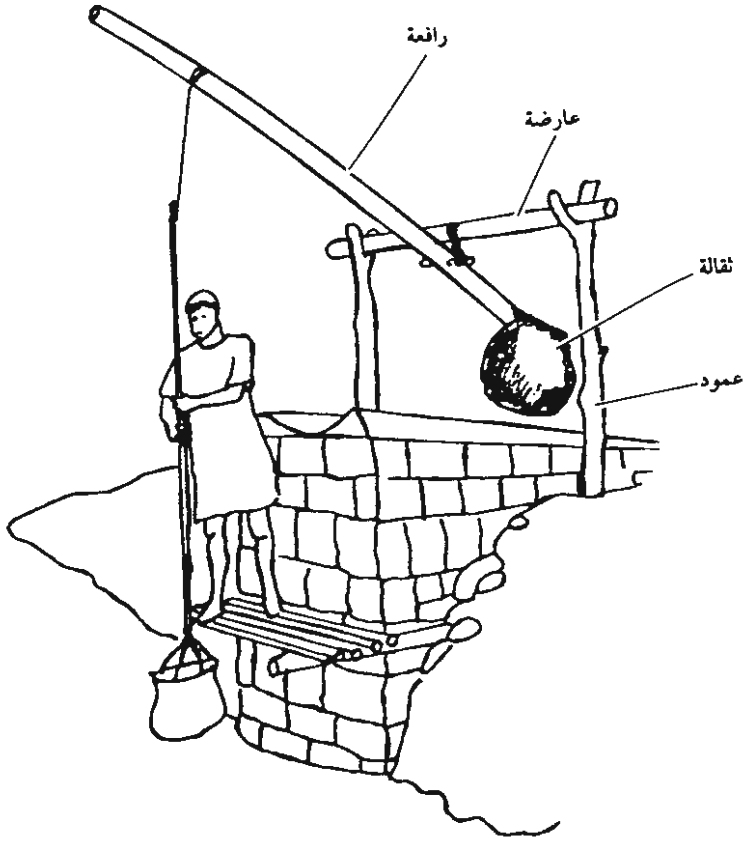
ويتراجع لمسافة تم قياسها، ومن جديد يقرأ الزاوية. وبعد أن طور المسلمون طرق حساب المثلثات المسطحة والكروية في آن واحد، أصبحت المسائل من هذا الصنف سهلة الحل. مع ذلك، كان الطوبوغرافيون العاملون على الأرض يفضلون بشكل واضح الطرق بالاستنتاج، وهذه الطرق ممكنة بواسطة الأسطرلاب، وقد وضع العلماء العرب موجزات تتناول مسألة استخدامه. كما كانت تحل مسائل أخرى باستخدام الأسطرلاب، بما في ذلك تحديد عرض نهر أو المسافة بين نقطتين يفصلهما عائق يتعذر عبوره. وكانت طرق التثليث غير معروفة لدى الرومان، وقد تم إدخالها إلى إسبانيا، على سبيل المثال، بواسطة مؤلفات عن الأسطرلاب وضعها علماء مسلمون.

ثانياً: الهندسة الميكانيكية

١ ـ آلات لرفع المياه

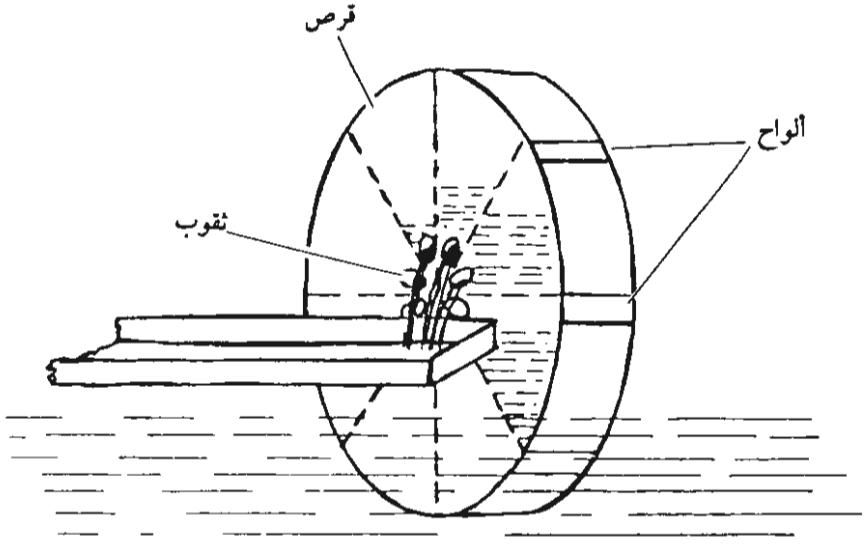
إن أقدم آلة استخدمها الإنسان للري وللتزود بالماء هي «الشادوف». فقد وجدت رسوم عنها في نقوش بلاد الأكاديين منذ ٢٥٠٠ سنة قبل المسيح، وفي مصر منذ ما يقارب ٢٠٠٠ سنة قبل المسيح. وقد ظل استخدامها شائعاً حتى أيامنا هذه، وعلى امتداد العالم كله. فالأمر يتعلق بإحدى الآليات الأكثر نجاحاً، التي تم اختراعها في يوم من الأيام. إن نجاحها يعود إلى بساطتها، فنجار القرية يستطيع صنعها بسهولة باستخدام مواد محلية. وهي تقدم كميات كبيرة من الماء عندما يتعلق الأمر بمسافة رفع صغيرة إلى حد ما. وتتألف هذه الآلة من عصا خشبية طويلة، معلقة على محور ارتكاز دوراني مثبت على عارضة مرتكزة على عمودين من خشب أو حجر أو آجر. وفي طرف ذراع الرافعة القصير توجد ثقالة من حجر، أو من صلصال في المناطق المغطاة بالطمي، حيث يتعذر وجود الأحجار. ويعلق الدلو في الطرف الآخر من العصا بواسطة حبل (الشكل رقم (٢٢ ـ ٦)). ينزل مستخدم الآلة الدلو في الماء بهدف تعبئته. ثم يتم رفعه بفعل الثقالة، وأخيراً يفرغ في قناة الري أو في الخزان.



الشكل رقم (٢٢ ـ ٦)

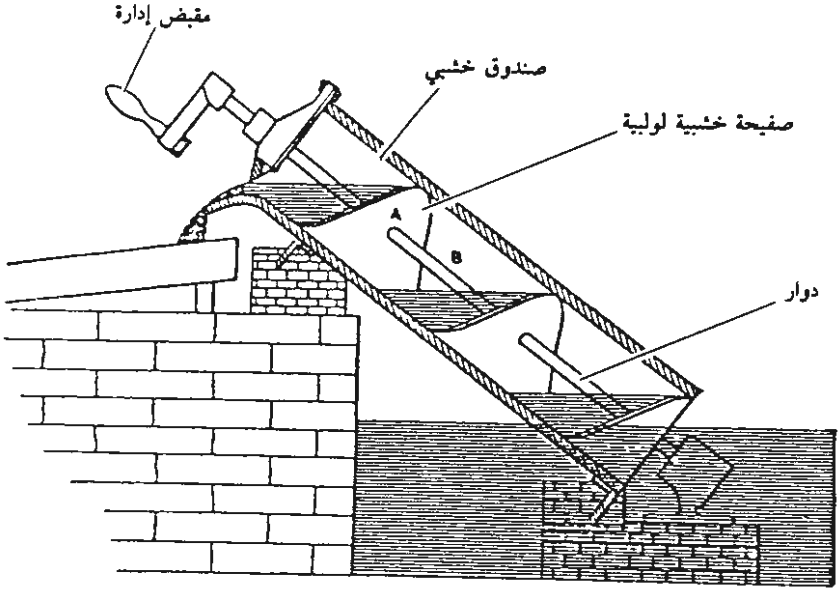
تم اختراع «الأسطوانة» على الأرجح في مصر إبان النصف الثاني من القرن الثالث قبل المسيح. وهي مؤلفة من قرصين كبيرين خشبيين مثبتين إلى محور خشبي يتضمن عدداً من القضبان الحديدية التي تتجاوز هذا المحور من الجانبين. والقضبان هذه مثبتة محورياً بواسطة ركائز معدنية مستندة إلى دعامتين. والفراغ بين القرصين مقسم إلى ثمانية أجزاء (أي حجرات) بواسطة ألواح. أما محيط الأسطوانة فهو مغطى بألواح تتضمن فتحة واحدة في كل جزء، معدة لاستقبال الماء. كما توجد ثقوب دائرية حول المحور على أحد جانبي الأسطوانة. والآلة مطلية كلها بالقطران (الشكل رقم (٢٢ ـ ٧)). عندما تدور الأسطوانة بواسطة عجلة مائية، يسيل الماء من منبعه ويدخل إلى الحجرات التي تكون في هذه الحالة في النقطة السفلى من مسارها، ثم ينصب من الفتحات عندما تقترب الحجرات من القمة.

ويسيل بعد ذلك في قناة نحو الخزان. ونادراً ما يرد ذكر الأسطوانة في كتب المؤلفين المسلمين عند الحديث عن وسائل الري، ويبدو أن استخدامها الرئيس يتعلق بتفريغ المياه من الجباب. فهي النظام المثالي في هذا المجال، إذ إن استعمالها ممكن في حيز صغير. وقد كان من الضروري استخدام مجموعة أسطوانات، الأولى منها معدة لرفع الماء إلى خزان موجود على سطح، أما الثانية فتقود الماء إلى خزان ثان وهكذا دواليك، حتى يتم إفراغه كلياً في قناة صرف عند مدخل الجب.



الشكل رقم (٢٢ ـ ٧)

وقد تم اختراع الترس الدودي أو «حلزون الماء» على الأرجح على يد أرخميدس (٢٨٧ ـ ٢١٢ ق.م) عندما كان يعيش في مصر. ومن الطبيعي أن هذه الآلة غالباً ما تسمى طنبور أو شادوف أرخيدس. وهي تتضمن صفيحة خشبية محكمة لولبياً على امتداد دوار أسطواني خشبي. كما تحتوي على صندوق خشبي محكم حول هذا الدوار، وهو شبيه ببرميل مؤلف من ألواح مطلية بالقطران ومطوقة بأحزمة حديدية. والدوار مجهز بغلافات معدنية تدور في علب معدنية. ويوضع الترس بشكل مائل بحيث يكون أحد طرفيه غائصاً في الماء. ومن خلال دوران الآلة، يصعد الماء على امتداد الترس الدودي ليصب في الطرف الآخر. وكلما صغرت الزاوية المحددة بين محور الدوار وسطح الماء، ازدادت كمية الماء المرفوعة (الشكل رقم (٢٢ ـ ٨)).



الشكل رقم (٢٢ ـ ٨)

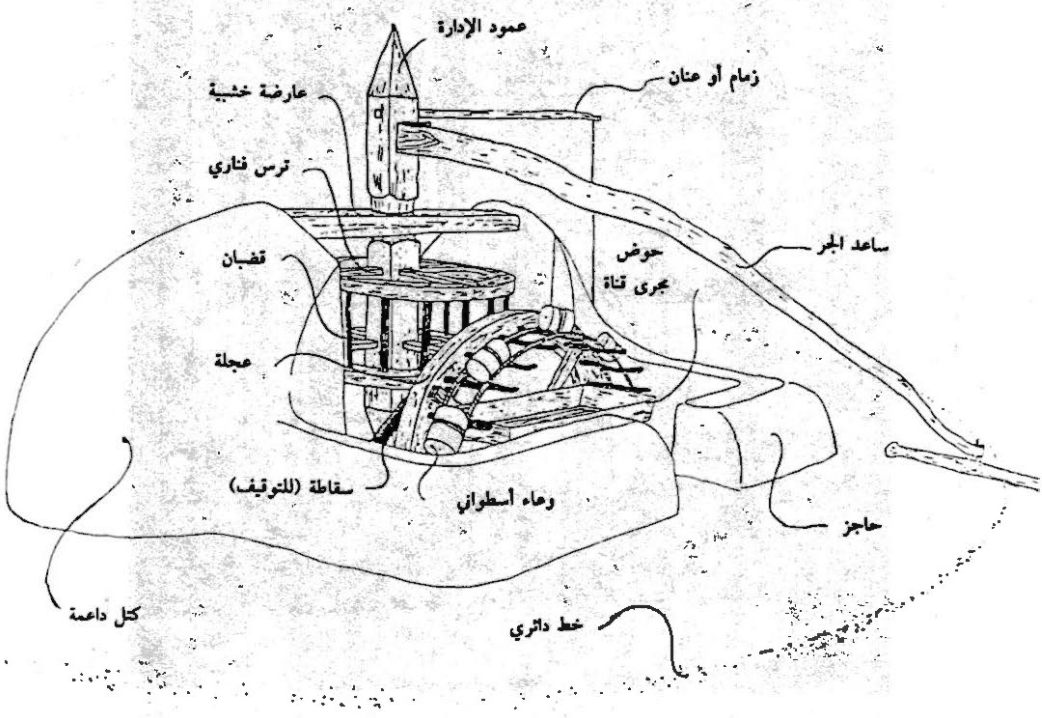
نحن لا نعرف بالضبط كيف كانت الآلة تدور في الأزمنة القديمة. وربما كان ذلك بمساعدة عجلة هيدرولية، وفي هذه الحالة يتم نقل الطاقة بواسطة مسننتين. وفي أيامنا هذه، يتم تشغيلها عموماً بواسطة مقبض إدارة. إلا أن المقبض هذا لم يكن معروفاً قبل القرن السادس للهجرة/ الثاني عشر للميلاد. وبالمقابل، فقد كان استخدام الترس الدودي شائعاً في العالم الإسلامي حتى فترة قريبة من الزمن، لكنه يبدو نادراً في الوقت الراهن.

تستخدم كلمة «ساقية» في هذا المجال لوصف «سلسلة قواديس»[٢٠] يتم تحريكها بمساعدة عجلتين مسننتين وذلك بواسطة حيوان أو حيوانين مدربين لهذا العمل مربوطين بساعد الجر، ويدوران حول منبسط دائري. وقد تم اختراع هذه الآلة المهمة للغاية في مصر، على الأرجح حوالى العام ٢٠٠٠ ق.م ولم يطرأ عليها أي تطور مهم قبل القرنين الرابع والخامس بعد الميلاد، وقد تمثل هذا التطور فيما بعد بإدخال آلية سقاطة التوقيف وأوعية الخزف. ومع أن طريقة عمل الآلة سهلة الشرح، إلا أن صناعتها معقدة للغاية لأنها تتضمن أكثر من مئتي عنصر. ولن نقدم هنا سوى التفاصيل الأساسية لصناعتها.

يتم ربط الحيوان إلى ساعد الجر الذي يمر عبر ثقب في عمود الإدارة، وعلى هذا العمود تثبت العجلة المسننة أفقياً بواسطة قضبان شعاعية (برامق). يدور العمود داخل عارضة خشبية مدعمة بواسطة قواعد، مع الحفاظ عليه على مستوى الأرض وفوق العجلة المسننة. والعجلة هذه هي ترس فناري مؤلف من قرصين خشبيين كبيرين متباعدين بواسطة

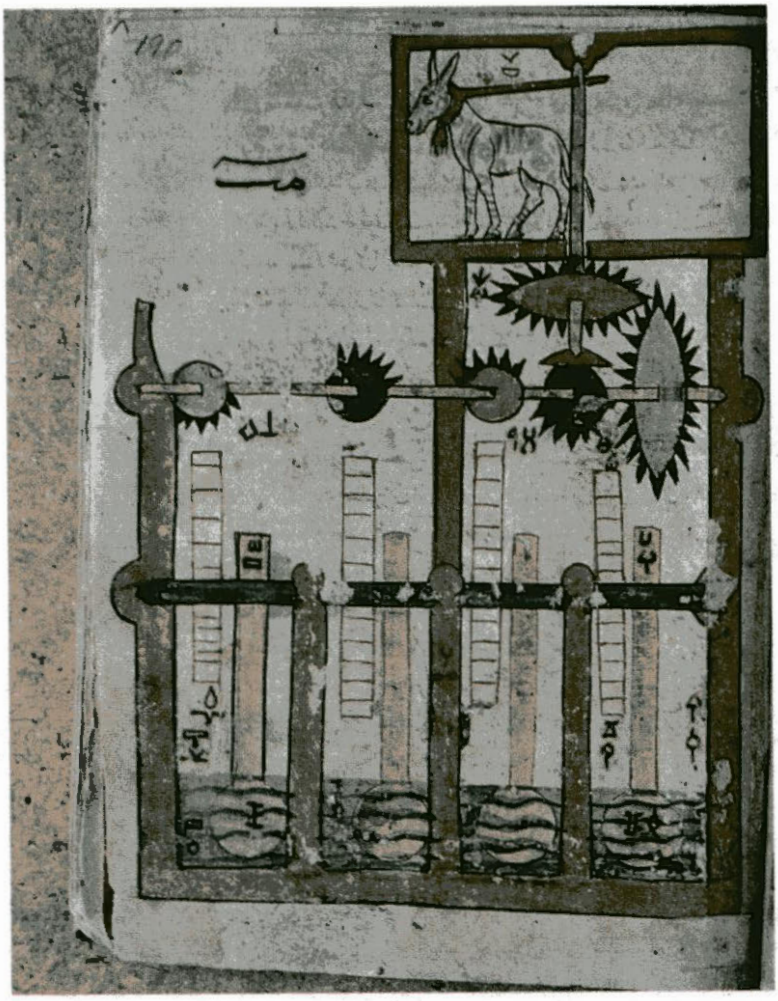
(٢٠) مفردها قادوس وهو إناء يستخدم لإخراج الماء من السواقي.

قضبان متساوية البعد فيما بينها. أما العجلة المسننة العمودية التي تحمل سلسلة القواديس، فهي مرتكزة محورياً فوق البئر أو مصدر مياه آخر بواسطة محور خشبي. وعلى أحد جانبي العجلة توجد قضبان تدخل في الفراغات بين قضبان الترس، كما تخترق العجلة إلى الجانب الآخر لكي تستند وتحمل سلسلة القواديس. وتتألف هذه السلسلة من حبلين يتم بينهما ربط أوعية الخزف. وتستخدم أحياناً سلاسل وأوعية معدنية (الشكل رقم (٢٢ ـ ٩)).



الشكل رقم (٢٢ ـ ٩)

ولمنع العجلة من الدوران في الاتجاه المعاكس، فإن الآلة مجهزة بآلية سقاطة التوقيف التي تضغط على أسنان العجلة العمودية. وهذه الآلية ضرورية، لأن الحيوان الذي يدفع الساعد يخضع لقوة جر ثابتة، عندما يتحرك، وكذلك عندما يقف. وتعمل الآلية في حالتين، عندما يتخلص الحيوان من عدته، أو عند وقوع كسر أو ما شابه في العدة. ومن دون هذه الآلية، فإن الآلة تدور في الاتجاه المعاكس بسرعة كبيرة، وبعد دورة يضرب ساعد الجر الحيوان على رأسه. وفي الوقت نفسه يتحطم العديد من قضبان الترس وتنكسر الأوعية.



الصورة رقم (٢٢ ـ ٢)

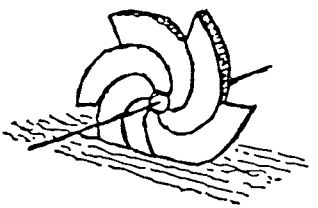
الجزري، **كتاب في معرفة الحيل الهندسية** (مخطوطة رامبور، ٣٦٩٠).

نرى في هذه الصورة نظاماً تخيله الجزري

وهو نظام يشترك في تحريكه الحيوان وقوة الدفع المائي.

وقد يكون حيوان الجر حماراً أو بغلاً أو ثوراً. وأحياناً يستخدم حيوانان من الصنف نفسه. وعندما يتقدم الحيوان على المنبسط الدائري، يدور الترس ويحرك عجلة القواديس التي تغوص في الماء في حركة متواصلة وتفرغ عندما تكون في رأس العجلة في قناة متصلة بخزان. وعلى الرغم من أن الوظيفة الأساسية لـ «الساقية» تتعلق بأعمال الري، إلا أن

استخدامها ممكن للتزود بالماء عندما تكون الأبنية على مسافة قريبة من المنبع الطبيعي. وكلما طالت سلسلة القواديس، أي كلما ازدادت مسافة الرفع، انخفض مردود التغذية بالماء. ولا يشكل هذا الانخفاض عاملاً سلبياً بالنسبة إلى التزود البيتي بالماء، إلا أن نقل كميات كبيرة من المياه بواسطة أنظمة رافعة صغيرة يشكل، في الواقع، إحدى المشكلات التقنية في رفع الماء. ويمكن حل هذه المشكلة باستخدام عجلة قواديس حلزونية الشكل (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٠)) وهي تصعد حتى مستوى الأرض بفعالية كبيرة. إن هذه الآلة واسعة الانتشار في مصر في أيامنا هذه. وقد حاول اختصاصيو مركز الأبحاث الواقع بالقرب من القاهرة تحسين شكل القواديس بهدف الحصول على مردود أقصى. وعلى الرغم من أنها تبدو شديدة الحداثة في الرسم العائد إليها، إلا أنها قديمة للغاية، لأن منمنمة (Miniature) من أصل بغدادي من القرن السادس للهجرة/ الثاني عشر للميلاد، تظهر لنا عجلة قواديس حلزونية الشكل يحركها ثوران ويتم نقل الطاقة بالطريقة نفسها المتبعة في «السواقي» الكلاسيكية.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٠)

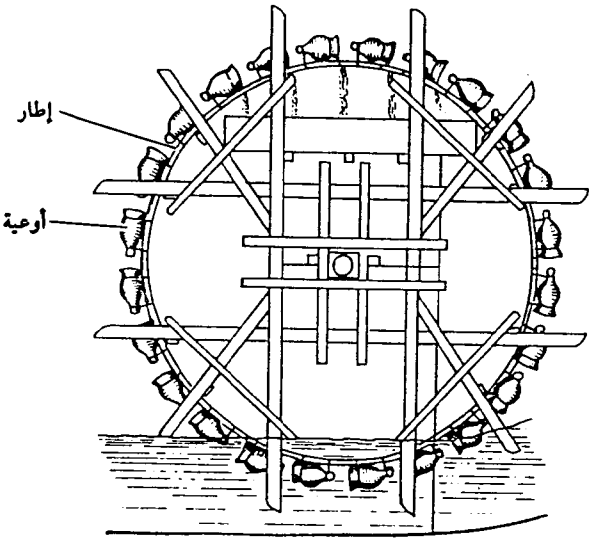
كانت هذه الطريقة مستخدمة بشكل واسع في العالم الإسلامي منذ العصور القديمة وحتى أيامنا هذه. وقد أدخلها المسلمون إلى شبه الجزيرة الإيبيرية حيث تم استغلالها بشكل واسع. وهي لم تنتشر في أغلب البلدان الأوروبية فحسب، بل أيضاً في العالم الجديد بفضل تقنيين إسبان. وهي تملك ميزة بالنسبة إلى المضخة العاملة بمحرك ديزل، لأن صناعتها وصيانتها ممكنتان على يد حرفيين محليين، كما أنها لا تتطلب وقوداً[٢١]. إن تاريخ «الساقية» الطويل لم ينته عند هذا الحد. فهناك إشارات عديدة تبين لنا أن ميزاتها الكثيرة ستضمن لها بقاءً في مستقبل متوقع.

إن «الناعورة» هي أيضاً آلة عميقة الدلالة في تاريخ التقنيات. وهي تتألف من عجلة خشبية كبيرة مجهزة بمغاديف[٢٢]. وتملك هذه العجلة إطاراً يقع داخل المغاديف، وهو مقسم إلى حجيرات. وتوجد نماذج مختلفة من «الناعورة»، يتضمن بعضها أوعية خزفية شبيهة بأوعية «الساقية» مثبتة على الإطار. وتركب العجلة على محور يقع فوق مجرى الماء، بحيث تغوص الحجيرات والمغاديف في الماء في النقطة السفلى من دورانها. وتضغط قوة التيار على المغاديف، فتجبر العجلة على الدوران، وتمتلىء الحجيرات بالماء ثم تفرغ عندما تصل إلى قمة العجلة. وبشكل عام يغذي الماء خزاناً، ثم يتم توجيهه عبر قناة نقل وصولاً إلى نظام الري أو نظام التزود بالماء في المدن (الشكل رقم (٢٢ ـ ١١)). وهكذا، فإن «الناعورة» تعمل تلقائياً ولا تتطلب وجود إنسان أو حيوان من أجل استخدامها.

---

(٢١) فيول.

(٢٢) شفرات.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١١)

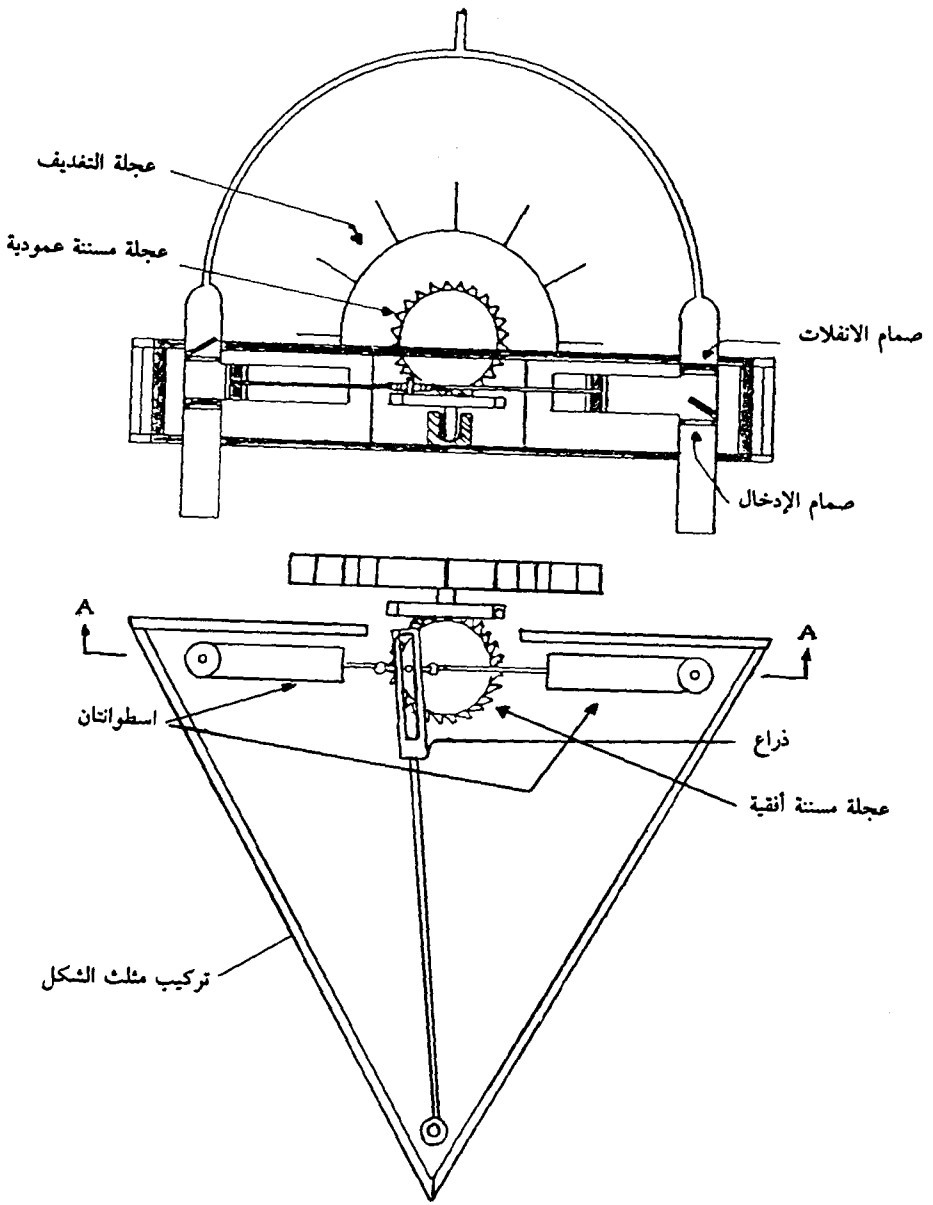
إن أقدم وصف نملكه عن الناعورة موجود في أعمال ڤيتروف[٢٣] (Vitruve) العائدة إلى القرن الأول قبل الميلاد. وتشير المفردات والمصطلحات الواردة في هذه الأعمال إلى أن هذه الآلة قد استخدمت في فترة زمنية سابقة لهذا التاريخ. وقد تم اختراعها على الأرجح حوالى العام ٢٠٠ ق.م في سوريا أو في بلاد ما بين النهرين أو في إيران، وعلى أي حال فقد كان ذلك في إحدى المناطق الجبلية في الشرق الأوسط التي تحتوي على مجاري مياه دائمة. وقد شاع استخدامها كثيراً في العالم الإسلامي في تلك المناطق حيث تسمح الظروف بذلك. ونجد آثاراً عن استخدامها في الأماكن التي كانت موجودة فيها في العراق وإيران وإسبانيا وغيرها. أما أكثرها شهرة فهي نواعير حماة على نهر العاصي في سوريا، التي تشكل منظراً مؤثراً ومدهشاً. ويبلغ قطر الناعورة الكبرى حوالى ٢٠ متراً. وتصب النواعير هذه الماء في قناة تحمله إلى المدينة والريف المجاور. وقد اشتهرت هذه الآلات باعتبارها مستخدمة منذ القرن الثالث للهجرة/ التاسع للميلاد، لكنها وجدت على الأرجح قبل هذا التاريخ. وقد تم استخدامها على نطاق واسع في إسبانيا بفضل تقنيين سوريين. وهناك آلة شبيهة بنواعير حماة، كانت مستخدمة في طليطلة حوالى القرن السادس للهجرة/ الثاني عشر للميلاد، وقد شاع استعمالها بعد ذلك في إسبانيا الإسلامية. كما انتشرت في أجزاء أخرى من أوروبا، وهي كالساقية ما زالت مستخدمة حتى أيامنا هذه.

وقد وصفت خمسة أنظمة لرفع الماء في الكتاب الكبير عن الآلات، الذي وضعه

---

(٢٣) معمار روماني.

الجزري في ديار بكر في العام ٦٠٢هـ/ ١٢٠٦م. وأحد هذه الأنظمة يمثل «ساقية» تعمل بالماء، وهو طراز اشتهر باستخدامه اليومي في العالم الإسلامي في القرون الوسطى، وذلك بهدف واضح يتمثل في زيادة مردود الآلة التقليدية. ويقدم هذا الوصف معلومات قيمة عن تطور التقنيات الميكانيكية. فعلى سبيل المثال، نرى في واحد من هذه الأنظمة إشارة إلى تخفيض العمل المتقطع. وفي ثان منها يتم استخدام مقبض الإدارة، وهذا أول نموذج لمقبض مستخدم كجزء مكمل للآلة. أما الآلة الخامسة فهي الأكثر دلالة، إنها مضخة مائية مؤلفة من أسطوانتين تعملان بواسطة عجلة تغديف، مركبتين على محور أفقي فوق مجرى الماء، ومن عجلة مسننة مثبتة على الطرف الآخر من المحور (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٢)). وينشبك هذا المحور مع عجلة مسننة أفقية موضوعة في تركيب خشبي مثلث الشكل، والتركيب هذا مثبت فوق حوض يغذيه جدول. وعلى الجانب العلوي من العجلة المسننة الأفقية توجد عصا تقود ذراعاً مثبتة في زاوية من التركيب. أما محورا الأسطوانتين (المضخة) فهما مرتبطان من كل جانب من الذراع بمشابك وحلقات. وفي طرف كل محور يوجد مكبس يتضمن قرصين نحاسيين متباعدين بمسافة قيمتها حوالى ٦ سنتم، والفراغ بين القرصين مملوء بحبل من قنب مفتول. والأسطوانتان النحاسيتان مزودتان كل منهما بأنبوبين أحدهما للإدخال والآخر للصرف، وكل أنبوب مجهز بصمام لا رجعي. ويتصل أنبوبا الصرف معاً ليشكلا أنبوباً واحداً يدفع الماء إلى ارتفاع يبلغ حوالى ١٤ متراً فوق الجدول. ويتم العمل على الشكل التالي: عندما تدور عجلة التغديف، فإنها تجبر العجلة المسننة العمودية على الدوران حول محورها، والمحور بدوره يدير العجلة المسننة الأفقية الموجودة في التركيب، وتفرض العصا على الذراع حركة تذبذبية من جهة إلى أخرى (من أسطوانة إلى أخرى). وعندما يقوم أحد المكبسين بالصرف، فإن الآخر يقوم بالإدخال. إن الركن الأساسي في هذه الآلة هو مبدأ الفعل المزدوج، وتحويل الحركة الدورانية إلى حركة متناوبة، واستخدام أنابيب إدخال حقيقية. وكانت المضخات اليدوية في العصر الكلاسيكي والهلنستي تملك أسطوانات عمودية تغوص مباشرة في الماء الذي يدخل إليها عبر صمام مفتوح عند الإدخال. وبالتالي، فإن هذه المضخات لم تكن قابلة للتركيب فوق مستوى الماء. وقد تم صنع نموذج بقياس يساوي ربع قياس الآلة الأصلية بمناسبة المهرجان العالمي للإسلام في العام ١٩٧٦، وهو مخصص لمتحف العلوم في لندن. ولديه التركيبة نفسها للآلة التي وصفها الجزري، باستثناء أن تشغيلها يتم بالطاقة الكهربائية. وقد سارت هذه المضخة النموذج على الوجه الأكمل، مع نقل للحركة بليونة، ومع صرف منتظم للماء في أنابيب الخروج.



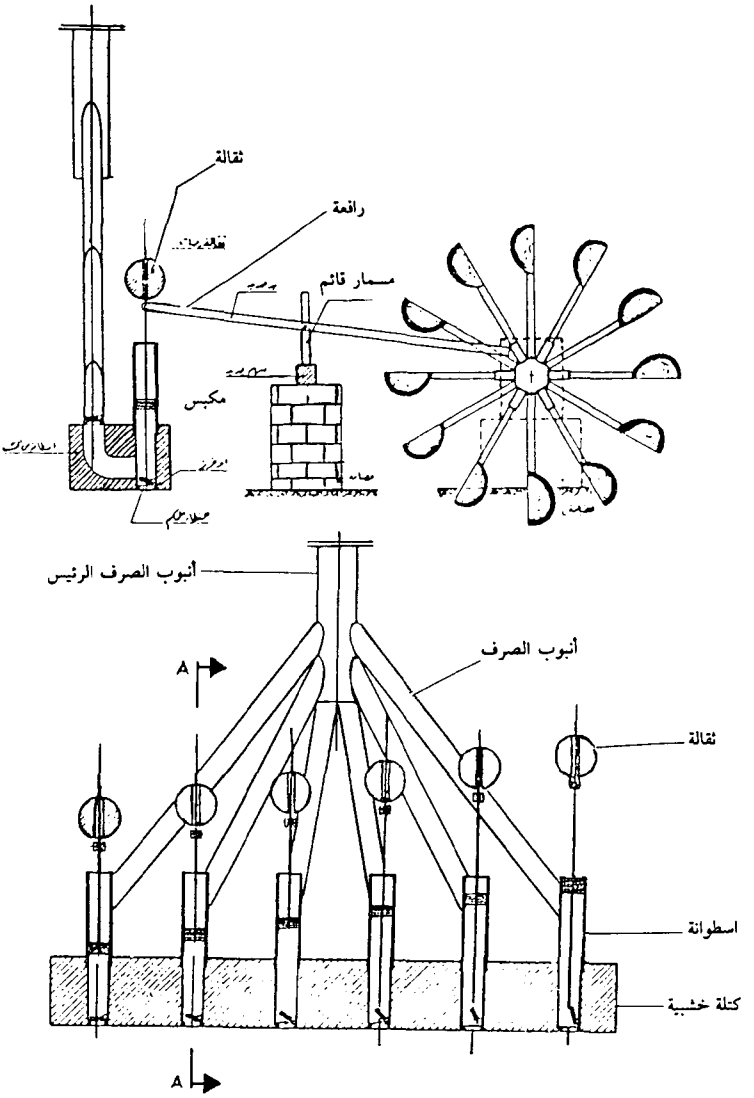
الشكل رقم (٢٢ ـ ١٢)

الصورة رقم (٢٢ ـ ٣)

آلات لرفع المياه (مخطوطة ليدن، ٤٩٩).

بعد أن بحث المؤلف في هذه المخطوطة بالآلات الحربية، اهتم بآلات رفع المياه.

إن البراهين على دوام التقاليد التقنية الميكانيكية قد ورد ذكرها في كتاب حول الآلات يحمل عنوان **كتاب الطرق السنية في الآلات الروحانية** وضعه تقي الدين حوالى العام ٩٦٦هـ/ ١٥٥٩م، حيث يصف عدداً من الآلات بما فيها مضخة مماثلة لمضخة الجزري. إلا أن النظام الأكثر إثارة للاهتمام هو مضخة أحادية الكتلة بست أسطوانات (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٣)).



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٣)

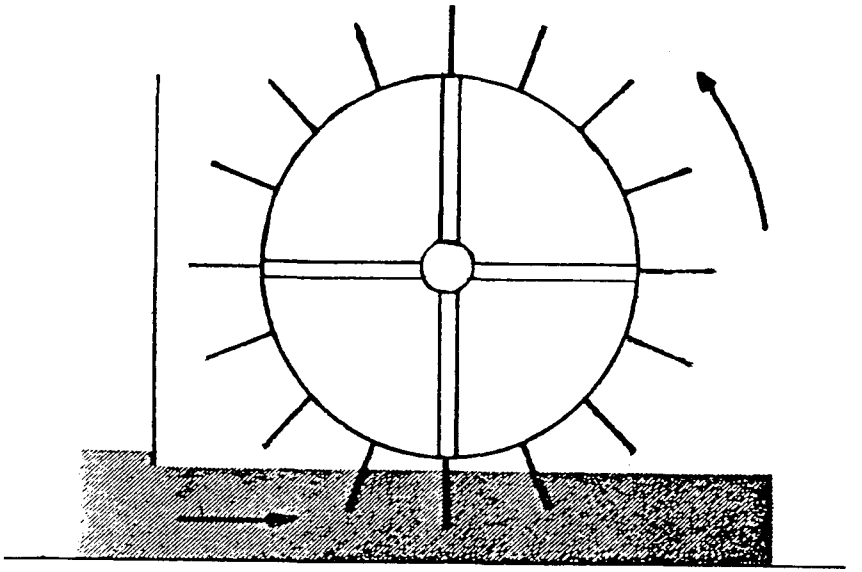
والأسطوانات هذه محفورة على خط واحد في كتلة خشبية مغمورة في الماء. وكل أسطوانة منها مجهزة بصمام لارجعي لاستقبال الماء فيها عند طور الإدخال. أما أنابيب الصرف فهي أيضاً مزودة بصمامات لارجعية، وكل واحد منها يمتد خارج الأسطوانة، وتلتقي جميعها في أنبوب صرف واحد رئيس. وعند طرف كل مكبس توجد ثقالة ورافعة موصولة تحت الثقالة تماماً بواسطة مسمار وصلة. وعلى محور العجلة المسننة توجد كامات[٢٤] تعمل على إنزال الرافعات الواحدة تلو الأخرى، مما يؤدي إلى رفع المكابيس من أجل الإدخال. وعندما تتحرر الرافعة من الكامة، تنزل الثقالة المكبس من أجل الصرف. ومن المفيد الإشارة إلى أن كتاب تقي الدين سابق للعمل الشهير حول الآلات الذي وضعه أغوستينو راملي (Agostino Ramelli) في العام ١٥٨٨م. لذلك ربما حصل تأثير إسلامي في تكنولوجيا الآلات في أوروبا، في زمن على قدر من البعد كالقرن العاشر للهجرة/ السادس عشر للميلاد.

٢ ـ الطاقة المتولدة من الماء والريح

توجد ثلاثة نماذج من الطواحين المائية. وقد استخدمت جميعها إبان قرون عديدة قبل مجيء الإسلام. إن مسألة أصلها وانتشارها، التي ما زالت موضع جدال في الوقت الراهن، لا تدخل في بحثنا. وأول طراز منها هو عجلة تغديف مثبتة على محور أفقي فوق مجرى الماء (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤أ)). وتتولد طاقتها بشكل كامل تقريباً عن سرعة الماء، لذلك فهي تتأثر بالتغيرات الفصلية في منسوب مجرى الماء الذي عليه يتم تركيبها. بالإضافة إلى ذلك، قد ينخفض مستوى الماء، فتبقى المغاديف جزئياً أو كلياً خارج الماء. كما أن فعالية عجلة التغديف قد تنخفض حتى ٢٢ بالمئة تقريباً، لأن القسم الأكبر من الطاقة المنتجة يتبدد بسبب التدوم والاحتكاكات. أما واقع بقاء هذا الطراز من الطواحين شائعاً إبان قرون عديدة، على الرغم من كل ما ذكرناه، فهو عائد إلى بساطة صناعته، وإلى تجهيزات خاصة قادرة على زيادة مردوده، وسنأتي على ذكر هذا الأمر لاحقاً.

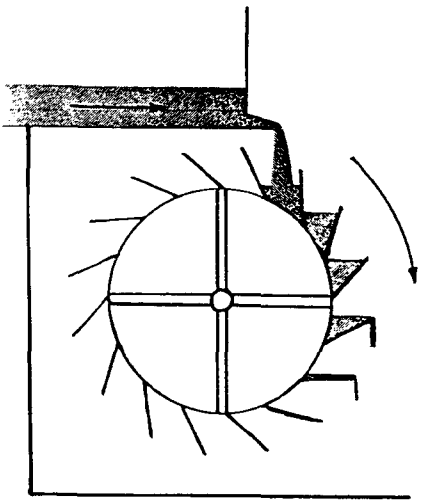
---

(٢٤) جمع كامة، وهي نتوءات معدة لتحويل الحركة.



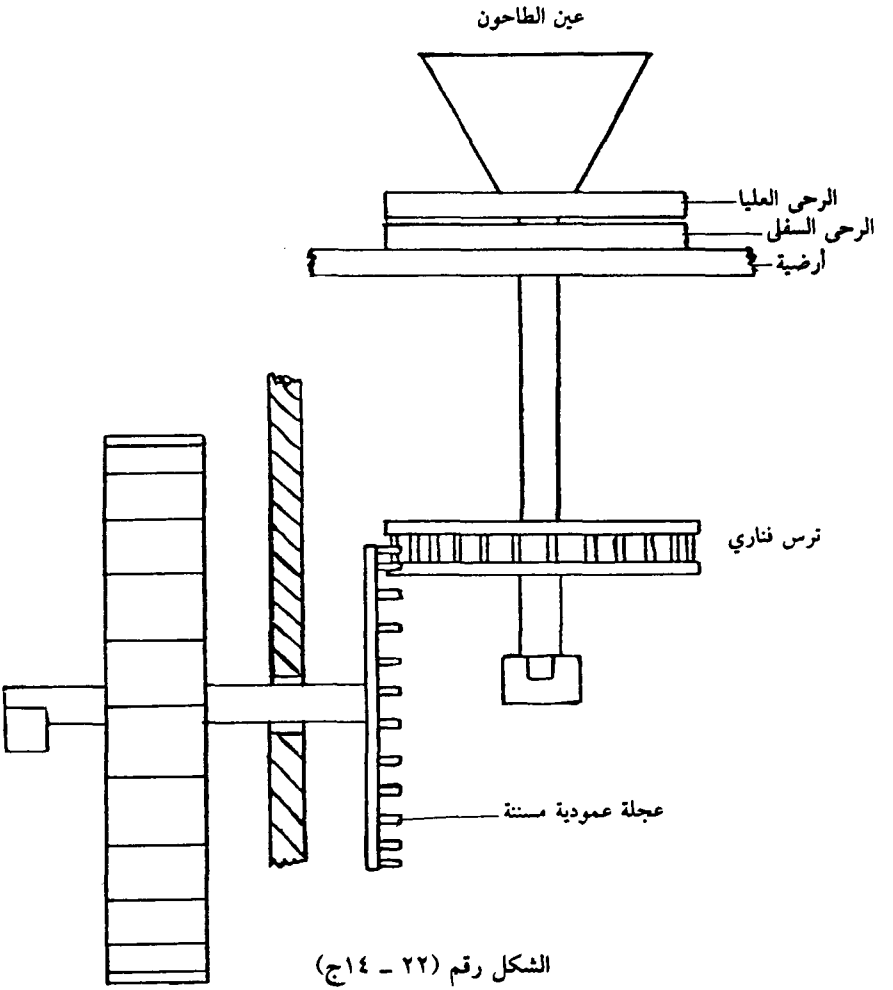
الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤أ)

أما الطراز الثاني من الطواحين فهو أيضاً عمودي على محور أفقي. وإطاره مقسم إلى حجرات، تتم تغذيتها بالماء من فوق. وعادة، يأتي الماء من قناة اصطناعية أو من قناة صرف طاحونة (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤ب)). إن فعاليتها قد تتجاوز ٦٦ بالمئة، شريطة أن ينصب ماء القناة كله على المغاديف، وألا يحصل أي هدر.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤ب)

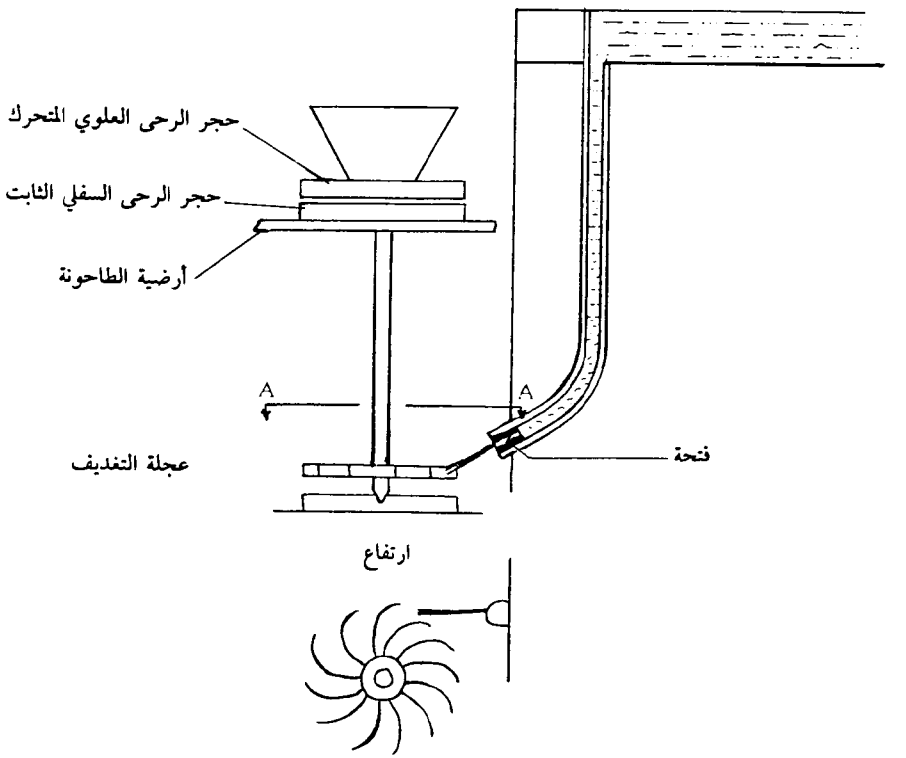
ويتطلب هذان الطرازان من العجلات العمودية مسننتين لنقل الطاقة إلى الطاحونة. فهما يحتويان على عجلة مسننة عمودية مثبتة على أحد طرفي المحور وموجهة نحو الطاحونة. وهي تنشبك مع ترس فناري يمر محوره العمودي عبر أرضية الطاحونة، وعبر حجر الرحى السفلي الثابت، والمحور مثبت في حجر الرحى العلوي المتحرك. ويتم إدخال القمح إلى تجويف الحجر العلوي انطلاقاً من عين الطاحون.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤ج)

أما الطراز الثالث من الطواحين فهو أفقي، ويمكن تقسيمه إلى طرازين رئيسين. ويتضمن أحدهما عجلة بمغاديف مقوسة أو مجوفة، والعجلة هذه مركبة في الطرف الأسفل من محور عمودي. والماء الصادر عن فتحة موجودة في أسفل الخزان يكون موجهاً نحو المغاديف، وبذلك يكون سيل الماء مماساً وشعاعياً (الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤د)). أما الطراز

الآخر، فهو عجلة تغديف مثبتة أيضاً في الطرف الأسفل من محور عمودي، وموضوعة داخل أسطوانة ينصب فيها الماء بشكل متسلسل من مستوى عال. كما أنه من الممكن تحريك عجلات المغاديف بواسطة انبجاس ماء عمودي من الأسفل إلى الأعلى. والطراز الأول من هذه المجموعة كان معروفاً في أوروبا وفي القسم الغربي من آسيا في القرن السادس للميلاد على أبعد تقدير. أما الثاني فقد ورد وصفه في المؤلفات العربية العائدة إلى القرن الثالث للهجرة/ التاسع للميلاد، لكننا لا نعلم ما إذا كان قد استخدم في أوروبا قبل القرن العاشر للهجرة/ السادس عشر للميلاد.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٤د)

إن الجغرافيين والرحالة المسلمين لا يتركون لنا أي مجال للشك حول أهمية الطواحين المائية في العالم الإسلامي. فهذه الأهمية لا تنعكس فقط في العدد الكبير من الطواحين المنتشرة في شبه الجزيرة الإيبيرية وصولاً إلى إيران، بل كذلك في الموقف الإيجابي جداً للكتاب العرب المتمثل في تأكيدهم أن الطاقة الكامنة لمجاري المياه يمكن تحويلها بواسطة هذه الأنظمة. وقد ذكر المقدسي أن نهر دجلة عند منبعه بإمكانه أن يدير مطحنة واحدة. أما الإصطخري فقد قدر، عندما كان يتأمل مجرى ماء بسيل سريع في مقاطعة كرمان الإيرانية،

أن هذا التيار بإمكانه تشغيل عشرين طاحونة على الأقل. ويبدو الأمر وكأن هؤلاء الخبراء كانوا يقومون بتقدير نهر تبعاً لطاقته بهدف بناء طواحين. ويصبح هذا الأمر مفهوماً، إذا ما تذكرنا أن المدن الإسلامية الكبيرة كبغداد والفسطاط وقرطبة كانت مرتبطة بوجود زراعة مزدهرة، لكي يكون بإمكانها إطعام الأعداد الكبيرة من سكانها وإعداد منتجات جاهزة من أجل تجارة رائجة. فقد كانت جميع التجمعات السكانية الكبيرة في تلك المدن تحصل على تموينها بالطحين الوارد من الطواحين. وكل طاحونة منها كانت تقدم الخدمات للمدينة القريبة منها أو المرتبطة معها بطرق مواصلات جيدة. وللتدليل على هذا الأمر، سنكتفي بإعطاء مثال واحد من القرن الرابع الهجري/ العاشر الميلادي، ففي ذلك العصر كانت بلاد ما بين النهرين أهراء مدينة بغداد، والقمح الذي كانت تنتجه كان يطحن في طواحين ـ مراكب راسية على نهري دجلة والفرات. وكل طاحونة منها كانت تحتوي على مجموعتين من حجري الرحى، وكان باستطاعتها إنتاج عشرة أطنان من الطحين في أربع وعشرين ساعة. في حين أن أوروبا لم تعرف في ذلك العصر أية وسيلة باستطاعتها مقاربة مثل هذه الكمية في إنتاج الطحين.

وقد كانت الطاحونة ـ المركب إحدى الوسائل المستخدمة لزيادة عدد الطواحين العاملة. كما كانت تفيد من التيار الأكثر سرعة في وسط مجاري المياه، ولا تتعرض للمشكلات الناتجة عن انخفاض منسوب الماء في فصل الجفاف. وكانت هناك طريقة أخرى تسمح بتثبيت العجلات المائية للطواحين إلى أرصفة أو جسور، بهدف استخدام كميات من الماء تتم زيادتها بواسطة سد مخصص لهذه الغاية. وقد كانت السدود تشيد من أجل تأمين الطاقة الإضافية الضرورية لتشغيل الطواحين وآلات رفع الماء. ونذكر في هذا المجال السد الذي بناه عضد الدولة على نهر كر في إيران. كما وصف الإدريسي في القرن السادس للهجرة/ الثاني عشر للميلاد سد قرطبة في إسبانيا، الذي كانت توجد فيه ثلاثة إنشاءات يتضمن كل واحد منها أربع طواحين. وقد تغير شكل الطواحين كثيراً على امتداد القرون. ويشكل استخدام المسلمين لإنشاءات تعمل بقوة المد برهاناً على تطلعهم وحماستهم لاستعمال جميع المصادر الكامنة للطاقة. إلا أن هذا الاستخدام لم يكن بالطبع ممكناً في البحر الأبيض المتوسط. غير أنه وجدت طواحين في منطقة البصرة في القرن الرابع للهجرة/ العاشر للميلاد تعمل بواسطة الجزر. ولم يظهر هذا النوع من الطرق في أوروبا إلا بعد حوالى قرن من الزمن.

وقد استخدم المسلمون الطاقة المتولدة من الماء لأغراض مختلفة. وفي العام ١٣٤هـ/ ٧٥١م، وبعد معركة أطلخ، أدخل أسرى الحرب الصينيون صناعة الورق إلى مدينة سمرقند. وكان هذا الورق يصنع وفق الطريقة الصينية من قماش وقطع خرق وكتان أو قنب. وبعد ذلك العام بفترة قصيرة من الزمن، تم بناء طواحين لإنتاج الورق في بغداد واليمن ومصر وسوريا وإيران وأفريقيا الشمالية وإسبانيا، وذلك وفق نموذج طواحين سمرقند. ومما لا شك فيه أن المنتجات المصنوعة بواسطة هذه الطواحين كانت تحضر

بمساعدة مطارق آلية تعمل بالطاقة التي يوفرها الماء، وقد كانت هذه الطريقة مستخدمة في الصين منذ زمن طويل. ويخبرنا البيروني، الذي كتب عن هذا الموضوع حوالى العام ٤٣٥هـ/ ١٠٤٤م أن الذهب الخام كان يسحق بهذه الطريقة، على غرار ما كان يفعله صناع سمرقند عند طرقهم للكتان من أجل تحضير الورق. كما كانت طاقة الماء تستخدم أيضاً في العالم الإسلامي لصنع القماش والثياب، ولنشر الخشب، ولتحويل قصب السكر. وتجدر الإشارة إلى أن انتقال التكنولوجيا بين الصين والعالم الإسلامي قد أنتج تجارة باتجاهين، فوفقاً لماركو بولو علم المسلمون الصينيين طريقة تكرير السكر. وما زلنا حتى الآن لا نعرف إلى أي حد تأثر إنشاء الطواحين في أوروبا بالممارسة والتطبيق الإسلاميين. إن إحدى المناطق المحتملة لنقل التكنولوجيا الإسلامية هي شبه الجزيرة الإيبيرية، حيث أخذ المسيحيون إنشاءات إسلامية كاملة، بما فيها طواحين جاتيفا (Jativa) للورق.

ومما لا شك فيه أن الطواحين الهوائية كانت معروفة في سيستان قبل مجيء الإسلام، وسيستان هذه هي الجزء الواقع في أقصى الغرب من أفغانستان الحديثة. ووفقاً للمسعودي، فقد أكد أحد الفرس للخليفة عمر أنه كان قادراً على إنشاء طاحونة هوائية. فوافق الخليفة على طلبه وسمح له بتحقيق حلمه. وقد أشار جغرافيون عرب في القرن الرابع للهجرة/ العاشر للميلاد، إلى طواحين سيستان. إلا أن أول وصف كامل ظهر في كتاب تم وضعه حوالى العام ٦٦٩هـ/ ١٢٧١م. ولا يطابق هذا الوصف نماذج الطواحين الأوروبية التي تتضمن محوراً أفقياً ومسننتين. فالطواحين المعروفة آنذاك كانت مركبة على قواعد مبنية بشكل خاص على أبراج القصور وعلى قمم الهضاب. وكانت تتألف من غرفة علوية يركب فيها حجرا الرحى، ومن غرفة سفلية يقع فيها الدوار. وكان المحور الأفقي يحمل اثني عشر ذراعاً أو ستة أذرع مغطاة بطبقتين من قماش أو جلد. وكانت جدران الغرفة السفلية مثقوبة بأقنية على شكل قمع يكون طرفه الضيق موجهاً نحو الداخل، وذلك من أجل زيادة سرعة الريح التي تعمل على إدارة الأجنحة. وقد وجد هذا الطراز من الطواحين في العصر الإسلامي، في الصين والهند. وكان مستخدماً في مصر في القرون الوسطى في صناعة تحويل قصب السكر، إلا أن تطبيقه الرئيس كان مرتبطاً بصناعة الطحين.

وبالنسبة إلى جميع هذه النماذج من الطواحين، فإن نوعية حجارة الرحى كانت أساسية في عملية الطحن. فالحجارة هذه يجب أن تكون صلبة ومتجانسة التركيب، لكي لا تنفصل عنها قطع حصى فتختلط مع الطحين. وقد كانت الحجارة الواردة من مناطق معينة مفضلة على غيرها. ففي تونس، كانت حجارة الرحى تقْطع من الجبال المحيطة بمنطقة مجانة، وتصدر إلى أفريقيا الشمالية كلها. وكانت مشهورة بقدرتها على الاستمرار في العمل لمدة تعادل فترة حياة إنسان. ولم تكن بحاجة إلى تقويم، نظراً لشدة صلابتها ولدقة حبيباتها. أما الحجارة السوداء الموجودة في الجزيرة في بلاد ما بين النهرين، فكانت تسمى حجارة الطواحين، وكانت تستخدم دائماً في الطواحين التي كانت تزود العراق بالطحين. وكان

الحجر الواحد الصادر من تلك المنطقة يساوي حوالى خمسين ديناراً. وأخيراً، كانت الحجارة المخصصة لطواحين خراسان تستخرج من منجم يقع في هضاب بالقرب من مدينة هراة.

٣ ـ تكنولوجيا الدقة

إن هذا التعبير، المستخدم في العصور القديمة، يشمل عدداً كبيراً من آليات وماكنات التركيب الدقيق والمتقن بوجه خاص. وقد كانت هذه الآليات والماكنات معدة لأغراض عديدة كالألعاب والأجهزة الآلية والساعات المائية والنوافير والآلات الفلكية. وكان عدد منها مخصصاً للتسلية والمتعة، وعدد ثان لتحديد الساعة، وآخر لمتطلبات البحث العلمي. وكانت هذه الآليات المتنوعة جميعها على درجة عالية من التخصص التقني الضروري لصناعتها، وتتطلب استخدام آليات محكمة وأنظمة تحكم عالية الدقة. وكانت هناك سمة مميزة للكثير من هذه الأنظمة تمثلت في محاكاتها لظواهر بيولوجية وسماوية، ويمكن تفسير هذا الأمر كحاجة ملحة لتقديم تمثيل ميكانيكي لظواهر فيزيائية. إلا أنه من الخطأ الاعتقاد بأن جميع هذه الأجهزة الآلية المصنوعة بهذا الشكل كان ينبغي عليها، بالضرورة، أن تحمل رؤية عن العالم الذي يتصوره الإنسان. فالكثير منها لم يكن سوى أدوات بسيطة للهو، وألعاب شديدة البراعة. ولهذا السبب، فإن بعض المؤرخين كانوا يميلون إلى الاستخفاف بها، معتبرين إياها عادية جداً، بدلاً من إعطائها قيمة معبرة. إن هذا الموقف بعيد عن الصواب بعد ذلك الموقف الذي يرفض تكنولوجيا الاتصالات بحجة أن بعض البرامج التلفزيونية تافهة ومبتذلة. فالكثير من الأفكار التي تم تطويرها في صناعة هذه الآليات البارعة، قد دخلت لاحقاً في مصطلحات التكنولوجيا الحديثة.

وعند استكشافنا مصادر تكنولوجيا الدقة هذه، لا بد لنا من تركيز اهتمامنا على العالم الهلينستي، وبخاصة على مدينة الإسكندرية. فهناك نكتشف أن أول ساعة مائية وأول جهاز آلي موسيقي قد نسبهما ڤيتروف إلى ستيسيبيوس (Ctesibius)، التقني المصري الذي كان يعمل في الإسكندرية حوالى العام ٢٥٠ ق. م إن أول مؤلف مهم يتعلق بالآليات البارعة قد وضعه فيلون البيزنطي (Philon de Byzance)، معاصر ستيسيبيوس. وقد تم استكمال وتطوير عمل فيلون على يد هيرون الإسكندري (Heron d'Alexandrie) الذي كان ناشطاً في منتصف القرن الأول بعد الميلاد. كما أن مصادر الأسطرلاب يمكن أيضاً نسبتها إلى مدرسة الإسكندرية. فقد كان بطلميوس بالتأكيد يعرف هذه الآلة، كما أن ثيون الإسكندري (Théon d'Alexandrie) قد وصفها في العام ٣٥٠م. وقد وردت هذه الكتابات في مؤلف سفيروس سبوخت (Sévère Sebokht)، الذي وضعه في مصر قبل العام ٦٦٠م، أي بعد بضع سنوات من استيلاء العرب على هذه المنطقة. لذلك نستطيع أن نستنتج مما ورد، أن هذا التقليد لم ينقطع بمجيء الإسلام.

الصورة رقم (٢٢ ـ ٤)

فيلون (القرن الثالث الميلادي)،

كتاب في الآلات المائية (اسطنبول، مخطوطة أحمد الثالث، ٣٤٦٦).

ألف فيلون عدة كتب ميكانيكية وخاصة في الآلات الرافعة للماء.

ونرى هنا نظاماً من عجلات لرفع الماء.

إن عدداً كبيراً من المؤلفات اليونانية قد تمت ترجمته إلى العربية، وفي العديد من الحالات، فإن النسخة العربية هي التي بقيت وحدها. وقد كانت هذه الأعمال معروفة من التقنيين والكتاب المسلمين، الذي عبروا بصراحة عن احترامهم لإنجازات من سبقهم. كما

أن نقل التكنولوجيا كان يتم أيضاً بواسطة ما نسميه الأبحاث الأثرية. فمن المعلوم جيداً، على سبيل المثال، أن ساعات ضخمة قد تم إنشاؤها في سوريا منذ العصور القديمة إبان المرحلة البيزنطية، ومن ثم في أنحاء العالم العربي. ربما حصل، إذاً تقليد لهذه الساعات على يد تقنيين لاحقين. غير أن الأمر الأكثر احتمالاً هو أن أسرار كل اختصاص كانت تنتقل بالتلقين الشفوي من الأب إلى الابن، فبقيت بذلك في وسط عائلة واحدة أصبح أعضاؤها على امتداد الزمن ناطقين بالعربية ومسلمين. وقد أصبحت تكنولوجيا الدقة، مع مرور الوقت، حرفة معترفاً بها في العالم العربي. وكان التقنيون يستطيعون إيجاد الجزء الأكبر من إلهامهم في أعمال أسلافهم المسلمين، مع تمتعهم في الوقت نفسه بإمكانية الرجوع إلى الأعمال اليونانية. زد على ذلك أننا نستطيع ملاحظة هذه العملية في العلوم والتكنولوجيات الأخرى.

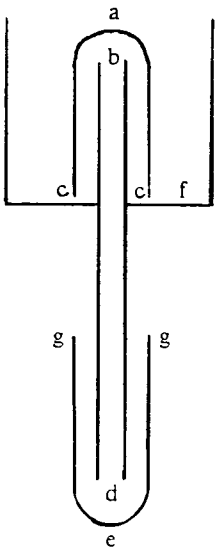
يصعب علينا في هذا المجال الضيق، أن نظهر كيف أن التقنيين العرب كانوا مختلفين عن أسلافهم الهلنستيين، وأحياناً متفوقين كثيراً عليهم في ميدان تكنولوجيا الدقة. إلا أننا نستطيع التوصل إلى هذا الأمر إذا ما تفحصنا الأعمال الإسلامية الأكثر أهمية، ولا سيما تلك الأعمال الأصيلة كلياً بالنسبة إلى القديمة. وفي هذا المجال نذكر أن بني موسى كانوا ثلاثة إخوة، هم محمد وأحمد والحسن، وكانوا ينتسبون إلى حاشية الخليفة العباسي المأمون (١٩٨هـ/ ٨١٣م ـ ٢١٨هـ/ ٨٣٣م) وإلى خلفائه. وقد شهدت هذه المرحلة ازدهاراً في العلم العربي تمثل في آن معاً في ترجمة المؤلفات اليونانية والسورية وفي الأعمال العلمية والتكنولوجية الخاصة بالعلماء العرب. وقد جرى العديد من هذه النشاطات برعاية بني موسى الذين كانوا أيضاً علماء وتقنيين أصيلين، وقد كتبوا حوالى عشرين مؤلفاً، لم يبق منها سوى مؤلفين اثنين. إن **كتاب الحيل**، الذي تم وضعه في بغداد حوالى العام ٢٣٥هـ/ ٨٥٠م، هو الذي يثير اهتمامنا أكثر من أي مؤلف آخر في دراستنا هذه. فهو يتضمن وصفاً لمئة آلية مستخدمة في أغلب أوعية الحيل، بالإضافة إلى قناديل تعبأ وتضبط بشكل آلي، وكمامة واقية من الغازات معدة للاستخدام في الآبار الملوثة، وكلابة ميكانيكية. وتشهد أوعية الحيل بشكل خاص على أصناف من التفاصيل مثيرة للدهشة. ونذكر في هذا المجال بعض نماذج الأوعية:

ـ نموذج ٢٦: وهو عبارة عن طراز جرة تتضمن أنبوباً خارجياً. عندما يحصل انسكاب السائل، فإن الصفيحة الساكبة تسمح للسائل بالانصباب أو تمنعه، وذلك وفق خيار محدد.

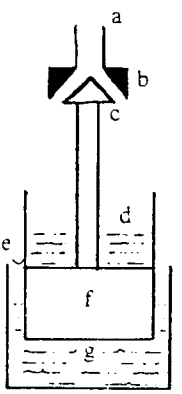
ـ نموذج ٤٣: وهو عبارة عن جرة لها حنفية، يمكن من خلالها صب ثلاثة سوائل من دون أن تمتزج فيما بينها. عندما تكون الحنفية مفتوحة، فإن السوائل تنسكب وفق الترتيب الذي تم فيه صبها.

ـ نموذج ٧٧: وهو عبارة عن حوض يقع بجانب خزان مقفل. عندما يتم سحب

كميات قليلة من الماء من الحوض، فإن كميات مماثلة تسيل نحوه من خلال أنبوب يقع في أسفل الخزان. في حين أن سحب كمية كبيرة من الماء لا يؤدي أبداً إلى تعبئة الحوض.



(أ)



(ب)

الشكل رقم (٢٢ ـ ١٥)

إن هذه الأعمال، بالإضافة إلى الكثير غيرها، كانت تتم بواسطة المزج البارع لعدد من المبادىء الهيدرولية والميكانيكية. وهناك عملان مشار إليهما على الشكل رقم (٢٢ ـ ١٥). يظهر الشكل رقم (٢٢ ـ ١٥أ) مثعباً مزدوج التمركز، حيث يمر الأنبوب (bd) عبر صفيحة (f) تفصل الحجرة العليا عن الحجرة السفلى، والوصلة بين الصفيحة والأنبوب محكمة لا تسمح بمرور الهواء. والأنبوب (a - cc) موضوع في طرف (b) للأنبوب (bd)، ومثبت إليه بواسطة قطع سلك نحاسي موجودة بينهما. وطرف (a) هذا الأنبوب مغلق. وهناك أنبوب آخر (e - gg) يملك أيضاً طرفاً (e) مغلقاً، وهو مثبت على طرف (d) الأنبوب (bd). إن الفعل الناتج عن إدخال هذه الآلية في تيار دورة ماء، يؤدي إلى خلق جيب هوائي عند توقف سيل الماء، بحيث ان هذا السيل لا يستطيع الاندفاع مجدداً إلا في شروط معينة. وبذلك، فإن المشاهدين يصابون بالدهشة من جراء هذا الفعل غير المتوقع. ونشير إلى أن هذا المثعب المزدوج التمركز لم يرد ذكره في أي عمل يوناني، ولم يجر الحديث عنه، وفق ما نعرفه، في أي مؤلف باستثناء كتاب بني موسى. وتجدر الإشارة إلى أن ميكانيكا السوائل خلال هذه العملية معقدة للغاية.

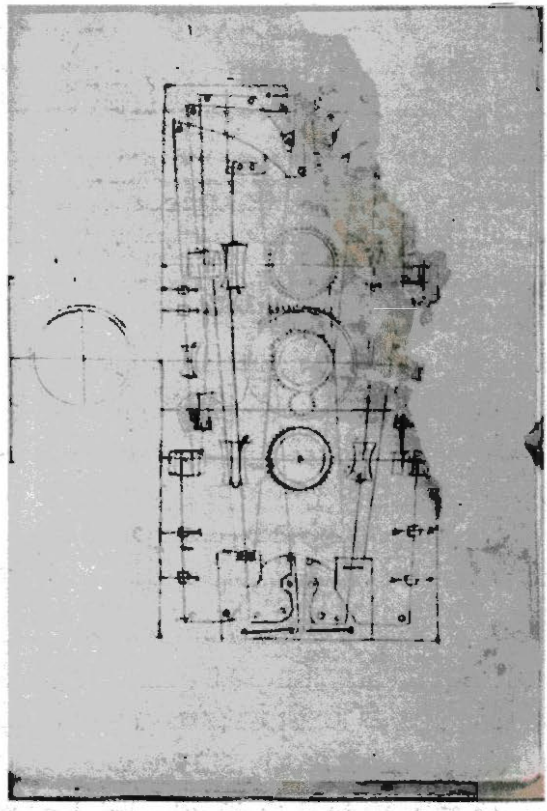
أما الآلية الأخرى فهي مبينة على الشكل رقم (٢٢ ـ ١٥ب). وفي هذه الآلية يوجد كرسي (b) صمام مخروطي، وهو مثبت بواسطة اللحام في طرف الأنبوب (a). كما أن سدادة الصمام (c) مثبتة بواسطة اللحام في طرف عصا عمودية، أما الطرف الآخر للعصا فهو مثبت أيضاً باللحام على العوامة (f). وفوق هذه العوامة، وكجزء متمم لها، يوجد خزان صغير (d) له فتحة (e) في أسفل أحد جوانبه. وتطفو العوامة على سطح الماء الموجود في خزان (g) أكبر من الأول. وتعمل الآلية على الشكل التالي: ينسكب الماء في الخزان (a) ويسيل من خلال الصمام إلى الخزان (d). فيمنع ثقل السائل الموجود في الخزان (d) عصا الصمام من الأرتفاع

ويوقفها، بحيث يبقى هذا الصمام مفتوحاً. وعندما يتوقف صب الماء، يفرغ الخزان (d) من الماء الذي يسيل إلى الخزان (g) من خلال الثقب (e)، فترتفع العوامة وينغلق الصمام، عندئذ يتوقف تماماً انسكاب الماء عبر الصمام. ولم يرد ذكر الصمامات المخروطية في أعمال فيلون وهيرون. وفي الواقع، لم يعرف سوى استخدام واحد لهذا الجهاز قبل أن تتم الإشارة إليه في مؤلف بني موسى. فقد كانت هذه الصمامات تصنع بصب السدادة والكرسي معاً في قالب واحد، وكانت المادة المستخدمة بشكل دائم تقريباً هي البرونز. وبعد ذلك كان يتم صقل السدادة والكرسي بمسحوق السنباذج، لكي يتم ضبطهما معاً بإحكام.

هناك، إذاً، سمة مميزة لعمل بني موسى، تتمثل في الثقة التي يولونها لاستخدام الصمامات المخروطية، معتبرين إياها كجزء مكمل للأنظمة الهيدرولية. وبشكل أعم، يظهر بنو موسى تضلعاً تجريبياً مدهشاً في استخدام تغيرات بسيطة في الضغط الهيدروستاسي والأيروستاستي، من أجل إنتاج أعمال متنوعة. ومع أن مؤلفهم كان معروفاً في العالم الإسلامي إبان قرون عديدة، لكن أياً من خلفائهم لم يحاول أن يضاهيهم. فقد أوصلوا فنهم إلى أرفع مستوى بالنسبة إلى المواد والتقنيات التي كانت بتصرفهم آنذاك، ولم يتم إنجاز أي عمل مشابه لعملهم إلى حين إدخال الآلات العاملة بالهواء المضغوط في العصر الحديث (إن العلاقة بين هذين النظامين هي بالطبع ضئيلة الاحتمال). وقد نتساءل لماذا يظهر بعضهم هذا القدر من البراعة من أجل الحصول على نتيجة عادية جداً. لا يوجد جواب بسيط عن مثل هذا التساؤل، لكننا نستطيع التشديد على أن الإخوة الثلاثة كانوا علماء مشهورين وفي الوقت نفسه تقنيين بارزين عهدت إليهم أعمال مهمة في بناء منشآت عامة في العراق. وربما كانت الآليات البارعة بالنسبة إليهم نوعاً من اللهو ووسيلة لتسلية الخليفة وصحبه، إذ لا يندر أن نرى رجالاً ذوي عقل علمي يتعمقون في دراسة مواضيع معينة إلى أبعد حد ممكن، دون أن يعيروا اهتماماً كبيراً لأغراض واقعية.

هناك مؤلف مهم للغاية كتبه المدعو المرادي في إسبانيا في القرن الخامس للهجرة/ الحادي عشر للميلاد. وللأسف، فإن المخطوطة الوحيدة المعروفة قد أصابها التلف إلى درجة يستحيل معها بدقة استنتاج طريقة صناعة الآلات التي ورد وصفها. إن أغلب الآليات موضوع البحث كانت ساعات مائية، لكن أول خمس منها كانت أجهزة آلية كبيرة تتضمن عناصر مختلفة. وعلى سبيل المثال، فقد كان يتم تشغيل كل واحد من الأجهزة الآلية بواسطة عجلة مائية كبيرة الحجم، وكانت هذه الطريقة مستخدمة في الصين في العصر نفسه من أجل تشغيل الساعات المائية الضخمة وكانت الأجهزة الآلية من الطراز المألوف المستخدم في الساعات المائية، وهو يتضمن على سبيل المثال سلسلة أبواب موضوعة على صف واحد، تنفتح بفواصل زمنية منتظمة من أجل إظهار التماثيل الصغيرة. وتشير النصوص في آن معاً إلى آليات بترس قطاعي وأخرى بترس دويري فوقي. وفي الأولى منها، لإحدى عجلات نظام التسنن أسنان على جزء من محيطها، وبذلك تسمح هذه الآلية بنقل متقطع للطاقة. ومع أن الرسوم غير مفهومة في بعض جوانبها، لكنها تظهر جيداً سلسلة آليات تتضمن نموذجين

من نماذج التسنن هذه. وقد رأينا الكثير من الآليات البسيطة في الطواحين المائية وفي ماكنات رفع الماء، كما نعرف أن آليات أكثر تعقيداً كانت مستخدمة عند اليونانيين في آلات فلكية معدة خصوصاً للعمليات اليدوية. إلا أن الآلية التي نتحدث عنها هي أول نموذج لآلية مركبة تستخدم لنقل مزدوجة التواء كبيرة. كما أن ما ورد عنها في مؤلف المرادي يعتبر الوصف الأول الذي نملكه لآليات بترس قطاعي ولآليات بترس دويري فوقي. أما الآليات المعقدة المخصصة لنقل مزدوجات مرتفعة، فقد ظهرت للمرة الأولى في أوروبا في ساعة فلكية صنعها جيوڤاني دو دوندي (Geovani de Dondi) حوالى العام ١٣٦٥م.



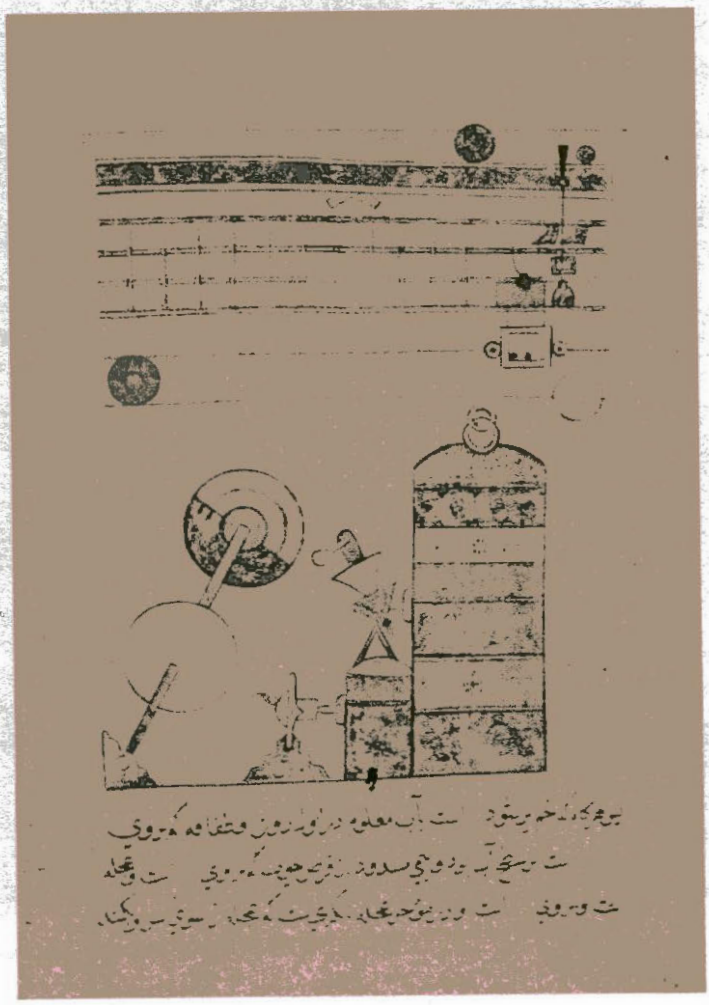
الصورة رقم (٢٢ ـ ٥)

ابن خلف المرادي، كتاب الأسرار في نتائج الأفكار

(فلورانس، مخطوطة مكتبة لورانسيانا، ١٤٢).

لم يكتب اسم المؤلف بالكامل في المخطوطة ولذلك لم يتم تحديده تماماً، ولكننا نعرف بالتأكيد أنه أندلسي من القرن الخامس الهجري/ الحادي عشر الميلادي. هذا الكتاب من أهم كتب الحيل ويتضمن ٣١ جهازاً من بينهم ١٩ ساعة، يصف المؤلف ساعات مائية وكذلك ساعات زئبقية، وكانت كل هذه الساعات تحتوي على تماثيل آلية تشير لمرور الساعات.

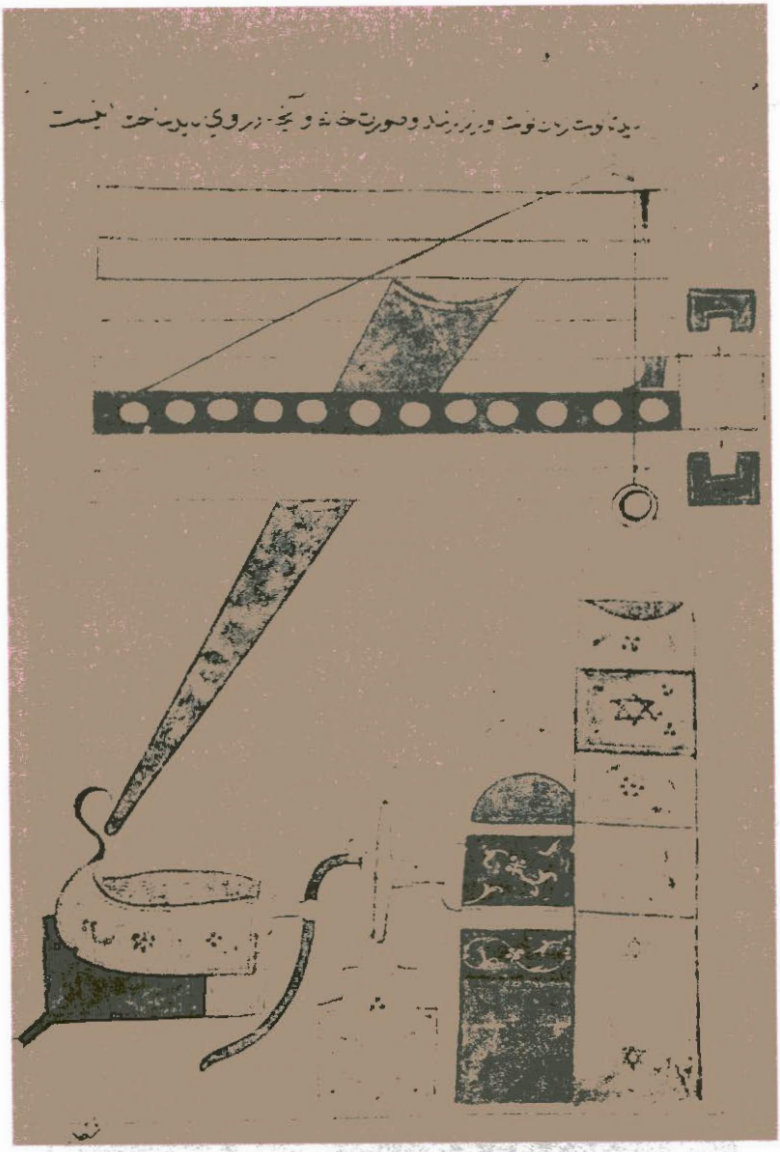
أنجز الجزري عمله الرائع عن الآلات في ديار بكر في العام ٦٠٢هـ/١٢٠٦م. إن هذا العمل هو الأبرز من بين الوثائق التكنولوجية التي وصلت إلينا على امتداد العصور



الصورة رقم (٢٢ ـ ٦)

الجزري، كتاب الحيل في الفنون الغريبة، ترجمة فارسية (طهران، مخطوطة سبهسلار، ٧٠٨).

نجد في هذه الصورة الجزء الأساسي من ساعة مائية.



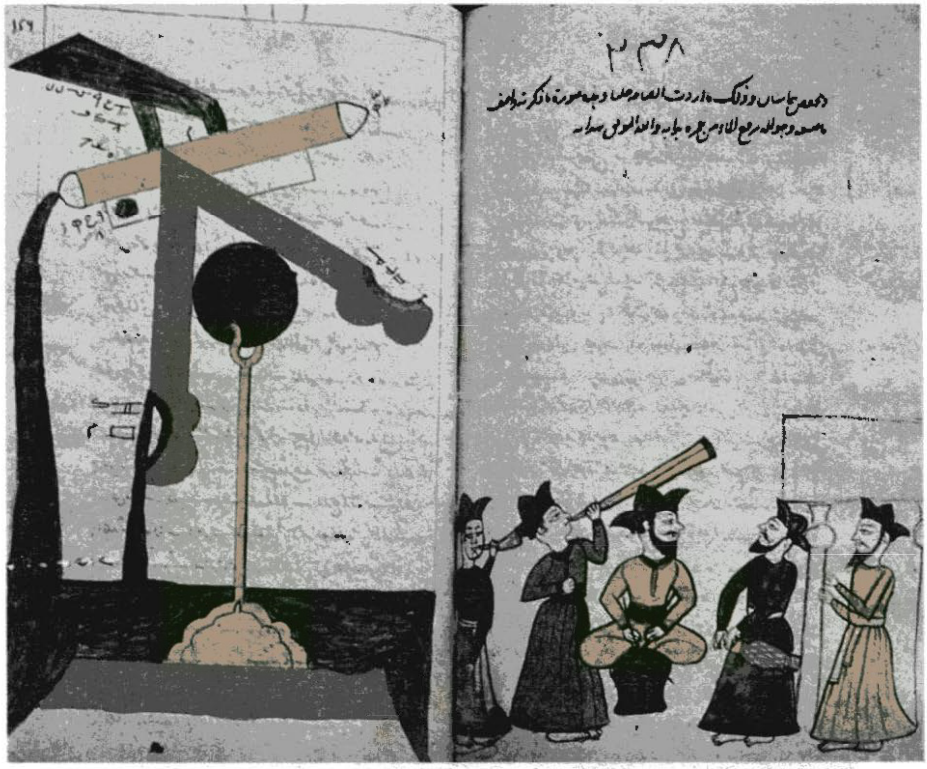
الصورة رقم (٢٢ ـ ٧)

الجزري، **كتاب الحيل في الفنون الغريبة**، ترجمة فارسية (طهران، مخطوطة سبهسلار، ٧٠٨).

نرى في هذه الصورة الجزء الأساسي من ساعة مائية ينقل الحركة لكل ما تبقى.

الثقافية جمعيها وصولاً إلى عصر النهضة. وهو فريد من وجهة نظر معينة، فقد تم وضعه بناء لطلب مولى الجزري، لكي يتسنى نقل وصف هذه الآليات السريعة العطب إلى الأجيال المقبلة، وذلك لأجل طويل بعد أن تختفي الآليات هذه. إن كل فصل من الخمسين فصلاً التي تؤلف الكتاب يتضمن، بالإضافة إلى النص والرسوم، تعليمات دقيقة مخصصة للصناعة في المستقبل، لكي يتسنى صنع الماكنات موضوع البحث لاحقاً على يد حرفيين، وذلك وفقاً لغايات المؤلف. ونحن نعلم أنه وفق في مسعاه، لأن العديد من آلياته، بما فيها ساعة مائية ضخمة، قد تم صنعها على يد حرفيين معاصرين يعملون وفق تعليماته. في حين أن أعمال غيره من الكتاب غالباً ما تصف طريقة عمل ماكنات مماثلة، دون أن تقدم سوى وصف بياني غير كاف لطريقة العمل هذه. وفي الكثير من الحالات، فإن السبب يرجع إلى أن هؤلاء الكتاب لم يكونوا حرفيين قادرين على صناعة مثل هذه الآليات، أو أنهم كانوا فعلاً حرفيين، لكنهم كانوا يفضلون الاحتفاظ لأنفسهم بسر صناعتهم. ولا بد أن نشير في هذا المجال إلى أن العديد من الحرفيين كانوا أميين، وبذلك غير قادرين على إيصال معارفهم كتابة.

كان الجزري تقنياً له مأثرة متابعة تقليد طويل من التكنولوجيا الميكانيكية، ويمكن اعتبار مؤلفه كموجز وقمة للإنجازات الإسلامية في هذا الميدان. ونستطيع التأكيد أنه اهتم بأغلبية الماكنات التي كان يعرفها أسلافه، ما عدا استثناء واحد أو اثنين جديرين بالذكر كسلاسل المسننات الواردة في مؤلف المرادي. كما أدخل في الوقت نفسه ابتكارات خاصة به وتحسينات مهمة على الآليات السابقة. وفي الواقع، فإنه غالباً ما يقر بأهمية التقنيين الذين سبقوه كأرخميدس وبني موسى، وذلك فيما يتعلق بتقنية منفردة أو بطراز معين لماكنة، وهو يصف بدقة التركيب الأصلي، ويخبرنا بعد ذلك كيف توصل إلى تحسينه وتطويره. وعلى سبيل المثال، هناك نموذج معين لمنظم معدل جريان الماء كان مستخدماً في الساعات المائية على يد تقنيين هلينستيين ومسلمين. وقد وجد الجزري بالتجربة أنه لم يكن ملائماً، ووصف لنا الطريقة التي اخترع بها آلة جديدة أكثر ملاءمة بواسطة معايرة ثقب صغير بهدف الحصول على معدلات جريان مضبوطة بالنسبة إلى ارتفاعات مختلفة للماء.

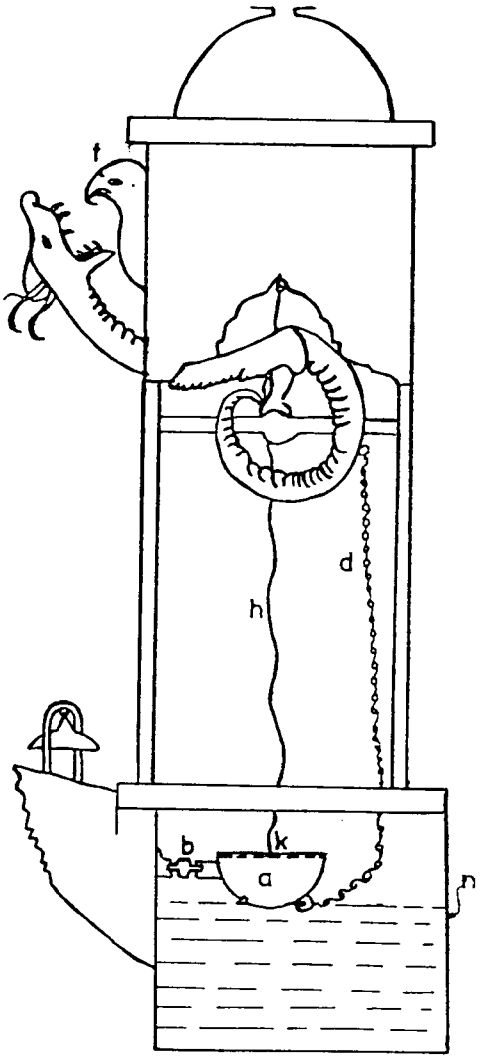


الصورة رقم (٢٢ ـ ٨)

الجزري، كتاب في معرفة الحيل الهندسية (مخطوطة رامبور، ٣٦٩٠).

الجزري، هو أهم مؤلف عربي في الحيل، وعالج من بين ما عالجه مسألة الري. ونرى هنا نظاماً يحركه نظام مائي.

ويكفي تقديم مثال واحد لإعطاء فكرة عن طرقه وعن صنف الآليات التي كان يصنعها. والمثال هذا عبارة عن ماكنة مائية، حيث إن بعض الآليات التي جمعت فيها قد صدرت من ساعتيه المائيتين الثالثة والرابعة. ويتم تشغيل هاتين الساعتين بواسطة حوض يمكن غمره بالماء ويسمى «ترجهار»، وهو عبارة عن آلية كان استخدامها شائعاً آنذاك من أجل حساب مدة الري عند المزارعين. إن هاتين الساعتين هما المثال الوحيد الذي نملكه عن تكييف «ترجهار» من أجل حساب الوقت، ويبدو أن هذا النظام قد اخترعه الجزري.



الشكل رقم (٢٢ ـ ١٦)

ويستحيل وصف كل واحدة من الساعتين بالتفصيل، لأنه يوجد عدد كبير من أنظمة التشغيل الآلي العاملة بفضل آليات هي في الحقيقة على درجة عالية من البراعة. ويبين الشكل رقم (٢٢ ـ ١٦) المبدأ الأساسي لهذه الماكنة. وهي تتضمن حوضاً (a) له ثقب معاير في جانبه الأسفل ويرتكز على سطح الماء في الخزان (n)، والحوض مربوط مع الخزان بواسطة ثلاثة رباطات تملك شكل دبابيس (b). وتوجد عصا مثبتة باللحام عرضاً على امتداد قطر الحوض، وتملك ثقباً (k) في وسطها. وفي رأس الساعة المحمولة على أربعة أعمدة يوجد «القصر»، وهو عبارة عن علبة برونزية مربعة تتضمن قبة يمكن فصلها. وفي داخل القصر توجد آلية للإطلاق غير مبينة على الشكل، ومنها تخرج قناة تصل إلى رأس (f) العصفور. أما ذنب الحية، الذي هو في الواقع بكرة، فإنه يدور على محور يرتكز على قطعات مستعرضة، مثبتة بين كل زوجين من الأعمدة. ويقع فم الحية المفتوح تحت رأس العصفور تماماً. وتربط سلسلة خفيفة (d) الجزء الأسفل من الحوض مع كلابة موجودة في ذنب الحية. وهناك سلك نحاسي (h) مربوط بالثقب (k) وبآلية الإطلاق. في بداية الفترة الزمنية الإيقاعية، وهي ساعة أو نصف ساعة، يكون الحوض الفارغ على سطح الماء. ويغوص ببطء، قبل أن يغطس فجأة في نهاية الفترة الزمنية. عندئذ يطلق السلك (h) الآلية، وتأتي كرة إلى فم العصفور، ثم تذهب من منقاره إلى فم الحية. فينخفض رأس الحية، وترفع السلسلة (d) الحوض الذي ينحرف بفضل الفعل المركب للسلسلة وللرابط (b)، ويفرغ الماء الذي يحتويه. وتقع الكرة من فم الحية وصولاً إلى

صنج، فيرتفع رأس الحية ليعود إلى وضعه الأول. ومن جديد يكون الحوض الفارغ أفقياً على سطح الماء، وتبدأ الدورة مرة أخرى إلى ما لا نهاية. يوجد في هذه الماكنة، إذاً، نظام بحلقة مغلقة، إذ إن الساعة تستمر بالعمل طالما بقيت هنالك كرات يمكن استخدامها لتشغيل هذه الماكنة. إن مفهوم العملية المتواصلة يظهر في موضع آخر في أعمال الجزري. وعلى سبيل المثال في ساعته الأولى، حيث ان ضغط الماء فوق الفتحة يبقى ثابتاً بواسطة نظام تحكم هيدرولي.

ولقد ظهر عدد من الأفكار والتقنيات للمرة الأولى في أعمال الجزري. وهي تتضمن مضخة مزدوجة الفعل مع أنابيب إدخال، وتتضمن أيضاً استخدام مقبض إدارة في ماكنة (وقد أشرنا إليهما سابقاً). كما أن المعايرة الملائمة للثقوب، وتوريق خشب البناء بهدف التخفيف من الانفتال والانتفاخ، والموازنة السكونية للعجلات هي أيضاً ابتكارات للجزري. بالإضافة إلى أن استخدام نماذج ورقية لإعداد المشاريع، وصب المعادن في قوالب من رمل طبيعي يشكلان أيضاً جزءاً من نتائجه الجديدة. كما نملك إشارة إلى معرفته بطريقة تحكم بسرعة دوران عجلة بواسطة الانفلات، ويتوضح هذا الأمر عندما نتفحص وصف ساعة في مؤلف إسباني عائد إلى العام ١٢٧٧م، حيث ان جميع الفصول الواردة فيه هي ترجمات أو شروحات لنصوص كتاب عرب سابقين. وتتألف الساعة من برميل كبير من خشب الجوز أو العناب، مركب بشكل متين ومغلف بشمع العسل أو بالصمغ. والجزء الداخلي من هذا البرميل مقسم إلى اثنتي عشرة حجرة مجهزة فيما بينها بثقوب صغيرة يمر الزئبق عبرها. وينبغي أن تكون كمية الزئبق المستخدمة كافية لملء الحجرات حتى منتصفها. والبرميل مركب على المحور نفسه العائد لعجلة كبيرة يتم تشغيلها بواسطة آلية لنقل الحركة. وهكذا نجد على المحور مسننة تتضمن ستة أسنان تنشبك مع ٣٦ سناً من خشب السنديان، والأسنان هذه موجودة على حرف قرص الأسطرلاب. ويقوم البرميل والمسننة بدورة كاملة في أربع ساعات ويقوم ميناء الأسطرلاب بهذه الدورة في ٢٤ ساعة. إن الساعات المصنوعة وفق هذا المبدأ كانت معروفة بأنها تعمل بشكل واف بالغرض، إذ إن الكثير منها كان لا يزال يصنع في أوروبا خلال القرن السابع عشر وحتى خلال القرن الثامن عشر. في حين أن هذا النموذج لآلة حاسبة للوقت كان قد عرفه العرب منذ القرن الخامس للهجرة/ الحادي عشر للميلاد، على الأقل قبل مئتي سنة من أول ظهور في أوروبا للساعات العاملة بفعل الوزن المحرك.

لقد رأينا أن مجموعة كبيرة من الماكنات والتقنيات والآليات ومختلف الأجزاء المركبة كانت في متناول يد التقنيين العرب. وبالتوازي مع تطور التكنولوجيا الميكانيكية، وبالقدر نفسه من الأهمية، نجد عند بعض التقنيين أمثال بني موسى والجزري اهتماماً بإعداد طرق متقنة من أجل تحكم آلي بالحركة، على اعتبار أن العنصر الرئيس في أية ماكنة يتحدد بالتحكم باستهلاك الطاقة. إلا أننا لا نملك، خارج إطار الآلات الفلكية، أي دليل قاطع

على انتقال هذا النموذج من المعرفة إلى أوروبا. غير أنه يبدو بعيد الاحتمال للغاية أن تكون الأعمال العربية الأصيلة جميعها، والتي وجدت مرة أخرى لاحقاً في أوروبا انطلاقاً من بداية العصر الوسيط، قد تم اختراعها من جديد في أوروبا. علينا، إذاً، أن نأمل أن تتمكن أبحاث لاحقة من تحديد بعض الطرق التي من خلالها استطاعت هذه المعرفة أن تنتشر انطلاقاً من الوطن العربي. وعلى الرغم من هذا الانعدام في الوضوح، فإنه باستطاعتنا بالنسبة إلى حالة معينة أن نحاول بناء نظرية قريبة من الحقيقة عن انتشار مثل هذا النموذج من المعرفة، ونقصد بهذه الحالة اختراع الساعة الميكانيكية.

إن اختراع الساعة الميكانيكية هو أحد الأحداث الأكثر دلالة في تاريخ التكنولوجيا. فقد كانت أول آلية تستخدم قوة الجاذبية بصفتها طاقة محركة مع التحكم بها، كما تتضمن عدداً من المفاهيم والأفكار المهمة لتطور تصميم الماكنات. وتتمثل الآلية الأساسية للساعة في الانفلات الميكانيكي الذي يتحكم بسرعة هبوط ثقل ما. وباستثناء هذه الآلية، فإن جميع عناصر الساعات الميكانيكية الأولى قد ظهرت في الساعات المائية الضخمة التي كانت موجودة سابقاً في العالم العربي، ونذكر من هذه العناصر: التشبيك المركب، ومجموعة آليات ذاتية الحركة، والتحريك بواسطة الوزن. نشير أيضاً إلى أن مفهوم الانفلات قد وجد مرة أخرى في ساعات الزئبق وفي أنظمة التحكم الهيدرولية المستخدمة لإنزال عوامات ثقيلة الوزن بسرعة خفيفة ومنتظمة. ونعرف أن مسيحيي إسبانيا قد ألموا بالساعات المائية العربية ليس فقط من خلال الترجمات إلى الإسبانية أو اللاتينية للأعمال العربية، بل أيضاً من خلال تفحص الساعات الموجودة. ونذكر منها، على سبيل المثال، ساعتين مائيتين ضخمتين صنعهما الفلكي الزرقالي في طليطلة على ضفاف نهر تاجه، هذا وقد كانت الساعتان تعملان عندما دخل المسيحيون إلى المدينة في العام ١٠٨٥م. ولا يمكن استبعاد احتمالات أخرى لانتقال هذه المعرفة في مناطق مختلفة، ولا سيما في سوريا إبان الاحتلال الصليبي. إلا أن أغلب الظن أن تكون إسبانيا المنطقة المرجحة لهذا النوع من الانتقال.

إن كل ما ذكرناه يكتمل بعنصرين من المعلومات يتعلقان بصناعة الساعات في أوروبا. فمن جهة أولى، حصل في القرن الخامس للهجرة/ الحادي عشر للميلاد تطور ظاهر في تقنية قياس الوقت بالطرق الهيدرولية، وذلك بالتوازي مع توسع انتشار التقنيات الجديدة؛ ومن جهة ثانية، نملك مؤلفاً وضعه روبرتوس أنجيليكوس (Robertus Angelicus) في العام ١٢٧١م، يذكر فيه أن صناع الساعات ـ أي الساعات المائية كانوا يحاولون حل مسألة الانفلات الميكانيكي، وكانوا قد توصلوا تقريباً إلى غرضهم. نذكر أن أول انفلات حقيقي قد ظهر في الواقع لاحقاً بعد بضع سنوات.

إن هذه السلسلة من البراهين، وإن كانت غير مباشرة، تظهر بوضوح أنه كان هناك تأثير عربي على اختراع الساعات الميكانيكية. ونستطيع أن نأمل، مع تقدم البحث، أن

براهين أكثر إقناعاً سيتم إيجادها لتأكيد انتقال تكنولوجيا الدقة العربية إلى أوروبا[٢٥].

---

(٢٥) إن أغلبية المعلومات عن الهندسة المدنية الإسلامية باستثناء تلك المعلومات المتضمنة في المؤلفات العربية الرئيسة، موجودة بشكل مبعثر في أعمال الجغرافيين والرحالة والمؤرخين المسلمين. من أجل الاطلاع المفصل على هذه المقالات، انظر: Donald Routledge Hill: *Arabic Water-clocks,* Sources and Studies in the History of Arabic - Islamic Science, History of Technology Series; 4 (Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1981), and *A History of Engineering in Classical and Medieval Times* (London: Croom Helm; La Salle, Ill.: Open Court Pub. Co., 1984); انظر أيضاً: محمد بن موسى بن شاكر، **كتاب الحيل**، نشرة نقدية للنص العربي من قبل أحمد يوسف الحسن بالتعاون مع محمد علي خياطة ومصطفى تعمري، مصادر ودراسات في تاريخ العلوم العربية الإسلامية، سلسلة تاريخ التكنولوجية؛ ٣ (حلب: جامعة حلب، معهد التراث العلمي العربي، ١٩٨١)؛ بالنسبة إلى الترجمة الإنكليزية، انظر: Mohammed Ibn Mūsā Ibn Shākir, *The Banū (Sons of) Mūsā Ibn Shākir: The Book of Ingenious Devices (Kitāb al-ḥiyal),* translated by Donald Routledge Hill (Dordrecht; Boston; London: Reidel Publishing Company, 1979).

انظر أيضاً: Robert James Forbes, *Studies in Ancient Technology,* 8 vols. (Leiden: E. J. Brill, 1955 - 1964), 2nd ed., vol. 1 (1964), and vol. 2 (1965); Thomas F. Glick, *Irrigation and Society in Medieval Valencia* (Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1970); Henri Goblot, *Les Qanats: Une technique d'acquisition de l'eau,* industrie et artisanat; 9 (Paris; New York: Mouton, 1979); Ahmad Youssef al - Hassan and Donald Routledge Hill, *A Short History of Islamic Technology* (Cambridge: Cambridge University Press; UNESCO, [Under Press]);

أحمد يوسف الحسن، **تقي الدين والهندسة الميكانيكية العربية: مع كتاب الطرق السنية في الآلات الروحانية: من القرن السادس عشر** (حلب: جامعة حلب، معهد التراث العلمي العربي، ١٩٧٦). بالإضافة إلى ذلك، انظر: Abū al-Izz Ismail Ibn al-Razzaz al-Jazarī: *A Compendium on the Theory and Practice of the Mechanical Arts,* critical edition by Ahmad Y. al-Hasan (Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1979); english translation: *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices,* translated with notes by Donald Routledge Hill (Dordrecht; Boston: Reidel, Publishing Company, 1974); Guy Le Strange: *Baghdad during the Abbassid Caliphate from Contemporary Arabic and Persian Sources* (Oxford: Clarendon Press, 1900), and *The Lands of the Eastern Caliphate: Mesopotamia, Persia, and Central Asia from the Moslem Conquest to the Time of Timur* (London: Frank Cass, 1905); 2nd ed. (Michigan: Ann Arbor, 1966); Joseph Needham, ed., *Science and Civilisation in China,* with the research assistance of Wang Ling, 6 vols. in 12 (Cambridge, [Eng.]: Cambridge University Press, 1954 - 1986); Thorkild Schioler, *Roman and Islamic Water - lifting Wheels,* translated from danish by Pauline M. Katborg, Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 28 (Odense: Odense Universitetsforlag, 1973); Charles Joseph Singer [et al.], eds., *A History of Technology,* 13 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1954 - 1984), reprinted (1979); N. A. F. Smith: *A History of Dams* (London: Peter Davies, 1971), and *Man and Water* (London: Peter Davies, 1975); Eilhard E. Wiedemann, *Aufsätze zur Arabischen Wissenschaftsgeschichte,* Collectanea; VI, 2 vols. (Hildesheim; New York: G. Ilms, 1970), and Hans E. Wulff, *The Traditional Crafts of Persia: Their Development, Technology and Influence on Eastern and Western Civilizations* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1966), reprinted (1976).