقف حتي انتهاء العمل. يحسب تصريف الطلمبة من عدد الحربات العاملة و باعتبار أن طاقة سحب المياه لكل حربة = ١.٥ - ٢ م^٣ / ساعة - شكل (٣).



طلمبة متحركة Vacuum Pump تعمل في النزح الجوفي مع الآبار الأبرية



شكل (٣)

ظلمبات علي شاسيه (ثابتة) Vacuum Pump للنزح الجوفي مع الآبار الأبرية (الحربات)

٢ - الحربة :

وهي مكونة من جزأين:

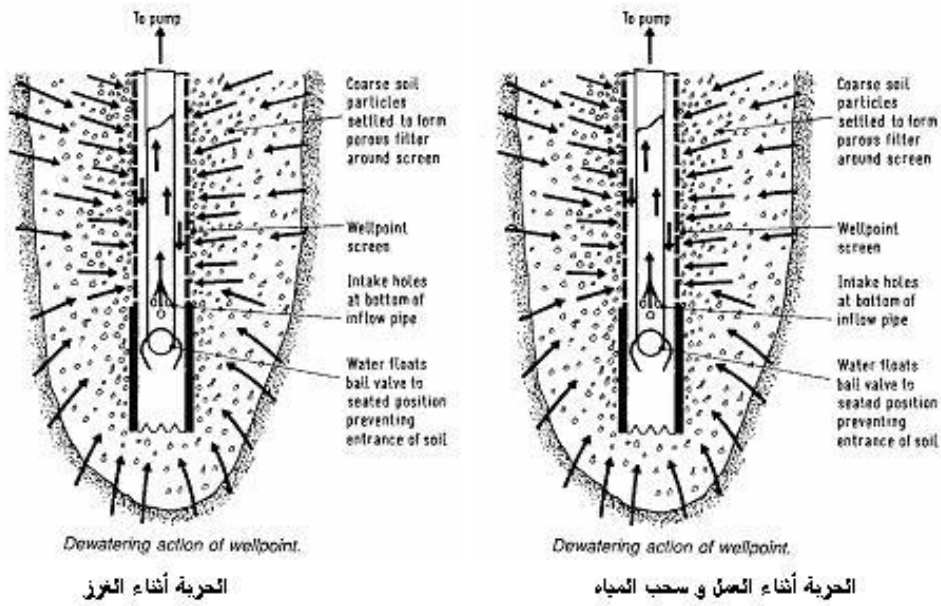
الجزء الأسفل:

يكون علي شكل ماسورة **Strainer** - أسطوانى الشكل غير قابل للصدأ و طوله ١ متر و قطره ٢٠٠ . به فتحات دقيقة تسمح بدخول المياه دون جزيئات التربة، و يمكن تغييره بعد انتهاء العمر الافتراضى له. يخترق هذا الجزء الأسطوانى أنبوبة داخلية لها محبس كروي في نهايتها بالإضافة إلي وجود ثقوب علي الجدار الخارجى لغرض دفع المياه من خلالها لزوم عملية غرز الحربة في الأرض - شكل (٤).

الجزء العلوى:

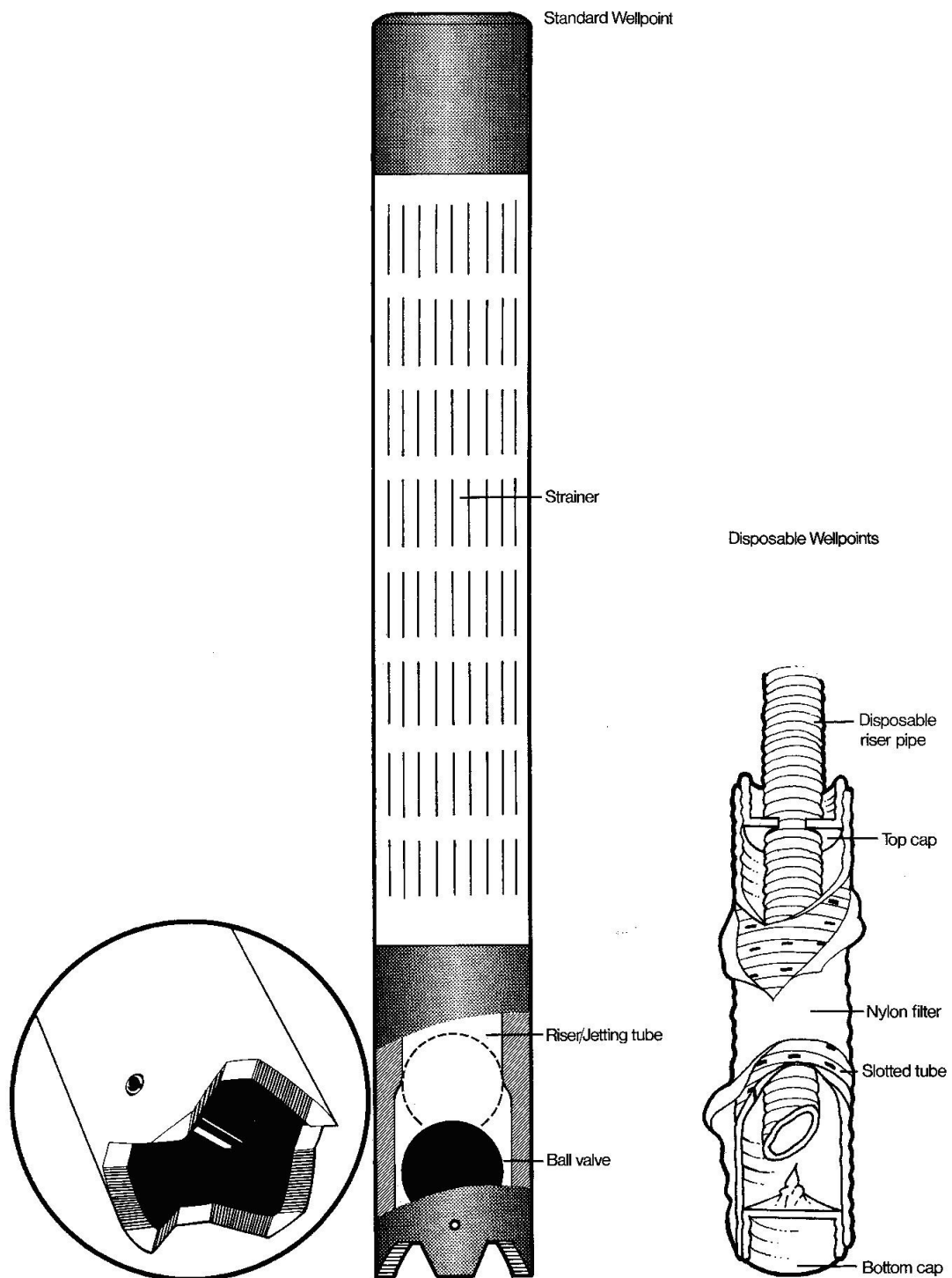
و هو متصل بالجزء السفلي - قطره ٢٢ - وهو عبارة عن ماسورة من الحديد المجلفن طولها ٦ متر - في نهايتها العليا جزء كروي لأماكن توصيله بالخرطوم مباشرة بالإضافة إلى صمام حاجز يستخدم وقت تغيير الحربة . يكون الطول الأجمالي للحربة = ٧ متر .

يتم غرز الحربة في طبقات التربة بدفع المياه بواسطة طلمبة الغرز - شكل (٥) ، حيث تدفع المياه تحت ضغط عالي بقوة فتحدث ثقبا في الأرض يمكن من غرز الحربة بسهولة ويجب أن تكون في وضع رأسي تماما .



شكل (٤)

الجزء الأسفل من الحربة - وضع الحربة أثناء الغرز وأثناء العمل



نهاية الحربة

حربة تعمل مرة واحدة

شكل (٤)
تفاصيل الحربة

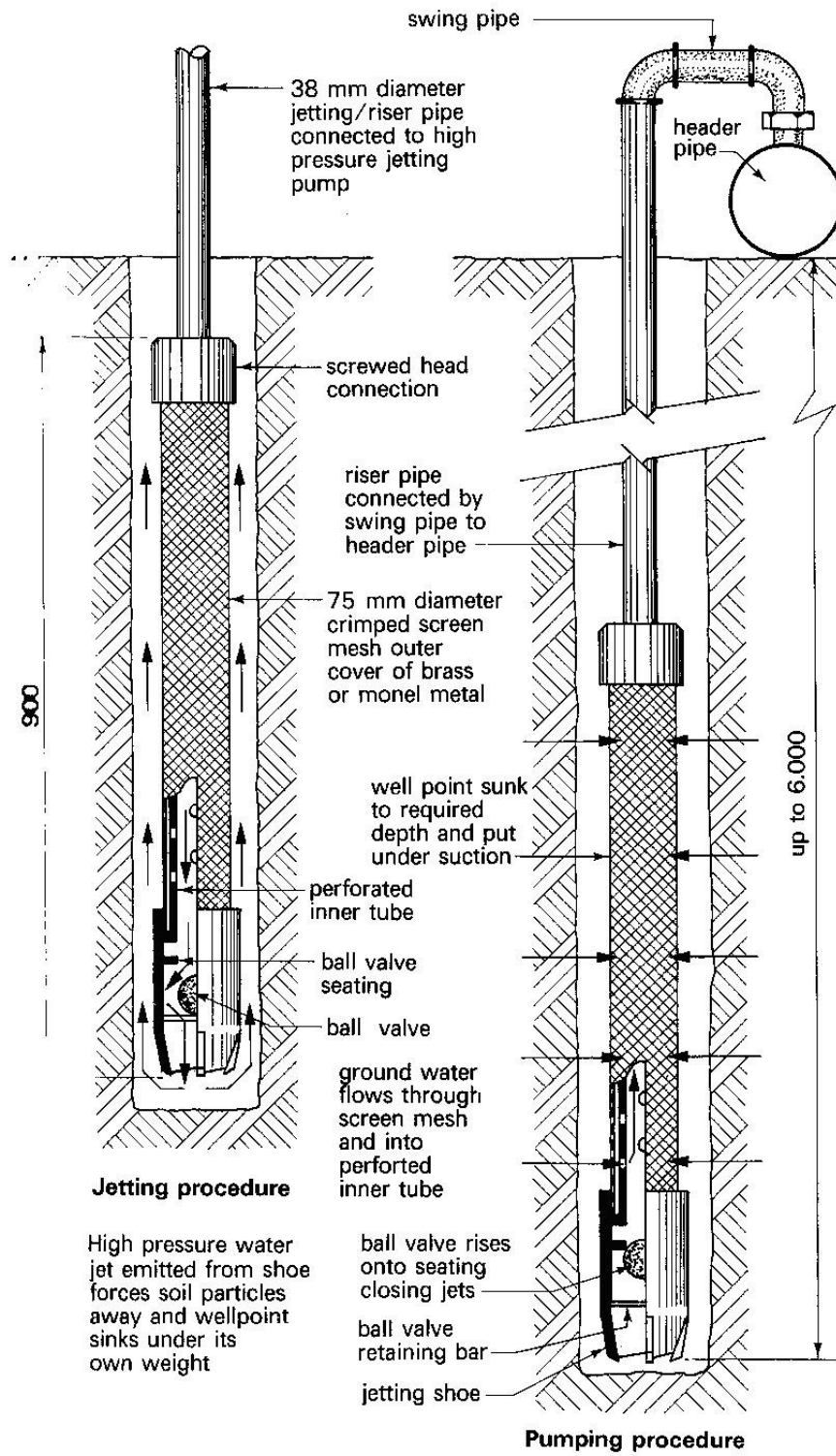


أنواع الحربات المستخدمة



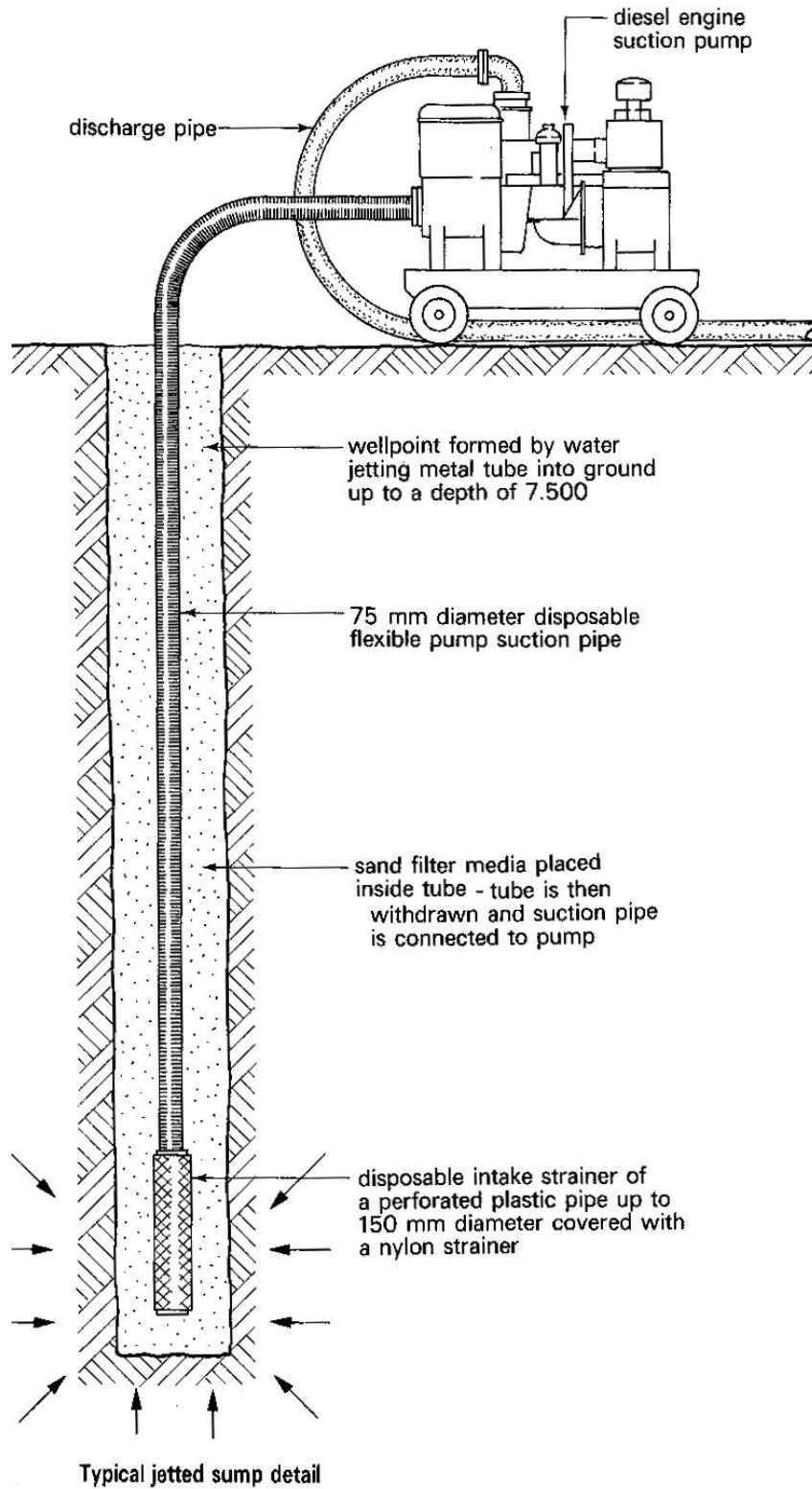
شكل (٤)

نظام الحربات في أحد المشروعات



شكل (٤)

تفاصيل الحربة و تنزيلها وتركيبها

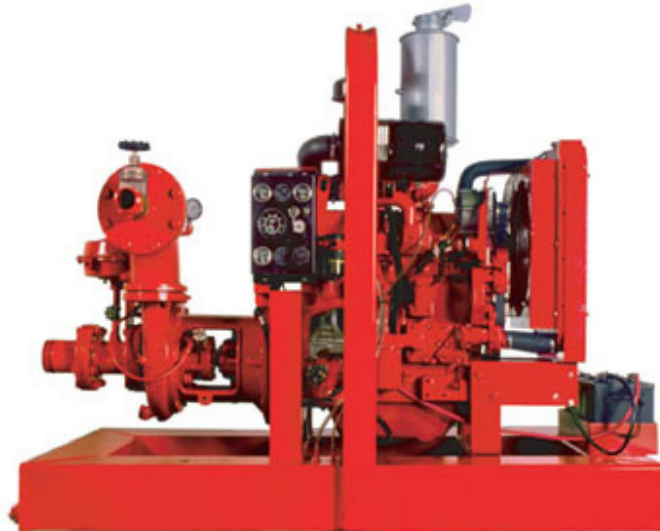


شكل (٥)

ظلمبة غرز و تنزيل الحربة



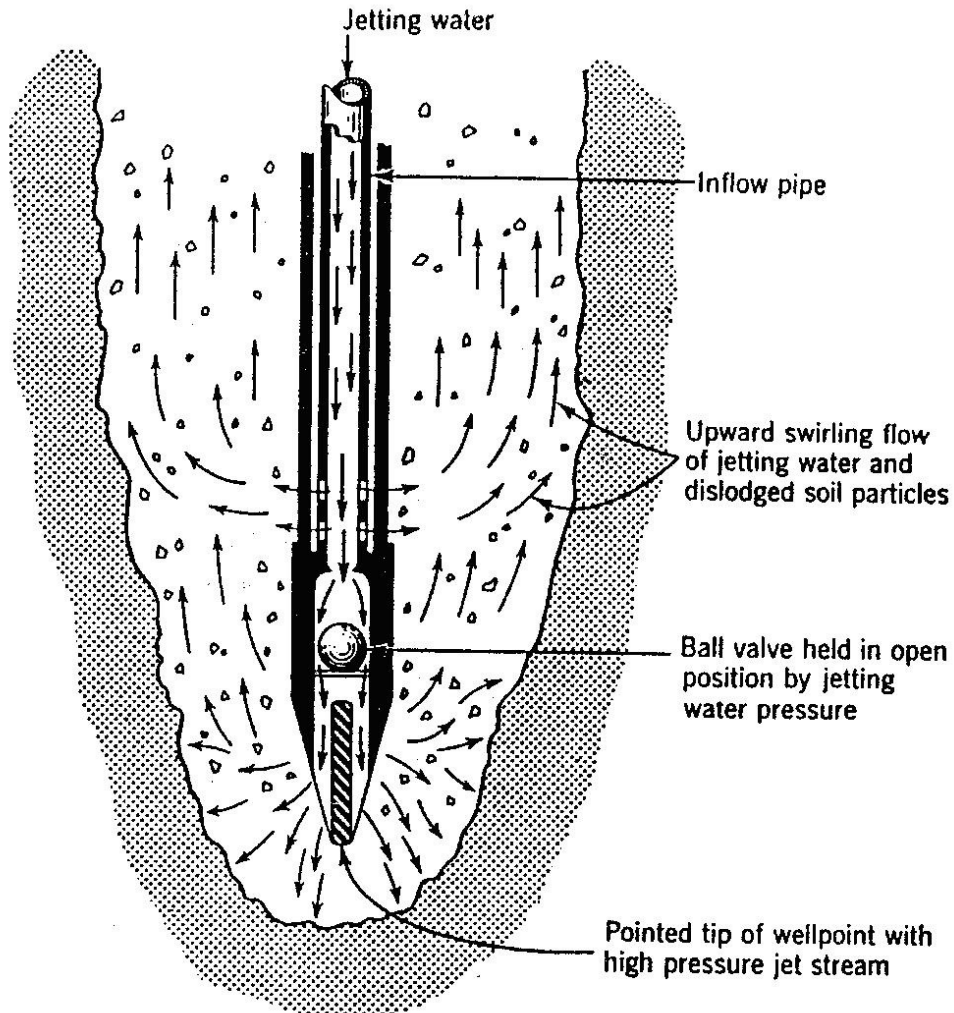
غرز الحربة بواسطة دفع المياه بقوة من طلمبة الغرز



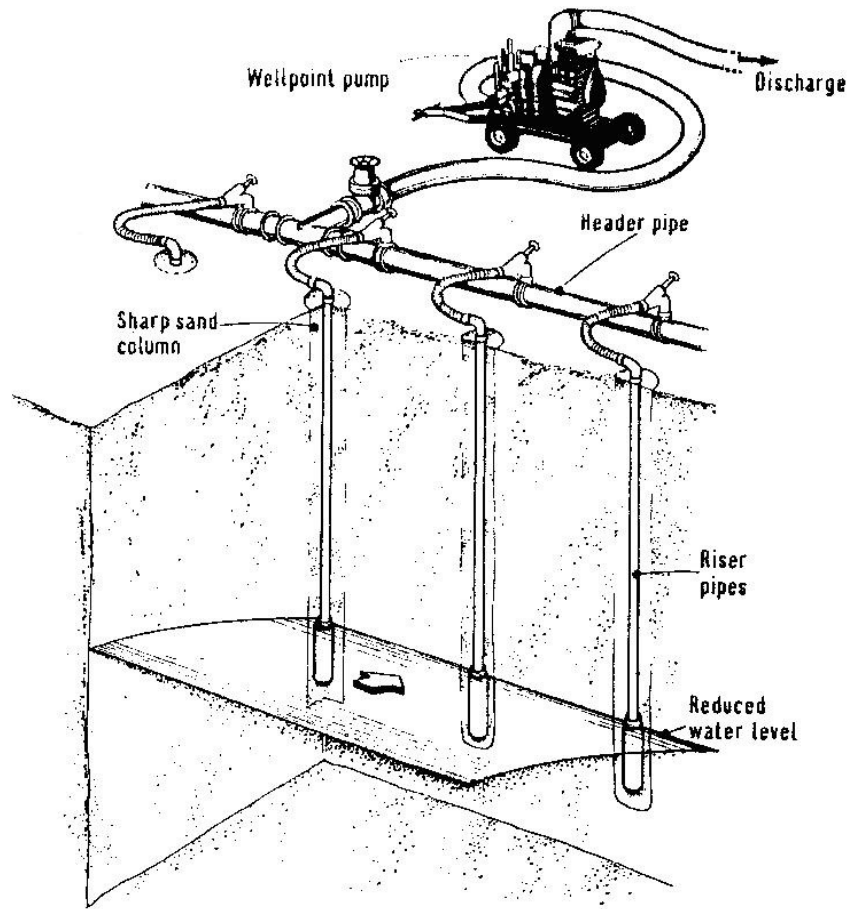
شكل (٥)

طلمبة دفع المياه لغرز و تنزيل الحربة

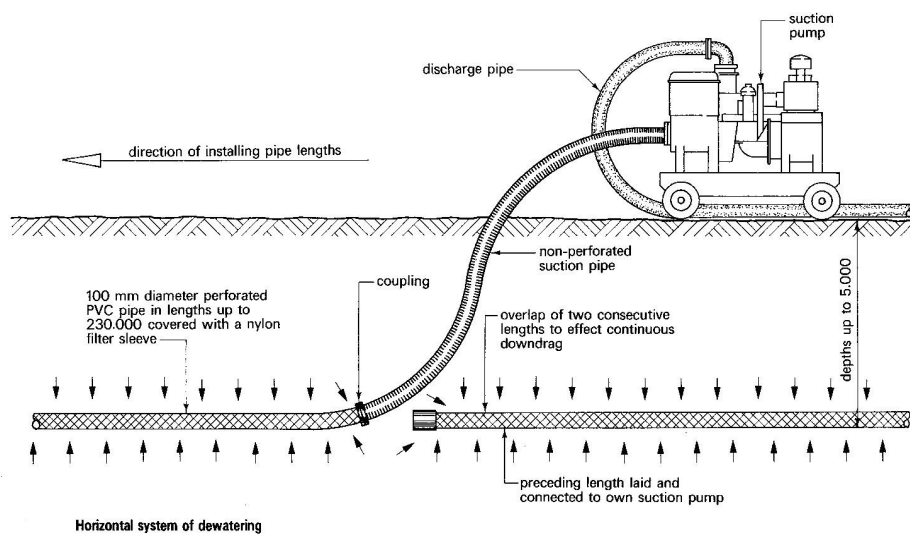
DEWATERING
Self-jetting wellpoint.



تابع شكل (٥)
حربه ذاتية الغرز



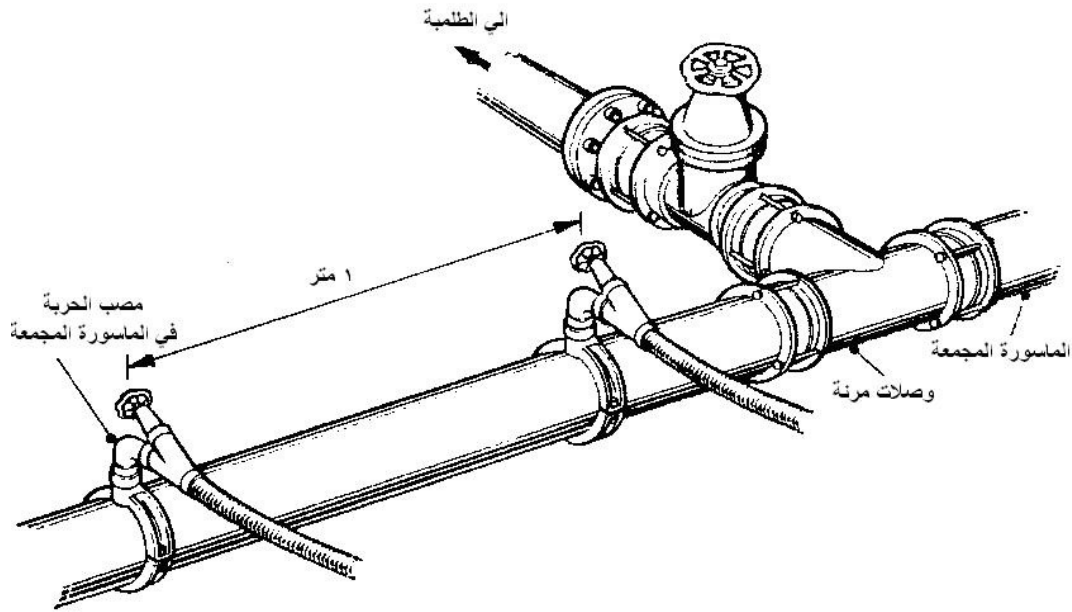
Vertical wellpoint system for trench excavation



تركيب الحربات أفقيا

٣ - الماسورة المجمعة لمخارج الحربات : Header Pipe

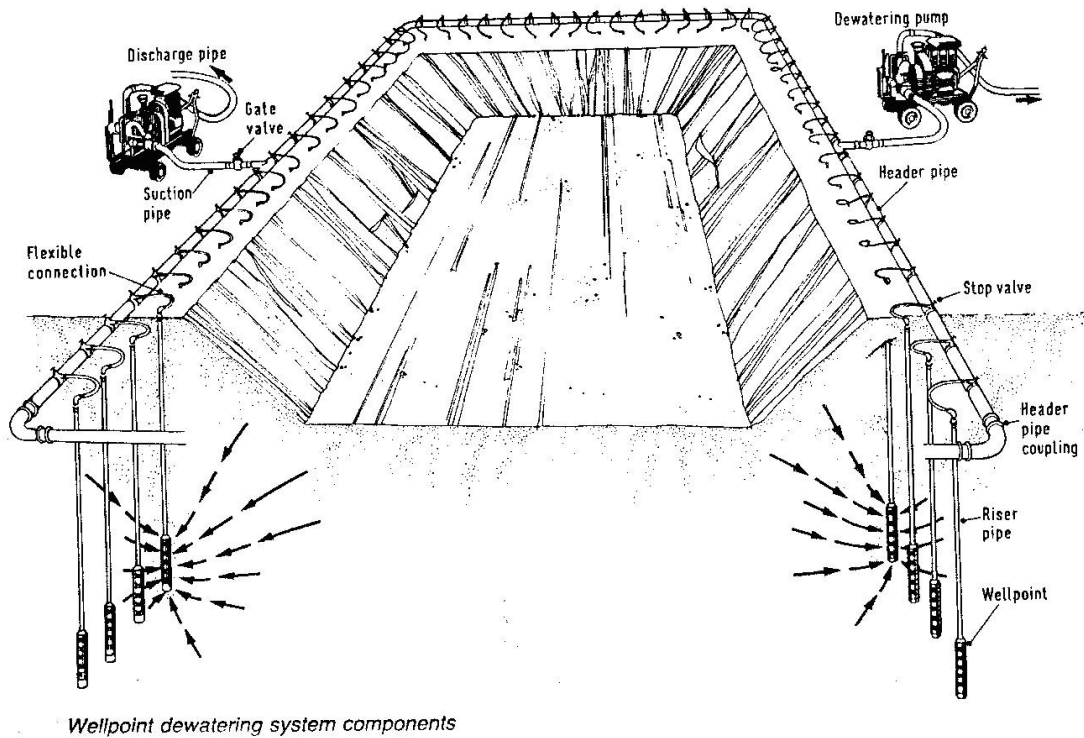
و هي الماسورة التي تجمع تصرفات جميع الحربات و تنقلها إلى الطلمبة . تكون غالبا مواسير سريعة الأتصال **Quick Coupling** ، قطر ٦" - ١٢" من الألومنيوم أو من مادة P.V.C الخفيفة الوزن لأمكان تركيبها أو فكها بسرعة و سهولة . تزود أيضا بالقطع الخاصة مثل الأكواع و المشتركات و خلافة من نفس المادة و تمتاز كذلك بسرعة الفك و التركيب . تصمم هذه الماسورة باعتبار أن سرعة المياه = ١ متر / ثانية . تزود هذه الماسورة بمخارج كروية علي البدن الخارجي خاصة قطر ٢" لتركيب خرطوم السحب للحربات - شكل (٦) .



شكل (٦)

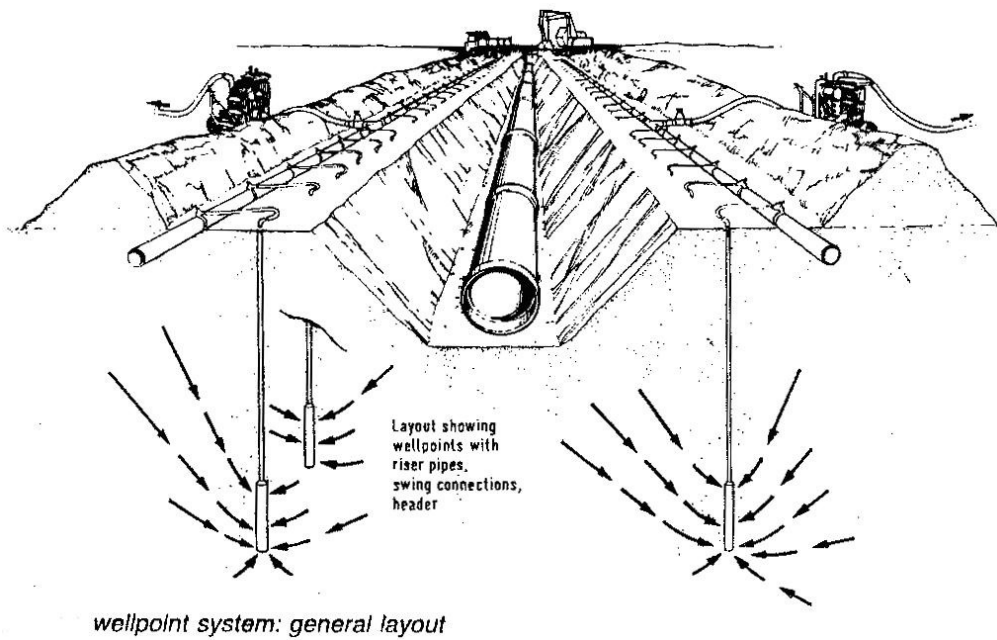
أتصال الحربة مع خط التجميع العمومي

شكل (٧) يوضح نموذجاً لعملية تجفيف المياه لموقع عمل واسع ، كما يوضح شكل (٨) نموذجاً لتجفيف ترانشات المواسير.



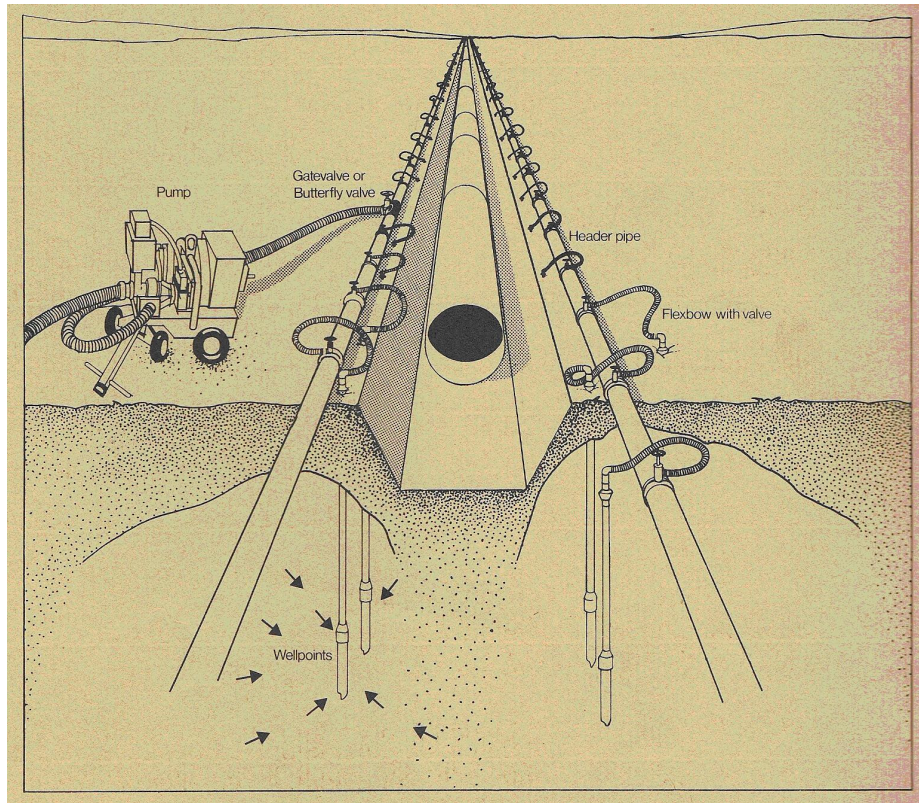
شكل (٧)

تجفيف موقع العمل بالحريات

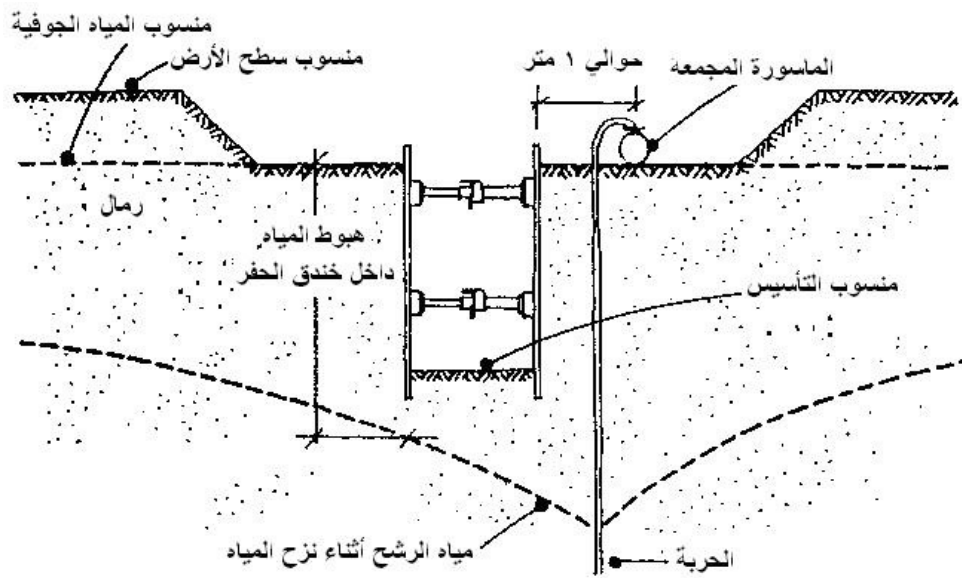


شكل (٨)

تجفيف خنادق المواسير بواسطة الحريات بدون صلبات

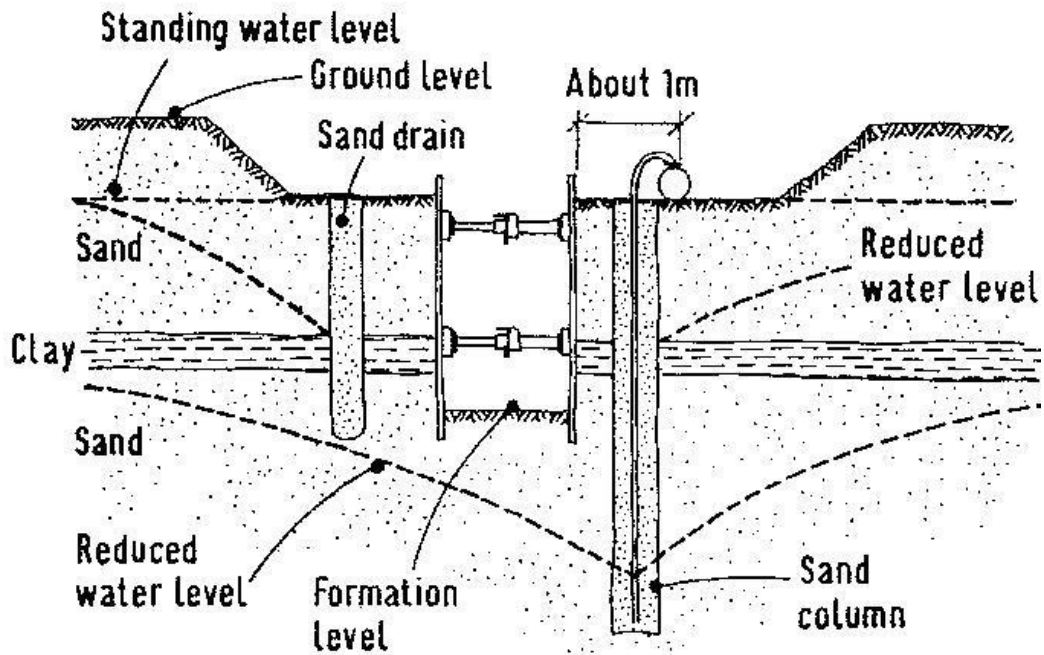


تجفيف خنادق المواسير بواسطة الحربات بدون صلبات

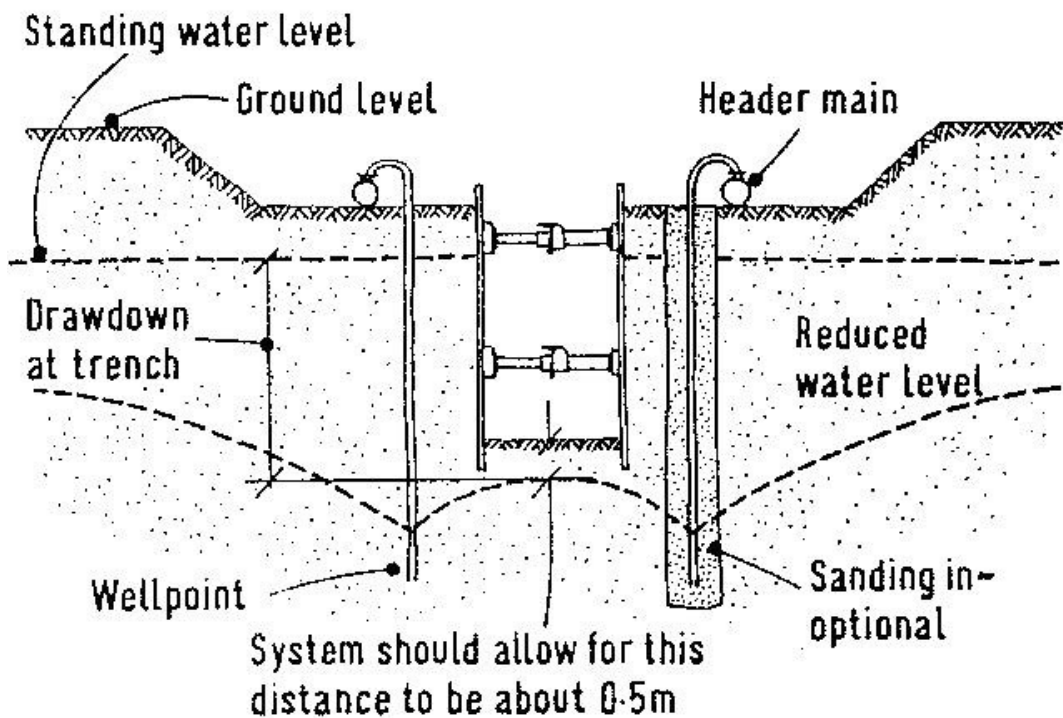


شكل (٨)

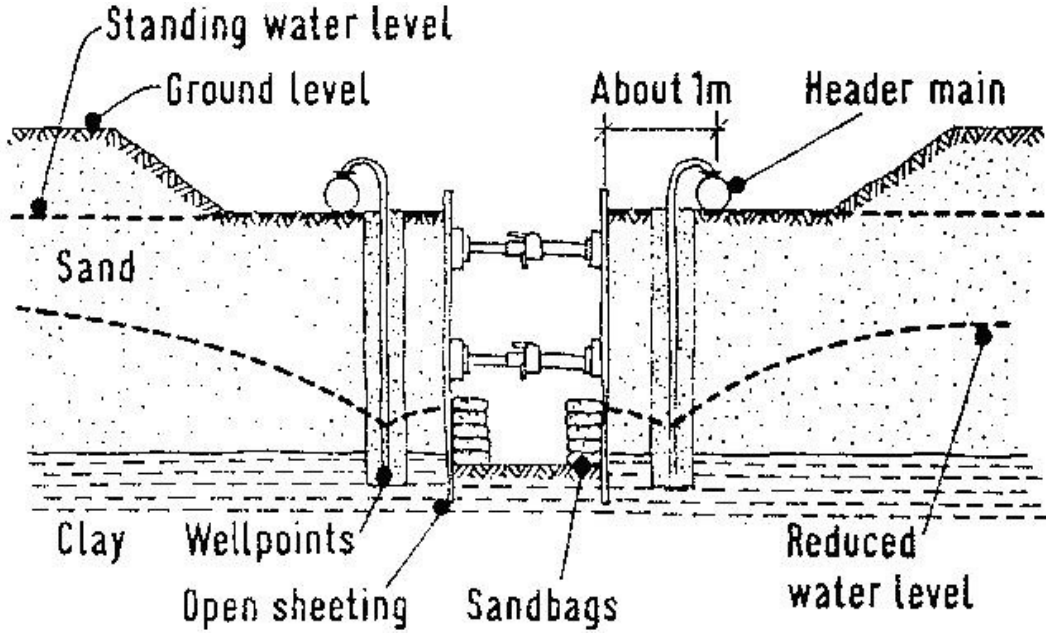
صف واحد من الحربات *Single Sided Wellpoint System*



Single Sided Wellpoint System – مضاف له خوازيق الرمل *Sand Drains* من الجانب الآخر – حل مرادف



Double Sided Wellpoint System – صفين من الحريات علي جانبي الحفر – خنادق المواسير مع صلبات للحفر – مرادف أ



خنادق المواسير مع صلبات للحفر - صفين من الحربات علي جانبي الحفر *Double Sided Wellpoint System*

- مرادف ب

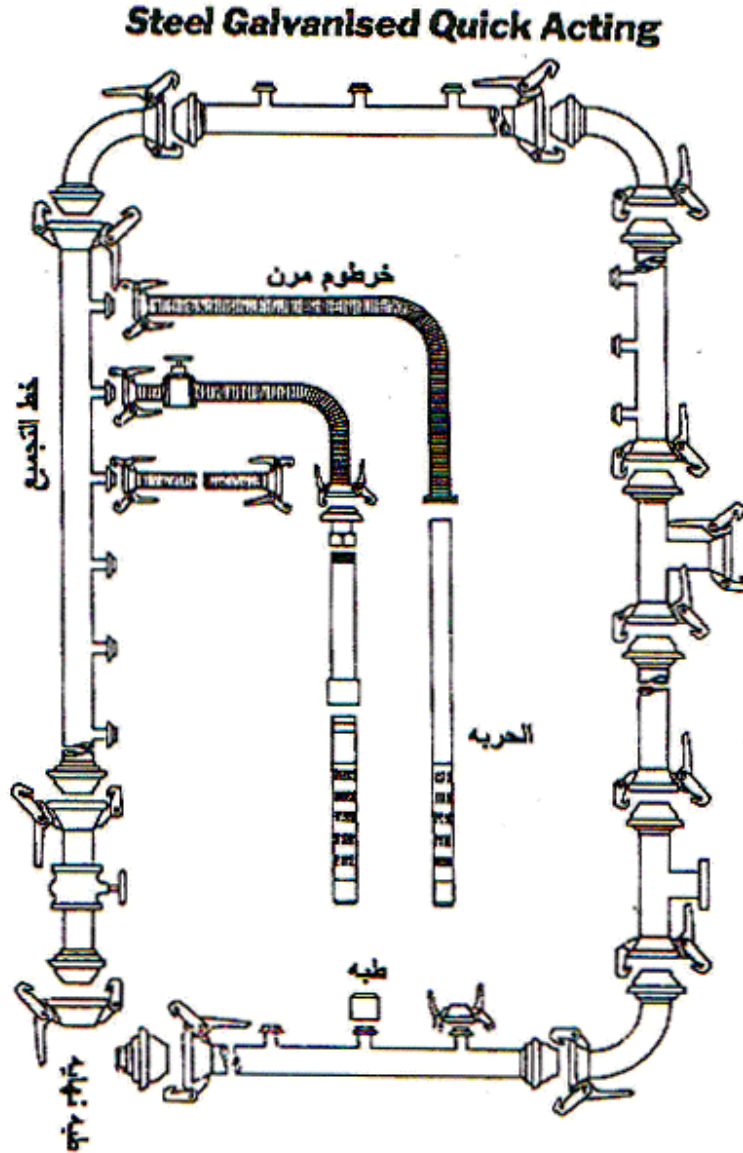
شكل (٨)

تجفيف ترانشات المواسير - بواسطة الحربات

نظام مواسير جاهزة وسريعة التركيب - حديد مجلفن أو ألومنيوم أو PVC - شكل (٩) :

طريقة التنفيذ :

- ١ - تحدد حدود المشروع المطلوب تجفيفه إذا كان خط مواسير أو أحد المنشآت .
- ٢ - نبدأ في عملية غرز الحربات في صف مستقيم موازي للحدود السابق تحديدها و علي بعد منها = ٥٠ سم - شكل (٥) .
تستخدم ماكينة الغرز ، يتم غرز حربة كل ٥٠ - ١٠٠ سم حسب نفاذية الأرض وزمن الخفض المطلوب لمنسوب المياه .
- ٣ - مد خط الماسورة المجمعة موازيا لحدود المنشأ و مجاورا لصف الحربات . يتم توصيل الخط بماكينة السحب مع عمل نظام الصمامات للتحكم في تشغيل الماكينات . يتم توصيل الحربات علي نفس الخط بواسطة خراطيم التوصيل .
- ٤ - مد خط صرف الطلمبة إلي أقرب مجري مائي لصرف مياه النزح الجوفي أو مطبق صرف صحي (بعد موافقة المسئولين) .

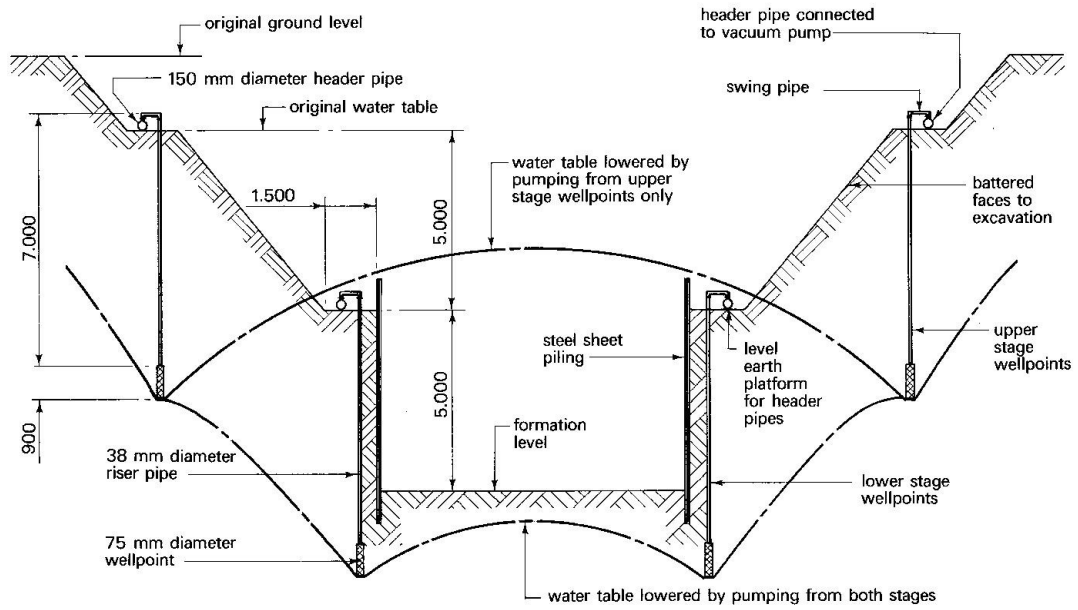


شكل (٩)

نظام مواسير جاهزة وسريعة التركيب - حديد مجلفن أو ألومنيوم أو PVC

ملاحظات :

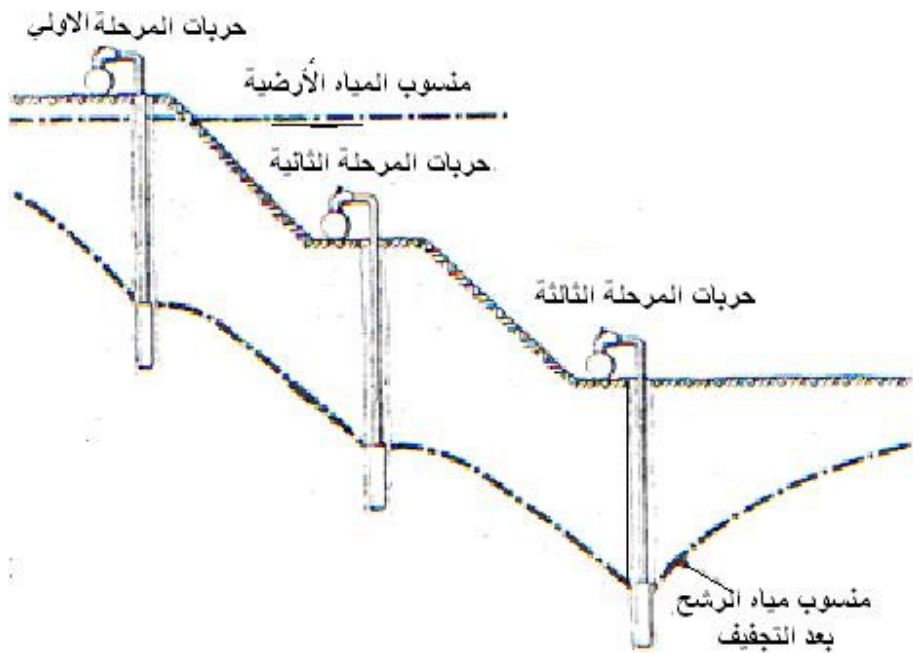
- ١ - يتم اختبار الحربات كل فترة للأطمئنان علي كفاءة سحبها . في أحوال كثيرة نجد عدم قدرة الحربة علي السحب بسبب انسداد فتحات و مسام الجزء السفلي للحربة . و لأصلاح ذلك يتم رفع الحربة (بشكل رأسي تماما) ثم توصيلها بماكنة الغرز و فتح المياه تحت ضغط عالي لفتح مسامها ثم يعاد غرزها مرة أخرى.
- ٢ - يمكن لتخفيض مياه الرش لأي منشأ و علي عمق كبير ، عمل أكثر من صف للحربات و علي مصاطب . كما يمكن مزج أكثر من نظام للنزح الجوفي مثل استخدام الآبار العميقة مع الآبار الأبرية لنصل في النهاية إلي تجفيف كامل للموقع - شكل (١٠) .



Typical example of a multi-stage wellpoint dewatering installation

شكل (١٠)

الحربات علي مستويين Multi-Stage Wellpoint Dewatering Installatin



شكل (١٠)

الحربات علي ثلاثة مستويات

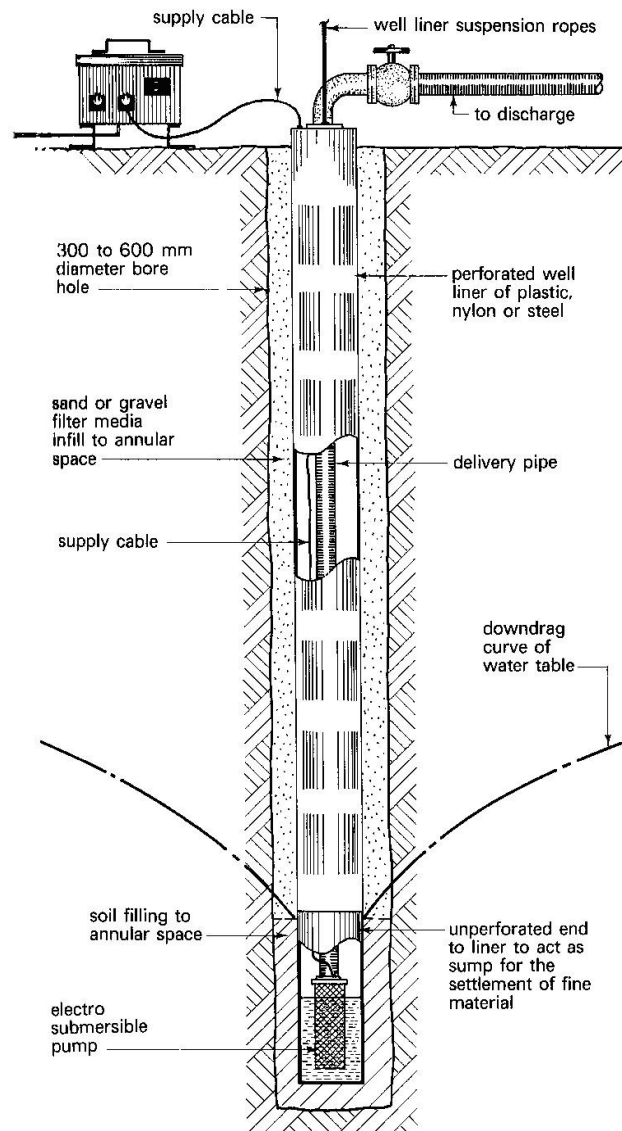
ملحوظة :

يتم تخصيص ظلمة سحب خاصة بكل مرحلة .

ثالثا : الآبار العميقة Deep Wells

هي أحد الوسائل الفعالة لتخفيض مياه الرشح . يتم اللجوء لها في حالة ما إذا كان عمق المياه المراد خفضها كبيرا ولا يستطيع أي من الطرق السابقة أن يحققه .

مكونات النظام :



Typical deep-bored well details

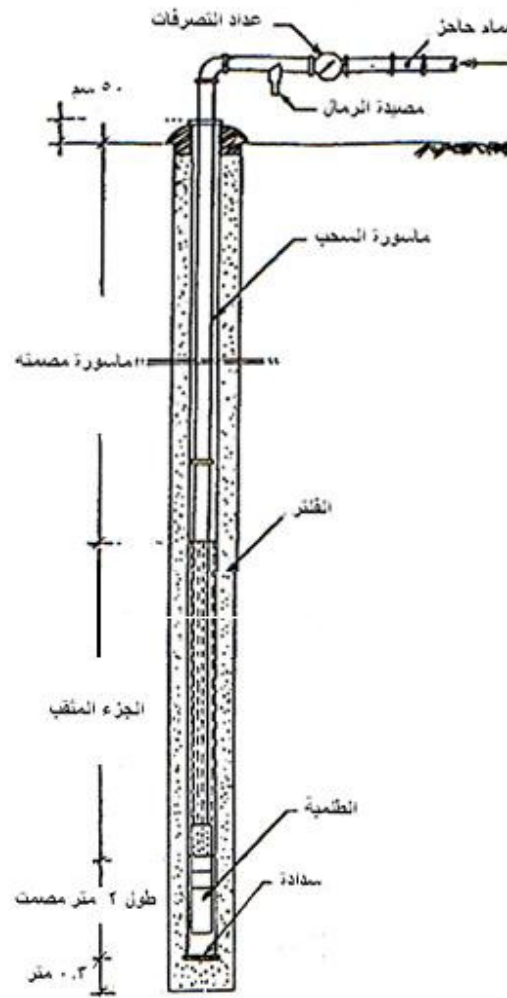
تفاصيل البئر العميق – منفذ بالمواسير المفلجة

١- البئر:

يتكون البئر من ماسورة معدنية يتراوح قطرها من ٨" - ١٦" حسب التصرف المطلوب من البئر في الساعة. يثقب الجزء الأسفل من الماسورة (ثلث الارتفاع) بثقوب أجمالي مساحتها = ٢٠% من المساحة السطحية للماسورة، قطر الثقب = ١٣- ١٦ مم مع ترك مسافة = ضعف قطر الثقب بين الثقوب - كما تقفل فتحة ماسورة البئر من أسفل. يتم كسوة الجزء المثقوب بواسطة شبكة من النحاس أو البلاستيك ذات ثقوب ضيقة قطرها = ١ مم مع رباطها جيدا في الماسورة علي أن تمثل هذه الفتحات ٩% من المسطح الخارجي - شكل (١٠).

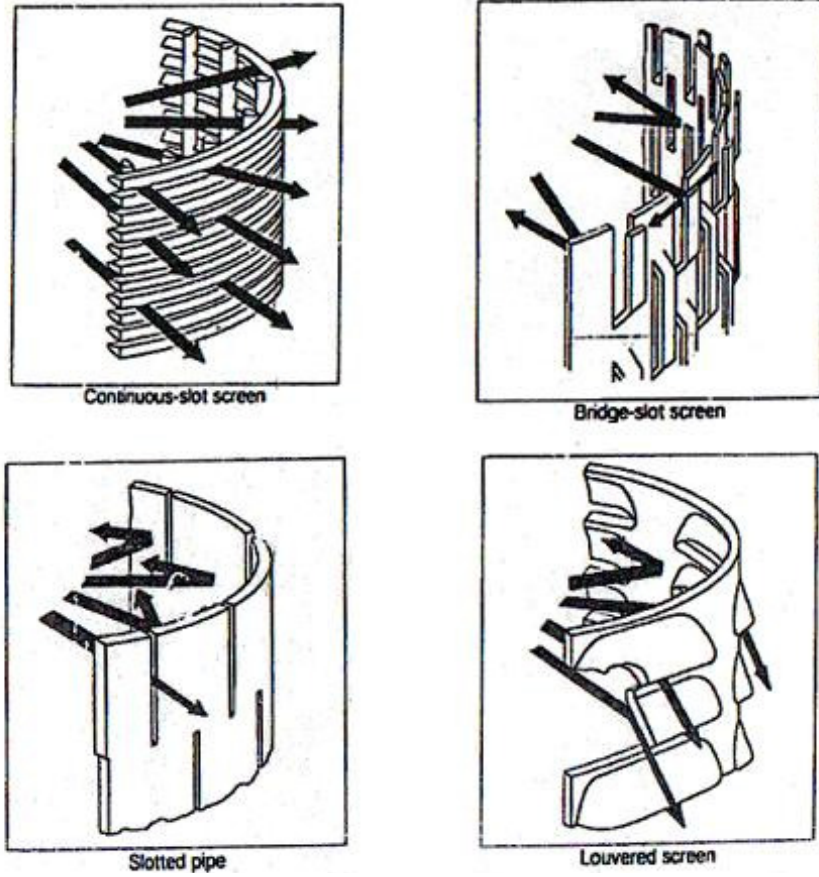
يمكن استخدام نوع آخر من المواسير المفلجة (ذات فتحات رأسية ضيقة) Bridge Slots حيث يمكن الاستغناء عن الشبكة، كما أن هناك أنظمة أخرى لفتحات البئر - شكل (١١).

يلاحظ كفاءة عالية لنوع آخر لشبكة البئر طراز جونسون لاحتوائها علي مسطح فتحات أكبر من الشبك الآخر.

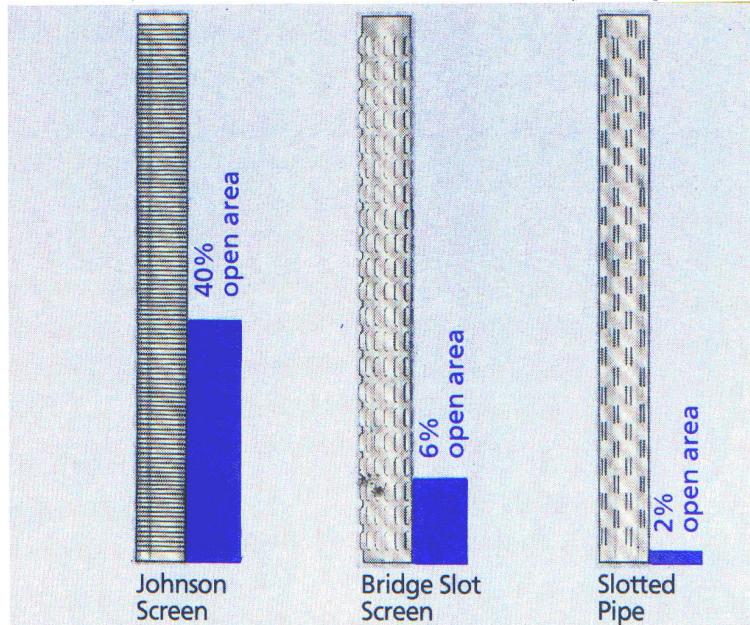


شكل (١٠)

تفاصيل البئر العميق المستخدم في مصر

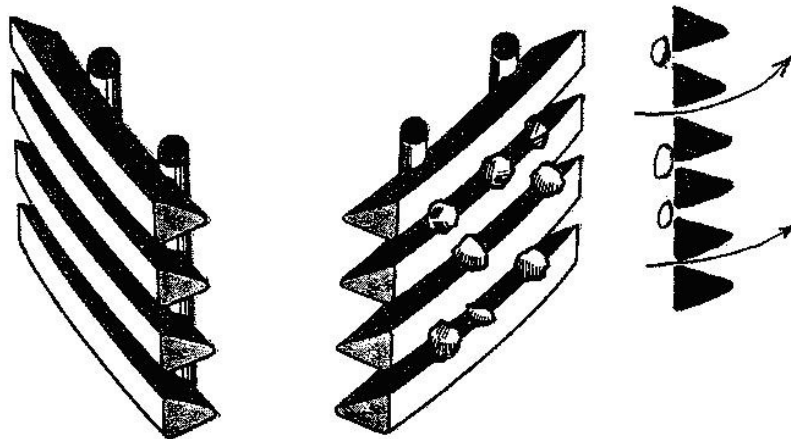
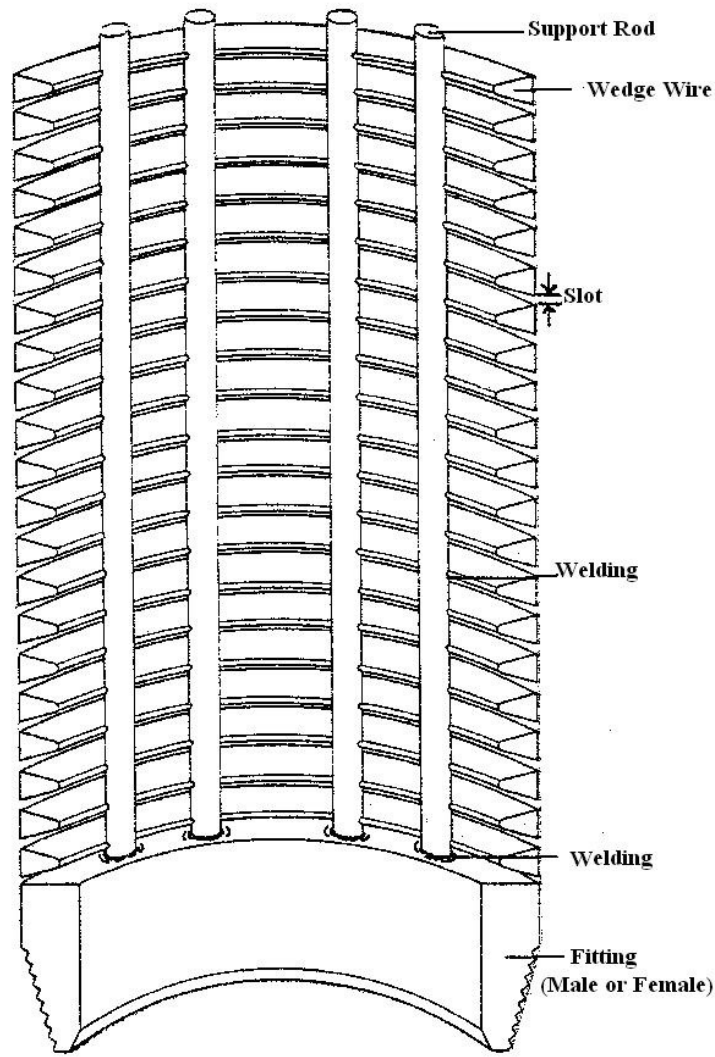


أنواع مصافي الآبار – هناك مصفاة مثقبة بثقوب دائرية لم تظهر



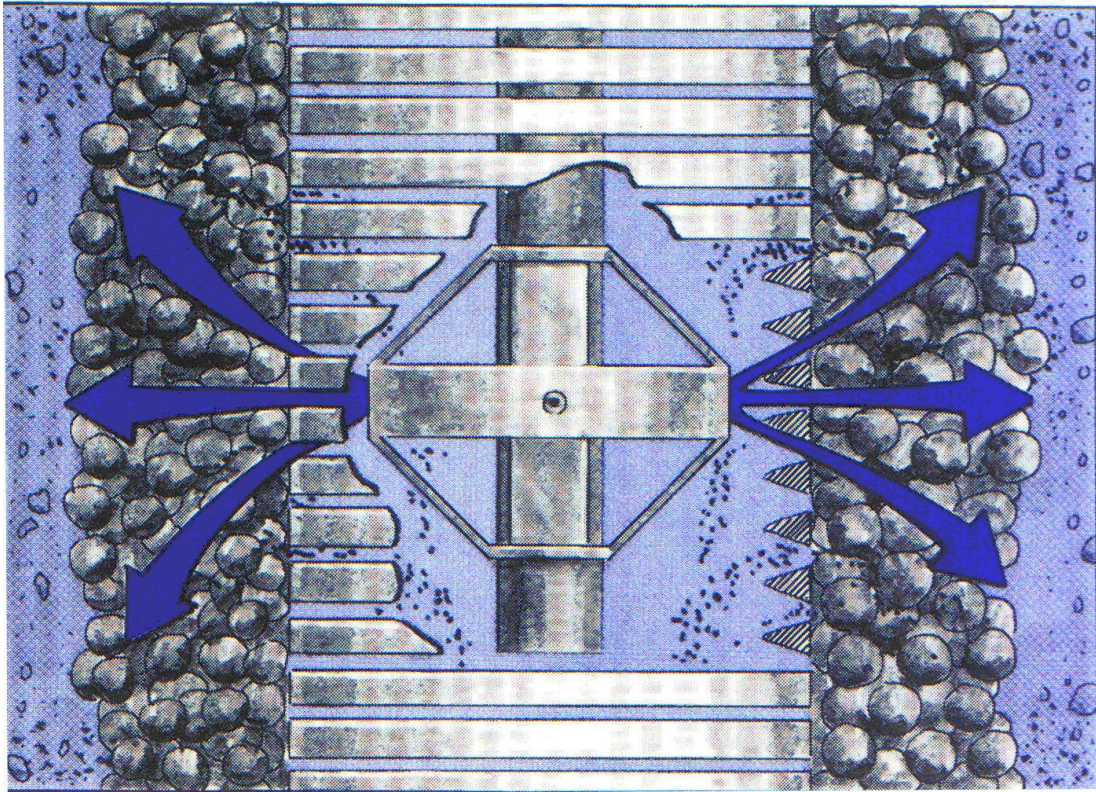
شكل (١١)

كفاءة الفتحات المحيطة بالبئر – هناك نوع آخر من الفتحات ذات ثقوب و هو أقل كفاءة



شكل (١١)

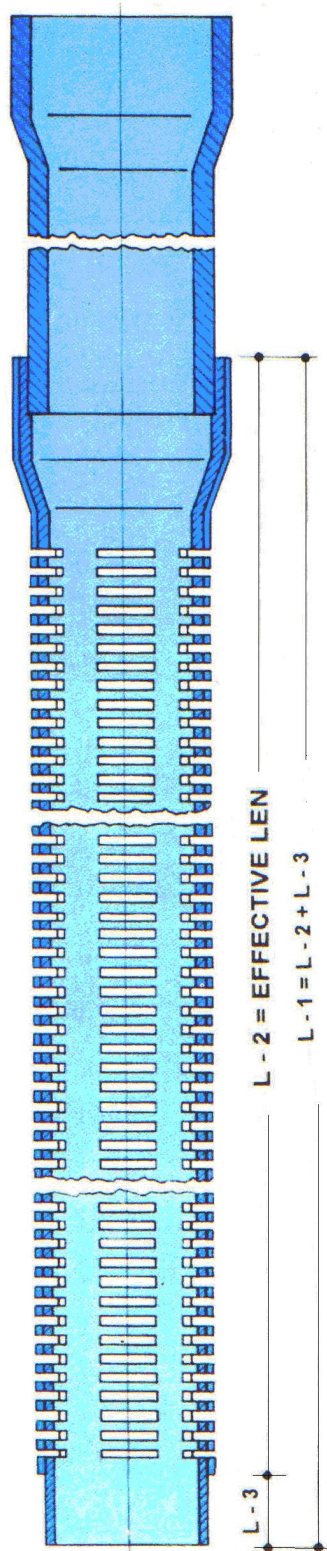
تفاصيل شبكة مصافي السلك المثلثي طراز جونسون من حديد ستينلس ستيل حرف V



شكل (١١)

شبكة طراز جونسون - تتميز بالكفاءة العالية واتساع المساحة المفتوحة

يستخدم - في بعض الحالات - ماسورة للبئر من مادة بولي فينيل كلورايد PVC في حالة احتواء المياه الجوفية علي عناصر مذابة معدنية تتفاعل مع الماسورة الصلب - شكل (١٢).



شكل (١٢)

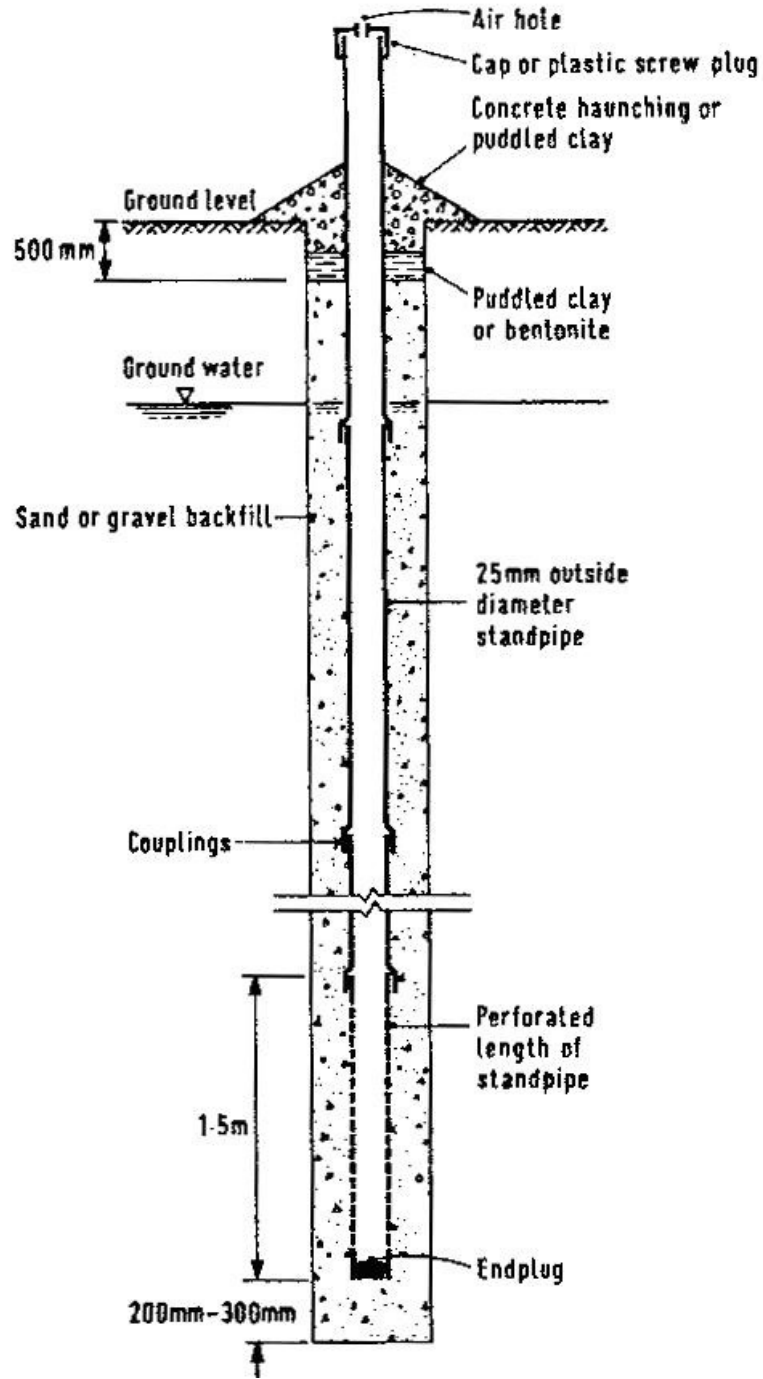
ماسورة البئر - من مادة PVC المقاومة لعدوانية التربة والمياه الأرضية



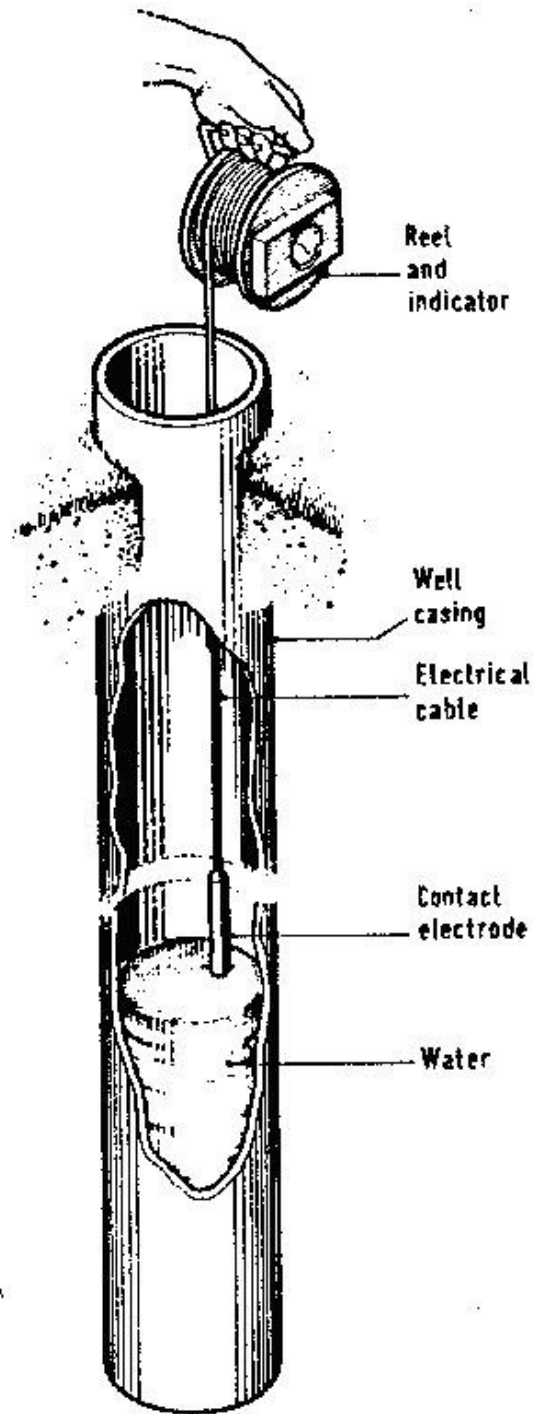
أنشاء البئر العميق و التوصيلات مع الخط المجمع

البيزومتر:

قد يتطلب الأمر مراقبة مناسيب المياه الأرضية يوميا، يتم أنشاء آبار ملاحظة كل مسافة لمراقبة التغير في مناسيب المياه أثناء عمليات النزح الجوفي - شكل (١٣).



شكل (١٣)
تفاصيل بئر الملاحظة (البيزومتر)

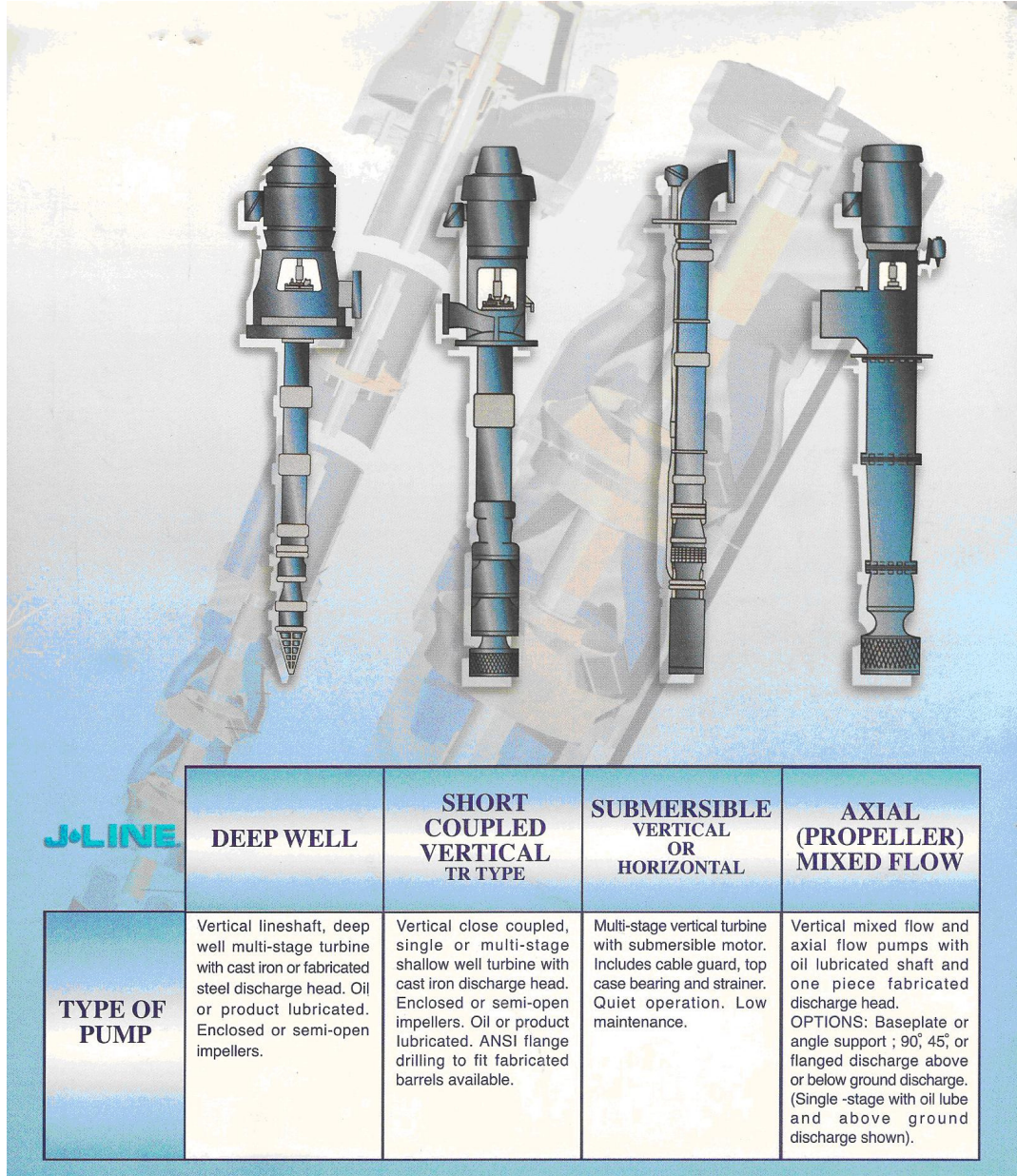


شكل (١٣)

قياس منسوب المياه داخل البيزومتر

٢ - ظلمبة الأعماق Submersible Pump:

هي ظلمبة غاطسة متعددة المراحل - يتم توصيفها علي التصريف المطلوب في الساعة وكذلك الرفع المانومتري. تتصل هذه الظلمبة بمواسير رأسية مجلفنة تصل حتي سطح الأرض. تتصل هذه المواسير مع بعضها بواسطة الفلانشات . يركب علي ماسورة الطرد صمام حاجز و عداد قياس التصريف و مصيدة رمال لحساب كمية الرواسب الخارجة مع المياه و التي يجب ألا تزيد عن ١٥ جزء / دقيقة، و إذا زادت يتم رفض البئر وكذلك صمام عدم رجوع ثم خرطوم يصل ماسورة البئر والماسورة المجمعة - شكل (١٤).



شكل (١٤)
ظلمبات الأعماق

٣ - الماسورة المجمعة :

هي ماسورة تصب فيها تصرفات كل الآبار و تصرفها إلى أقرب مجري مائي. تصمم هذه الماسورة بقطاع مناسب مع اعتبار أن سرعة المياه = ١ متر / ث. يفضل أن تكون من الصلب أو من الألومنيوم سريعة التوصيل.

٤ - المصدر الكهربائي:

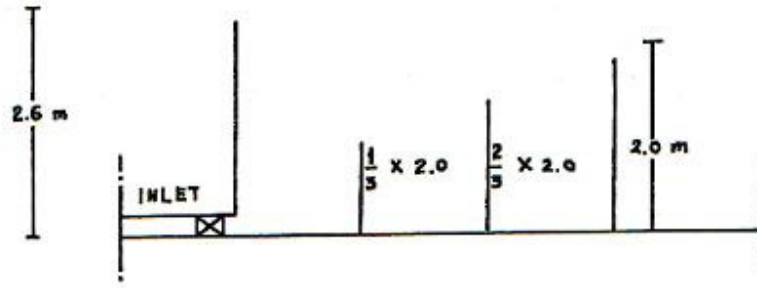
يفضل استخدام كهرباء المدينة لتغذية الطلمبات، بجانب مصدر كهرباء كهربائي ديزل يعمل كاحتياطي في حالة انقطاع التيار الأصلي، ويكون ذا قدرة مناسبة لتشغيل الطلمبات. كما يفضل أن يكون متصلاً بسكينة لتشغيل النظام فور انقطاع التيار الكهربائي .
تعمل الطلمبات ٢٤ ساعة باستمرار حتي انتهاء العمل.

٥ - حوض الترسيب :

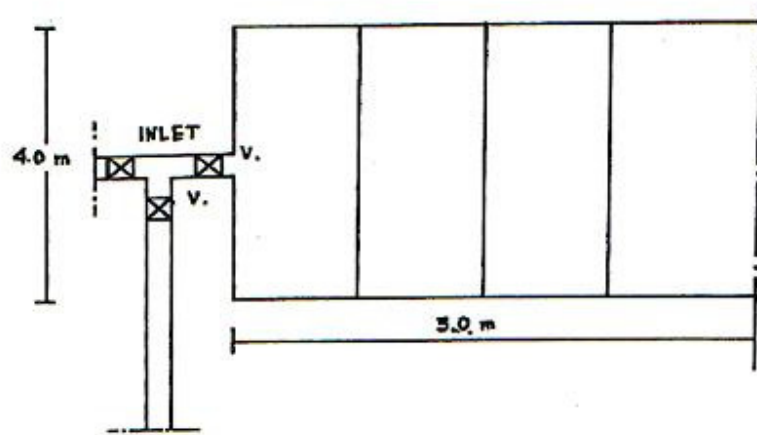
تزود الماسورة المجمعة بحوض ترسيب في نهاية الخط لترسيب جزيئات التربة - يخرج من هذا الحوض خط آخر إلى المجري المائي - شكل (١٥). يصمم الحوض بحيث تكون سرعة المياه لا تتعدى ١١٠ متر / ساعة أو أقل حتي يمكن أن تترسب الحبيبات.

طريقة التنفيذ :

- ١ - تحدد أماكن الآبار طبقاً للتصميمات ثم نبدأ الحفر بواسطة البريمة و القيسون. قطر ماسورة القيسون يزيد عن قطر البئر بمقدار ١٠ سم. يستمر العمل حتي الوصول إلي العمق المطلوب و الذي 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 ماسورة القيسون تماماً. كما توضع كمية من زلط الآبار أسفل الماسورة تقدر بمسافة ٣٠ سم.
- ٣ - يجهز زلط من نوع خاص هو زلط الآبار Pea Gravel ، قطر الحبيبات ١-٤ مم و يوضع بين ماسورة البئر و القيسون حتي ارتفاع ١ متر فوق الجزء المثقب .
- ٤ - ترفع ماسورة القيسون إلي الخارج. يضغط هواء داخل البئر عن طريق التربة. اغط الهوائ التربة. علي نظافة البئر و فتح مسام التربة.
- ٥ - ننزل الطلمبة متصلاً بها المواسير الخاصة بها داخل البئر و تستكمل باقي التركيبات حتي الماسورة المجمعة. في أول تشغيل للطلمبة يتم تشغيل الطلمبة فترات بسيطة - ثلاث دقائق - ثم الإيقاف خمس دقائق ثم التشغيل ثلاث دقائق أخرى و هكذا أربع أو خمس مرات. السبب في ذلك أن مسام التربة تكون في حالة انسداد جزئي ، و بمرور المياه خلال المسام عدة مرات فإن مياه الرش تغسل لنفسها مسارات إلي البئر مما يزيد في معدلات وصول المياه إليه .



فتاع رأسي



مسقط أفقي

شكل (١٥)

حوض الترسيب

ملاحظات:

- ١ - من المهم جدا أن تؤخذ عينة من المياه الخارجة من الماسورة المجمعة ووضعتها في كأس شفاف و تركها بعض الوقت وذلك بعد بدء العمل بدقائق قليلة. إذا لوحظ وجود ترسيب عالي لحبيبات التربة، فنخشي من سحب حبيبات التربة مع الماء والتسبب في هبوط المنشآت المجاورة مما يلزم إيقاف عملية التجفيف. السبب في ذلك يكون خطأ في تنفيذ أي من مجموعة الآبار بالموقع . ولهذا يتم اختبار المياه الخارجة من كل بئر علي حدة ثم اكتشاف البئر الموجود به خطأ. يتم إلغاء هذا البئر و يعاد دق البئر في مكان مجاور .
- ٢ - بعد انتهاء الأعمال يمكن رفع مواسير الآبار بواسطة رافع علي أن يكون اتجاه الرفع رأسيا تجنباً لالتواء الماسورة .
- ٣ - يركب عداد قياس التصريف لقياس تصرف كل ظلمبة كل يوم علي الأقل. فإذا كان تصرف الظلمبة = ١٢٠ م^٣ / ساعة و أصبح ٦٠ م^٣ / ساعة - مثلاً - دل ذلك علي انخفاض كفاءة الظلمبة و يجب تغييرها أو صيانتها.
- ٤ - يفضل دق بئر ملاحظة Pizometer قطر ٢" في الموقع لبيان و متابعة مدي انخفاض منسوب المياه .

تجربة الضخ بالموقع Pumping Test :

يجب عمل تجربة الضخ بالموقع لغرض تصميم الظلمبات (تصرفات الظلمبة وعددها) ومن ثم الطاقة الكهربائية اللازمة للتشغيل.

طريقة التنفيذ:

- 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 أو آبار جوفية (لاستخدامها فيما بعد) ، علي بعد ٧ متر ، ١٤.٥ متر ، كذلك ٢٥ متر علي التوالي من بئر السحب .
- ٣ - تركيب طلمبة غاطسة في بئر السحب كما يتم تركيب عداد لقياس تصريف الطلمبة الخارج في الساعة، كما يتم قراءة 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 - ٣٠ متر) ، تطبق المعادلة :

$$Q = 2 \pi K D (h_2 - h_1) / \ln (r_2 / r_1)$$

Or

$$Q = 2.72 K D (h_2 - h_1) / \log (r_2 / r_1)$$

حيث :

K معامل النفاذية (متر/ ساعة) .

Q تصريف البئر (م^٣ / 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) .

r₁ و r₂ مسافة البيزومتريات من البئر .

h₁ , h₂ منسوب المياه في البيزومتريات .

وذلك مع فرض الآتي :

** البئر يخترق الطبقة اختراقا كاملا.

** الطبقة تمتد أفقيا إلي مسافة لا نهائية.

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

**** مستوى المياه الأرضية أفقي تقريبا.**

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

ولحساب التصرف من الطبقة الحرة، تستخدم المعادلة التالية المعروفة بمعادلة (ديبوي):

$$Q = \pi K D (h_2^2 - h_1^2) / \ln (r_2/r_1)$$

Or

$$Q = 1.36 K D (h_2^2 - h_1^2) / \log (r_2 / r_1)$$

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

$$Q = 2 \pi K D (h_2 - h_1) G / \ln (r_2/r_1)$$

Or

$$Q = 2.72 K D G (h_2 - h_1) \log (r_2 / r_1)$$

حيث G هو معامل التصحيح للاختراق الجزئي والذي يساوي النسبة بين تصرف بئر ذي اختراق جزئي وتصرف بئر ذي اختراق كامل تحت نفس فرق منسوب المياه في البيزومتريات وعند نفس مسافات البيزومتريات من البئر. ويمكن حساب G بدقة أبتدائية مقبولة لحين اختبار الضخ من المعادلة :

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

حيث:

W هو عمق الاختراق .

D عمق الطبقة المحصورة .

r_w نصف قطر البئر.

ويعتمد اختيار المعادلات المستخدمة في حساب نزح المياه الجوفية علي الظروف الهيدرولوجية للمنطقة. وتطبق معادلات المياه الجوفية لحالات المياه الجوفية في الطبقات الحرة أو المحصورة أو شبه المحصورة أو التسريبية مع حساب الاختراق الجزئي وكذلك الأخذ في الاعتبار اقتصاديات المشروع.

مثال :

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

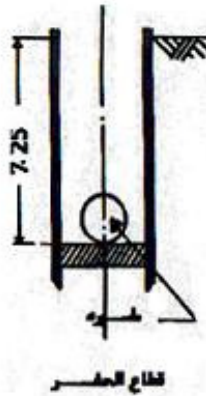
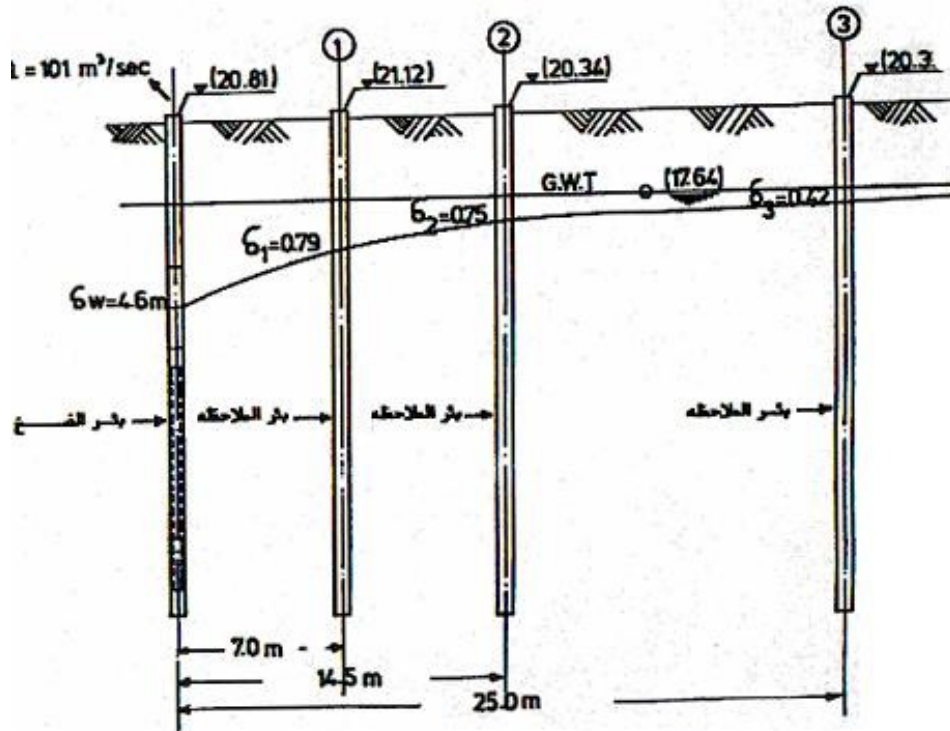
الحل :

- ١ - يتم عمل بئر للسحب وكذلك البيزومتريات كما ذكر في بند رقم ١ . كما يتم إنشاء البيزومتريات كما ذكر في بند رقم ٢ .
 - ٢ - تركيب طلمبة غاطسة داخل بئر السحب و مزودة بعداد لقياس التصريف **Flow Meter** - شكل (١٦) .
- كانت قراءات تجربة الضخ بالموقع كما يلي:

الزمن	قراءة عداد الطلمبة	المدة (دقائق)	بئر السحب (الهبوط)	بئر الرصد رقم (١)	بئر الرصد رقم (٢)	بئر الرصد رقم (٣)	التصريف م ^٣ / ساعة
١١.٣٠	٧٩٩٣	-	-	-	-	-	-
-	-	١٠	-	٠.٦٩	٠.٤٤	٠.٣٦	-
-	٨٠٢٠	١٥	-	٠.٧١	٠.٤٧	٠.٣٤	١٠.٨
-	٨٠٤٥.٣	٣٠	-	٠.٧٢	٠.٤٨	٠.٣٥	١٠.٤.٦
-	٨٠٩٦	٦٠	٤.٦	٠.٧٦	٠.٥٦	٠.٣٩	١٠.٣
١.٠	٨١٤٦.٥	٩٠	-	٠.٧٥	٠.٥٥	٠.٤٢	١٠.٢.٣
-	٨١٩٧.٥	١٢٠	-	٠.٧٦	٠.٥٥	٠.٤٢	١٠.٢.٢٥
٢.٠	٨٢٤٨	١٥٠	-	٠.٧٦	٠.٥٥	٠.٤٣	١٠.٢
-	٨٢٩٨	١٨٠	٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٨	٠.٤٣	١٠.١.٧
٣.٠	٨٣٤٨.٦	٢١٠	-	٠.٧٩	٠.٥٨	٠.٤٢	١٠.١.٦
-	٨٣٩٩	٢٤٠	-	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠.١.٥
٤	٨٤٤٩	٢٧٠	-	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠.١.٣
٤.٣٠	٨٥٠٠	٣٠٠	٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠.١.٤
المتوسط			٤.٦	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٤٢	١٠.٢

وقد حصلنا في نهاية التجربة علي النتائج التالية :

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



شكل (١٦)

تجربة إيجاد معامل النفاذية بالموقع - منحنى الهبوط أثناء تجربة الضخ

بتطبيق المعادلة الخاصة بالآبار السطحية (بين النقطة (٢) والنقطة (٣) لاستنتاج K ، والتطبيق في المعادلة (١) يمكن استنتاج معامل النفاذية (K).

$$Q = 1.36 K(H_2 - h_2) / \text{Log}_{10} (R / r) \quad (1)$$

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

$$k = 2.64 \text{m} / \text{h}$$

بتطبيق المعادلة رقم (١) لاستنتاج قيمه R نصف قطر دائرة التأثير:

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

$$R = 100.723 \text{ m}$$

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

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

يكون التصرف الكلي :

$$Q_T = 1390 \text{ m}^3/\text{h}$$

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

$$Q_T = 1390 \times 1.35 = 1876.5 \text{ m}^3 / \text{h}$$

بفرض أن تصرف الطلبة = ١٢٠ م / ساعة .

يكون عدد الطلبات المطلوبة = ١٨٧٦.٥ ÷ ١٢٠ = ١٦ طلبية.

يضاف إلى العدد السابق طلبية قبل بداية الفرعة وطلبية بعد نهاية الفرعة، يكون عدد الطلبات المطلوبة لهذا العمل = ١٨ طلبية.

تكون مواصفات الطلبة كما يلي:

تصرف الطلبة = ١٢٠ م / ساعة.

الرافع المانومتري = ٢٥ متر .

حساب مقدار انخفاض المياه داخل بئر ما عند النقطة (أ)، وتأثير الآبار الأخرى المجاورة عليه:
مقدار تخفيض المياه في النقطة (أ) بمعلومية K وبتطبيق المعادلات :
مقدار التخفيض في النقطة (أ) :

رقم البئر	المسافة من النقطة (أ) (متر)	مقدار الانخفاض 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
١١	٦٦	٠.٢٣٦
١٢	٧٣	٠.٢٠٢
١٣	٨٠	٠.١٧١
١٤	٨٧	٠.١٤٢
١٥	٩٤	٠.١١٦
١٦	١٠١	٠.٠٩١
١٧	١٠٨	٠.٠٦٨
١٨	١١٥	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) :

رقم البئر	المسافة من نقطة (أ) (متر)	مقدار الانخفاض في منسوب مياه الرش (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
١١	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)

وكمعلومة استرشادية ، يوضح الجدول التالي ، القيمة التقريبية لمعامل النفاذية بالنسبة لأنواع التربة .

جدول (٢)

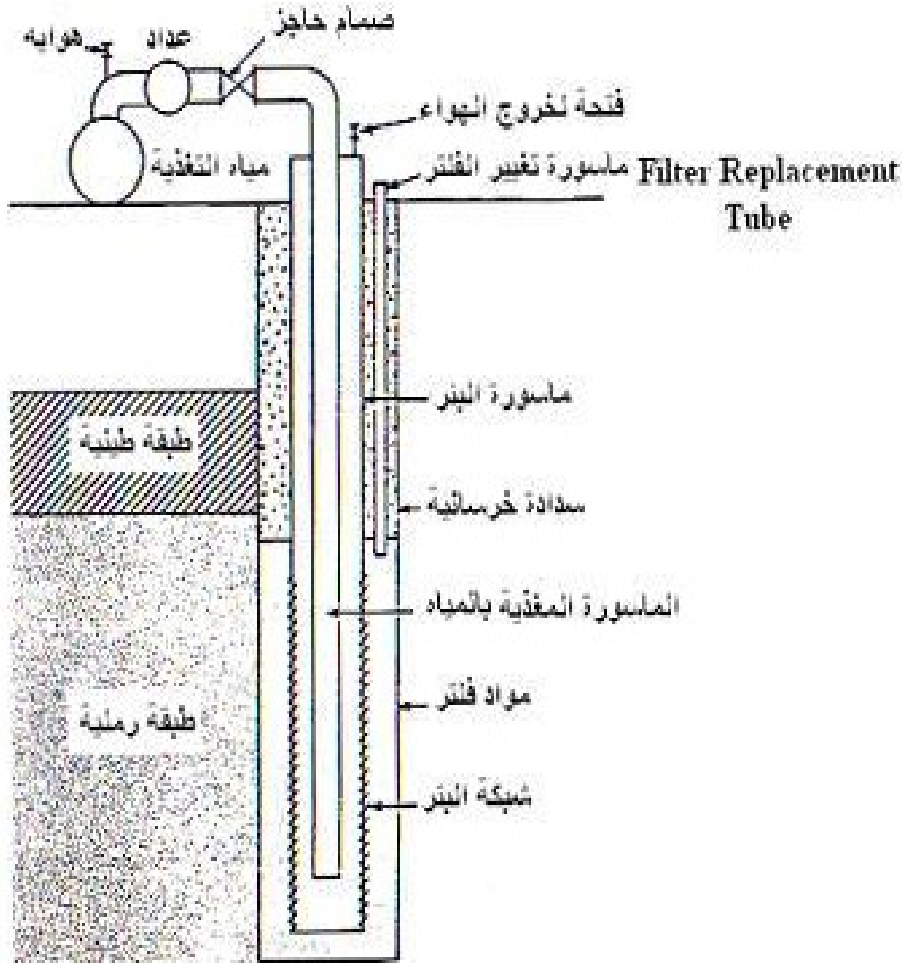
القيم التقريبية لمعامل النفاذية بالنسبة لنوع التربة

مكونات التربة	معامل النفاذية (K) متر / يوم
تربة طينية سطحية	٠.٢ - ٠.٠١
تربة طينية عميقة	١٠ - ٨ - ٢
تربة طفالية سطحية	١ - ٠.١
تربة رملية ناعمة	٥ - ١
تربة من الرمل المتوسط	٢٠ - ٥
تربة من الرمل الخشن	١٠٠ - ٢٠
تربة زلطية	١٠٠ - ٥
تربة طينية رملية زلطية	٠.١ - ٠.٠٠١
تربة من الحجر الرملي	١ - ٠.٠٠١
تربة من الصخور الكربونية	١ - ٠.٠١
تربة من الصخور الصلصالية	١٠ - ٧
تربة صخرية كثيفة	أقل من ١٠ - ٥
تربة صخرية غير كثيفة	٣٠٠ - ٠.٠٠١
تربة من الصخور البركانية	١٠٠٠ - صفر

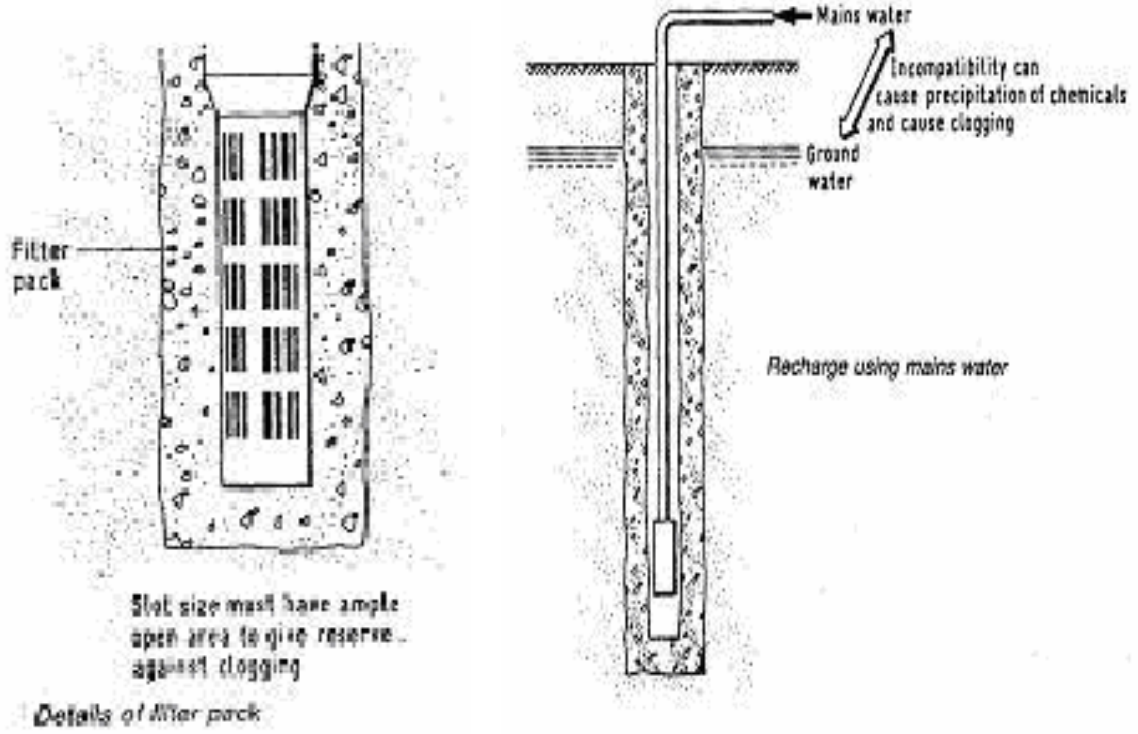
رابعاً : الآبار المستقبلية للمياه Recharge Wells

تنشأ هذه الآبار للأغراض التالية :

- ١ - ضبط مناسيب المياه الأرضية، ففي حالة وجود أي عملية لنزح المياه الجوفية بالمنطقة والتي يترتب عليها انخفاض منسوب المياه الجوفية مما يحدث هبوطاً في مناسيب مياه الرشح أسفل أساسات المباني مما قد يسبب هبوطاً للمباني. وإنشاء هذا البئر ودفق المياه داخله لتعويض أي فارق في مناسيب مياه الرشح وملاشاة أية أضرار قد تحدث للمباني.
- ٢ - حالة الاضطراب لنزح المياه الجوفية من أي مشروع وعدم وجود مجري مائي أو مطبق مجاري للصرف عليه قريباً من موقع العمل ، ولكن يتم ذلك يتم بعد دراسة جيوتكنيكية للموقع.
- ٣ - تنشأ هذه الآبار في أماكن قرب سواحل البحار لمنع تغول ملوحة المياه الي داخل المياه الجوفية - شكل (١٧).



تفاصيل البئر المستقبل للمياه



Treatment of recharge water

تفاصيل البئر المستقبل للمياه

شكل (١٧)

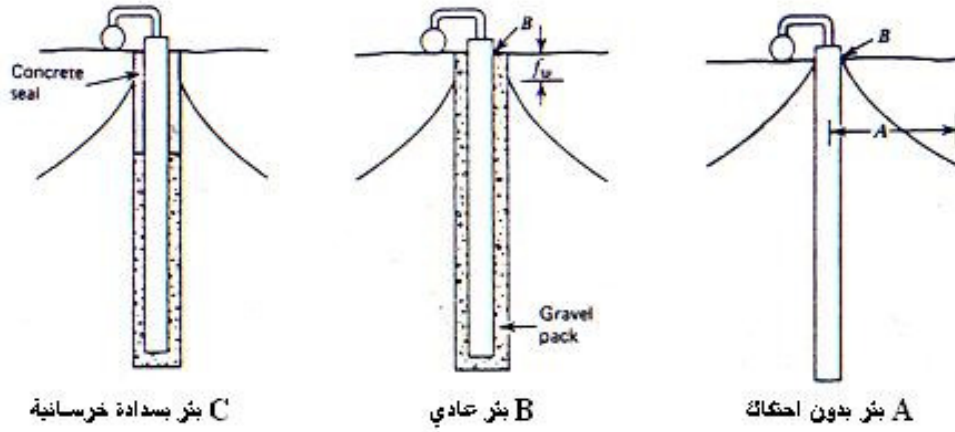
تفاصيل البئر المستقبل للمياه

يصمم هذا البئر بنفس الطريقة التي يصمم بها البئر العميق - شكل (١٥) مع ضرورة وضع مواد غير منفذة لسد مخارج المياه مثل الخرسانة أو مواد حقن ليتمكن للبئر استيعاب كمية أكبر من المياه. كما يختلف أيضا عن البئر العميق في أن فتحات المصافي أكبر لتسهيل خروج أكبر كمية من المياه. قد يتم دفع المياه مباشرة من الماسورة المجمعة إلى البئر ولكن يفضل عمل حوض ترسيب قبل دخول المياه إلى البئر للتخلص من أية حبيبات أو عوالق قد تحتويها المياه تتسبب في غلق مسام التربة حول البئر - شكل (١٧).

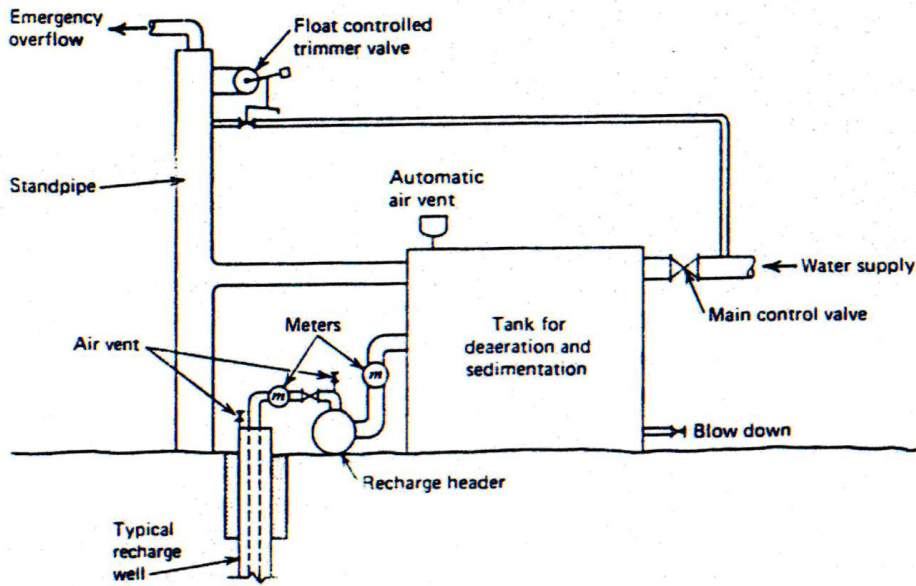
ملاحظات :

- ١ - يفضل ضخ بعض المياه من البئر كل فترة لفتح مسام التربة واستعادة 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 دفع المياه إلى البئر.
- ٥ - يراعى تزويد البئر بصمام هواء قبل خزان الترسيب . هذا الخزان مصمم لكسر وتهذنة سرعة المياه لتذهب هادئة بسرعة ٣٠ سم / ث وترسب أية حبيبات قد تكون علفت بالمياه.
- ٦ - يجب مراقبة مناسيب المياه بالمنطقة بعدد من البيزومتحات حول البئر المستقبل للمياه.

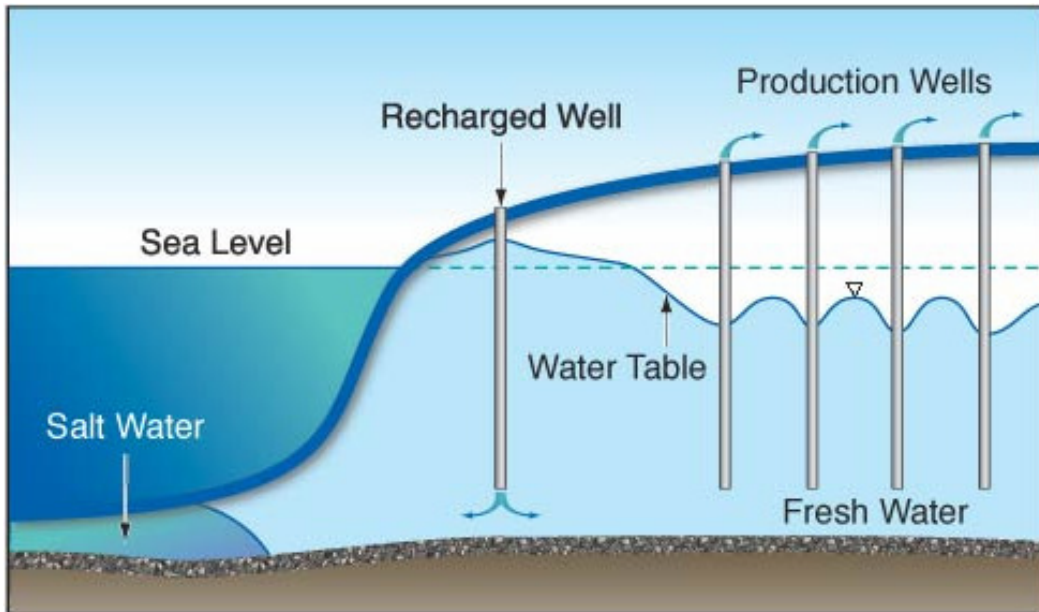
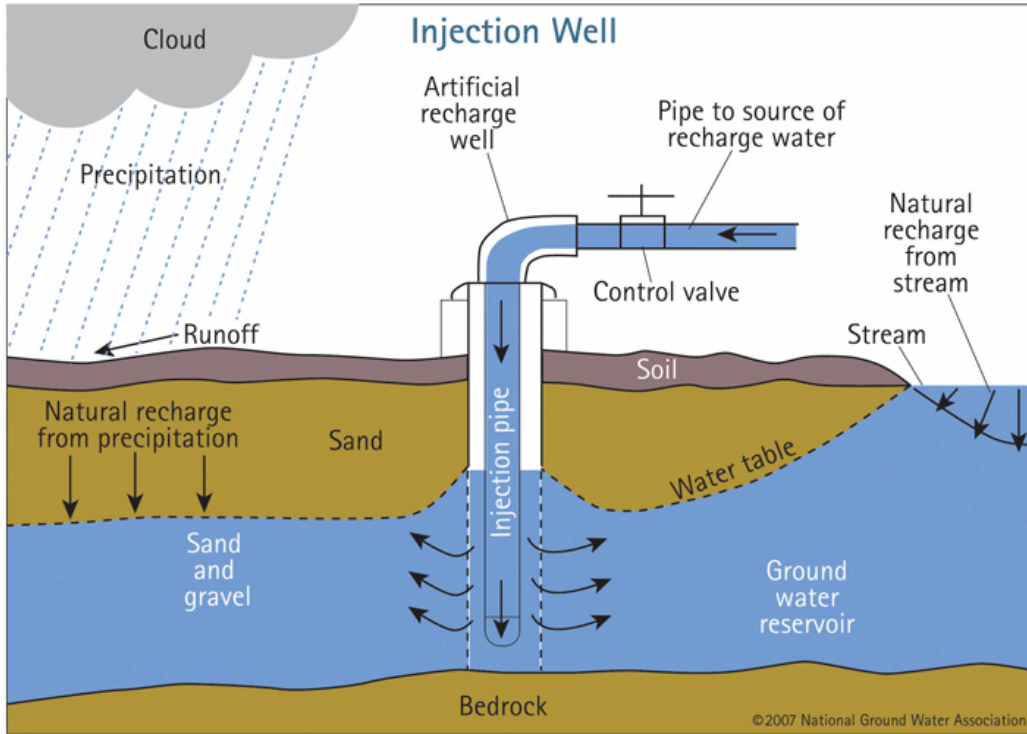


شكل (١٧)
البئر المستقبل للمياه



شكل (١٧)

خزان الترسيب لحجز الرواسب الموجودة مع المياه قبل الدخول على البئر المستقبل للمياه



شكل (١٧)
تفاصيل البئر المستقبل للمياه

الآبار العميقة في الأراضي قليلة النفاذية Educator System

يصلح هذا النوع من نزع المياه الجوفية بنظام التفريغ Vacuum لأعمال الحفر العميق للطبقات الأرضية قليلة النفاذية مع قلة مياه النزع حيث يعمل حوالي ١٠٠ بئر جوفي معا و يتم نزع مياه الآبار السابقة بواسطة محطة ظلمبات واحدة رغم

اختلاف عمق مياه كل بئر و كمية المياه المطلوب نزعها . تكون كمية مياه النزع تكون في حدود ٢٠٠ جالون / دقيقة . نظام آبار النزع العميقة - شكل (١٨) ، بالإضافة الي تخفيض منسوب مياه الرشح الي حوالي ١٠٠ قدم أو أكثر . يتم تركيب الآبار بشكل متقارب و مشابهة للآبار الأبرية . تفاصيل ماسورة البئر - شكل (١٩) . .

المميزات :

قدرة علي الشفط و التفريغ بلا حدود مثل النزع بالآبار الأبرية .

تستطيع تخفيض مياه الرشح أكثر من ١٠٠ قدم .

أقتصادية بالمقارنة بآبار العميقة .

تحتاج لأعمال صيانة أقل .

طريقة التنفيذ :

يتم تركيب ماسورتين متوازيتين :

الماسورة الأولى تدفع فيها مياه تغذية تحت ضغط عالي الي الآبار من أسفل خلال فنشوري لتدفع أي مياه متجمعة في أي بئر الي خارج ماسورة البئر الي الماسورة الثانية .

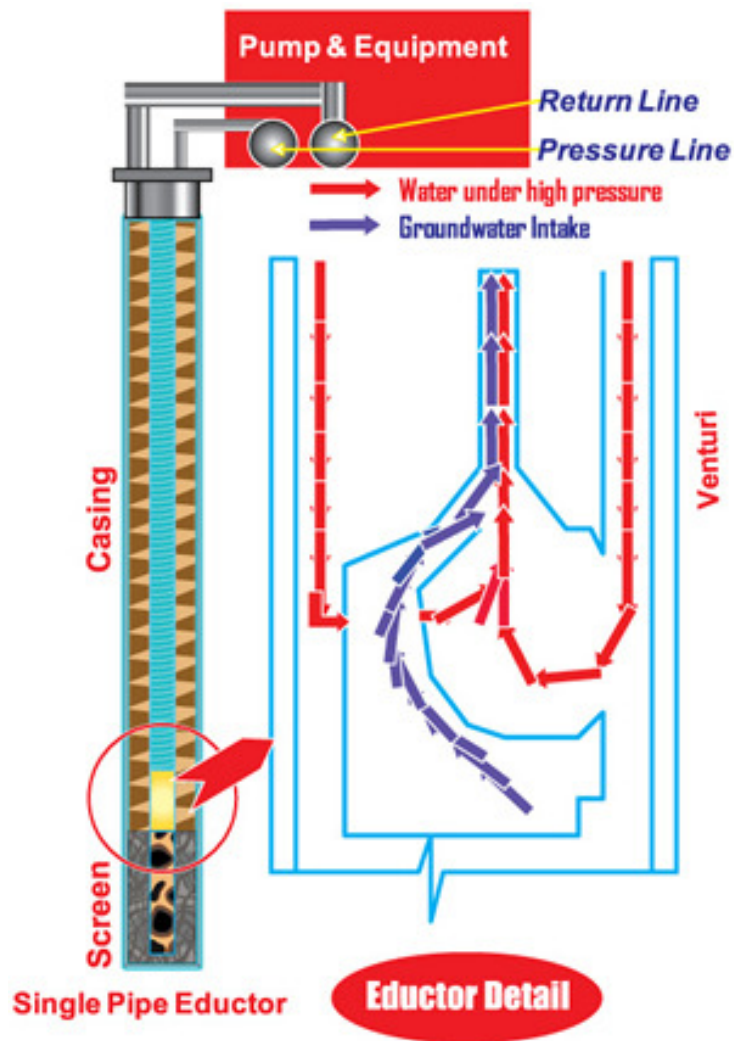
الماسورة الثانية : تقوم بتجميع المياه الخارجة من الآبار - شكل (١٩) .

أما البئر فيتكون من ماسورة خارجية Well Casing بقطر أكبر ثم ماسورة البئر بقطر أصغر التي تحمل المياه الراجعة.



شكل (١٨)

نظام آبار النزع العميقة



شكل (١٩)
تفاصيل ماسورة البئر



شكل (١٩)
نظام الآبار



شكل (١٩)
أنشاء و تركيب نظام الآبار



شكل (١٩)
غرز الآبار

الجزء الثاني

مقاومة المياه الجوفية

الطرق الخاصة

- حقن التربة.
- تجميد التربة.
- النزع الأسموزي الكهربائي.

الطرق الخاصة لمقاومة المياه الجوفية :

سنعرض في هذا المجال الطرق الخاصة لمقاومة المياه الجوفية، وتتلخص هذه الطرق في :

١ - حقن التربة Soil Grouting.

٢ - تبريد التربة Ground Freezing .

٣ - نزع المياه بطريقة النزع الأسموزي الكهربائي Electro Osmosis .



الغرض من عملية الحقن:

١ - تحسين الخواص الميكانيكية للتربة.

٢ - تقوية التربة.

٣ - تحسين خواص تقليل نفاذية الماء خلال التربة .

٤ - تثبيت الرمال المتحركة بملء الفراغات بالكيمياء—اويات . يفيد هذا الأمر في تنفيذ الأنفاق .

٥ - ملء الفراغات خارج الأنفاق .

٦ - ملء وحقن فراغات الخرسانة .

العوامل المؤثرة على عملية الحقن:

١- اختلاف نفاذية طبقات التربة Variation In Permeability :

حيث تتخلل مواد الحقن في المسار الأسهل لها وسط حبيبات التربة، فيمكن أن تمتلئ طبقة ذات نفاذية عالية دون طبقة أخرى ذات نفاذية ضعيفة.

٢ - المياه الجارية Moving Water :

تقوم المياه الجارية بحمل حبيبات مواد الحقن بعيدا عن مكان الحقن بالإضافة إلى تخفيف تركيزها، الأمر الذي يتسبب في ضعفها.

٣ - الشقوق داخل طبقات التربة Soil Splitting :

و فيها تقوم مواد الحقن بعمل شقوق و فتحات في الأرض أو الصخر خاصة عند الحقن عند ضغط كبير و علي عمق بسيط . يحدث ذلك أيضا إذا كان ضغط الحقن أكبر من أجهاد التربة . يتسبب هذا الأمر في أهدار بعض مواد الحقن .

أنواع الحقن:

١ - الحقن بالأسمنت Cement Grout :

و هو من أوائل المواد المستخدمة في أعمال الحقن . كما يستخدم الأسمنت مضافا إليه البنتونايت لإعطاء المحلول مزيدا من اللزوجة و الشحومية بالإضافة إلى تأخير زمن الشك. تضاف بعض الكيماويات الأخرى للتحكم في زمن الشك وزمن الوصول إلى القوة النهائية كما يضاف الرمل كمادة مالئة، وهو مناسب لملء شقوق الصخور و مسام طبقات التربة الرملية و الزلطية.

٢ - البنتونايت + الأسمنت Bentonite Cement :

للحصول على مواد حقن رخيصة يمكن حقنها في الطين الناعم و الطين المتماسك ولا يستخدم للطبقات الرملية.

٣ - الحقن بالمواد الكيماوية Chemical Grouts :

أشهر هذه المواد هي سيليكات الصوديوم ثم يليها مادة كلوريد الكالسيوم ليكونا مادة جيلا تينية داخل مسام التربة. يمكن أن تضاف لها بعض المواد للتحكم في فترة الشك النهائي للمادة. الجدول (٣) يوضح فكرة مبسطة لمواد وطرق الحقن وكذلك مجال التنفيذ ومجال التطبيق:

جدول (٣)

الحقن بالمواد الكيماوية وطريقة التنفيذ

طريقة الحقن PROCESSES	مواد الحقن Materials – Mixture - Admixtures	طريقة التنفيذ Procedure	مجال التطبيق Applicability
الحقن بالأسمنت	تكون نسبة المياه : الأسمنت من ١:١ إلى ٤ : ١ . يخلط البنتونايت والسيليكا مع الخليط لتقليل النضح والانفصال الحبيبي . كذلك تضاف مادة Lingo Sulphonate لتسهيل عملية الحقن .	تحقن تحت ضغط منخفض لعمل قميص من الحقن أو تحت ضغط عالي لعمل ستارة عميقة من الحقن . نسبة م / س ونوع الأسمنت والإضافات تحدد بالموقع لتلائم الظروف.	يستخدم لحقن طبقات الرمل المدموك ذو قطر حبيبات $D10 = 1.2$ مم أو الرمل السائب ذو قطر حبيبات $D10 = 0.8$ مم أو الرمل الحرش ذو قطر حبيبات $D10$ أقل من ١ مم . لا يستخدم لحقن الفراغات الكبيرة مع وجود مياه جارية.
مستحلب البيتومين	حبيبات البيتومين بقطر من ٠.٠٠١ إلى ٠.٠٠٥ مم تنتشر بالماء ، يضاف حامض الفورميك لأحداث الترويب .	تتأثر عملية الترويب Coagulation العمل لكيماويات الموجودة بالتربة أو المياه الأرضية. ينصح بالعناية والحرص أثناء العمل .	يستخدم لخفض نفاذية طبقات الرمل ذات حبيبات $D10$ أقل من ٠.١ مم .
الحقن بسيليكات الصوديوم - المرحلة واحدة	سيليكات الصوديوم + مادة لأحداث التصلب مثل ألومينات الصوديوم المذابة في الماء	يتم عمل خليط من سيليكات الصوديوم والمادة المحدث للتلصق للحصول على زمن مناسب للتصلب من بضع دقائق إلى عدة ساعات. يتم الحقن حلال	يسمى لخفض نفاذية طبقات الرمل ذات قطر حبيبات $D10$ أقل من ٠.٨ مم .

	مواسير الحقن .		
الحقن بسيليكا الصوديوم - علي مرحلتين	خليط من سيليكا الصوديوم وكلوريد الكالسيوم.	حقن السائلين علي التوالي، يتم التفاعل بينهما علي الفور وتترسب سيليكا الكالسيوم داخل الفراغات.	يستخدم لحقن الطبقات الرملية ذات قطر حبيبات D10 أقل من ٠.٨ مم لتقليل نفاذيتها.
أكريل أميد	٥ - ١٠ % مذاب في الماء مع مادة مساعدة للتحكم في تكوين الجيلاتين مثل بيرسلفات الأمونيوم أو ثيوسلفات الصوديوم .	الحقن خلال ماسورة مثقبة Perforated Injection Point . زمن التصلب يتراوح بين دقيقة إلي ساعة.	يستخدم لحقن طبقات الرمل والسيلت، قطر الحبيبات D10 أقل من ٠.١٣ مم . يمكن أن يستخدم مع وجود مياه جارية .
لجنين الكروم Chrome Lignin (مواد عضوية)	خليط من Ligno Sulphate وملح Hexa Valent Chromium مع مركبات أخرى.	تحقن لتربة مع زمن شك يتراوح من دقيقة إلي عدة ساعات وذلك بالتحكم في نسبة المياه. تتناسب مقاومة الحقن عكسيا مع كمية المياه.	يستخدم لخفض نفاذية طبقات الرمل التي تكون قطر حبيباتها D10 أقل من ٠.٠٨ مم.
الحقن بالرمل والأسمنت.	تتراوح نسبة الرمل : الأسمنت من ٢ : ١ إلي ١٠ : ١ . يمكن إضافة البنتونايت أو الرماد المتطاير لتقليل الانفصال الحبيبي وتحسين قابلية الضخ. تكون نسبة المياه : الأسمنت ٢ : ١ إلي 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، إضافة لحقن الطبقة الزلزالية 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 استمرار عملية الحقن بشكل متقطع أو متواصل. يتم هز الطمي للتخلص من الحبيبات الكبيرة.	حقن الطبقات الرملية ذات المياه الكبيرة نسبيا. تعتمد قوة الحقن علي نسبة المياه : الأسمنت .
الحقن بخليط البنتونايت والطمي.	الطمي : المياه : مروبة مثل سلفات الألومنيوم لجعل مواد الحقن معلقة 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	يستخدم لحقن التربة الرملية والتي يتراوح قطر حبيباتها من ٠.٢ إلي ١ مم ، تنخفض نفاذية طبقات الأرض . يمكن زوال مواد الحقن بفعل تحرك المياه الجوفية .

	أو الشروخ	
--	-----------	--

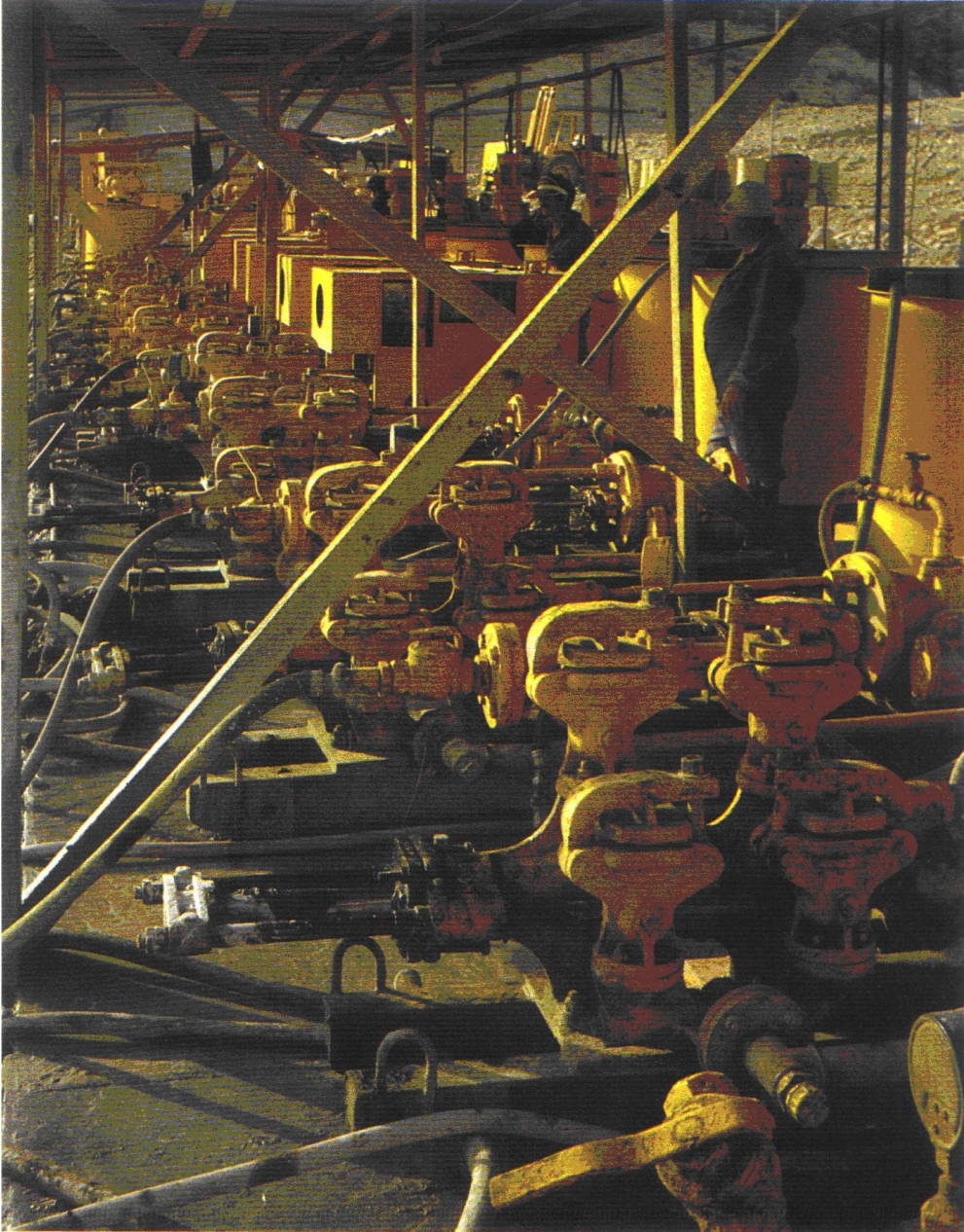
جدول رقم (٤) يحدد أنواع واستخدامات مواد حقن التربة :

جدول رقم (٤)

أنواع واستخدامات مواد حقن التربة

نوع مادة الحقن	أسمنت	أسمنت + بنتونايت	بنتونايت	كيمـاويات			مواد حقن مهواه			
				راتنج عضوي	سليكات الصوديوم					
الحالة State	غير متماسك	متماسك	سوائل Liquids			مستحلبات مهواه Aerated emulsions				
			مدى الاستخدام Range of use	صخور مفتته	معامل النفاذية (رمل - زلط) (K) أكبر من					فجوات
١٠ × ٥ - ٤	١٠ - ٤	١٠ - ٥			١٠ - ٤	١٠ - ٦				
التحكم في الحقن	ضغط الحقن حتي الممانعة	كميات محسوبة Calculated quantities							ملء الفجوات Cavity filling	
		١	١	٢ - ٤	٦	١٠ - ٥٠٠	١	١٠		
التكلفة النسبية لملء ١ م ^٣ من فراغات التربة										

آلات ومعدات الحقن - شكل (٢٠) .

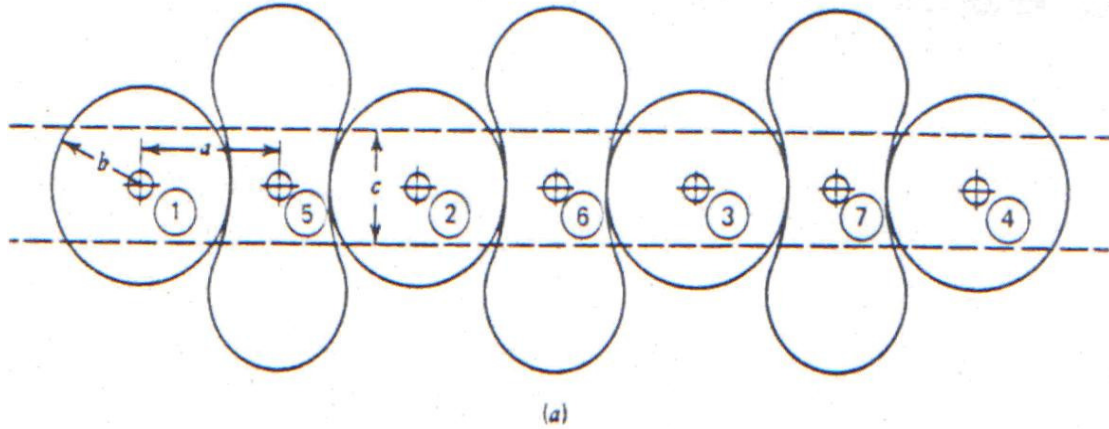


شكل (٢٠)
المعدات المركزية لحقن التربة

طرق الحقن:

الطريقة الأولى للحقن:

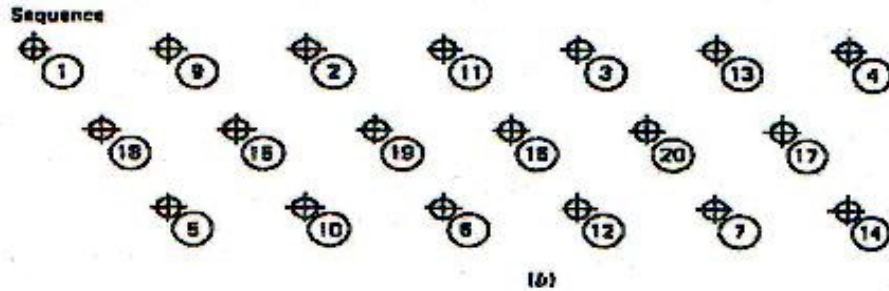
حقن الستارة بصف واحد من ثقوب الحقن. يحقن الثقب رقم (١) ثم الثقب رقم (٢)(٤).لثقب رقم (٣) ثم الثقب رقم (٤). نجد أن مجال الحقن (b)، ثقب هو أسطوانة رأسية نصف قطرها (b) ، ثم يتم حقن الثقب رقم(٥) ثم رقم (٦) ثم رقم (٧) . نستكمل حقن الستارة علي أن يتم تحديد كمية مواد الحقن في كل ثقب أو حتي لا يقبل الثقب أي حقن آخر و بشرط عدم شق طبقات التربة. نحصل علي ستارة بسمك (c) و الذي يجب أن يكون أقل من المسافة (a) - شكل (٢١) .



شكل (٢١)
الحقن بالطريقة الأولى

الطريقة الثانية للحقن:

وهي عبارة عن عمل ٣ صفوف متوازية - يتم حقن الصفين الخارجين أولا - يكون قطر الحقن (b) كما هو واضح من الترقيم. يتم حقن الصف الأوسط حتي رفض مزيدا من الحقن Refusal أو إذا تم تحديد كمية الحقن المطلوبة مسبقا - شكل (٢٢).



شكل (٢٢)
الطريقة الثانية للحقن

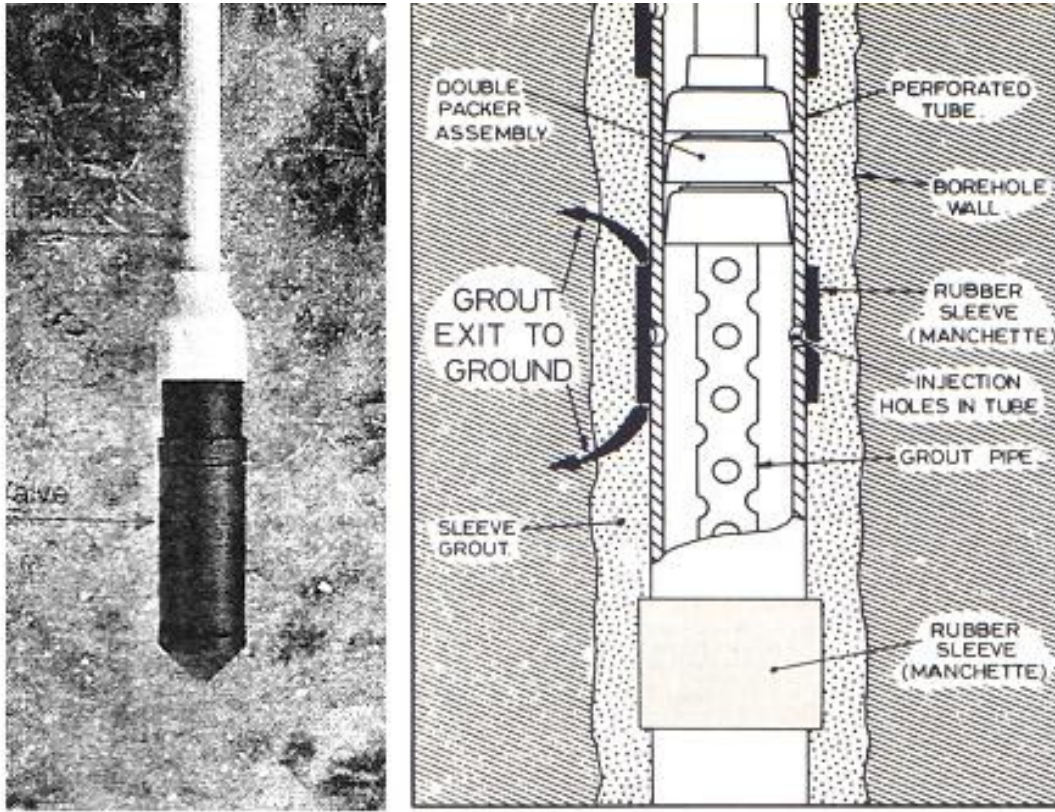
الحقن على مرحلتين Multistage Grouting :

و فيه يتم حقن مواد الحقن أولا ثم نظافة الفتحة. بعد تمام شك مواد الحقن ، يمكن حقن باقي الطبقات . وفي بعض الأحوال يمكن استخدام مواد حقن مختلفة لكل طبقة مثل حقن الأسمنت و البنتونايت في طبقه الزلط ثم حقن الكيماويات لطبقة الرمل. و يمكن عمل حقن من خلال الثقب الرأسي، حيث يتم الحفر حتي المنطقة ذات الفراغات الكبيرة - الزلط أو الأحجار - ثم إجراء الحقن لهذه الطبقة. ثم نستكمل الحفر في الثقب الرأسي إلي نهاية الطبقة الثانية و هكذا. و تجدر الإشارة إلي أن عمل الثقب الرأسي يتم بواسطة دفع المياه Water Jet ، و تعتبر هذه الطريقة أرخص قليلا من حفر الثقب بالحفارة الميكانيكية . و يمكن عمل الحفر بطريقة أخرى حيث يتم حفر الثقب بكامل الارتفاع ثم عمل الحقن

اللازم لأوطي طبقة . تسحب ماسورة الحقن إلى أعلياالسابقة.قة التالية ليتم حقنها كذلك و هكذا. تعتبر هذه الطريقة أرخص من السابقة .

حقن التربة بواسطة ماسورة مثقبة Manchette Tube :

وهي طريقة معقدة و تستخدم بكثرة في الدول الأوروبية - شكل (٢٣) . و الماسورة المثقبة تكون بقطر ٢" و طول ١٢" - مقفولة من أسفل - منطقة الثقوب مغلفة بغلاف مطاطي . تتصل الماسورة المثقبة بمواسير رأسية حتي سطح الأرض.



صمام الحقن

ماسورة الحقن

شكل (٢٣)

ماسورة الحقن - صمام الحقن

عند إجراء عملية الحقن، تتمزق الغلاف المطاطي المغلف لصمام الحقن لتخرج مواد الحقن لتملأ الفراغات والشقوق والمسام داخل التربة.

أعداد مواد الحقن و خلطها بالنسب المقررة:

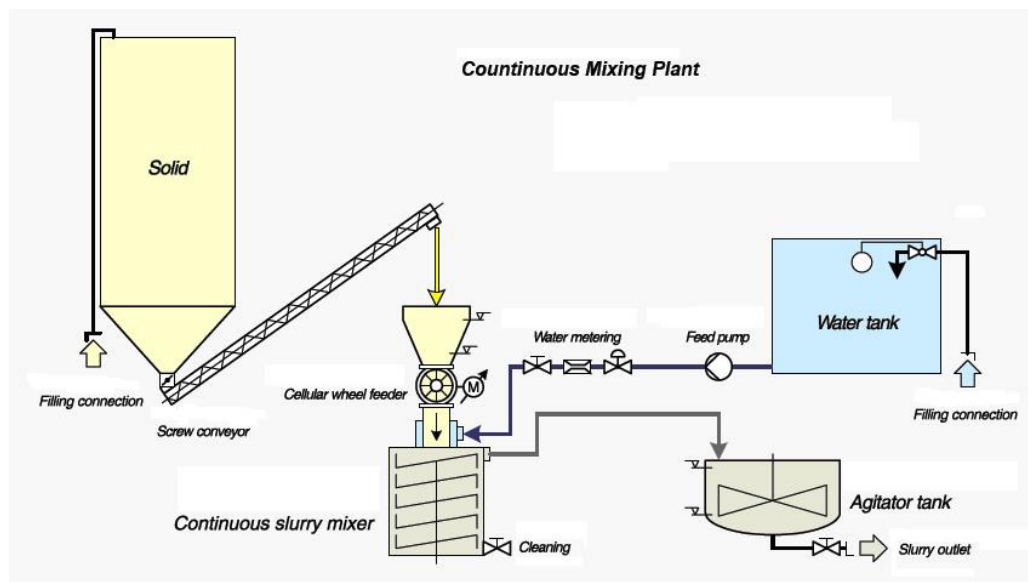
شكل (٢٤) :



شكل (٢٤)

ماكينة الخلط و الحقن

Batch Mixing and Injection Plant

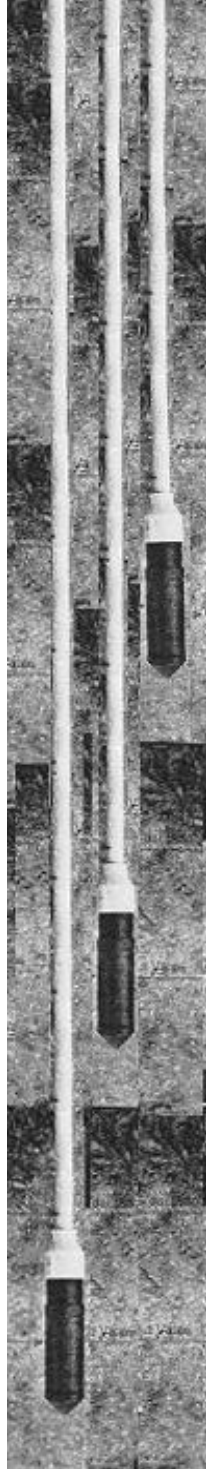


شكل (٢٤)

مخطط الخلط و الحقن المستمر

Continuous Batch Mixing and Injection Plant

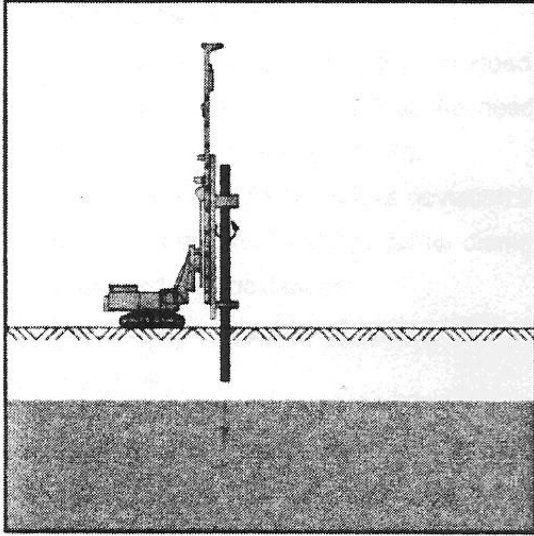
تفاصيل ماسورة الحقن – شكل (٢٥) .



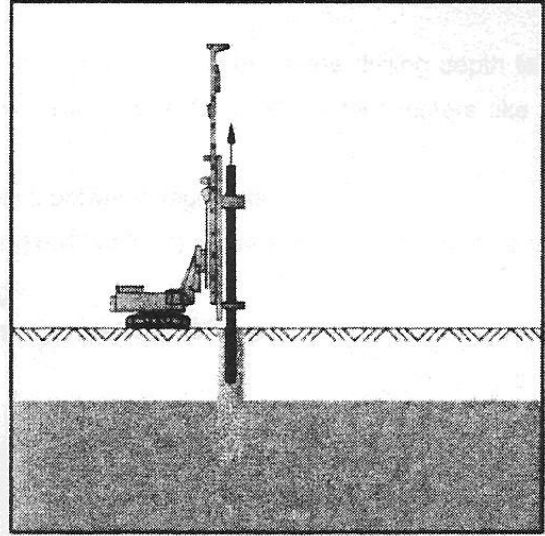
شكل (٢٥)

مجموعة من مواسير الحقن في حزمة واحدة مع الصمامات (المواسير و الصمامات من مادة PVC) في الثقب الواحد و
علي مناسب مختلفة لحقن طبقة محددة و سميكة من التربة

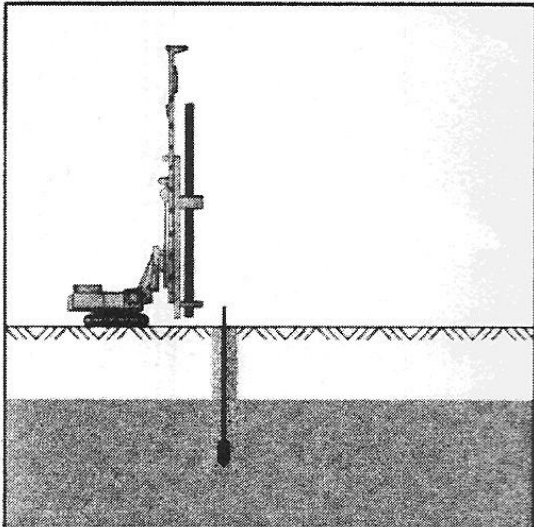
خطوات عملية حقن التربة - شكل (٢٦) .



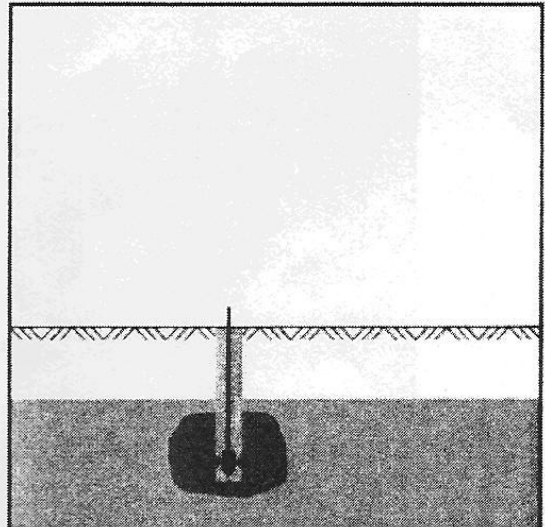
Drilling down to final level by drilling rig



Removal of Casing and Filling with Bentonite/Cement Grout

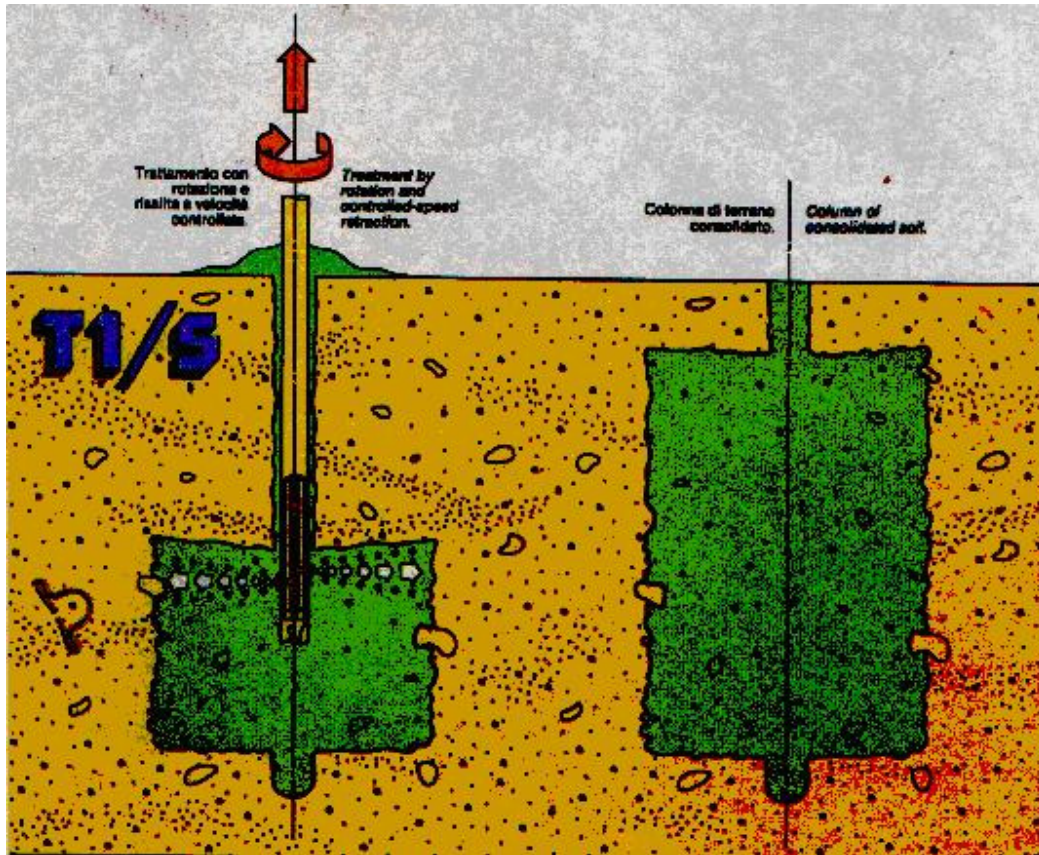


Installation of Grout Pipe and Valve



Grouting of Soft Gel through Valve

شكل (٢٦)
خطوات عملية حقن التربة



تابع شكل (٢٦)

نموذج حقن التربة بطريقة الماسورة المثقبة

معدة التنقيب لعمل ثقوب الحقن لأي عمق - شكل (٢٧) .



شكل (٢٧)

معدة التنقيب لعمل ثقوب الحقن لأي عمق – مشروع مترو الأنفاق - المرحلة الثالثة – القاهرة

طريقه أخرى للحقن:

تستخدم المعدة – شكل (٢٨) في تنقيب الأرض و الوصول إلي العمق المطلوب. يتم دفع مواد الحقن خلال الثقوب بضغط كبير ليملا المسام و الفجوات بطبقة التربة .



Bauer

شكل (٢٨)

طريقة أخرى للحقن

High Pressure Injection Pump

حساب كميات الحقن:

$$\text{حجم الحقن} = T \times A \times n$$

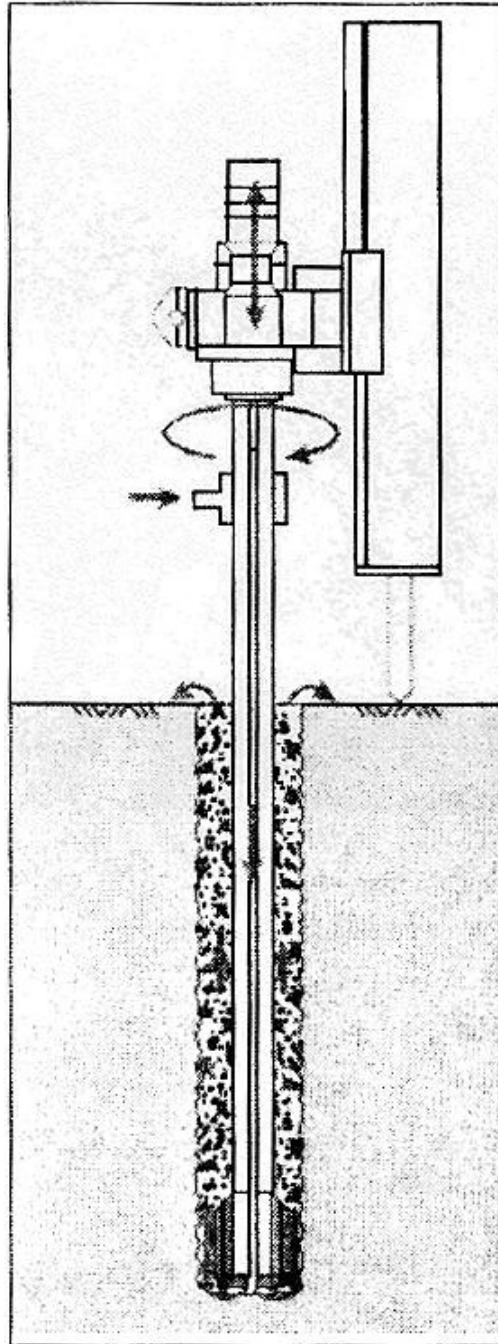
حيث :

n : (Porosity) : مسامية التربة .

A : المساحة المغطاة لكل صمام .

T : سمك طبقة الحقن المغطاة بالصمام .

تعرف كمية مواد الحقن المطلوبة للعمل للاسترشاد بها .



Rotary drilling system with
mud flushing

شكل (٢٨)

معدة التنقيب ذات الذراع الممتد المستخدمة في عملية الحقن

يبدأ الحقن بتشغيل الطلبات تحت ضغط عالي كاف لتمزيق الغلاف المطاطي الخارجي لصمام الحقن البلاستيكي واختراق الطبقة الأسمنتية الضعيفة ثم التغلغل في مسام التربة. يبلغ الضغط المذكور ٣٤ كجم / سم^٢. تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة مع ضرورة الوضع في الاعتبار أن يكون العاملين القائمين بالعمل علي دراية كافية خوفاً من حدوث أي شقوق في التربة .

Splitting Of Soil

مرحلة اعمال التخریم Implementation of the drilling

- توقيع نقط التخریم جيداً قبل البدء.
- توضع أرقام نقط التخریم والمحاور على طبقات الرصف.
- يستخدم المحفر الدوار مع محلول البنتونيت للنزول للأعماق المطلوبة مع المحافظة على التربة من الانهيار .
- عند الوصول إلى العمق النهائي يستبدل محلول البنتونيت بمحلول ال B / C .
- يتم فتح ال Sleeves بواسطة ال Packer عند ضغط ١٠٠ بار (100 Bar) .
- يرسل محلول ال B / C خلال مواسير الحقن .
- يتم إيقاف الحقن عند الوصول إلى :
- كمية الحقن للجبلة الواحدة = (٢٠٠ - ٢٥٠ لتر) .
- أو أقصى ضغط الحقن يصل إلى ٢٠ Bar .
- سمك الطبقة المحقونة في المحطات الأساسية من ٧ إلى ٧.٥ متر الحقن: خارج والمداخل Accesses في حدود ٢-٣ متر.

عملية الحقن :

- عند الوصول للعمق المطلوب باستخدام البنتونيت إنشاء الحفر فانه يستبدل بمحلول الحقن (اسمنت + مياه).
- تبدأ عملية الحقن من أسفل إلى أعلى.
- يجب ثبات ضغط وكمية الحقن لنفس نوع التربة.
- يمكن تعديل سرعة دوران وضغط الحقن ومعدل الحقن تبعاً للخصائص الميكانيكية للتربة.
- يجب ضبط سرعة سحب المواسير باستمرار بحيث تتراوح الخطوة من ٢.٥ - ٦ سم .
- سرعة الدوران من ٥ - ٣٠ لفة / دقيقة. ويمكن التحكم فيها مع سحب مواسير الحقن.
- اثناء عملية الحقن تخرج كمية زائدة من ال Spoil خارج الحفرة.
- كمية الاسمنت تتراوح بين ٥٠٠ - ٩٠٠ كجم / م^٣.
- مقاومة الضغط لا تقل عن ٣٠ كجم/سم^٢.
- كمية المياه في حدود ٨٠٠ لتر .
- يتم الحقن على هيئة عمليات خطيه بدءاً من إحدى الجوانب وانتهاء إلى الجانب الآخر.
- تستمر عملية الحقن في كل Sleeve حتى نصل إلى إحدى الخاصيتين الآتيتين :
- * أقصى كمية حقن ٢٠٠-٢٥٠ لتر.

* أقصى ضغط حقن عند أقل معدل حقن.

- يبدأ الحقن بفتح الجلبة بضغط في حدود 100 Bar ثم يستمر الحقن حتى نصل إلى معدل الحقن المطلوب مع استمرار ضغط الحقن بصفه دائمة أقل من ٢٠ بار .
- مدة الحقن لا تزيد عن دقيقه واحده ويتم تسجيل أقصى ضغط عند أقل معدل حقن.

اختبار قياس معامل النفاذية لطبقة الحقن :

- يقاس معامل النفاذية لطبقة الحقن بحيث لايزيد عن (١٠^{-٦} متر / ثانية) .
- توضع عدد Piezometers على أرض المشروع وكذلك مجموعة أخرى خارج المشروع لمراقبة منسوب المياه الجوفية أثناء اختبار النفاذية .
- يحاط و يعزل الموقع من جميع الاتجاهات، يمكن دق خوازيق بنتونايت.
- يتم دق آبار سحب المياه بقطر ٣٠ سم مع تزويد قاع البئر بمرشح مناسب. يجب تنظيف كل بئر لإزالة الحبيبات الناعمة.
- يتم تشغيل البئر لفترة زمنية لحساب النفاذية من خلال طبقة الحقن المراد اختبار النفاذية لها .
- يكون داخل الجزء الذي تجري به تجربة الضخ بئر عميق واحد وعدد ٢ بيزومتر داخلي و بيزومتر واحد خارجي لقياس منسوب الماء .
- يبدأ البئر في نزح المياه المحددة بحوائط خوازيق البنتونايت وطبقة الحقن السفلي . نصل إلى مرحلة النزح المنتظم Steady State حيث لا يتغير منسوب المياه إلا في حدود ١٠ سم في نصف ساعة .
- بتطبيق المعادلة :

$$K_p = Q_p / i \times A$$

K_p معامل نفاذية طبقة الحقن (م / ث)

Q_p كمية المياه المتسربة من طبقة الحقن (م^٣ / ثانية)

i الفاقد من الطبقة Hydraulic Gradient Acting On Plug

A مساحة طبقة الحقن Surface Area Of Plug

الاحتياطات الواجب مراعاتها قبل إجراء اختبار معامل النفاذية :

- يجب تحديد المسافات بدقة بين الآبار والبيزومترات .
- يجب تركيب بيزوميتر قبل إجراء الاختبار بأسبوع لقياس منسوب المياه ثلاث مرات في اليوم على الأقل.
- قياس منسوب المياه في الآبار والبيزومترات قبل ٢٤ ساعة من إجراء الاختبار.

مثال رقم (١):

خط انحدار قطره ٦٠٠ مم - عمق الحفر = ٦ متر ، عرض الحفر = ٢ متر بمدينة القاهرة . عرض الشارع = ٦ متر - أساسات المباني سطحية . نوع التربة من الرمل الناعم الي المتوسط .
نظرا لأن طبيعة أساسات المباني المجاورة للخط ، أساسات سطحية ، فإن أي حركة في طبقات الأرض التي قد تنتج من أعمال الحفر أو من النزح الجوفي طوال مدة المشروع سترتب عليها حدوث هبوط في المباني المجاورة .
أستقر الرأي علي حقن قاع الحفر بسمك ١ متر ، بالإضافة الي حقن جوانب الحفر بعرض ١ متر - شكل (٢٩) - باستخدام مادة سيليكات الصوديوم (الجيلا تينية) مع إضافة أي مادة مساعدة لزياده سرعة التماسك مثل سيليكات حديدك الصوديوم بنسبة لا تزيد عن ١٠ % .

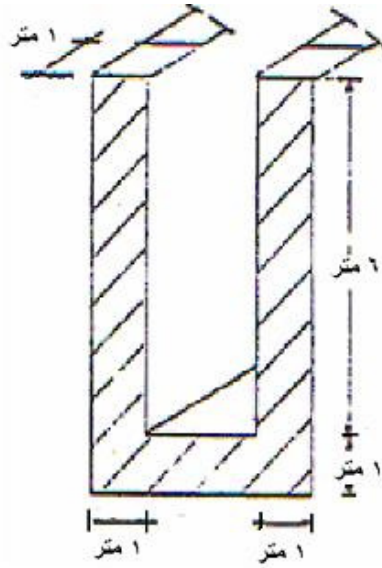
طريقة الحقن :

- ١ - يتم الحقن علي ثلاثة محاور : محور المنتصف - محور الحفر - يتم الحقن أسفل منسوب التأسيس بمقدار ١ متر.
- ٢ - يتم الحقن في المحورين الآخرين من أسفل منسوب التأسيس بمقدار ١ متر و حتي سطح الأرض . تكون المسافة بين مواسير الحقن = ١.٢ متر .
- ٣ - الضغط المطلوب لعملية الحقن يتغير بتغير عمق الحقن . شكل (٢٤) يوضح الاقتراح الابتدائي للحقن . يستمر ضغط الحقن بنفس القيمة حتي تتشبع التربة ثم يتم رفع ماسورة الحقن ١ متر و نستأنف الحقن مرة أخرى و هكذا .
- ٤ - معدل الضخ يقدر بمقدار ١٥٠ - ٢٠٠ لتر / ساعة للأعماق الكبيرة و يقل مع رفع مواسير الحقن الي أعلي .

حساب كميات الحقن المطلوبة :

بيانات الموقع :

طبيعة الطبقة المطلوب حقنها	رمل ناعم الي متوسط
- عمق المياه (من سطح الأرض)	٢.٥ متر
- الوزن النوعي للرمل	٢.٦٥ طن / م ^٣
- نفاذية طبقة الرمل (n)	٠.٤٠٤



عرض خندق المواسير = 2 متر
مسقط أفقي لمواسير الحفن

شكل (٢٩)

خندق المواسير المطلوب حقنة

$$\text{حجم الفراغات / م}^3 = 0.404 \text{ م}^3 \text{ من التربة}$$

$$\text{كثافة سيليكات الصوديوم} = 1.5 \text{ طن / م}^3$$

$$\text{وزن السيليكات / م}^3 = 0.404 \times 1.5 = 0.606 \text{ طن / م}^3$$

$$\text{حجم التربة المطلوب حقنها (الأرض و الجوانب)} = 1 \times 4 + 1 \times 2 \times 6 = 16 \text{ م}^3 / \text{متر طولي}.$$

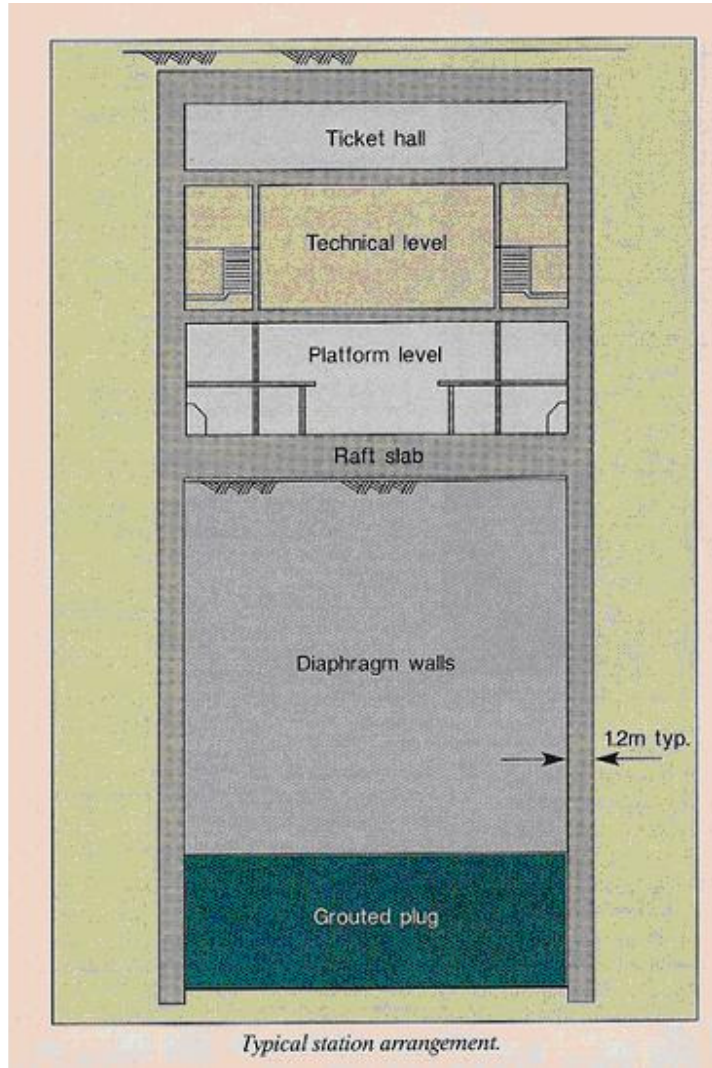
$$\text{كمية سيليكات الصوديوم المطلوبة} = 0.606 \times 16 = 9.696 \text{ طن / متر طولي}.$$

مثال رقم (٢) :

أنشاء محطات مترو الأنفاق - المرحلة الثانية :

مقدمة :

تنشأ المحطات لخط مترو الأنفاق بنظام الحوائط اللوحية **Diaphragm Walls** والمصبوبة في الموقع - أرضية المحطات علي عمق ٢١.٥ متر من سطح الأرض بينما تكون نهايه الحوائط اللوحية علي عمق ٤٧.٥ متر . المياه الأرضية علي عمق ٢ متر من سطح الأرض - المسافة بين الحائط (عرض المحطة) = ٢١.١ متر (محطة سانت تريز) - شكل (٣٠).



شكل (٣٠)

نموذج محطة منفذة بالفعل - محطة مترو سانت تريز - شبرا - القاهرة

مثال رقم (٣) :

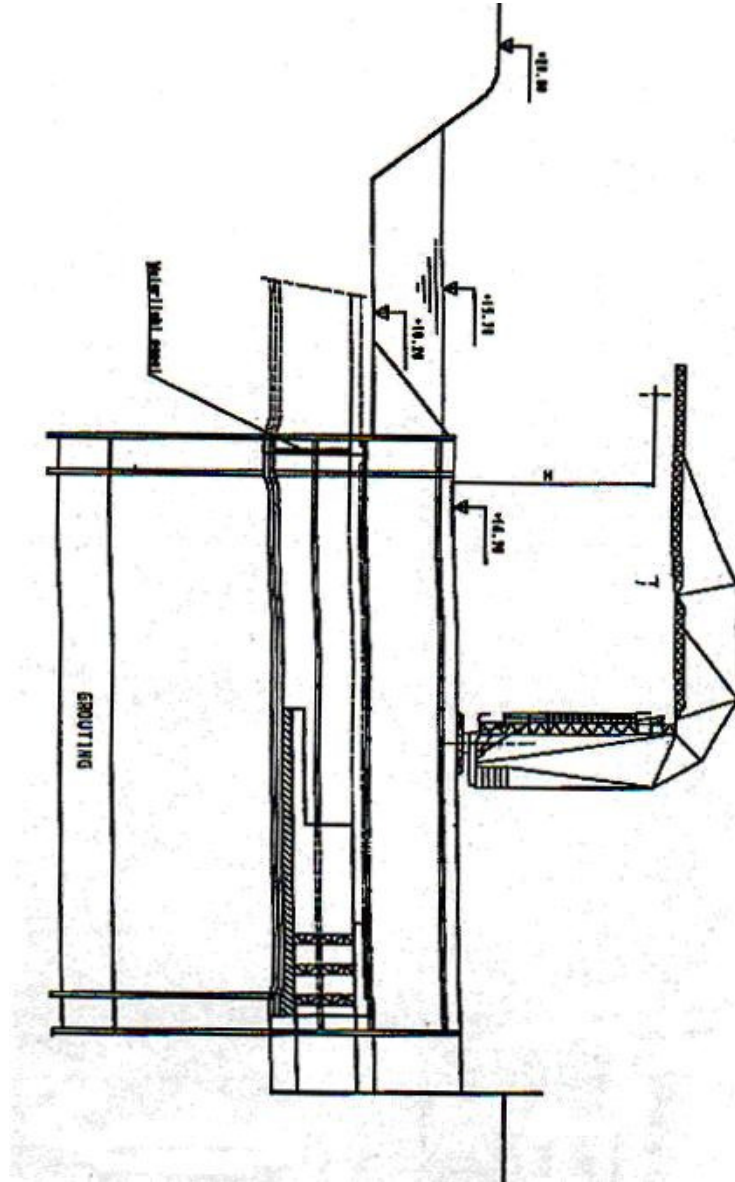
أنشاء نفق المترو - المرحله الثانية - أسفل ترعة الأسماعية :

طريقة التنفيذ :

تم تقسيم العمل علي قسمين : العمل في النصف الجنوبي للترعة ، ثم بعد الأ انتهاء منه يعاد حفر الترعة و مرور المياه ، ثم يبدأ العمل في الجزء الشمالي للترعة وذلك لضمان تدفق المياه في ترعة الإسماعيلية . تتلخص طريقة التنفيذ كما يلي :

١ - دق ستائر معدنية حول الجزء الشمالي للترعة - من محور الترعة ثم الي الشط الجنوبي ثم الردم بالأ تربة مع الدمك - شكل (٣١) .

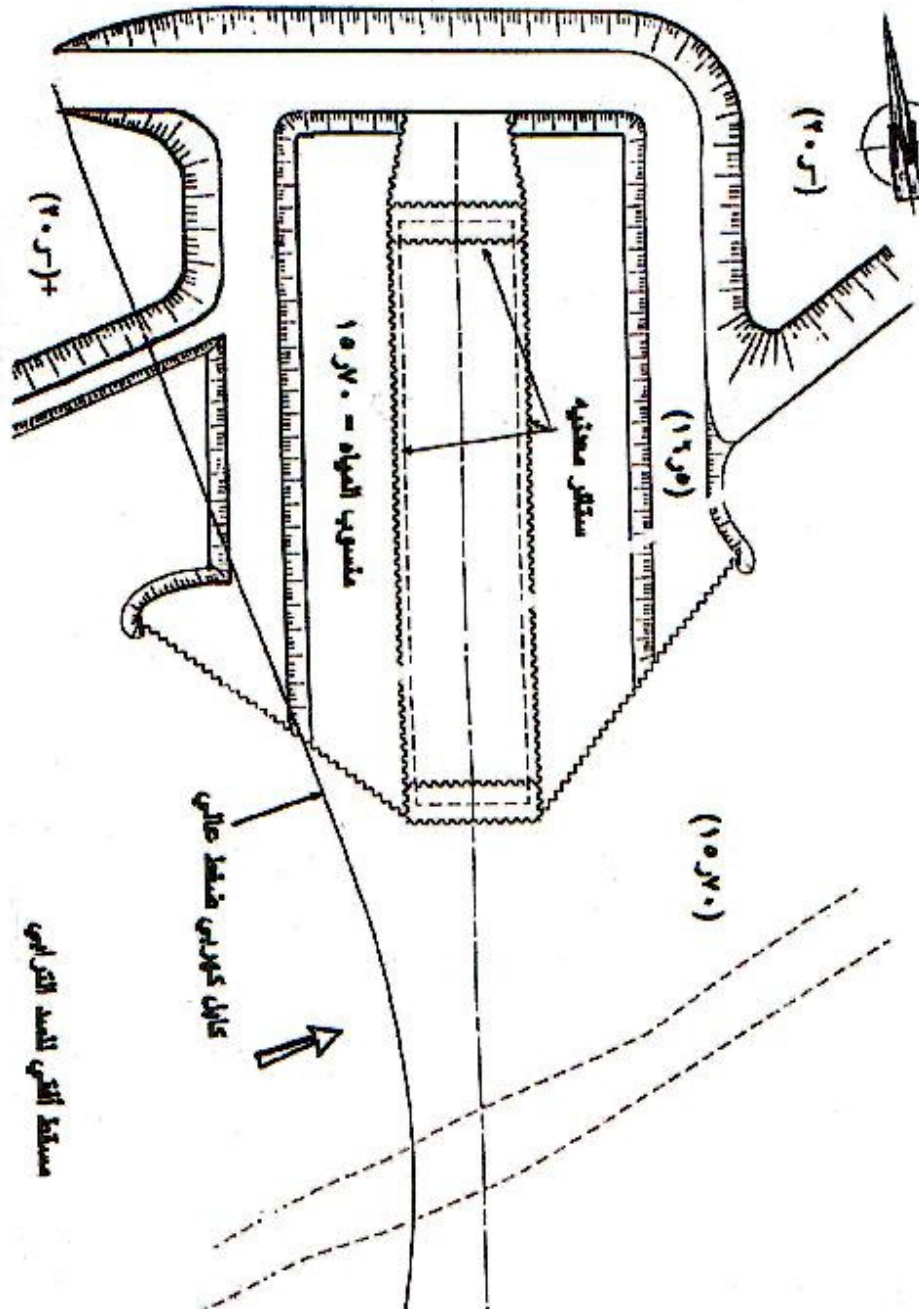
٢ - يتم دق صفين متوازيين من الستائر المعدنية والردم داخلها بواسطة أتربة منتقاة (عمل سد ترابي Coffor Dam) مع الدمك الجيد . يتم عمل حقن للأرض داخل منطقه السد الترابي لمسطح النفق بالكامل من أسفل وبين الستائر لمنع رشح المياه الأرضية أثناء التنفيذ .



شكل (٣١)

تعدية نفق المترو أسفل ترعة الإسماعيلية - الجزء الجنوبي

- ٣ - يتم إنشاء النفق الخرساني في هذا الجزء بدون مشاكل لمياه الرشح . بعد انتهاء الأعمال ، يتم تقطيع الستائر المعدنية أسفل المياه بواسطة غطاسين مع إزالة السد الترابي . يتم إعادة حفر مجري الترعة مرة أخرى والسماح للمياه بالمرور .
- ٤ - يتم عمل نفس الخطوات السابق ذكرها وذلك للجزء الشمالي من الترعة .



شكل (٣١)

مرور النفق أسفل ترعة الإسماعيلية - الجزء الشمالي

مثال رقم (٤) :**عمية حقن الستارة السفلى لمحطات مترو الأنفاق – المرحلة الثالثة .****أعمال الحقن :**

الهدف هو عمل طبقة حقن من سليكات الصوديوم Soft Gel بين حوائط الديافرام و أسفل منسوب أرضية المحطة لمنع رشح المياه الجوفية الي المحطة أثناء الأتشاء ولمدة صلاحية = عامين . تكون النفاذية لطبقة الحقن 1×10^{-6} م / ث .
تصمم سمك طبقة الحقن بحيث تحقق فارق هيدروليكي Hydraulic Gradient أقل من أو تساوي ٣ .

مواد الحقن :

- ١ - الماء : يستخدم الماء الصالح للشرب .
 - ٢ - سيليكات الصوديوم : وهي المادة الرئيسية في عملية الحقن .
 - ٣ - ألومينات الصوديوم : وهي المادة المصلبة لمادة الحقن .
- مواسير الحقن : قطر الماسورة ٨/٣ " من البولي فينيل كلوريد وتحمل الضغوط العالية (حتى ٦٠ ض . ج) .
صمام الحقن : يركب في نهاية ماسورة البولي فينيل كلوريد (ماسورة الحقن) بواسطة القلاووظ – شكل (٢٥) . تمتد مواسير الحقن بالأطوال المحسوبة والموضوعة طبقا للتصميم في الطبقة المراد حقنها .
وطبقة الحقن بسمك كبير – حالة مشروع مترو الأنفاق - يمكن أن يجهز ثلاثة مواسير حقن ، في حزمة واحدة ولكن بأطوال مختلفة لتغطية كل الطبقة المطلوبة .

يتم تثقيب الأرض بآلات التخريم – شكل (٢٨) ، يكون عمق الثقب بحيث يضبط تماما مع طبقة الحقن ويكون في وضع رأسي ، يكون قطر الثقب ١٣٣ مم . تم ضخ خليط من البنتونايت + الأسمنت لحماية الجدران من الأتھيار – الخليط المستخدم – جدول (٥) . العمق المطلوب للثقب يسجل بالكمبيوتر الخاص بالمعدة وكذلك رأسية الثقب .

جدول (٥)**الخليط المستخدم**

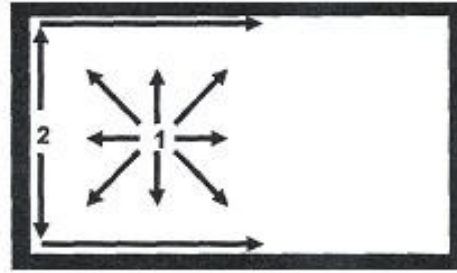
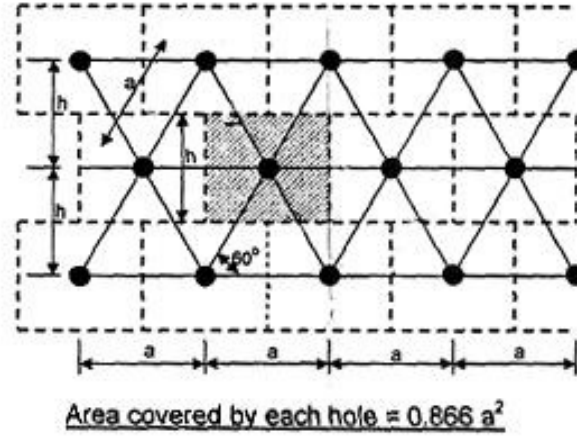
المواد	الوحدة	الكمية
أسمنت مقاوم للكبريتات	كجم	٢٠٠ – ٢٥٠
بنتونايت	كجم	٢٠ – ٤٠
مياه	لتر	٨٦٠ – ٩١٠

يوضع حزمة مواسير الحقن السابقة داخل الثقب وتوجيهه يدويا مع ربط ثقل مناسب مع المواسير لتسهيل نزولها خلال الثقب الي مكانها .

نظام توزيع ثقب الحقن Drill Halls Pattern :

تتوزع ثقب الحقن (في المسقط الأفقي) غلي شكل مثلثات علي مسافات = ١.٦ متر - شكل (٣٢) . بهذه الطريقة ، فكل ثقب يغطي مساحة ٢.٢ متر مسطح .

كما يكون بين كل خرطوم حقن (في الاتجاه الرأسي) مسافات = ٢ متر بين كل صمام وآخر لتغطية سمك طبقة الحقن بالكامل . ومن الجائز تغير هذه المسافات طبقا لنوع التربة .



Sequence of Grouting

اتجاهات مواد الحقن أثناء الضخ

شكل (٣٢)

اتجاهات مواد الحقن أثناء الضخ

عملية الحقن :

تبدأ عملية الحقن بعد بضعة أيام من التخريم ووضع مواسير الحقن . يكون نسب خلط مواد الحقن كما يلي - جدول (٦) :

جدول (٦)

نسب خلط مواد الحقن

المواد	الوحدة	الكمية
سيليكات الصوديوم	كدم	٢٠٠ - ٢٢٠

٢٣ - ٣٠	كجم	ألومينات الصوديوم (المصلب)
٨١٠ - ٨٣٠	لتر	مياه

يتم حقن مواد الحقن بواسطة ظلمبات الديافرام تحت ضغط عالي في الصمام العلوي - يصل سريعا الي ٦٠ ض . ج . هذا الضغط الكبير يمزق غشاء الصمام الخارجي ويفتح فتحات أمام ثقب الحقن . يجد الحقن طريقا أفقيا فيخرج من الصمام الي مسام التربة وعندها ينخفض الضغط كثيرا . تتدفق المواد وتغطي الطبقة العلوية من سمك طبقة الحقن وتكون بمثابة سدادة لمنع مواد الحقن من الصمامات الأدنى الأخرى من الهروب خارج الطبقة . يتم حقن خلال الصمامات التالية الوسطي ثم تحقن الجزء السفلي من الطبقة بالصمامات الأوطي .

ملحوظة :

تترك بعض مواسير الحقن حتي تتم تجربة الحقن . في حالة وجود بعض الرشح ، يتم حقن إضافي للطبقة حتي يمتنع الرشح .

عمليات نفذت على الطبيعة :

حقن طبقة رملية سائبة - مشروع الصرف الصحي - كفر طهرمس - جيزة :

شكل (٣٣) يوضح معدات التنقيب و أنزال مواسير الحقن .

شكل (٣٤) يوضح آلة الحقن .



شكل (٣٣)
معدات التنقيب و أنزال مواسير الحقن



معدات التنقيب و أنزال مواسير الحقن

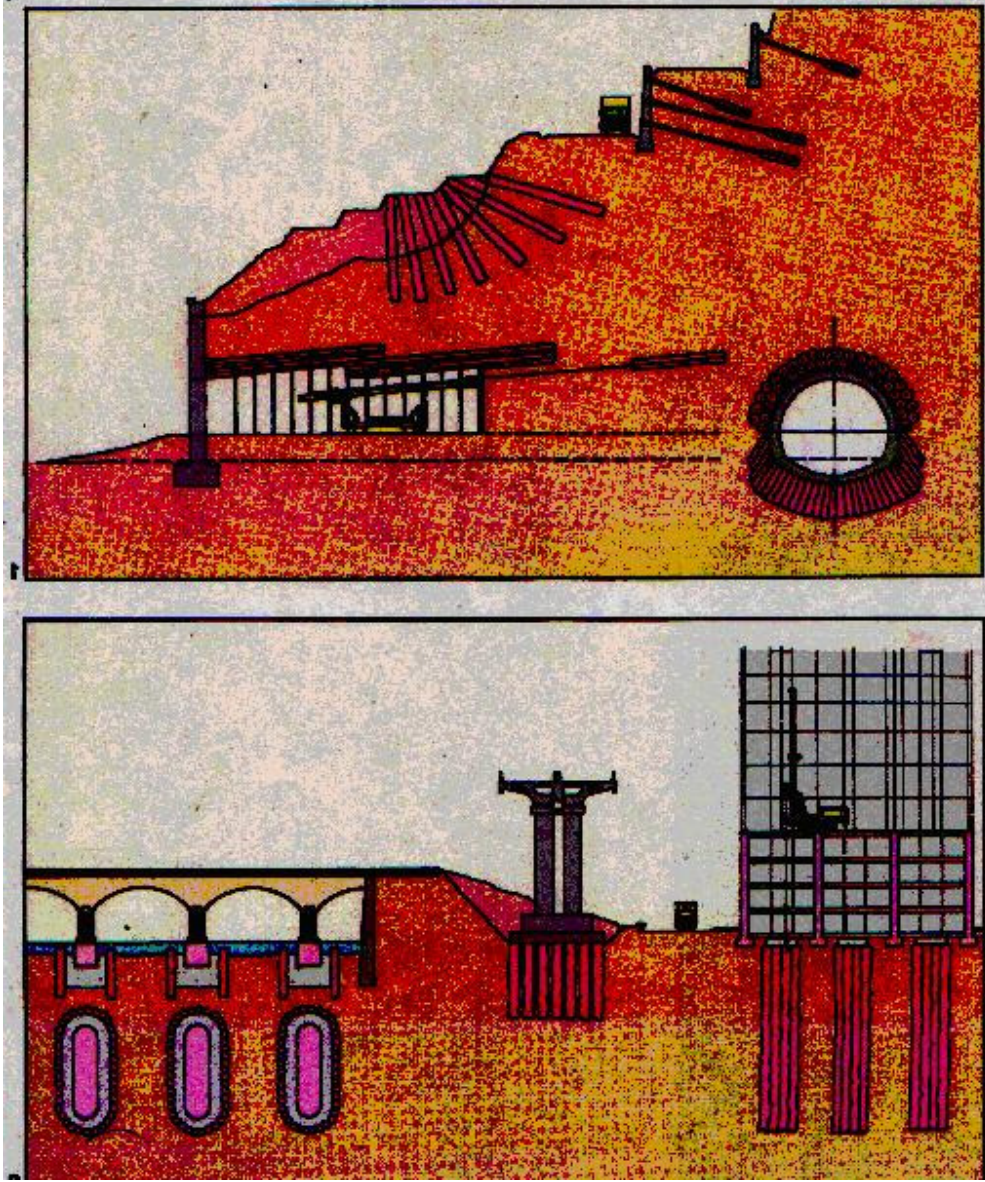


شكل (٣٤)

آلة الحقن – محافظة الجيزة – جمهورية مصر العربية

تطبيقات على حقن التربة :

شكل (٣٥) ، شكل (٣٦) :



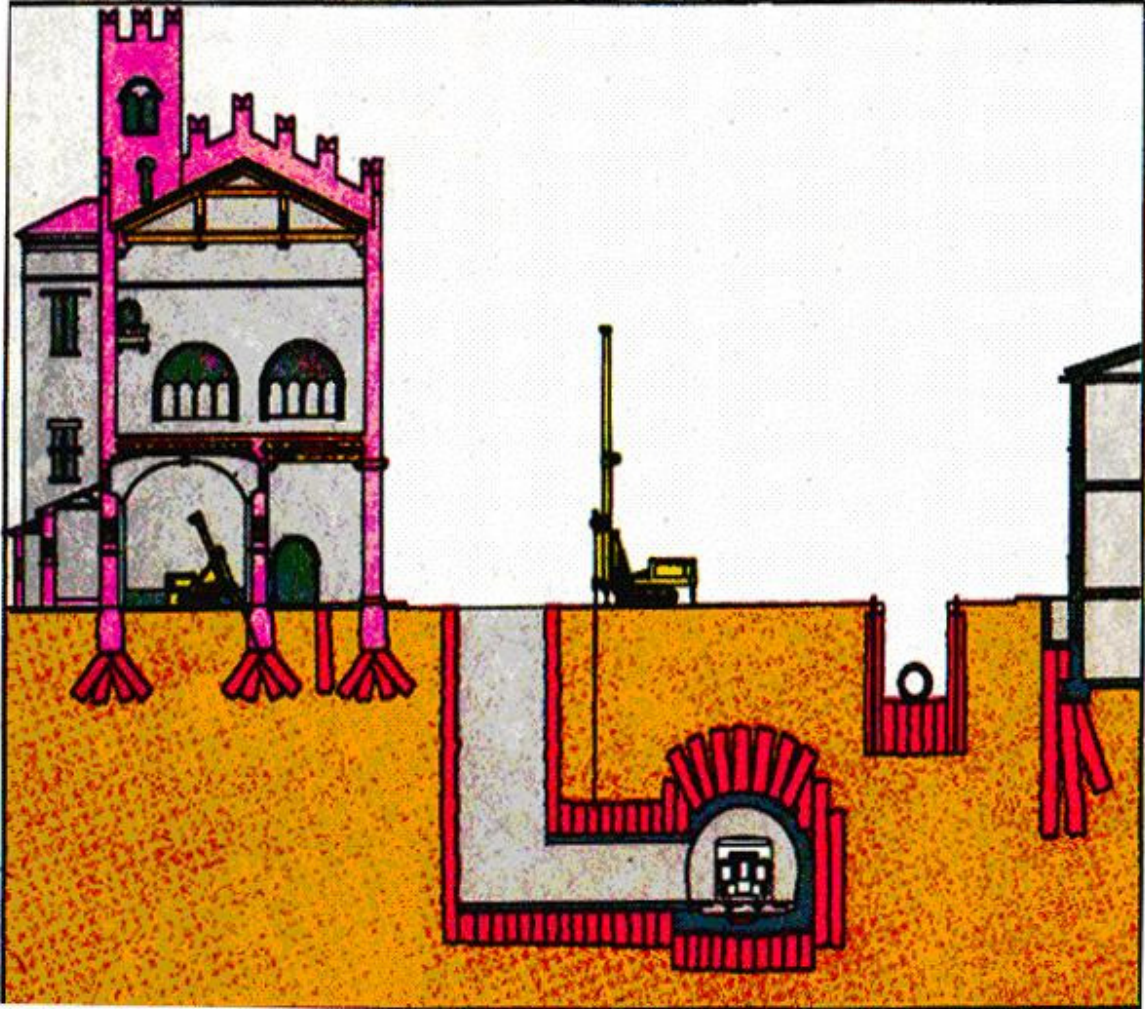
شكل (٣٥)

تطبيقات علي حقن التربة

- ١ - تثبيت ميول التربة .
- ٢ - حقن التربة المحيطة بقطاع النفق لملء فراغات التربة ومقاومة مياه الرشح .
- ٣ - تدعيم وتقوية وتحسين خواص التربة أسفل أساسات المنشآت و الكباري - شكل (٣٥) .
- ٤ - تدعيم أساسات المنشآت .

٥ - تدعيم التربة حول قطاع النفق.

٦ - حقن التربة حول ترائش المواسير.



تابع شكل (٣٦)

تطبيقات علي عملية الحقن

سادسا : تجميد التربة Ground Freezing

مقدمة :

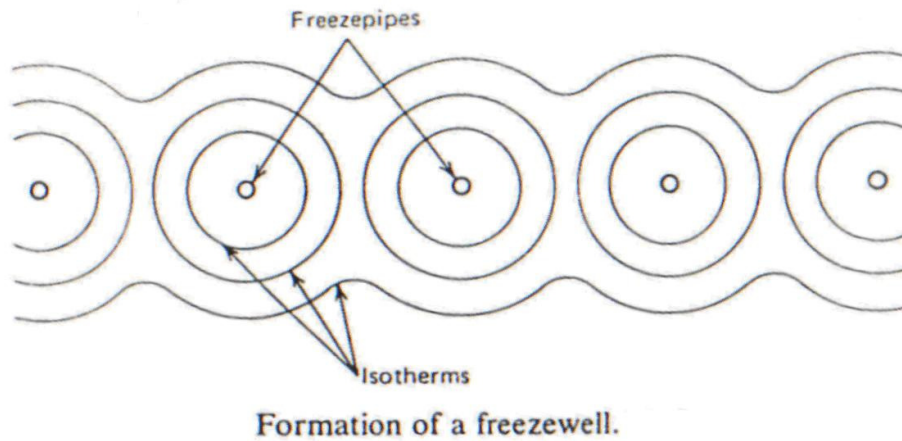
تعتبر عملية تجميد التربة من التقنيات المعقدة في مجال التحكم في المياه الأرضية ، ولكنها - رغم ذلك - لها الأهمية لتنفيذ الأنشاءات التي لها طبيعة خاصة مثل التي تنشأ في أرض مفككة أو رخوة .

وعملية تجميد التربة تعمل علي تحسين قوة التربة Improving Soil Strength بالإضافة 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 و المناجم و المشروعات المنشأ بعمق كبير تحت الأرض و التي تكون طبيعة التربة بها مفككة أو رخوة .

وتكون عملية تجميد التربة مؤقتة تزول بانتهاء العمل ، بينما في أحيان خاصة جدا يكون تجميد التربة بشكل دائم مثل عملية صيانة و ضبط التربة المجمدة أسفل المنشآت الحرارية و المنشأة علي الطبقات المتجمدة (المناطق القطبية) وكذلك المخازن المنشأ تحت الأرض و المحتوية علي سوائل في حالة تجمد

كيف تتم عملية تجميد التربة :

تتم عملية تجميد التربة بتمرير غاز النتروجين - أو أي غاز مماثل - من خلال مجموعة من المواسير المركبة في شكل رأسي و المدفونة في الأرض و التي تحتوي خلالها علي المنشأ المراد تنفيذه . عند ضخ الغاز و قيام هذه المواسير بالعمل ، يتكون عامودا ثلجيا حول كل ماسورة . مجموعة الأعمدة الثلجية المتجاورة تشكل الحائط الثلجي حول المنشأ - شكل (٣٧) .



شكل (٣٧)

مواسير تجميد التربة - عمل حائط متجمد

ويحدد شكل المنشأ المطلوب تنفيذ و الفتره الزمنية اللازمة للأنشاء ، بالإضافة الي شكل ونوعية طبقات الأرض و المياه الجوفية ، شكل الحائط الثلجي و كذلك تصميم الماسورة و المسافة 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 أو الفريون ، و الذي يستخدم في تجميد محلول ملح كلوريد الكالسيوم و الذي يمر داخل المواسير الرأسية . تصل درجة التجميد - ١٨ ° الي - ٣٥ ° .

٢ - المواسير الرأسية :

تكون المواسير من الصلب أو البولي إثيلين ، يتم دقها رأسيا و متوازية و علي مسافات محددة و علي 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 (أو الغاز المماثل) :

يأتي هذا الغاز في حاويات خاصه مقفلة ومعزولة .

وحاليا ، فقد تم تصميم و تصنيع وحدات تجميد كاملة داخل حاويات مقفلة لتسهيل النقل و التشغيل و الفك . هذه الوحدات تحتوي علي الضاغط و الطلمبات و المبادل الحراري و الصمامات ٠٠٠ وقد وصلت طاقة هذه الوحدات الي ١٠٠ طن تجميد .

فوائد عملية تجميد التربة :

١ - زيادة في قوه التربة عدة مرات خاصة في الأراضي الرخوة و الضعيفة . يكون الحفر حينئذ في حالة ثبات و تماسك و يمكن العمل بدون الحاجة الي أي نوع من الصلبيات .

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

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

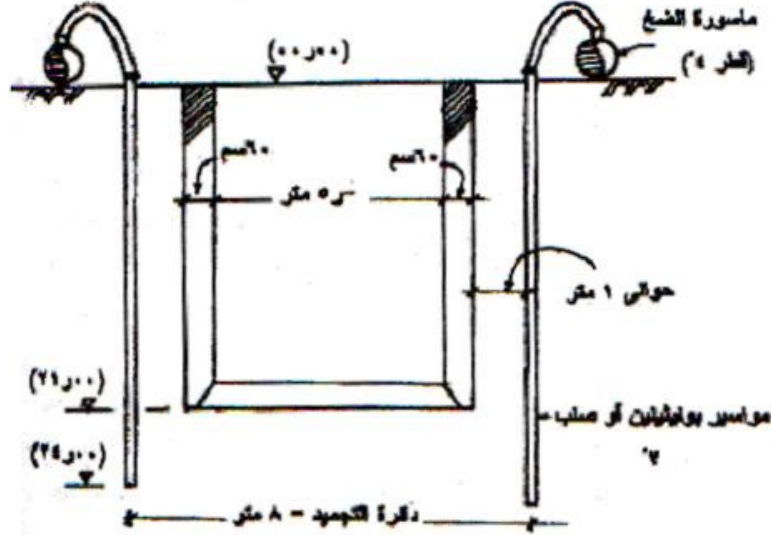
٤ - يمكن أتمام عملية تجميد التربة في وقت أقل من الطرق الأخرى .

مثال (١) :

بئارة دائرية قطر داخلي ٤.٥ متر و ارتفاعها ٢١ متر .

تم تنفيذ العملية كالآتي :

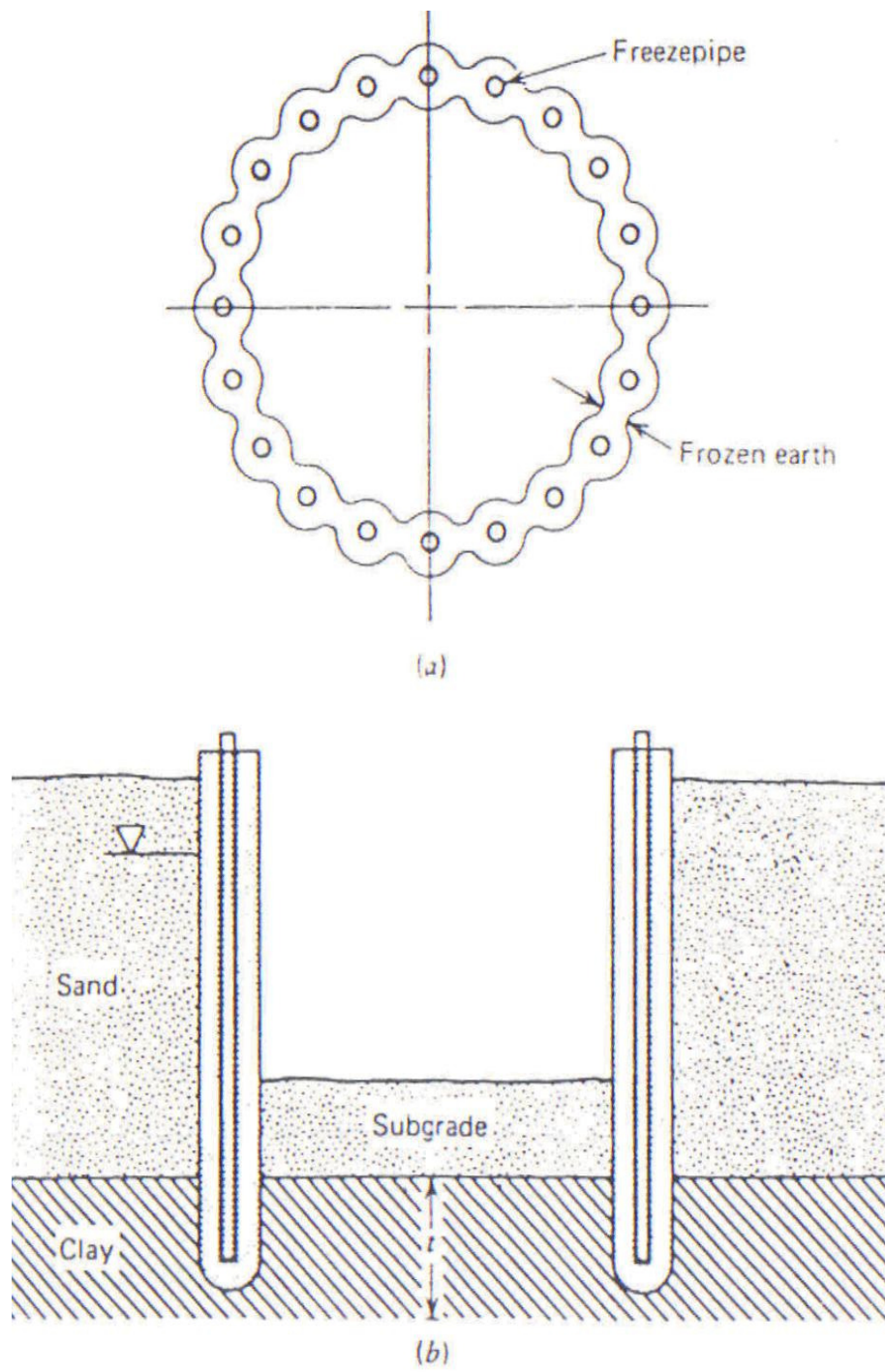
- ١ - دق المواسير الرأسية حول الموقع . تبعد هذه المواسير ١ متر من حدود البياره الخارجية و بعمق ٢٤ متر . إضافة الي ذلك تم دق ماسورة رأسية أخرى عند محور البياره لعمل سداة ثلجية متجمدة عند القاع - شكل (٣٨) .
- ٢ - ربط المواسير الرأسية مع ماسورة ضخ الغاز العمومية - علي سطح الأرض - ثم توصيلها بالضاغط .



شكل (٣٨)

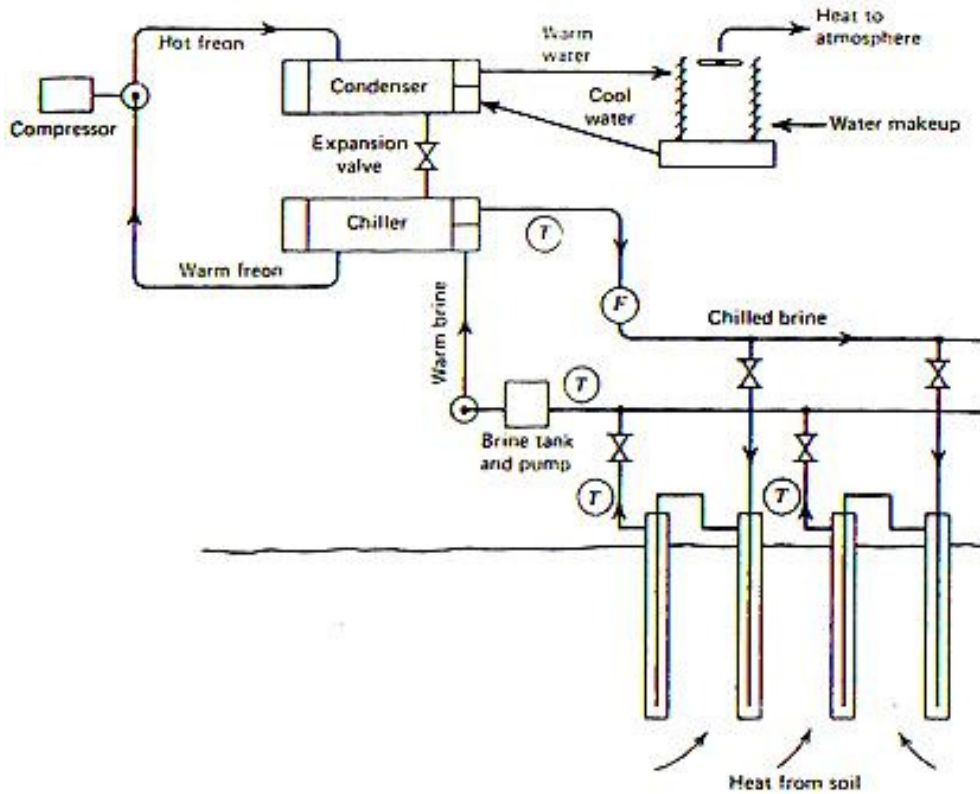
تجميد التربة حول البيارة

- ٣ - بدأ عملية ضخ الغاز و بدأ عملية التجميد . تستغرق تجميد التربة ٣ الي ٦ أيام .
 - ٤ - بدأ في الحفر داخل البيارة . يفضل عمل صلبات لسند جوانب الحفر في المنطقة العليا للبيارة (عند سطح الأرض) حيث أن الثلج يمكن أن يذوب جزئيا بفعل حرارة الشمس و الرياح أو المطر .
 - ٥ - باستمرار الحفر داخل البيارة ، يتم تبطين الجوانب (من قطع من الزهر الرمادي أو الخرسانة المسلحة) مع رباطها كاملا لتشكيل الشكل الدائري للبيارة مع سند جوانب الحفر .
- شكل (٣٩) يوضح نظام التجميد .



شكل (٣٨)

شكل البئارة بعد أتمام عملية التجميد



شكل (٣٩)

نظام التبريد

مثال (٢) :

تجميد المياه الأرضية لتنفيذ الأنفاق :

تستخدم طريقة تجميد التربة في تنفيذ الأنفاق للتغلب علي مشاكل تواجد المياه الأرضية التي تواجه العمل . وتستخدم في الظروف الآتية :

١ - صعوبة استخدام طريقة حقن التربة Grouting أو صعوبة تخفيض منسوب المياه الأرضية بالطرق التقليدية (الآبار العميقة) كما في حالة التربة الرملية أو السلتية .

٢ - الخوف من حدوث أختراق للتربة Blow Out بسبب استخدام الهواء المضغوط بسبب عدم كفاية ارتفاع التربة فوق النفق خاصة في التربة الرملية أو الطينية .

طريقة التنفيذ :

١ - يتم عمل مجموعة من الثقوب حول قطاع النفق ، أفقية أو رأسية أو كلاهما (طبقا للتصميم) . المسافة بين كل ثقب و الذي يليه = ١ - ١.٥ متر . تخترق هذه الثقوب الطبقة المراد تجميد المياه بها .

٢ - تدخل في هذه الثقوب مواسير مزدوجة تتصل بماسورة أكبر في القطر و التي تتصل بدورها بماكنة التبريد . ينبغي عمل عزل حراري لهذه المواسير لعدم فقدان أي حرارة الي الجو الخارجي .

٣ - يتم ضخ النتروجين السائل أو محلول كلوريد الكالسيوم حتي تصل درجة التبريد ٢٣ - ٢٥ درجة مئوية تحت الصفر وذلك بمعدل درجتين أو ثلاثه درجات يوميا .

ملاحظات :

- ١ - توقع أماكن المواسير بكل دقة و باستخدام الأجهزة المساحية .
- ٢ - التأكد من أن زيادة حجم المياه نتيجة التجميد - والتي ينتج عنها قوي ضغط - لا تؤثر علي المنشآت القائمة .
- ٣ - ينبغي سرعه نهو الأعمال في هذه المنطقة حيث أن طول فترة التجميد أكثر من اللازم ينتج عنها حركة التربة نتيجة زيادة حجم المياه التي تجمدت داخل التربة .
- ٤ - عند الانتهاء من صب خرسانات النفق ، تترك الأرض لتعود الي حالتها الأولى و بحيث لا تزيد سرعة ارتفاع درجة الحرارة عن درجتين أو ثلاثة يوميا ضمنا لعدم حدوث أية ضغوط كبيرة علي المنشأ .

أعمال نفذت من الطبيعة :

تنفيذ وصلة (نفق) بين غرفة التوزيع و محطة الطلبات الرئيسية بالأميرية (الطول = ١٤ متر) -

المشروع العام لمجاري القاهرة الكبرى :

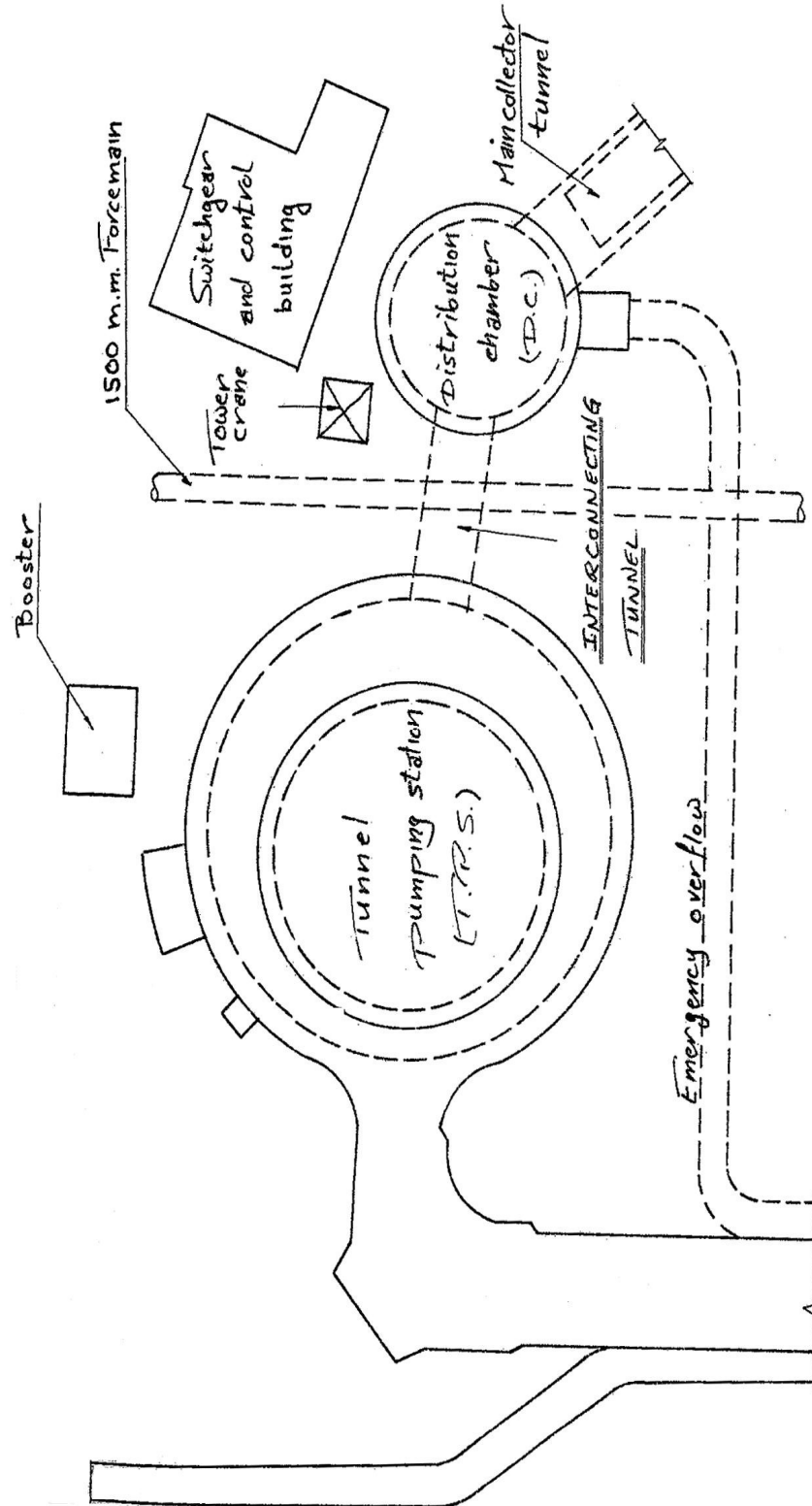
الجزء من النفق بين غرفة التوزيع و محطة الرفع الرئيسية بطول ١٤ متر بقطر داخلي ٥ متر - شكل (٣٢) ، كانت التقنية المعتمدة هي تجميد المياه الأرضية عند هذا الجزء ليتمكن العمل و الحفر بسلام .

كان أقل سمك لطبقة التجميد هو ١.٥ متر بعد حدود الحفر . تم مد و تركيب مواسير التجميد أفقيا بدأ من داخل غرفة التوزيع Distribution Chamber و مخترقا الحائط الخرساني لها و تمتد المواسير حتي بداية النفق بعدد ٢٨ ماسورة تجميد الي محطة الطلبات . تم أيضا عمل مواسير للتجميد رأسية في منطقة وصلة النفق للمساعدة في عملية التجميد و تحسبا لأي طارئ . تم أختراق حوائط البيرة و غرفة التوزيع بآلات أختراق الخرسانة Coring Machine و مرور مواسير التجميد خلال الحائط السميك ثم الي الأرض المطلوب تثليجها . مواسير التجميد عبارة عن ماسورة قطر ٢" مفتوحة الطرفين داخل ماسورة أخرى قطر ٤" واصلت من محطة الطلبات الي غرفة التوزيع - شكل (٤٠) .

كانت دورة سائل التجميد Chilled Liquid يمر خلال المواسير الداخلية قطر ٢" ثم الي المواسير الخارجية قطر ٤" ثم الي ماكينات التجميد .

عند بدء تشغيل تجميد المياه الأرضية ، يبدأ ضخ السائل (ماء مذاب به كلوريد الصوديوم) بسبب الرغبة في أن تصل درجة حرارة التجمد الي - ٤٥ ° مئوية . تتم عملية التجميد بدء من الداخل الي الخارج . تبدأ المياه حول المواسير في التجمد و تتسع طبقة الثلج رويدا رويدا حتي تكون علي شكل أسطوانات و تلتصق مع بعضها مكونة أسطوانة ضخمة تصل بين غرفة التوزيع و محطة الرفع لتتجمد الأرض في هذه المنطقة المطلوبة .

قد حدثت بعض أنهيارات الحوائط الثلجية وتسبب ذلك في دخول المياه الأرضية و التربة الي محطة الطلبات الرئيسية و غرفة التوزيع و تم احتواء هذه المشاكل الطارئة .

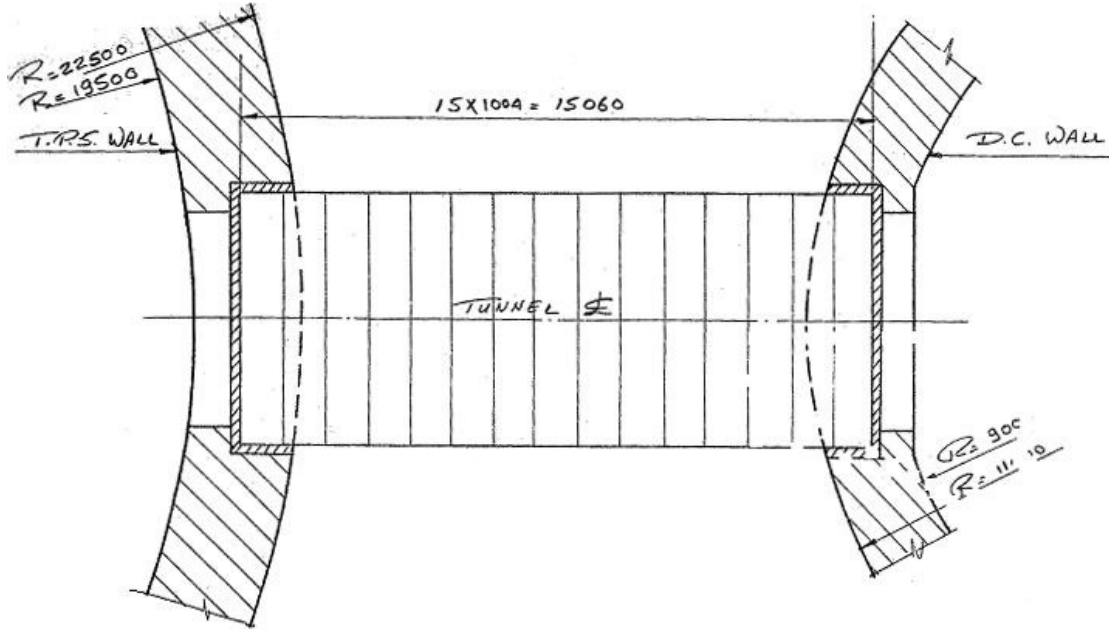


شكل (٤٠)

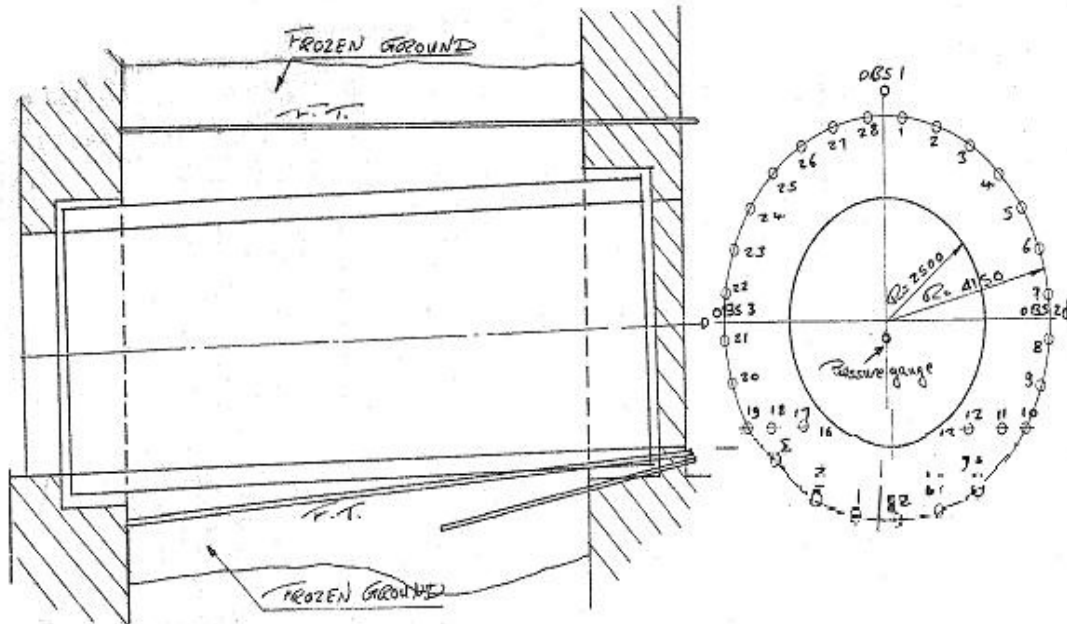
كروكي الموقع العام لغرفة التوزيع و محطة الطلمبات الرئيسية والنفق بينهما - الأميرية

ملحوظة :

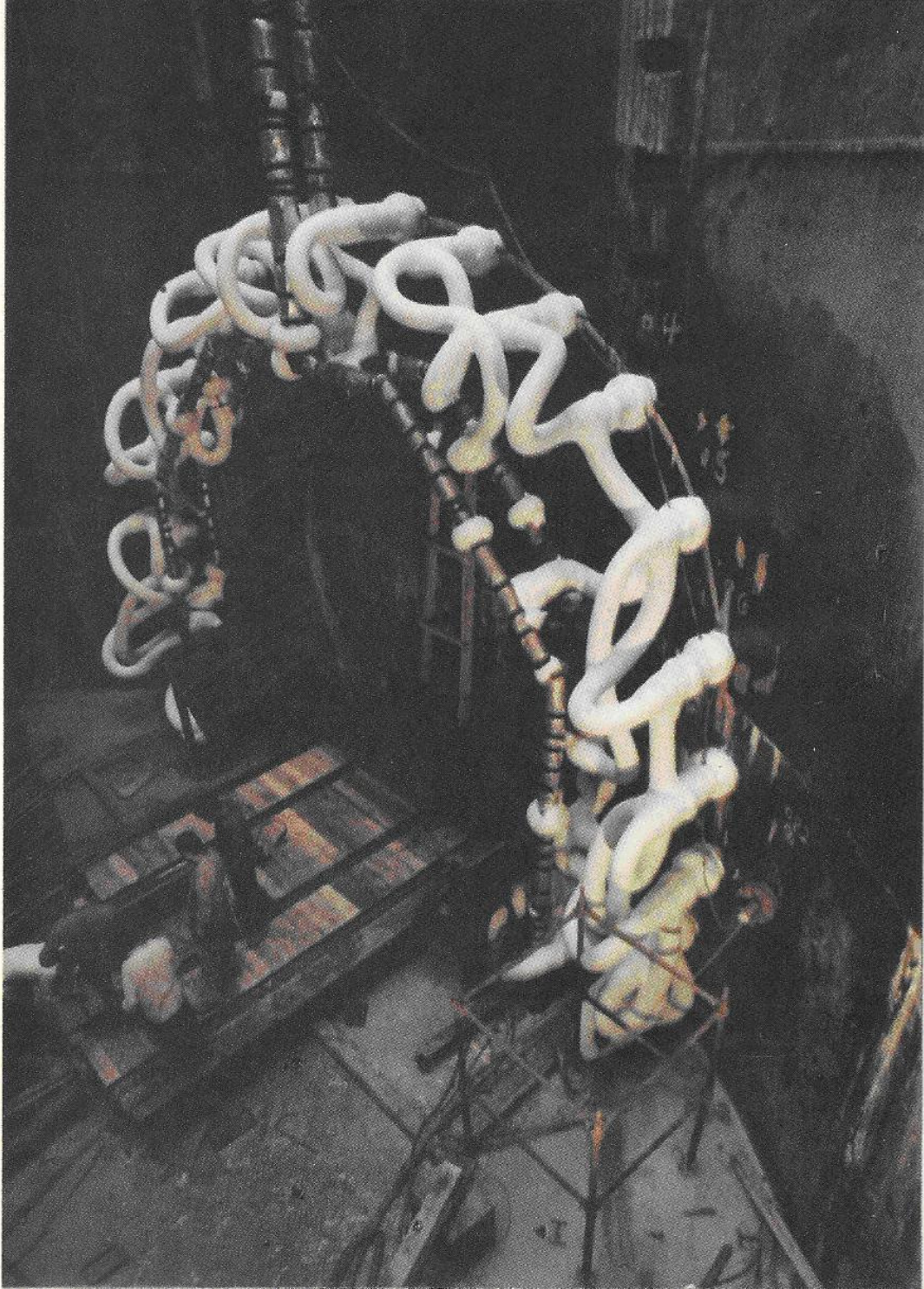
سائل التجميد هو سائل شديد الملوحة (Brine) وهو عبارة عن كلوريد الصوديوم + ماء ، يستطيع هذا السائل الي وصول درجة التجمد الي - ٤٥ ° مئوية . بيدئ تنفيذ وبناء الحلقات الخرسانية والحقن خلفها حتي يكتمل العمل - شكل (٤١).



رسم موقعي لغرفة التوزيع و محطة الطلمبات و النفق الواصل بينهما



التوزيع الأفقي لمواسير التجميد



شكل (٤١)

مرحلة التجميد الأفقي لوصلة النفق بين غرفة التوزيع ومحطة الطلمبات الرئيسية - صور من الطبيعة



توزيع مواسير التجميد الرأسية لوصلة النفق - صور من الطبيعة



The tunnel of construction between D.C. and T.P.S.

△ منظر للنفق قطر داخلي 5 م بعد حفره وتركيب قطع الخرسانة الدائرية وصب خرسانة الليل وهذا النفق رابط البهارة الصغيرة بالبهارة الكبيرة

وصلة النفق بين محطة الطلمبات الرئيسية وغرفة التوزيع بطول 14 متر بعد التنفيذ

شكل (١٤)

وصلة النفق بين محطة الطلمبات الرئيسية وغرفة التوزيع بطول ١٤ متر بعد التنفيذ

تنقيب الحائط الخرساني - شكل (٤٢) :



تنقيب الحائط الخرساني لحوائط الجبارة أو غرفة التوزيع

شكل (٤٢)

تنقيب الحائط الخرساني



مقدمة آلة التنقيب القاطعة في الخرسانة



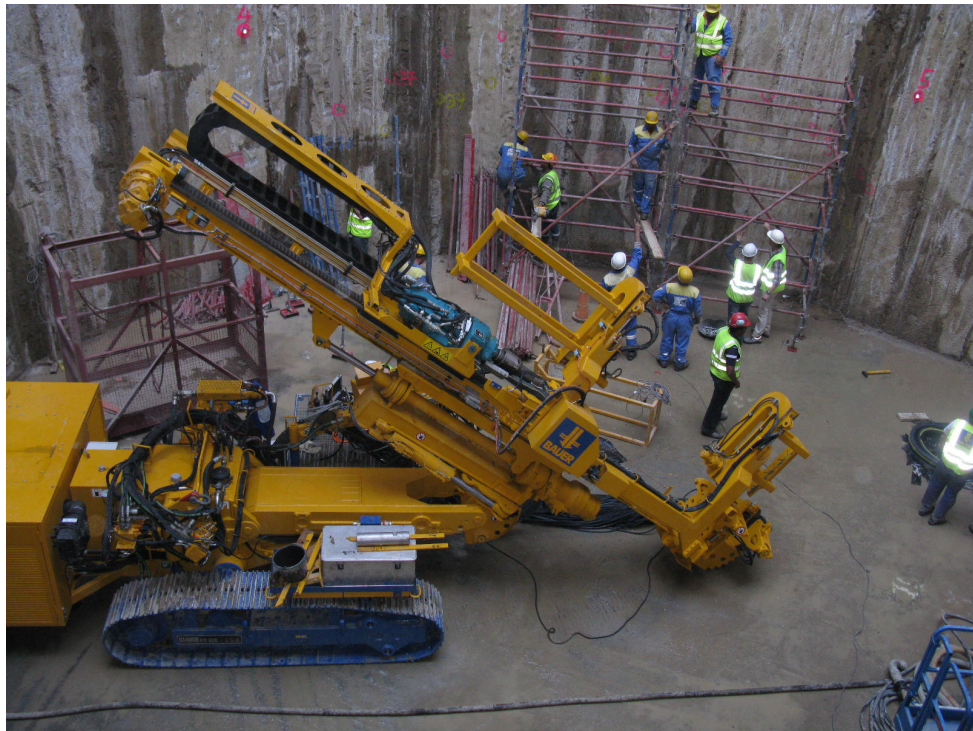
شكل (٤٢)

وضع ماسورة صلب بسمك الحائط بعد تنقيب الخرسانة

آلة تنقيب الأرض - شكل (٤٣) :



معدات تثقيب التربة ، ثقب التربة حتي ٢٥ متر عمق ووضع مواسير قطر ١٠ سم الخاصة بتجميد التربة



شكل (٤٣)

معدات تثقيب التربة – مشروع مترو أنفاق القاهرة

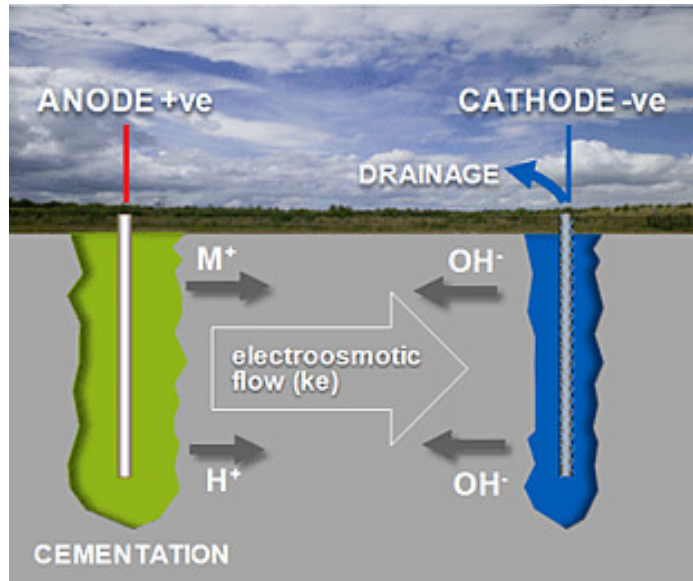
سابعا : طريقة النزع الأسموزي الكهربائي Drainage by Electro Osmosis

تستخدم طريقة التحكم في المياه بالنزح الأسموزي الكهربائي لنوعية التربة التي لها معامل نفاذية منخفض $K=1/100000$ ($- 1/10000000$).

وهذه الطريقة لا تستخدم في أعمال التحكم في المياه الأرضية علي درجة واسعة ، ولكن تستخدم أساسا لعملية تثبيت التربة Soil Stabilization ، كذلك لعملية تحسين خواصها من التدعيم و التصلب Consolidation ، بالإضافة الي تقليل نسبة المحتوي المائي Decreasing Of Water Content وكذلك زيادة كثافة التربة .

النظرية :

أذا تعرض جسم مسامي رطب الي فرق جهد بين طرفيه ، فإن الماء يسير خلال المسام من الطرف الموجب Anode الي الطرف السالب Cathode - شكل (٤٤) . وعند توقف سريان التيار الكهربائي ، فإنه تتوقف عملية سريان الماء خلال المسام أيضا .



عناصر النظام :

١ - الطرف الموجب (الأنود) :

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 بنر لتجميع المياه ، قطره الخارجي ١٢ بوصة وداخله ماسورة السحب من الصلب (القطب الكهربائي) . ماسورة السحب محاطة بفلتر من الرمل و متصلة مع باقي المواسير بماسورة تجميع عمومية تتصل بدورها بظلمة النزح العمومية . يتصل الطرف الموجب و الطرف 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 و السالبة . المسافة بين الطرف الموجب و الطرف السالب = ٣ - ٥ متر . كما تكون المسافة بين صفوف كل نظام حوالي ٦ متر . يصل العمق حتي طبقة الصخر .

٣ - مولد كهربى لتوليد تيار كهربى مستمر :

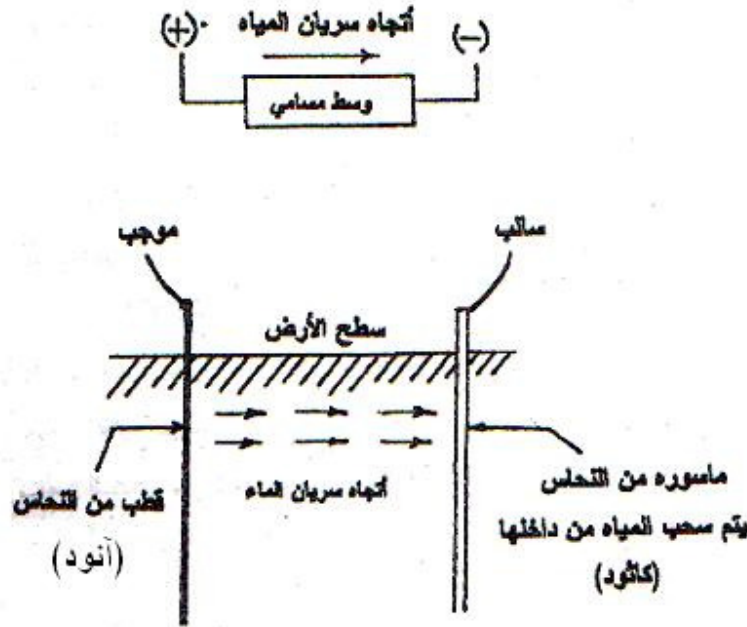
يكون المولد بقدرة ٢٢٠ كيلووات و يحسن وجود مولد آخر احتياطي حيث يستمر العمل بشكل متواصل دون انقطاع .

٤ - الماسورة المجمعة للمياه Header Pipe :

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

٥ - ظلمة تجميع المياه من الآبار :

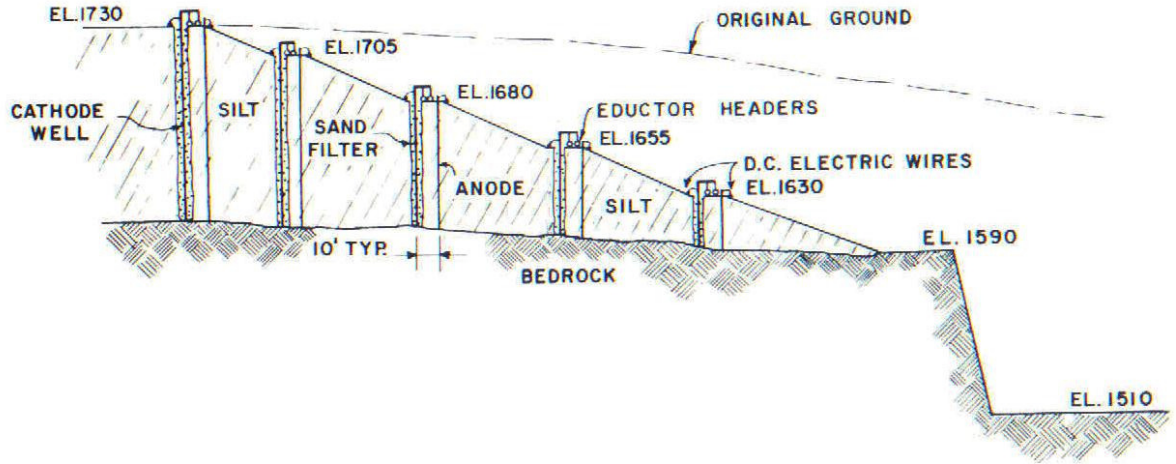
تقوم بسحب المياه بشكل متواصل ، ولهذا ينصح بوجود ظلمة أخرى احتياطية حتي لا يتعطل العمل .



شكل (٤٤)

طريقة النزح الأسموزي الكهربى

شكل (٤٥) يوضح أحد المشروعات التي أستخدم فيها نظام النزح بطريقة النزح الأسموزي الكهربى .



شكل (٤٥)

أحد المشروعات المنفذة بنظام النزح بطريقة النزح الأسموذي الكهربائي



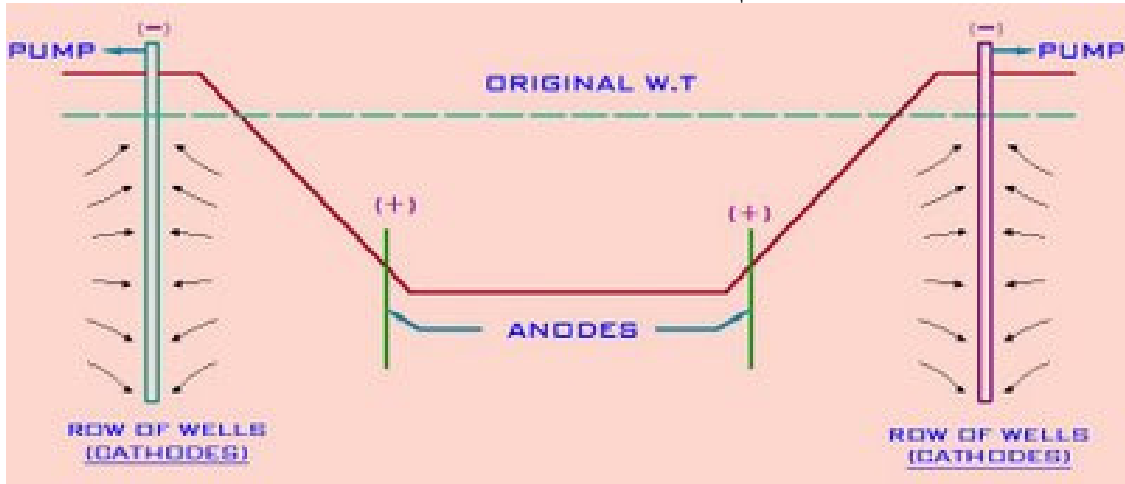
شكل (٤٥)

أحد مشروعات النزح الأسموذي الكهربائي

التنفيذ :

- ١ - يتم تحديد الصفوف المتوازية للأقطاب الكهربائية .
- ٢ - يتم دق الأطراف الموجبة باستخدام طلمبة مياه (ضغط عالي) لأحداث ثقب في الأرض و تنزيل 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 (التي تعمل كطرف سالب) . تحاط الماسورة بالرمل ثم تسحب ماسوره القيسون الخارجي .
- ٤ - تتصل مواسير السحب بالماسورة الرئيسية المجمعة المتصلة بظلمبة السحب . يخرج من ظلمبة السحب خط مواسير لصرف المياه الي مكان التخلص منها .
- ٥ - يتم توصيل الأطراف الموجبة و السالبة مع بعضها و تتصل في النهاية بمصدر التيار الكهربائي المستمر .
- ٦ - عند بدأ إطلاق التيار الكهربائي ، تبدأ المياه في التوجه الي البئر و تتجمع داخله . تقوم ظلمبات النزع الجوفي برفع المياه و صبها داخل الماسورة الرئيسية المجمعة ثم التخلص منها .



Soil Improvement

المراجع

- ١ - الكود المصري
- ٢ - مذكرات معهد التدريب الفني والمهني لشركة المقاولون العرب .
- ٣ - الرسومات التنفيذية لمشروع مترو الأنفاق .
- ٤ - كتالوجات الشركات المنتجة للمعدات .
- ٥ - مواصفات معهد البترول الأمريكي APL .
- ٦ - المهندس / أحمد محمود حسين مهندس بمشروع مترو الأنفاق - المرحلة الثالثة .

7 – Controle Of Ground Water for Temporary Works S. H. SOMERVILLE