دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

العنوان:	تكنولوجيا الإنشاء الهندسي في القرن الخامس الهجري
المصدر:	المجلة الثقافية
الناشر:	الجامعة الأردنية
المؤلف الرئيسي:	عبدالمنعم، بغداد
المجلد/العدد:	ع 53
محكمة:	لا
التاريخ الميلادي:	2001
الشهر:	ربيع الثاني - مايو
الصفحات:	158 - 172
رقم MD:	128579
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
قواعد المعلومات:	AraBase
مواضيع:	التربة الطينية، الهندسة المعمارية، الإنشاءات الهندسية، القرن الخامس الهجري، العمارة الاسلامية، التراث المعماري، المياه الجوفية، مواد البناء، الجيولوجيا، التضاريس، التربة الصخرية، المباني
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/128579

© 2021 دار المنظومة. جميع الحقوق محفوظة.
هذه المادة متاحة بناء على الإتفاق الموقع مع أصحاب حقوق النشر، علما أن جميع حقوق النشر محفوظة. يمكنك تحميل أو طباعة هذه المادة للاستخدام الشخصي فقط، ويمنع النسخ أو التحويل أو النشر عبر أي وسيلة (مثل مواقع الانترنت أو البريد الالكتروني) دون تصريح خطي من أصحاب حقوق النشر أو دار المنظومة.

تكنولوجيا الإنشاء الهندسيّ في القرن الخامس الهجريّ

م. بغداد عبد المنعم
حلب ـ سورية

ـ ١ ـ مدخل معاصر في هذه المراحل :

لقد تم حصر كل المراحل الهندسية اللازمة لدراسة وتنفيذ هذه المنشآت والمشروعات في التراث الهندسي والتكنولوجي العربي، فإن عرضنا بشكل سريع إلى أمثال هذه المراحل في الوقت الحاضر تمكنا من تقييم التكنولوجيا والتخطيط الهندسي في تراثنا تقييماً موضوعياً.

من الضروري قبل البدء بدراسة مثل هذه المشاريع القيام بدراسات أولية تفصيلية لتحديد القواعد الفنية للمشروع وتقدير المردود الاقتصادي، واختيار الحل الأفضل فنياً واقتصادياً.

أ) التربة : لأن التربة تمثل الوسط المسامي الذي تتم به حركة الماء. ويمكن أن تدرس التربة عبر عدة أبعاد منها:

١ ـ الدراسة الجيولوجية:

إن هذه الدراسة تهدف إلى تحديد خصائص مختلف الطبقات الجيولوجية لمنطقة المشروع، وكيفية توضعها وصفاتها المائية.

٢ ـ الدراسة الهيدروجيولوجية:

وتهدف إلى تعيين أعماق الطبقات المائية الجوفية واتجاه الجريان فيها، ومدى إمكانية استثمارها وكذلك دراسة العلاقة بين المياه الجوفية والمياه السطحية من أنهار وبحيرات وسواها.

٣ ـ المواصفات الكيميائية للتربة:

وتتضمن نوعية المركبات التي تحويها التربة والأملاح.

٤ ـ دراسات لتحديد خصائص فيزيائية التربة:

وتتضمن دراسة العلاقة بين الماء والتربة

لتحديد علاقات من مثل: رطوبة نسبية ـ ضغط شعري ـ تحديد معامل النفوذية أي الناقلية المائية عند الإشباع لمختلف طبقات التربة، ودراسة التركيب الحبي.

ب) الدراسات المناخية : لتحديد كميات الأمطار الهاطلة سنوياً وشهرياً ويومياً ودرجات الحرارة وسرعات واتجاهات الرياح.

جـ) الدراسة الطبوغرافية:

هذه الدراسة تحدد الميول لمختلف مناطق المشروع ووضعها على المخططات.

د) الدراسة الاقتصادية والاجتماعية:

وتتضمن دراسة الوضع الاجتماعي وإمكانية تطوره وتأثير ذلك على المنشأة المنفذة، وتحديد الاحتياجات المستقبلية والمردود الاقتصادي العام للمشروع وانعكاساته على المنطقة.

ـ ٢ ـ مراحل الإنشاء الهندسي في القرن الخامس الهجري:

لقد استطعت أن ألقي نظرة جديدة على كتاب مثّل تكنولوجيا الإنشاء الهندسي في القرن الخامس الهجري هو كتاب «إنباط المياه الخفية» لمؤلفه أبو محمد بن الحسن وقد استطعت من خلال هذه النظرة الحديثة أن أعيد تصنيف أفكاره الهندسية والتخطيطية بشكل مراحل يتم خلالها العمل الهندسي الإنشائي، فهذا تصنيف جديد لاحظت من خلاله امتلاك تلك المرحلة التاريخية لمختلف وسائل التخطيط الهندسي الكافية لإنجاز مشروعاتهم التي كانت تتميز في كثير من الأحيان بضخامتها ومردودها العالي نتيجة اتساع رقعة المناطق التي تخدمها.

فقد رجح بين الحلول الهندسية من الناحية الاقتصادية ففضل القنوات على البرابخ لصعوبة تنفيذها وكلفتها العالية. وربط بين الدراسة الفيزيائية والكيميائية للتربة والدراسة الاقتصادية أيضاً، فنوعية التربة تشارك في تحديد طبيعة المنشأة التي ستنفذ وطبيعة عمليات التثبيت أو الاستبدال والمواد المستخدمة في ذلك.

ولا بد من أن أذكر أن إعادةتصنيف الأفكار الهندسية في كتاب الكرجي بهذا الشكل أتاح لي اكتشاف أمر له خاصيته الحضارية ـ الإنسانية وهو اهتمامه بالعمال وعدم تعرضهم للاختناق أو البرد أو التسمم خلال العمل في المشروع ، وذلك من خلال تحديده لعدة أدوات وتقنيات تمنع ذلك وتحديده لنوعية لباسهم التي تناسب العمل في الماء وذلك حفاظاً على صحتهم واستمراريتهم في العمل.

أما في المرحلة السابعة ـ حسب تصنيفي ـ من مراحل العمل الهندسي فقد تجاوز الكرجي حدود الإيضاح والوصف إلى فضاء البراهين الرياضية الدقيقة والاختراع والتطوير والإبداع وهي مرحلة المساحة والقياسات.

وفي المرحلة التاسعة استطعت أن ألحظ أن العمل الهندسي الانشائي كان يقوم على جهاز فنّي يتألف من مهندسين ومهندسين متدربين = جدد = ومقدرين = مساعدين فنيين = ومتفقدين = موظفين يهتمون بشؤون الصيانة = وأيضاً في الجانب الآخر المتعهدون «القناؤون».

يقوم الجهاز الفني بمراقبتهم وضبط تنفيذهم.

وفي المرحلة الأخيرة كانت مرحلة الدراسات التشريعية والقانونية التي تضبط الانتفاع والاستهلاك بهذه المنشآت.

وهذه المراحل هي:

أولاً ـ المرحلة النظرية :

تتضمن معرفة وإحاطة بأوضاع المياه الجوفية وحركتها ومستوياتها، فيذكر:

ـ الماء الساكن: الماء الجوفي = البساط المائي

ـ ماء التوآب: المياه المعلقة.

ـ مخازن المياه الجوفية في الجبال.

ـ التكوينات الجيولوجية وأثرها في تكوين تشكيلات مختلفة للمياه الجوفية.

ثانياً ـ المرحلة الاستدلالية:

وهي المرحلة التي يتم خلالها تعيين مناطق الخزانات المائية وأعلى منسوب لها وأفضل نقطة لبدء الحفر، فيستدل على مواقع الماء من خلال:

* معرفة الجبال والأحجار الدالة على الماء.
* معرفة الأرضين التي فيها ماء.
* الأرض التي على وجها مسايل السيول ظاهرة متصلة بالجبال وليس لها منها مخرج.
* الأرض التي يظهر على سطحها بخار أو ضباب وقت طلوع الشمس.
* المناطق المنخفضة ذات الطين الأسود.
* الأراضي التي يغطيها نبات كثير مما لا يزرع.

ـ معرفة مجموعة النباتات الدالة على وجود الماء الجوفي.

معرفة مناسيب الماء الجوفي:

* الأراضي المتصلة بالجبال تكون أكثر احتواءً على الماء الجوفي
* الأراضي الأقرب من المركز تكون أكثر ماء: وهذه العبارة مبنية على تخيل صحيح لسطح الماء الجوفي، لأن سطح الماء الجوفي يكون تقريباً مشابهاً لتضاريس سطح الأرض، حيث يكون الضغط المائي مساوياً للضغط الجوي، فسطح النطاق المشبع مرتفع في القمم، منخفض في المنخفضات، فالكرجي يشير إلى اختيار المنطقة الأخفض لأن سطح مائها يكون أقرب.

ثالثاً : المرحلة الاستدلالية ـ التجريبية:

في هذه المرحلة ويبدو أنها تأتي بعد المرحلة السابقة، عدد من التجارب التي ما زال بعضها معمولاً به حتى الآن، مثل طريقة الوعاء المقلوب وطريقة الصوفة المدلاة داخل بئر.

رابعاً ـ الدراسة الكيميائية والفيزيائية للمياه:

لا يصلح كل ماء للشرب أو الري، وبذا يشرح الكرجي أنواعاً للمياه الجوفية ويحدد شروطاً لماء الشرب، فمنها المياه السامة، وتلك التي يغلب عليها الزرنيخ أو النفط، ومنها المياه الحارة والباردة. وشروط الماء الصالح للشرب كما يذكرها الكرجي:

ـ أن لا يثقل على المعدة

ـ أن ينفذ نفاذاً سريعاً

ـ يقبل البرد والحر بسرعة

وهذه شروط تحتوي ضمناً انخفاض نسبة الشوائب والمواد المنحلة وابتعاد إمكانية التلويث «كل ماء تغير لونه بشيء من الأشياء الأرضية». ويحدد طرائق متنوعة لإزالة الشوائب والعوالق من المياه إن لم تكن نسبة التلوث بها عالية.

وحتى الآن يكون قد حدد موقع الماء ونوعيته، فإن فُحِصَ وتم اعتباره صالحاً للشرب أو الري وحددت المنطقة بشكل فعال شرع عند ذلك بدراسة الجدوى الاقتصادية لهذا المشروع.

خامساً ـ الدراسة الاقتصادية:

يناقش الكرجي الحلول الهندسية الممكن تنفيذها لإيصال الماء مناقشاً خلال ذلك طبيعة التربة والوضع الطوبوغرافي للأرض والمسافة ـ

الطول ـ مستنداً في ذلك إلى القاعدة الاقتصادية: مساواة الفائدة للنفقة، الفائدة = النفقة.

ـ في حالة التربة الرملية وحين يكون مناسباً تنفيذ قناة مكشوفة، يصار إلى تدعيم جوانبها باستخدام تقنية الألواح الخشبية وهي على شكل قوالب اللبن ثم التبطين بالآجر أو الحجر.

ـ حالة التربة المتماسكة بعض الشيء من الطين والرمل، يكتفى في هذه الحالة بتبطين الجوانب بالآجر والحجر، على أن يكون مقطع القناة على شكل شبه منحرف.

ـ حالة التربة الطينية المتعفنة، يتجه الحل الهندسي إلى شكل يحمي من أن تنحل هذه التربة ومحتوياتها في الماء وهذا الحل هو البرابخ، وهي الأنابيب ـ القساطل ـ وطريقة تنفيذها تقوم على حفر الخندق الذي سيحويها بأبعاد:

٥ أشبار ارتفاعاً × ٣ أشبار عرضا = ١،٢ × ٠،٧٢م(٢)

ولزيادة تماسك هذا الخندق يتم تعميده وتثبيته بالخشب أو الشوك، وترصف البرابخ داخل الخندق بميل طولي يسمح بجريان الماء باعتدال.

سادساً : مواد البناء واستخدامها في هذه المنشآت:

في مرحلة الإنشاء تكون المواد المستخدمة وتصنيعها ونسبها عملية مهمة وأساسية، فحسب إشارات الكرجي استخدمت في ذلك الوقت مواد بناء عديدة في المنشآت المائية كالآجر والحجارة والطين، واستخدمت خلائط النورة بكافة أنواعها كرابط، وقد اعتنى الكرجي بتفصيل طريقة تصنيعها واستخدامها في المشاريع المائية. جدول(١).

المواد الرابط	الآجر الحجارة الطين الماء النورة التي تطورت فيما بعد إلى الاسمنت
النورة + الزيت	تستخدم في وصل أنابيب حجر المياه الفخارية (البرابخ)
النورة + اللبن أو البيض	تستخدم في وصل البرابخ
خبث الحديد + بياض البيض	لصيانة البرك والحياض ورأب صدوعها
نورة جافة + أدهان	في أغراض مختلفة
النورة الزرقاء (نورة + رماد ناعم جداً)	في الرصف والتثبيت.
الطين + الرمل الجريش + الحصى	في تثبيت جوانب القنوات
طين رطب + نورة محلولة بالماء + رمل	في تثبيت جوانب القنوات
صفائح حجرية + طين + رمل + نورة	في تثبيت جوانب القنوات

جدول (١): يبين مواد بناء تستخدم في المنشآت المائية

ـ تصنيع المواد ونسبها:

أ) خليطة النورة + الزيت:

النورة نوع من الحجارة الكلسية، وهي من الروابط المائية، وهي ذرات ناعمة جداً إذا أضيف لها الماء شكلت عجينة قابلة للتجمد، وهي كذلك تتحد مع الحجارة (الرمل والحصى) لتشكل مونة.

وقد تطورت النورة حالياً ووصلت إلى ما يسمى (الإسمنت) وهو نتاج خلط الكلس مع مواد أخرى وبنسب مختلفة، فالإسمنت مزيج من سيليكات وألومينات الكالسيوم بنسب معروفة، وهي عناصر توجد في الطبيعة تحت اسم الكلس والغضار والمارن.

ولتشكيل الخليطة السابقة: يؤخذ حجر النورة ويطبخ طبخاً معتدلاً ويخلط بأقل كمية من الماء ويضاف إليه الزيت بنسبة ٨٪ من كمية النورة (١٢ منْ نورة + ١ من زيت) وتدق الخليطة في هاون، يضاف خلال ذلك الزيت قليلاً قليلاً إلى حد التماسك ويمكن أن يضاف إلها اللبن أو البيض.

ب) خليطة خبث الحديد + بياض البيض:

لتشكيل هذه الخليطة تدق النورة وتنخل ودون أن تحل بالماء تخلط بالأدهان.

جـ) خليطة النورة الزرقاء:

تخلط النورة مع رماد مدقوق ناعم وتكون كمية الرماد أقل من كمية النورة(٢) وكمية مناسبة من الماء، فإذا استخدمت في عملية رصف الآجر كونت ملاطاً يعمل على تماسك الآجر مع بعضه وتماسكه مع تربة المجرى، وهو ما يشابه إلى حد ما طبقات البلوكاج التي تستخدم في رصف الباحات وتنفيذ الأرصفة.

د) خليطة الطين والحصى والرمل الجريش:

يدق الطين بالأرزبات وهي من المطارق الكبيرة الحديدية وذلك حتى يأخذ قواماً علكاً ـ لَزِجاً ـ والحصى هو ما يقابل البحص في الخلطات البيتونية والرمل الجريش يقابل الرمل، فقد جاء في اللسان «جرشت الشيء إذا لم تنعم دقه».

وإن استخدام هذا التدرج في الخليطة يذكر بالخلائط البيتونية التي تعتمد التدرج الحبي للوصول إلى أعلى مقاومة ممكنة للبيتون.

هـ) الخلائط الباقية:

ذات الطريقة السابقة في تصنيع النورة وتضاف باقي المواد كصفائح الحجر أو الرمل.

سابعاً ـ مرحلة التنفيذ والإنشاء:

بعد إجراء القياسات والمسح المناسب وتقدير الميول يتم في هذه المرحلة:

أ) اختيار موقع القناة وتوقيت البدء بإنشائها:

ويكون ذلك في بداية الصيف حيث يكون منسوب المياه الجوفية منخفضاً.

ب) تحديد مبدأ القناة ـ دستورها ـ ونهايتها:

أما نهايتها فهو المكان الذي خطط أن يصل إليه الماء (مدينة ـ قرية ـ قصر...) أما مبدأ القناة أو مكان البئر الأم التي يسميها الكرجي (الكمانجاه) وبها يستكشف موقع المياه الجوفية بالمنسوب اللازم لبدء حفر القناة بحيث يتحقق:

منسوب الماء في البئر الأم = فَرْق الارتفاع بين فم القناة وموقع هذه البئر والهدف من ذلك هو تحقيق الميل الطولي لأرضية القناة بعد أن تم تحديد طولها بهذا الشكل.

جـ) معيقات الحفر والوسائل والأدوات

الهندسية للتخلص منها:

وهي من المعيقات التي تعترض مرحلة التنفيذ ويحصرها الكرجي في:

١ ـ ظهور صخور قاسية:

تزال بعدة وسائل حسب درجة قساوتها بدءاً بالمعاول العادية إلى الفطاطيس، وهي الفؤوس الكبيرة وأحياناً تضعف الصخور القاسية جداً بإحراقها بالنار.

٢ ـ ظهور تربة رخوة (غير متماسكة) :

يعدد من الترب الرخوة التي تظهر حين الحفر

ـ التربة الرملية ـ رمل ـ

ـ التربة الطينية ـ طين غير متماسك ـ

ـ التربة الجافة الطينية المتماسكة ـ وهي التي تصاب بالانتباج في حال وصول الماء إليها وتتصدع المنشآت المستندة إليها ـ وقد سبق شرح الطرائق المتبعة في الحفر والإنشاء في مثل هذه الترب.

٣ ـ في الترب ذات المسامية العالية التي تسمح بتسرب الماء وذهابه، يقدم الكرجي حلاً هندسياً لإجراء الماء في مثل هذه الترب حيث يتم تغطيتها بطبقة من الآجر من الحجم الكبير والنورة الزرقاء التي لا تنحل بالماء، وتكون ملاطاً على تماسك الآجر مع بعضه وتماسكه مع تربة المجرى.

ويوصي بتنفيذ هذا الرصف ـ التثبيت ـ بشكل متقن لا يسمح بتسرب الماء:

* تقرش أولاً طبقة من النورة الزرقاء ويرصف فوقها قطع الآجر ويعمل على ملء الفراغات بالنورة أيضاً.
* تنفذ هذه الطبقات في القاع والجوانب.
* ينصح الكرجي باستبدال التربة إن لم تكن مناسبة على عمق «يساوي عمق الماء وتحته ذراع» أي على عمق يتجاوز المتر.
* تجري عملية رصف الآجر ورصه باستخدام الأرزبات وترسل البهائم لتسير فوقها لتحقيق مزيد من الرص.
* يرسل الماء بشكل مؤقت في المجرى وبمرور الوقت يتقسّى الرصف، وإن عملية إرسال الماء بشكل مؤقت ليست إلا عملية السقاية التي تزيد من مقاومة الرصف مع مرور الزمن جدول (٢). وفي الجدول (٣) تظهر تقنيات الحفر في القرنين ٤ ـ ٥ هـ.

٤ ـ انطلاق الأبخرة والغازات خلال عملية الحفر:

يشير الكرجي إلى أن هذه الغازات تنطلق من الصخور والترب إذا كان فيها كبريتية أو نفطية، وهذا صحيح إذ أن من كل نوع من هذه الترب والصخور تنطلق غازات معينة تم تحديدها في الوقت الحاضر وهي تنطلق في أثناء عمليات الحفر تحت الأرض.

ويتحدث الكرجي عن حالة «انعدام الأكسجين وسيادة CO_2» دون تحديد الحالة بهذا الأسم، بل يتحدث عنها وكأنها جزء من حالة (الغازات السامة)، فيذكر هذه الحالة في بعض الآبار والقنوات التي تغلق فيها آبار التهوية بانطفاء السراج داخلها.

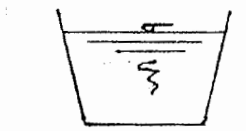
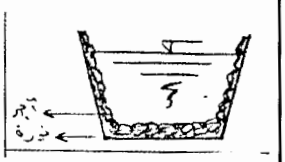
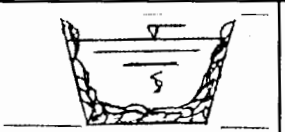
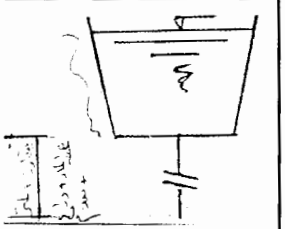
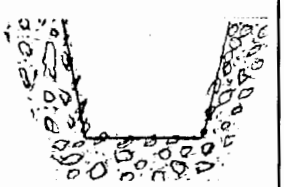
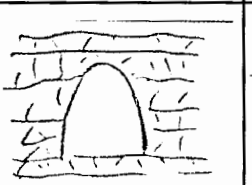
يقدم الكرجي عدة حلول هندسية وتقنيات لعبور هذا المعيق:

ـ من الطرائق الهندسية: تسريب الأبخرة بواسطة نقب إلى بئر مجاورة.

ـ من الأدوات المستخدمة: أداة تعرف باسم (آلة الآبار التي تقتل من ينزل إليها):

تزود هذه الآلة الحفارين والعمال بكميات

الأوكسجين اللازمة، وهي حسب وصف الكرجي أنبوب من الجلد (خرطوم) تدلى في البئر إلى

مقطع المجرى حسب اقتراح الكرجي على شكل شبه منحرف		القاعدة الكبرى ٣ أشبار القاعدة الصغرى ٢/٣ + ٢ شبر حوالي ٧٠ سم ــ ٦٠ سم
رصف قاع وجوانب المجرى (تثبيت) بالآجر والنورة الزرقاء		تثبيت القاع والجوانب بما يشبه طبقات البلوكاج
التثبيت بواسطة صفائح الحجر + الرمل + النورة + الطين		يشبه هذا التثبيت باستخدام البيتون المغموس
استبدال التربة وتدق التربة الجديدة بالمعاول الثقيلة		يمكن الاستبدال أيضاً من جوانب القناة الثقيلة. هو العمق من التربة الذي يقترح الكرجي استبداله
استبدال التربة بخليطة الحصى والرمل الجريش والطين		استبدال التربة بخليطة تتميز بالتدرج الحبي وتحقق المقاومة اللازمة والرص
تطول النقوب وتوسع إذا كانت التربة قاسية		تكبير المقطع وهذا أكثر نفعاً لإجراء الصيانات والتنظيف
يضيق النقب ويجعل مدوراً غير مسطح في التربة الرخوة		المقطع على شكل قبة تؤدي إلى جبهة ثابتة بشكل طبيعي (دون دعم)

جدول (٢): الحلول الهندسية التي قدمها الكرجي لمقطع المجرى المائي وتثبيت جوانبه

مستوى الحفر والطرف الآخر في الأعلى يتلقى نفخاً بواسطة كير(١٦) وهذا يؤمن مصدراً للأوكسجين.

ومن النصائح التي يوصي بها تفادياً لهذه الغازات:

ـ توسيع مقطع البئر(١٧) مما يسمح بانطلاق الغازات وتخفيفها ويسمح بعبور الأوكسجين بشكل أكبر وهي ليست نصيحة يمكن تنفيذها دوماً بطبيعة الحال، في الأعماق الكبيرة لا تنفذ وإنما يلجأ إلى الأداة السابقة.

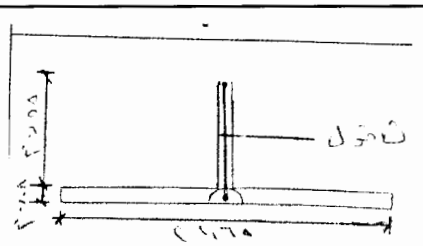
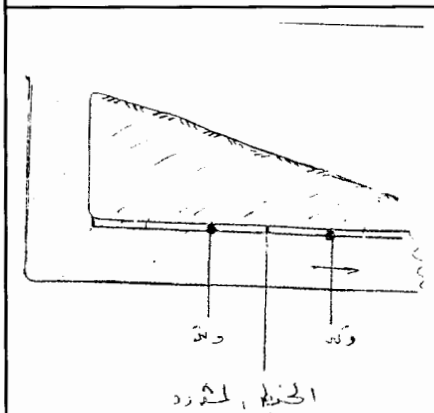
ـ فتح فوهات آبار التهوية(١٨) بالنسبة لنظام القنوات عدة أيام قبل النزول إليها لإجراء التنظيف أوالصيانات المختلفة.

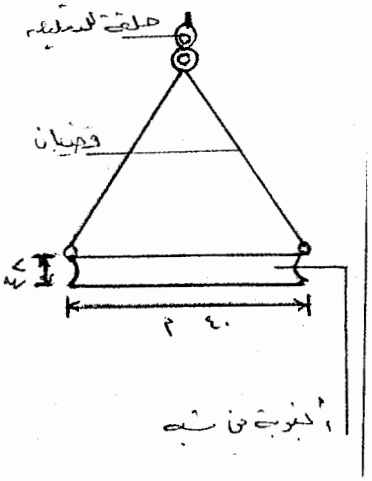
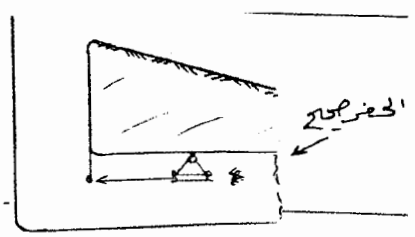
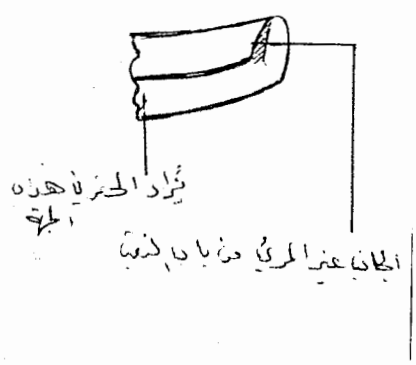
٥ ـ تدفق الماء وإعاقته للحفر وتأثيره على صحة العاملين:

اتجه الاهتمام أولاً إلى الحفارين والقنائين، فاقترح الكرجي لباس عمل لهم واقياً من الماء يتألف من:

قميص من جلد العجول جرت معالجته بحيث أصبح مضاداً للماء حسب التعبير المعاصر فهذا الجلدُ مدبوغ ومسقي شحم البقر المذاب(٤)، وخوذة من نفس المواصفات تحيط بها حافة تمنع سيلان الماء على الوجه والجسد.

تقنيات الحفر وأدواته: القرنان ٤ ـ ٥ هـ

الأداة	وصفها وعملها	شكلها
الخشبة ذات الشاقول	تحقق الأفقية والاستقاة في أرضية القناة ـ إن استناد الخشبة إلى أرضية الحفر، يعطي الشاقول ميلاً، وعدم ميله تعني صحة الحفر.	
طريقة الخيط المشدود	تحقق أفقية واستقامة سقف النقب (القناة). بعد حفر ٣ أذرع باستخدام الخشبة ذات الشاقول، يدق القناء وتداً في بداية ما سيحفر ويشد فيه خيطاً، حين ينتهي من حفر ٣ أذرع فإن طول الخيط يجب أن يساوي ٣ أذرع، فإن كان أكثر فهو إما صاعد وإما هابط عن الاستقامة.	

الأنبوبة المعلقة والكرة	هذه الأداة هي الأكثر تطوراً من بين تقنيات الحفر المستخدمة في ذلك الوقت وذلك لسهولة استخدامها ودقتها. ـ يحفر من القناة حوالي ٨٠ سم ـ تعلق الأنبوبة في وسط المسافة. ـ يعلق من جانب البئر كرة صغيرة بحيث : ارتفاع الكرة من قرار البئر = ارتفاع الأنبوبة من قرار البئر لكي تكون الكرة مرئية من ثقب الأنبوبة.	
	ـ مع التقدم في الحفر تعلق الأنبوبة في وسط المسافة وينظر إلى الكرة ويجب زيادة الحفر في عكس الجهات التي تميل إليها الأنبوبة.	
الحس والخبرة	بعد أن يحفر القناء مسافة ٣ أذرع بشكل صحيح يستطيع بالنظر أن يحفظ استواء النقب. ينظر إلى باب النقب فإذا غاب قسم من الباب عنه من اليمين أو الشمال أو الأعلى أو الأسفل وذلك إذا نظر بعين واحدة يحتاج أن يزيد الحفر في الجانب المرئي ليعود النقب إلى استوائه.	

جدول (٣).

ثامناً : مرحلة المساحة والقياسات :

تعتبر هذه المرحلة من أهم المراحل في العمل الهندسي وأدقها، فعلى أساس معطياتها توضع النقاط الأساسية في العمل، مثل تحديد بداية القناة ونهايتها والأماكن التي ستمر بها وميلها الطولي ومناسب الحفر وقد طور الكرجي تقنيات العمل المساحي وأوداته:

* فقام بتحويل الأدوات المساحية التي عرفت في عصره إلى أجهزة متكاملة مدرجة تعطي فَرْق الارتفاع للراصد مباشرة وبذلك ألغى الخطأ الذي يمكن أن يحدث من قراءة القائمة مباشرة.
* نوع في طرائق الرصد، وفي وضع العلامات على القائمة وذلك للتسهيل أحياناً، وأحياناً حسب طبوغرافية الأرض.

قدم البرهان الرياضي لكل تعديل قام به على هذه الأدوات ولاسيما عملية التدريج التي تتطلب دقة في التنفيذ.

* وبذا دخلت الأعمال المساحية في العمل الهندسي وأخذت شكلاً علمياً دقيقاً.

ـ تعريف وزن الأرض

(وزن الأرض) حسب تعريف الكرجي	وزن الأرض (ارتفاع نقطة) في التعريف الحديث
«معرفة مقدار صعود مكان على مكان بينهما بعد قليل أو كثير وعلم ذلك بالموازين» وذلك لتحديد الميل الطولي للقناة	هو المسافة حسب الشاقول بين هذه النقطة على سطح الأرض وسطح السوية المرجعي

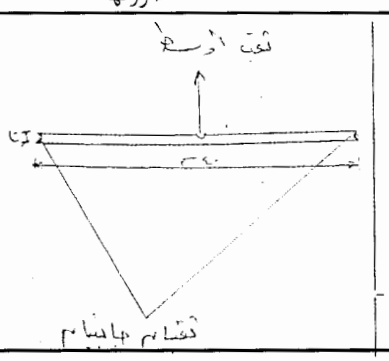
فإذا ساوينا بين بعض الألفاظ والتعابير كان التعريفان شبه متطابقين:

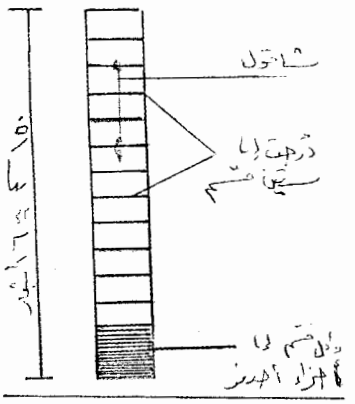
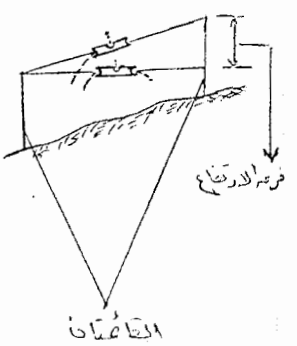
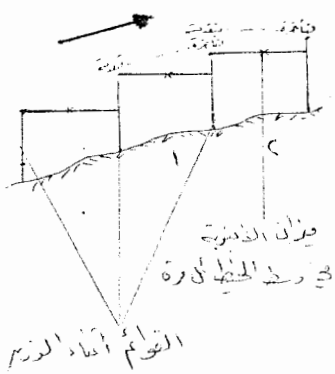
مقدار صعود مكان على مكان بينهما بعد قليل أو كثير. ‖ المسافة حسب الشاقول بين نقطتين بين هذه النقطة على سطح الأرض وسطح السوية المرجعي

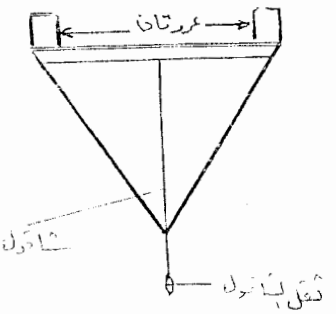
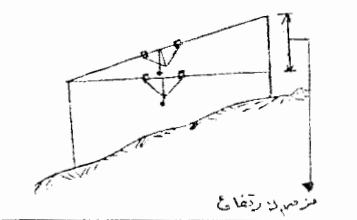
وفيما يلي جدول بالأدوات المساحية التي وصفها الكرجي والتي كانت شائعة في عصره.

جدول (٤). وجدول بالموازين التي اخترعها الكرجي أو طورها جدول (٥).

بعض الأدوات المساحية التي عرفت حتى بداية القرن الخامس الهجري

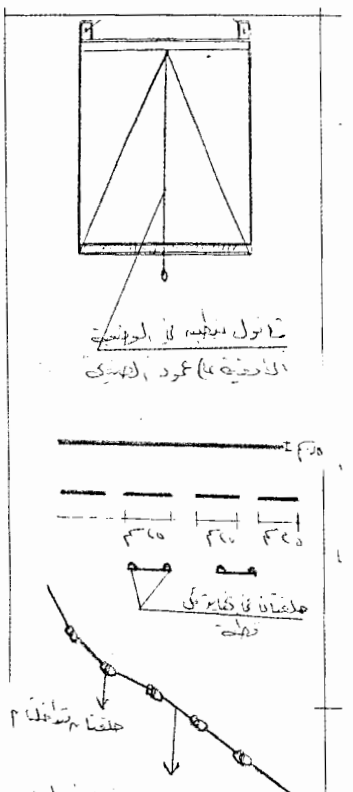
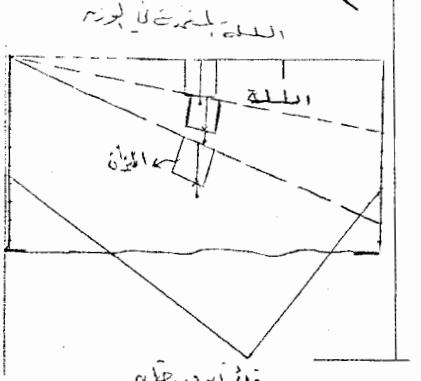
الأداة	وصفها وعملها	صورتها
ميزان الأنبوبة	ـ اسطوانة زجاجية أو خشبية أو من القصب، قائمة. ـ طولها ١،٥ شبر = ٤٠ سم ـ أقطار الثقوب = ١ سم تعلق بخيطين طول الواحد ١٥ ذراعاً = ٨م، بحيث يكون الميزان في الوسط	

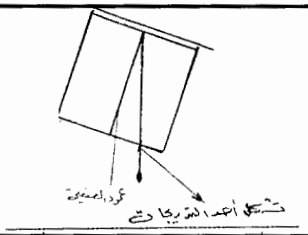
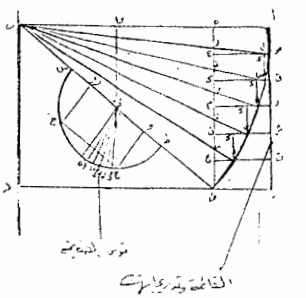
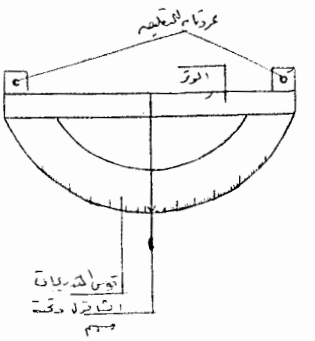
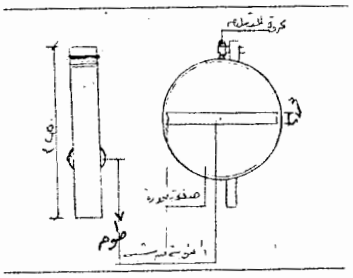
القائمتان المدرجتان	إن إجراء وزن الأرض يتطلب أيضاً قائمتين مدرجتين. توضعان عند طرفي الخيط الذي يحمل الميزان في وسطه. ـ يحرص على تحقيق أفقية الخيط أثناء عملية الوزن بعد تحقيق شاقولية القائمتين، ويكون ذلك بتعليق شاقول في كل قائمة بواسطة حلقة	
إجراء حساب فرق الإرتفاع بواسطة هذا الميزان	ـ ينقط الماء في الأنبوبة والثقب الذي يسيل منه الماء يعود إلى النقطة الأخفض ولحساب فرق الارتفاع: يتم تنزيل الخيط على القائمة الأخرى إلى أن يعود الخيط أفقياً فيسيل الماء بشكل متساوٍ من الجانبين، ومقدار انخفاض الخيط هو مقدار ارتفاع هذه النقطة على تلك، ويقرأ الفرق بتدريجات القائمة.	
حساب فرق الارتفاع على خط من الأرض	إذا كان الابتداء من المكان الأخفض «حفظت كل ارتفاع يكون في القائمة المتقدمة وألقيت منه كل ارتفاع تدل عليه القائمة المتأخرة. والثاني يكون ارتفاع المكان الأعلى على المكان الأسفل، أعني المكان الذي انتهيت إليه بالوزن على المكان الذي ابتدأت منه» أي: مقدار ما ينزل الخيط في	

	القائمة التي ستتقدم. يعكس حساب فرق الإرتفاع في حال البدء من المكان الأعلى	
ميزان الصفيحة	ـ صفيحة على شكل مثلث متساوي الساقين، تصنع من الصفر أو النحاس أو الخشب الصلب. ـ يعلق شاقول في نقطة تقاطع عمود المثلث وخط مواز لقاعدته قريب منه. ـ تعلق في منتصف خيط طوله ـ٣٠ ذراعاً = يساوي ١٦م يمر عبر العروتين.	
إجراء الوزن بالصفيحة	في ميزان الصفيحة المثلثة يعرف فرق الارتفاع بميل الشاقول ويحط الخيط حتى ينطبق خيط الشاقول على عمود الصفيحة.	

جدول (٤)

بعض الموازين التي اخترعها الكرجي وطورها

الأداة	وصفها وعملها	صورتها
ميزان الصفيحة المربعة المدرجة	ـ صفيحة مربعة خفيفة من خشب أو شبهه. ـ الأدوات المرافقة: قائمتان + سلسلة من نحاس أو حديد. * صنع هذه السلسلة: ـ يؤخذ قضيب من نحاس أو حديد قطر مقطعه ١/٢ سم. ـ يقطع إلى أجزاء كل جزء = شبر = ٢٥ سم. ـ يعقف رأسا كل قطعة. ـ تصنع بطول ٣٠ ذراعاً = ١٧ متراً يعتبر استخدام السلسلة أدق لأنها تخفف من الخطأ الناجم عن التحنيب وعدم الشد وقابليتها للطي.	
تدريج هذا الميزان	ـ توضع القائمتان في مكانين ليس بينهما فرق في الارتفاع وتسوى الأرض تحتهما وتتحقق شاقوليتهما بواسطة الشواقيل المعلقة فيهما. ـ توضع الصفيحة في وسط السلسلة. ـ يثبت أحد طرفي السلسلة. ويحرك الآخر على تدريجات القائمة فتنتقل التدريجات إلى الخط الأسفل من الصفيحة حيث يميل الشاقول عند كل جزء	

	ويعلم على كل تقاطع يكون بين خيط الشاقول وبين نصف الخط الأسفل ويقسم النصف الآخر بالطريقة نفسها.	
البرهان الرياضي على صحة هذا التدريج(١)	حيث تم البرهان على انقسام القوس هـ ح إلى أجزاء مناظرة لأقسام القائمة أ جـ. إذاً فالصفيحة المربعة المدرجة تعطي فرق الارتفاع مباشرة بأجزاء مناظرة لأجزاء القائمة وتعبر عنها	
تعديل وتطوير ميزان الصفيحة المربعة المدرجة	تختصر الصفيحة إلى قوس ووتر وعروتين وسهم وشاقول. وهذا يخفف من وزنها ويسهل استخدامها. فهذا الميزان يشبه ميزان الصفيحة المثلثة مع تعديلين جوهريين جاء بهما الكرجي: التدريج + تخفيف الوزن إلى حدود قوس التدريجات.	
ميزان الصفيحة ذات الأنبوبة	ـ صفيحة مربعة أو مدورة من خشب صلب أو شبه. ـ أنبوبة طولها شبر ونصف. ـ تدور الأنبوبة بحيث تمسح الصفيحة. ـ يعلق الميزان إلى قائمة خشبية	

جدول (٥) : ورد هذا البرهان بشكل مفصل في تحليل كتاب «إنباط المياه» ص: ٢١٤

تاسعاً : مرحلة نهاية الإنشاء واستلام الأعمال:

من خلال التفاصيل الكثيرة التي ذكرها الكرجي يمكن استنتاج أن أعمال الحفر والإنشاء المذكورة تنفذ عبر جهتين:

ـ جهة الإشراف: وهي جهاز هندسي يتكون من المقدر والمهندس، والمقدر خبير فني بشؤون البناء، والإنشاء يقوم بتقدير الكميات ومطابقتها للشروط المتفق عليها والمعايير الهندسية المتعارف عليها، وبناء عليه يقوم بتقدير أجهزة المتعهد وهو الذي يتولى حفر وإنشاء القناة.

ـ جهة التعهد : القنّاء، وهو الاسم الذي أطلقه الكرجي على العامل المنفذ لحفر وبناء القناة.

ـ الشروط الهندسية الواجب توافرها في القناة حتى يتم استلامها.

١ ـ مقطع القناة عمودي على محورها

أن تكون القناة على خط واحد وقرار واحد

٢ ـ ارتفاع الماء ثابت

ويكون الماء في كل موضع منها شيئاً واحداً

٣ ـ عدم حدوث تفاوت في مناسيب قاع القناة «أن يكون قرارها واحداً»

وأعتقد أن الكرجي لا يقصد تحقق هذه الشروط ـ وهي من شروط الجريان المنتظم ـ بشكل مطلق ولكن إلى الحدود التي تحفظ كفاءة القناة، فلا يمكن اعتبار هذا الجريان منتظماً اذ لا بد من حدوث تسرب مائي على طول القناة يتعلق بعدة عوامل كمسامية التربة وعمق الماء ومقطعه ومنسوب المياه الجوفية.

المراجع

(١) وكيل ميخائيل جورج، «المنشآت المائية»، منشورات جامعة حلب ـ كلية الهندسة. ١٩٨١م، ٤٨٨ ص. ص ٦.

(٢) الكرجي أبو محمد بن الحسن، «إنباط المياه الخفية». تحقيق بغداد عبد المنعم (دراسة وتحليل) ـ معهد المخطوطات العربية ـ المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ـ جامعة الدول العربية ـ القاهرة ـ ١٩٩٧م. ص ١٥٣ ـ ص ١٥٨.

(٣) وردت لوائح بأسماء النباتات في المصدر السابق ص ١٥٧.

(٤) المصدر السابق ص ١٥٤.

(٥) المصدر السابق ص ١٦٢.

(٦) المصدر السابق ص ١٩٣.

(٧) المصدر السابق ص ١٩٣.

(٨) الحلبي، عبد الكريم «خواص المواد» ، ط ٥، جامعة حلب ـ كلية الهندسة ١٩٨٢، ج١، ص ١١٣ ـ ص ١١٤.

* عولج هذا الموضوع بكثافة عند المهندسين والفقهاء والقضاة.