

المحاضرة الأولى
"العلوم والمعارف الهندسية
في
الحضارة الإسلامية"

لأستاذ الدكتور
جلال شوقي أحمد شوقي
العميد المؤسس لكلية الهندسة
جامعة قطر

السبت 17 شوال 1410 هـ - 12 أيار 1990م

بسم الله الرحمن الرحيم

"ربّ اشرح لي صدري، ويسر لي أمري،
واحلل عقدة من لساني، يفقهوا قولي"

حضرات السادة والسيدات

أودُّ أن أبدأ بشكر "مجمع اللغة العربية الأردني" والقائمين عليه لتشرفني بإلقاء هذه المحاضرة، وأخصُّ بالشكر الأستاذ الدكتور عبد الكريم خليفة، رئيس المجمع الذي تفضّل بتوجيه الدعوة لي، وأفاض في تقديمي والثناء عليّ، وهذه نفحة من نفحات فضله وكرمه، والله درُّ الشاعر حين يقول:

"يزيد تفضلاًً وأزيدُ شكراً
وذلك دأبهُ أبدأً ودابي"

ويطيب لي أن أنقل إليكم تحيات كلية الهندسة وجامعة قطر مع أطيب التمنيات لنجاح موسمكم الثقافي.

إنَّ الموضوع الذي طُلب إليَّ أن أتحدّث عنه موضوع على درجة كبيرة من الاتّساع والتشعب، مما يقتضي مني الدخول فوراً فيه، اللهم إلاّ بعض تمهيد لهذه الدراسة على ثلاثة محاور هي:

- ١ - التعريف بالهندسة،
- ٢ - تقسيم العلوم عند علمائنا الأوائل،
- ٣ - موقع الحضارة الإسلامية وعلماء العرب والمسلمين في ركب الحضارة الإنسانية.

قد علّمتنا التجربة والدّربة، وأمّلت علينا دوافع الحرص والاحتراز عند التصدّي لموضوع بهذا القدر من الاتساع وتعدد الجوانب والمجالات أن نبدأ أولاً بملخص موجز قبل أن ندلف إلى الشرح المبسوط، مخافة ألاّ يُسغفنا الوقت برسم القسامات وإتمام البيان..

ولعله من المناسب أن أستاذكم في أن أدم مقولتي بعدد ليس بالقليل من الرسوم
والمخططات والأمثلة والنماذج، التي تُعين على الوقوف على الدقائق والحدود، وإني إذ
أشكر لكم كريم إنصاتكم، سأعتمد - بعد توفيق الله وعونه - على جميل صديركم وسعة
صدركم.

مُلخَص

تبدأ هذه الدراسة بالتعريب بالهندسة، حيث قسّمها الأوائل قسّمين هما: **الهندسة العقلية** أو النظرية، و**الهندسة الحسية** أو العملية أو التطبيقية. وإذ يقع القسم الأول في فرع الرياضيات، يندرج القسم الثاني في فرع الطبيعيات، ومن ثمّ تعرض الدراسة بايجاز إلى تقسيم العلوم عند علماء العرب والمسلمين، وإلى تعاقب الحضارات من القرن الخامس قبل الميلاد حتى القرن الحالي، مع التوقف عند الحضارة الإسلامية والإشارة إلى أشهر علمائها. يعرض القسم الأول من هذه الدراسة للهندسة العقلية، وقد يكون من المناسب أن نسمّيها "هندسة الأشكال"، وهي هندسة ساكنة، تضم عند علماء العرب والمسلمين خمسة فروع هي:

١ - الأصول الهندسية (أو هندسة إقليدس).

٢ - علم الأكر أو الكرات،

٣ - علم المخروطات.

٤ - علم المساحة.

٥ - علم المناظر أو علم الضوء أو علم البصريات.

ويديّل هذا القسم بتطبيقات في العمارة الإسلامية حيث نعرض جانبين أساسيين

فيها، هما:

* **العناصر الإنشائية أو عناصر البناء:**

وتشمل العقود والنوافذ والقباب والمآذن أو المنارات، ونورد أمثلة عديدة من عمارة

العالم الإسلامي وبخاصة في قرطبة وغرناطة.

** **العناصر الجمالية:**

وتضم المُقرنصات والدلّيات والزخارف الهندسية والخطوط، وفن الرقش العربي

(الأرابيسك) عموماً.

ثمّة مثالٌ تطبيقي آخر في مجال المساحة تتعرض له الدراسة هو "قياسات الأرض"، فتشير إلى جهد فلكيي الخليفة المأمون، وقياسات سند بن علي، وأبي الريحان البيروني، وقاضي زادة ابن الرومي، وتتلخص الدراسة إلى أن القيم التي توصل إليها البيروني تنقص عن القيم المعاصرة بمقدار 0.94% فحسب، وهي دقة عالية مثيرة للتقدير والإعجاب.

أمّا القسم الثاني من هذا العمل فإنه يختصّ بالهندسة الحسيّة أو التطبيقية، ونؤثر تسميتها "بهندسة الحركات" (هندسة حركيّة) تميزاً لها عن النوع الأول وهو "هندسة الأشكال" التي تشكل هندسة ساكنة.

يبدأ هذا القسم بالأصول النظرية (من العلم الطبيعي)، فيقدم **علمي السكون والحركة (علم الميكانيكا)**، ويسوق مثلاً في علم السكون هو "الثقل النوعي"، ويبين أنواع الموازين التي ابتكرها البيروني وعمر الخيامي، وعبدالرحمن الخازني وغيرهم.

أمّا الجانب التطبيقي في هذا القسم فيبدأ بالإشارة إلى رواد "هندسة الحركات" من علماء الإغريق (بدءاً بالقرن الرابع قبل الميلاد)، وبيان أهم منجزاتهم، باعتبار أن تراث الإغريق كان نقطة انطلاق لإنجازات علماء العرب والمسلمين، وتركز الدراسة بوجه خاص على **خمسة رواد في الحضارة الإسلامية هم:**

- ١ - بنو موسى بن شاكر (من القرن 3هـ = 9م)، وكتابهم "كتاب الحيل"،.
- ٢ - محمد بن أحمد بن يوسف الخوارزمي الكاتب (من القرن 4هـ - 10م)، وكتابته "مفاتيح العلوم"،
- ٣ - بديع الزمان إسماعيل بن الرزاز الجزري (من القرن 6هـ = 12م)، وكتابته "الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل"،
- ٤ - رضوان بن محمد الساعاتي الخراساني الدمشقي (من القرن 7/6هـ = 13/12م)، وكتابته "علم الساعات والعمل بها".
- ٥ - تقي الدين محمد بن معروف الراصد الدمشقي (من القرن 10هـ = 16م)، وكتابته "الطرق السنّية في الآلات الروحانية".

وتعرضُ الدراسةُ أمثلةً من الانجازات الهندسية المهمة التي توصل إليها علماء

العرب والمسلمين وذلك في المجالات الآتية:

- الساعات بأنواعها والآليات المائية (وقد سموها صنعة الأواني العجيبة) بما في ذلك من تطوير صمامات التحكم في سريان الماء واستخدام السحارات وسارقات الماء، وإدخال فكرة دقّة الإزواج بين الأجسام المتقابلة، وقد أطلقوا عليها تسمية "الهندمة".
- آلات رفع الماء إلى جهة العلو، وتشمل مجموعة متنوعة من المضخات، منها مضخة متعددة الأسطوانات.
- آلية بارعة لتحويل الحركة الدورانية إلى حركة ترددية.
- إدخال مانع التسرب في أسطوانات المضخات.
- العنفات أو التربينات الدفعية التي عُرفت فيما بعد بتريينة أو دولاب بلتون، كذا التربينات رد الفعلية.
- بعض نُظُم التحكم الآلي.
- طواحين الهواء.
- الفؤارات والنقارات.
- آلات انتشال الأجسام الغارقة.

ويُذيل هذا العمل بإيراد أمثلة من مُعْجَم تمَّ إعداده في هذه الدراسة لجمع وشرح

المصطلحات الهندسية التي وردت في المخطوطات العربية في فترة ازدهار الحضارة

الإسلامية.

تعريف بالهندسة

لعلنا - ونحن في بدء حديثنا عن الهندسة - أن نردَّ هذا اللفظ إلى كلمة "هندار" أو "إنذار" بمعنى معيار ومقياس، ومنها كلمة "المهندِر"، وهو الذي يُقدَّر مجاري القنى والأبنية، وتتحدَر هذه الألفاظ من أصل فارسي. ولما كان كلام العرب لا يقبل زلياً تتقدمها دالّ، صيِّروا الزاي سيناً، فقالوا "مهندس"، والاسم "هندسة"، فالكلمة إذن معرّبة وترتبط بالقياس.

وتطلق كلمة هندسة على تكوين الأشكال والأسطح والمجسمات، وهو المجال الذي يُطلقُ عليه في الغرب " Géometrie"، "Geometry" ويرجع في أصله إلى كلمة "جومطريا" أو "جيومطريا"، وهي الكلمة الإغريقية التي كان يستعملها الإغريق للدلالة على هذا النوع من النشاط الفكري ضمن إطار الرياضيات، وقد أخذها العرب كما هي في بداية حضارتهم قبل أن يُبدلوها بكلمة "هندسة".

ثمّة مجال آخر تُطلق عليه "هندسة"، ويُقصد به ما يُعرف في الغرب بكلمة "Engineering"، وهو مجال التّأصيل والتطبيق في بناء الأشياء وتشغيلها واستغلالها والتحكم فيها وتسخيرها لتحقيق أغراض مادية، ويتضمن ذلك الإفادة من المصادر الطبيعية وتطويرها لخدمة الإنسان والمجتمع، وينقسم هذا المجال إلى تخصصات عديدة منها الهندسة العسكرية، والهندسة المدنية، والهندسة الميكانيكية، والهندسة الكهربائية والهندسة الكيميائية وغير ذلك.

وسوف نعرض في هذه الدراسة لكلا المجالين: هندسة العلم الرياضي (Geomtry)، وهندسة الصناعات أو صناعة الهندسة (Engineering)، في الحضارة الإسلاميّة.

ولعلّه من المناسب أن نشير هنا إلى أن كلمة (Engineering) مأخوذة من كلمة (Engine)، وكان يقصد بها (an ingenious Device) أي وسيلة مبتكرة أو ذكية أو عبقرية، إذ أن كلمة "Ingenious" تأتي من:

in + Gignere

يولّد أو ينتج في
(في اللاتينية)

أي أن الأفكار الذكية أو النابهة تتولد في ذهن الرجل العبقرى وبالتالي فكلمة
Engineering فُصد بها مجال الفكر المبدع.

تقسيم الهندسة

قسّم علماء العرب والمسلمين مجال "الهندسة" إلى قسمين ظلاً يُتداولان على هذا
النحو طيلة الحضارة الإسلامية، وهما:

1- الهندسة العقلية

وهي التي تُعرف وتُفهم، أو هي التي تسمى "الهندسة النظرية"، وتدخل في نطاق
العلم الرياضي.

2- الهندسة الحسيّة أو المادية أو العملية

وهي التي تُرى بالعين، وتُدرك باللمس، ويُفاد منها عملياً، أي الهندسة التطبيقية.
فبينما تقع أصولها في علم الميكانيكا (المخانيقا) أو "علم السكون والحركة"، ويرد
ذكره في جملة العلم الطبيعي، تدخل تطبيقاتها العملية فيما أسماه العرب "بعلم الحيل"،
مثل كيفية الاحتتيال لجر الأجسام الثقيلة أو رفعها، أو لرفع الماء إلى جهة العلو، أو
لتوليد الحركة (القدرة)، أو لمعرفة ساعات الليل والنهار، وما إلى ذلك من آلات وأدوات
تُبنى للفائدة أو للتسلية.

وتضمُّ الهندسة الحسيّة أيضاً الصناعات المختلفة كصناعة البناء، وعمارة المساكن
والمساجد والمرافق، وشق القنوات، وما إلى ذلك من أعمال التعمير.

ويقول إخوان الصفا (من القرن 4 هـ = القرن 10م) في الرسالة الثانية من القسم الرياضي (الموسومة بجومطريا في الهندسة وبيان ماهيتها)⁽¹⁾:

"فاعلم يا أخي، أيدك الله وإيانا بروح منه،

أنَّ النظرَ في الهندسة الحسية يؤدي إلى الحذق في الصنائع العملية كلها.

والنظرَ في الهندسة العقلية يؤدي إلى الحذق في الصنائع العلمية...."

ولعلَّه من المناسب - في هذه الدراسة - أن نطلق على النوع الأول من الهندسة- نظراً لطبيعته - "هندسة الأشكال"، وهي هندسة - في مجملها - ساكنة، وتقال كلمة (Geometry) في الغرب.

أما النوع الثاني والمقابل لكلمة (Engineering) فربّما كان من الأفضل أن تُسمّيه "هندسة الحركات" أو هندسة الأفعال" أو "هندسة العمليات"، وهي هندسة تقوم أساساً على الحركة والتغيير .

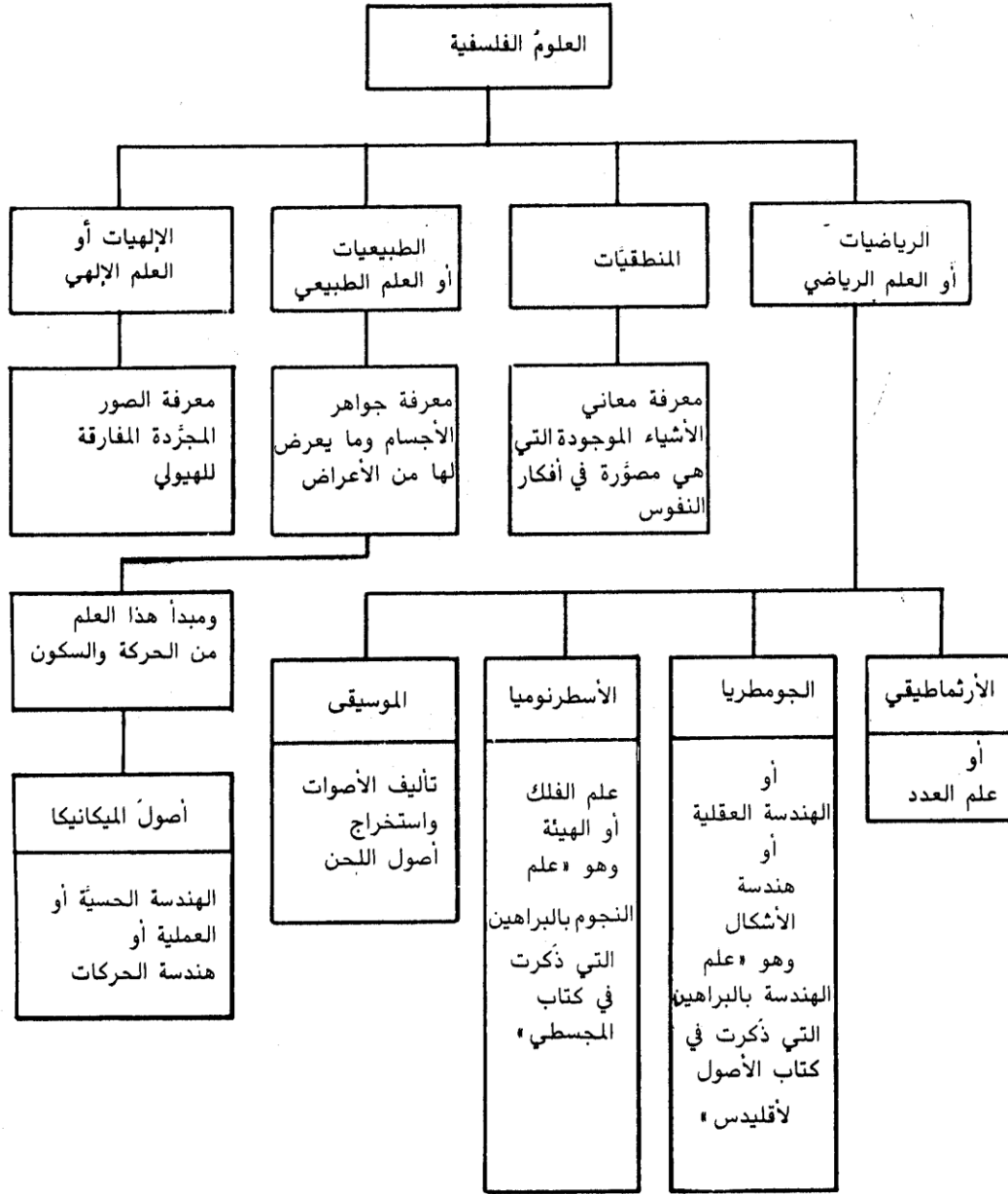
وبينما يحدّد شكل (1) موقع العلوم والمعارف الهندسية على خريطة "العلوم

الفلسفية"، يعرض على شكل (2) لفروع الهندسة بشقيها، أعني:

هندسة الأشكال (الهندسة الساكنة)

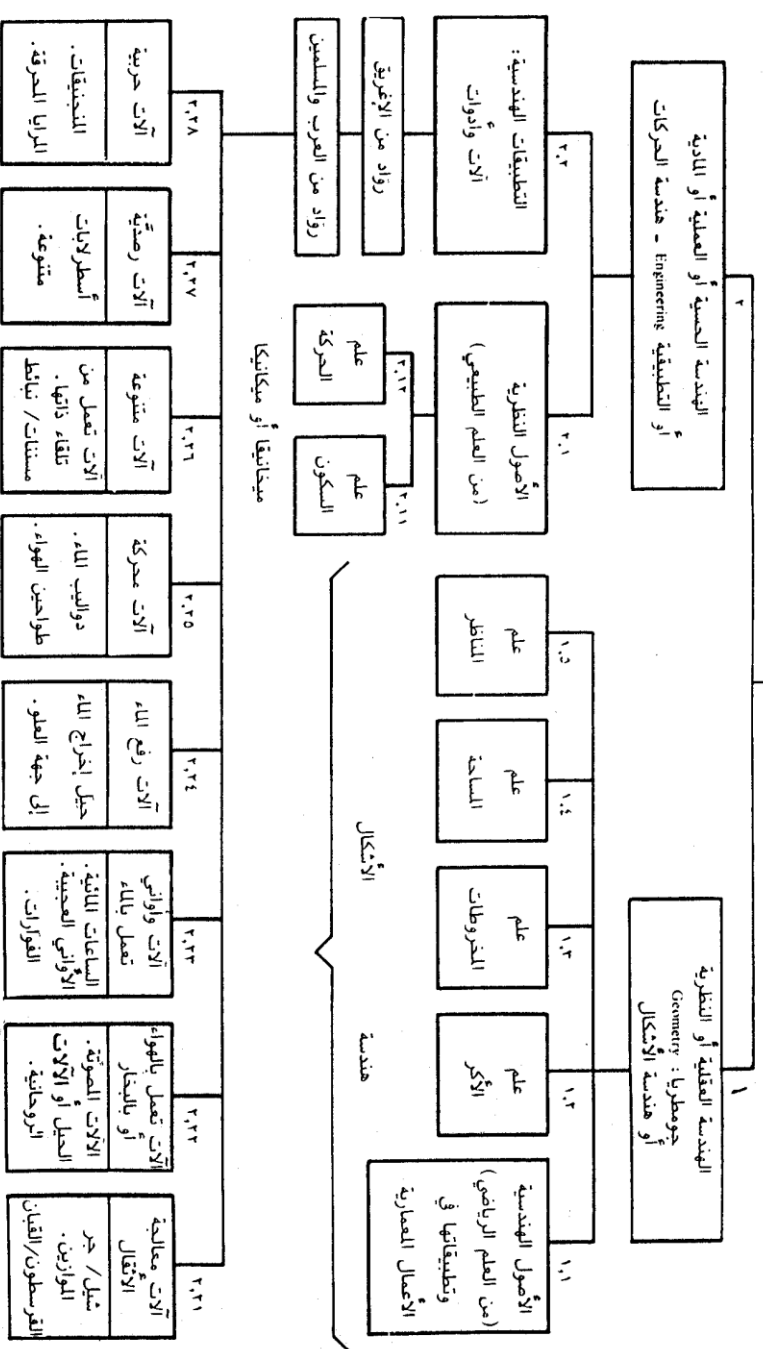
هندسة الحركات (الهندسة الحركية)

(1) كتاب "رسائل إخوان الصفا وخلان الوفا"، طبعة دار صادر ودار بيروت، سنة 1376هـ = 1957م، المجلد الأول، صفحة 101.



شكل (١) - تقسيم العلوم عند الأوائل (عند إخوان الصفا مثلاً)

الهندسة في الحضارة الإسلامية: علوم ومعارف



شكل (٣)

1- الهندسة العقلية أو الهندسة النظرية أو هندسة الأشكال

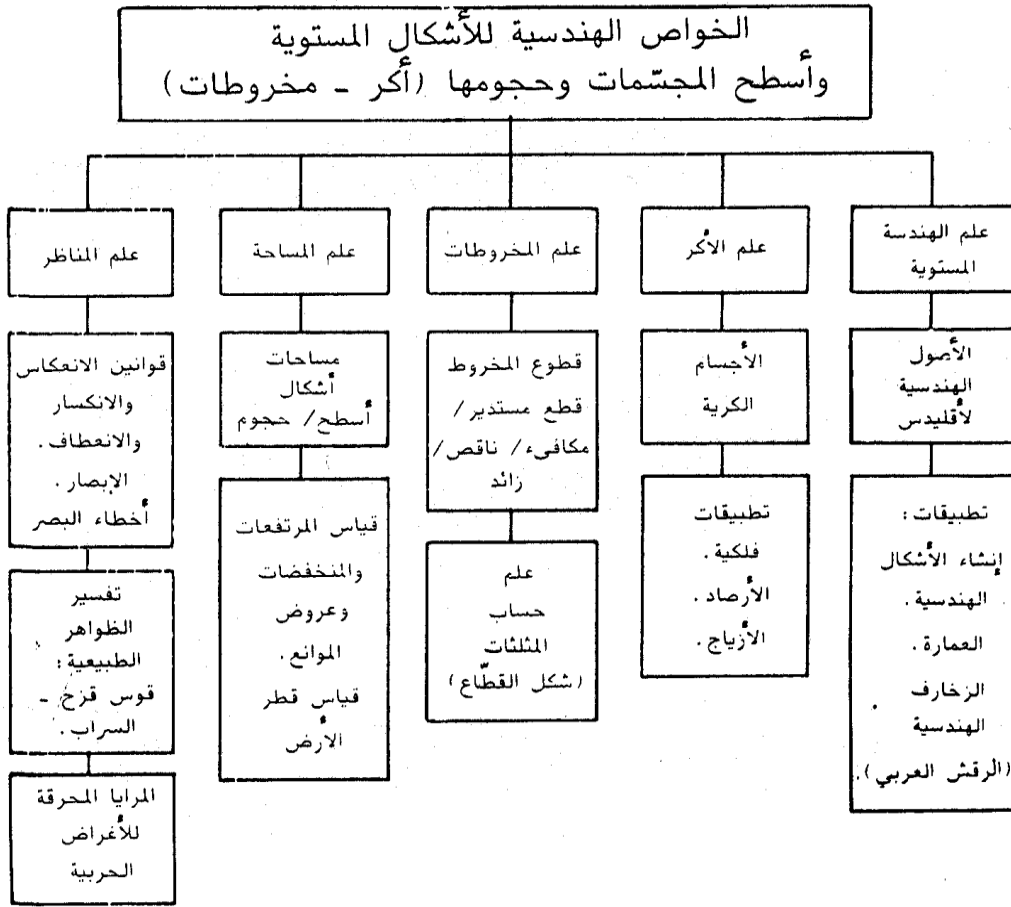
يبين شكل (3) فروع الهندسة المختصة بالأشكال التي أطلق عليها العربُ تسمية: جومطريا. أو الهندسة العقلية. أو الهندسة النظرية.

ونفضل أن نطلق عليها تسمية "هندسة الأشكال" حيث إنها تختص بالمجال الذي يبحث في الخواص الهندسية للأشكال المستوية ولأسطح المجسّمات وحجومها كالكرة والأسطوانة والمخروط والمكعب وما إليها، وذلك من ناحيتي الأسس والتطبيقات في الحياة العامة، ويضم هذا الجانب من "الهندسة" خمسة فروع هي:

- ١.١ - علم الهندسة المستوية وتطبيقاته في إنشاء الأشكال الهندسية، كذا في مجال العمارة، والزخارف الهندسية.
- ١.٢ - علم الأكر، وتطبيقاته في مجال الفلك.
- ١.٣ - علم المخروطات، وتطبيقاته في حساب المثلثات، وفي حل المعادلات الرياضية.
- ١.٤ - علم المساحة وتطبيقاته في تحديد الملكيات، وقياسات الارتفاعات والعروض، والقياسات الكونية.
- ١.٥ - علم المناظر وتطبيقاته في تفسير الظواهر المرئية، وعمل المرايا المحرقة وما إلى ذلك.

هندسة الأشكال

أو علم الهندسة (جومتريا : Geometry وفروعه



شكل (٣) - علم الهندسة وفروعه وتطبيقاته في الحضارة الإسلامية.

من أعمال علماء العرب والمسلمين في الهندسة

1- "كتاب المفروضات"⁽¹⁾

لثابت بن قرّة الحراني الصابي (221-288هـ) = (835-900م).

ويضم الكتاب 36 شكلاً، وفي بعض النسخ 34 شكلاً، وقد قام بتحريره نصير الدين الطوسي.

2- كتاب "ما يحتاج إليه الصانع من علم الهندسة"⁽²⁾

لأبي الوفاء محمد بن محمد البوزجاني (328-388هـ) = (940-998م)،

وهو كتاب يتناول الإنشاءات أو العمليات الهندسية، وقد عُرفت في الغرب باسم:

"Geometric Construction"

ويدل هذا الكتاب على اهتمام علماء العرب والمسلمين بالجوانب التطبيقية للأصول الهندسية.

ويضم الكتاب ثلاثة عشر باباً، تبدأ باستخدام أدوات رسم هندسي ثلاث هي:

١ - المسطرة: "وتستعمل فيما قصر من الرسوم والخطوط" (أي لرسم الخطوط المستقيمة، باعتبار أن الخط المستقيم أقرب مسافة بين نقطتين).

٢ - البركار: "الرسم المدورات، وقسمة الأعمال، وأخذ المقادير المتساوية".

٣ - الكونيا: "وهي زاوية قائمة، ويحتاج إليها في تربيح المواضع، وإصلاح الزوايا للأبنية، واستخراج التقويس بضرب الخيوط، وغيرها من الأعمال التي لا تتم إلاّ بها".

ويمثل هذا الكتاب حال المعارف الهندسية حتى القرن الرابع الهجري (القرن العاشر

الميلادي)، ويعرض لما نسميه اليوم بالعمليات الهندسية، أو إن شئت لمبادئ الرسم

الهندسي، حيث يبدأ بالعمليات الأساسية (34 عملية)، ثم يتوقف عند عمل المرأة

(1) راجع "كشف الظنون" صفحة 1461.

(2) صدر بتحقيق وتقديم: الدكتور صالح أحمد العلي سنة 1979م، عن مركز إحياء التراث

العلمي العربي بجامعة بغداد، في 178 صفحة.

المحرقة، قبل أن يمضي إلى بيان عمل الأشكال متساوية الأضلاع بدءاً بالمثلث وانتهاء بالمعشّر المنتظم.

يعرّجُ الكتاب بعد ذلك إلى بيان عمل الأشكال في الدوائر (أي في داخلها)، وعمل الدائرة على الأشكال (أي من خارجها)، وعمل الأشكال بعضها ببعض، وقسمة المثلثات، وقسمة المربعات وتأليفها، وقسمة الكرة، وقسمة الأشكال مختلفة الأضلاع، وكيفية رسم الدوائر المتماسة.

هذا ويضم الكتاب 176 شكلاً هندسياً، ولا شك أن مثل هذه الإنشاءات الهندسية كانت ركيزة أساسية في العمارة الإسلامية، وفي الزخارف العربية المعروفة بفن الرقش العربي (Arabesque) في شقّه الذي يقوم على الأشكال والخلفيات والجانبيات الهندسية.

3- كتاب الهندسة⁽¹⁾

وهو كتاب كبير لأبي القاسم إصبع بن محمد الغرناطي المهندس (المتوفى سنة 426هـ = 1034م).

4- "كتاب استخراج الأوتار في الدائرة بخواص الخط المنحني فيها"

لأبي الريحان محمد بن أحمد البيروني (362-443هـ) = (973-1051م)، ويعرض فيه لحل مشاكل هندسية.

5- كتاب الهندسة⁽²⁾

لأبي الصلت أمية بن عبدالعزيز الأندلسي (المتوفى سنة 529هـ = 1134م).

علم المخروطات

وهو علم ينظر في ما يقع في الأجسام المخروطة من الأشكال والقطوع، ولعلّ أشهر من اشتغل به من علماء الإغريق هو أبولونيوس (260-200 ق.م)، النجار

(1) "كشف الظنون" صفحة: 1472.

الحكيم الرياضي (Apollonius)، أبو أبليوس أو بليوس، وهو صاحب "كتاب المخروطات" الذي يقع في ثماني مقالات.

وعن هذا الكتاب يقول حاجي خليفة⁽¹⁾:

"كتاب المخروطات - في أحوال الخطوط المنحنية: سبع مقالات لأبليوس النجار الحكيم الرياضي، أصلحه الحسن وأحمد ابنا موسى بن شاكر.

ولما أخرجت الكتب من الروم إلى المأمون، أخرج منه الجزء الأول لا غير [فوجد] يشتمل على سبع مقالات، ولما تُرجم دلت مقدمته على أنه ثماني مقالات، وأن الثامنة تشتمل على معاني المقالات السبع وزيادة، واشترط فيها شروطاً مفيدة، فمن عصره إلى يومنا هذا يبحث أهل الفن عن هذه المقالة، فلا يطلعون لها على خير لأنها كانت في [من] ذخائر المأمون لعزتها عند ملوك يونان.

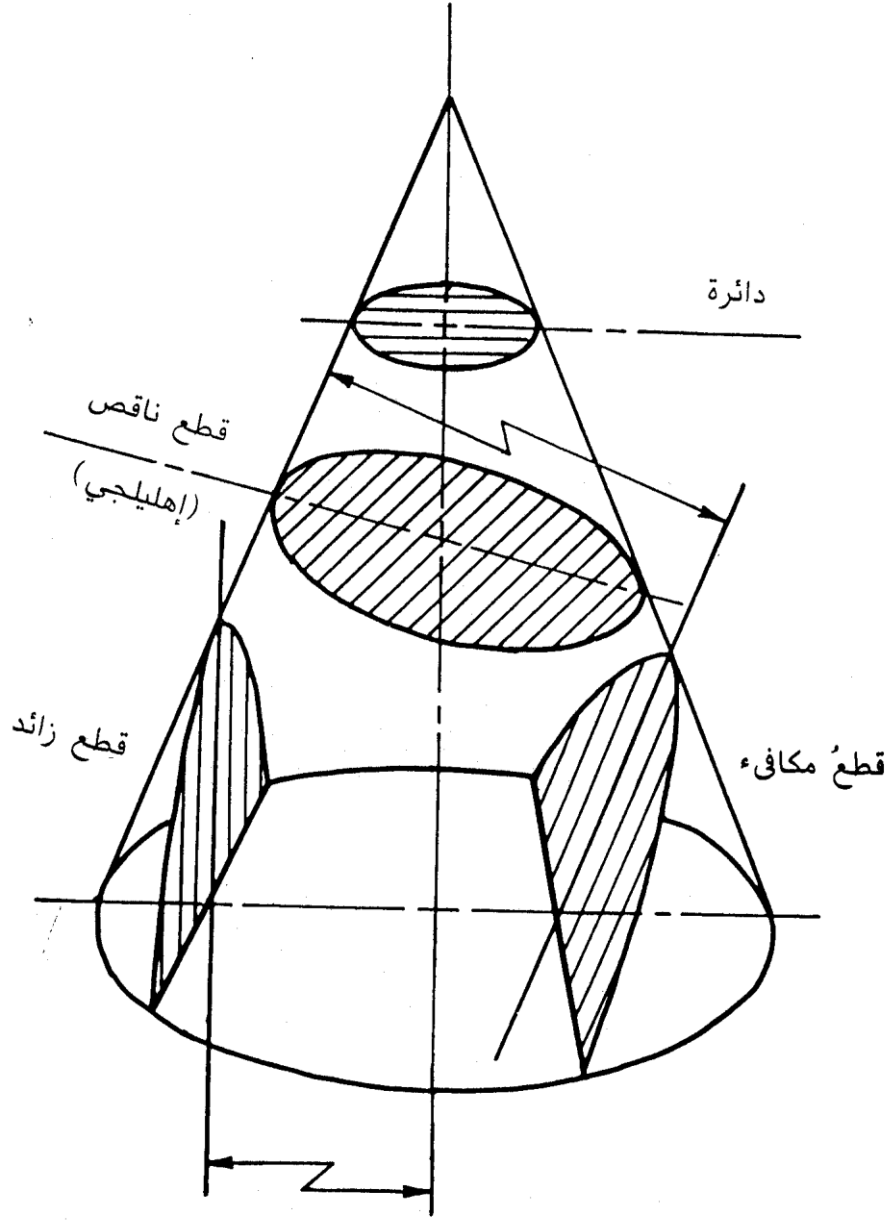
وقال بنو موسى بن شاكر: الموجود من هذا الكتاب سبع مقالات، وبعض الثامنة، وهو أربعة أشكال، وترجم الأربع الأول منه أحمد بن موسى الحمصي، والثلاث الأخر ثابت بن قرة الحراني، كذا في نوادر الأخبار.

أصلحه الحسن وأحمد ابنا موسى بن شاكر، وهو [أي كتاب المخروطات] أقدم من إقليدس برزمان طويل، وهذا الكتاب - وآخر من تصنيفه في هذا النوع - كان السبب في تصنيف كتاب إقليدس بعد زمن على ما مرّ.

ذكروا أن هذا الكتاب فسد لأسباب منها استصعاب نسخة، وأنه درس وانمحي ذكره، وحصل متفرقاً في أيدي الناس إلى أن ظهر رجل بعسقلان يُعرف بأوطيقوس المهندس، فجمع ما قدر عليه، فأصلح منه أربع مقالات.

هذا وقد أوضح أبولونيوس في "كتاب المخروطات" أن جميع الخطوط المنحنية يمكن الحصول عليها من مخروط واحد وذلك بقطعه بمستوى يميل بزوايا مختلفة (شكل 4).

(1) "كشف الظنون" صفحات: 1456، 1457.



شكل (٤) - قطوع المخروط.

وقد سُمّيت المنحنيات الناتجة بالقطع المكافئ (Parabola)، والقطع الناقص أو الإهليلجي (Ellipse)، والقطع الزائد (Hyperbola)، وذلك فضلاً عن الدائرة والمثلث. وقد أفاد عمر بن إبراهيم الخيامي (ت: 517هـ = 1123م)، من هذه المنحنيات في حله معادلات الدرجة الثالثة (المعادلات التكعيبية).

بعض فضل العرب والمسلمين في الأصول الهندسية:

إن الإغريق قد برعوا تماماً في القضايا الهندسية إلى حدٍّ لم تبق معه زيادة لمستزيد، وقد كان للعرب فضل نقل هذا العلم وفروعه إلى اللسان العربي، ودراسته دراسة مستفيضة تمثلت فيما كتب عنه من شروح مبسطة ومتوسطة وموجزة، والإتيان ببراهين إضافية للنظريات الهندسية، وبالتالي يرجع إلى علماء العرب والمسلمين فضل حفظ هذا التراث من الضياع، وقد نُقلت هذه المعارف إلى اللغة اللاتينية، وظلَّ الغرب يتدارسها - عن هذه الترجمات - حتى عُثر عام 1583م على نسخة إغريقية من كتاب إقليدس.

لقد اهتم علماء العرب والمسلمين اهتماماً بالغاً بالأصول الهندسية التي نقلوها عن الإغريق، وتمَّ لهم استيعابها استيعاباً تاماً، وقاموا بتطبيقها في مجال البناء والعمارة والرقش، وكذا في دراساتهم الفلكية.

وفضلاً عن حفظ تراث الإغريق في الهندسة، فقد قدّم علماء العرب والمسلمين إضافات ذات بال في هذا المجال نذكر منها - على سبيل المثال لا الحصر - ما يأتي^(١):

١ - تأسيس ما نعرفه اليوم "بالهندسة التحليلية"^(٢)، حيث قدّم قسطا بن لوقا البعلبكي (205-300هـ) = (820-912م)، حلاً هندسياً^(٣) لطريقة استخراج المجهولات بطريق حساب الخطأين، ويتضمن تمثيل المتغيرات بطريق إحداثيين متعامدين، وهذه

(١) كتاب "العلوم الرياضية في الحضارة الإسلامية" للدكتور جلال شوقي والدكتور علي الدقاع،

نشر دار جون وايلي بأمريكا سنتي 1984، 1986م، الجزء الثاني، الباب السادس.

(٢) المرجع السابق نفسه، الجزء الأول ص 285.

(٣) مخطوط مكتبة جامعة استانبول (أيصوفيا سابقاً)، رقم 2118.

Rene هي اللبنة الأولى في علم الهندسة التحليلية، وذلك قبل رينيه ديكارت
Descartes (1596-1650م) بأكثر من سبعة قرون.

٢ -تعميم نظرية فيثاغورس (584-495 ق.م.)، لثابت بن قُزَّة الحرَّاني الصابي
(221-288هـ = 835-900م).

٣ -طريقا محمد بن موسى الخوارزمي (ت: 236هـ = 850م)، وأبي الريحان محمد
بن أحمد البيروني (362-443هـ) = (973-2051م)، لحساب مساحة المثلث
بمعرفة أطوال أضلاعه.

٤ -قانون الكرخي (ت: 407هـ = 1016م) لإيجاد مساحة الشكل الرباعي.

٥ -المصادرة الخامسة من مصادرات إقليدس (فرضية التوازي) للحسن بن الهيثم
(354-430هـ) = (966/5-1039/8م)، وعمر الخيامي (ت: 517هـ =
1123م)، ونصير الدين الطوسي (597-672هـ) = (1201-1274م).

٦ -خواص التناسب للحسن بن الهيثم.

٧ -قياسات محيط الكرة الأرضية لبنى موسى بن شاكر، وسند بن علي، وقاضي
زادة الرومي (ت: 745هـ = 1345/4م) وغيرهم.

٨ -إضافات في حساب المساحات والحجوم.

٩ -استخدام القطوع في الحلول الهندسية لمعادلات الدرجة الثالثة لعمر الخيامي.

١٠ -حساب النسبة التقريبية، أي نسبة محيط الدائرة إلى قطرها، ويرمز لها بالحرف
ط أو π وذلك بدقة فائقة لغيث الدين جمشيد بن مسعود الكاشي (ت: 839هـ
= 1436م) كما وردت في مؤلفه "الرسالة المحيطية"^(١).

١١ -إنشاء أو تأسيس علم "حساب المثلثات" على يد العالم المحقق نصير الدين
الطوسي في كتابه "شكل القطّاع"، ومن ثمَّ يرجع الفضل لعلماء العرب
والمسلمين في إرساء قواعد:

أ - حساب المثلثات المستوية أو المسطحة.

(١) القيمة التي توصل إليها الكاشي: هي 32 87 89 35 65 92 15 14، 3، وهي صحيحة
حتى الرقم العشري الثاني عشر.

ب - حساب المتثلثات الكروية، وهو الحساب الذي لا غنى عنه في دراسات علم الهيئة أو الفلك.

ويُعتبر علم "حساب المتثلثات" علماً عربياً خالصاً بدأ بالوقوف على الحساب البسيط للأقواس عند الإغريق، والحساب المحدود للجيب عند الهنود.

انتقال علم الهندسة إلى الغرب:

لم تكن الأصول الهندسية معروفة لدى الغرب إلا من خلال الترجمات العربية لها، ولقد استمر هذا الوضع قائماً حتى القرن 4 هـ = القرن 10م، حين كتب سلفستر الثاني (الذي تم تنصيبه بابا سنة 1979م)، مقالة باللاتينية في الهندسة، كذلك قام أديلارد المنتمي إلى باث (Adelard of Bath) بكتابه مقالة باللاتينية في الهندسة، وذلك في أوائل القرن الثاني عشر الميلادي، وكان أديلارد هذا متقناً للغة العربية، متمكناً منها وكان قد تلقى دروساً فيها بمدارس قرطبة وإشبيلية وغرناطة، وقد بقيت هاتان المقالتان اللاتينيتان تدرّسان في مدارس الغرب حتى سنة 1583م، حين اكتُشف الأصل الإغريقي لكتاب الأصول أو الأركان لإقليدس.

تطبيقات في هندسة الأشكال

عناصر العمارة الإسلامية

يمكن تصنيف عناصر العمارة الإسلامية إلى قسمين أساسيين هما:

١ - عناصر بناء أو إنشاء: وهي عناصر تشكل جزءاً من البناء في حد ذاته.

٢ - عناصر جمال: وهي عناصر يُقصد بها إضفاء صفات جمالية على المبنى.

ويلا شك فإن هناك تداخلاً وتربطاً بين بعض العناصر وبعضها الآخر، فلا يوجد

حدّاً فاصلاً بينهما، وإنما تُفصد بالتقسيم مراعاة الصفات المشتركة بينهما.

وتشتمل عناصر البناء على العقود والنوافذ والأقبية والقباب والمآذن أو المنارات،

والمحاريب، بينما تضم عناصر الجمال المقرنصات والدلايات وأنواع الرقش العربي،

والخط العربي، كذا القناديل.

ونعرض فيما يأتي للسمات المهمة التي تميز عناصر العمارة الإسلامية من منظور

تطبيقات هندسة الأشكال.

عناصر البناء

١ - العقود

نظراً لاهتمام المسلمين بالعقود بوجه خاص وإضافاتهم المبتكرة فيها، كان من

المناسب أن نعرض لتطور العقد قبل أن نلج في أشكاله.

تطور العقود

إنّ الدارس لتطور العقود يجد أن اجتياز الفتحة المطلوب تغطيتها قد بدأ باستخدام

طبقات من أعتاب أفقية متدرجة في البروز من طرفي الفتحة بحيث يتزايد بروزها إلى

الداخل طبقة تلو طبقة حتى تكتمل تغطية الفتحة، ويعزى هذا النوع من التغطية إلى أهل

الصين.

ومن الواضح أن هذا الشكل الإنشائي المماثل للعقد ليس إلا عقداً مزيفاً حيث إنه يتركب في الواقع من مجموعة من الأعتاب الكابولية (Catilever Beams) أو الطنافية (Corbeled) يرتكز بعضها على بعض، ومن ثم فإن حالة التحميل فيها تختلف تماماً عن تلك التي نجدها في العقد الحقيقي الذي يتركب من كتل حجرية يتشكل كلٌّ منها على هيئة وحدة إسفينية (مسلوبة الجانبين)، بحيث إنها تكوّن بعد رصها نصف حلقة دائرية (شكل 5).

ويعتبر التوصل إلى فكرة العقد الحقيقي نقطة تحول مهمة في تطور الإنشاءات الحجرية.

أ - العقود المفردة (شكل 5)

وتشمل هذه العقود الأشكال الآتية على سبيل المثال لا الحصر:

1- Semi-Circular Arch

1- العقد نصف الدائري

٢ - القوس المكسور أو

2- Two-Centred Arch or Pointed Horse- Shoe Arch

العقد الحدودي المدبب

3- Horse – Shoe Arch

٣ - العقد الحدودي:

- Rounded

- مدوّر

- With Alternative Vousoirs

- ذو فقرات متناوبة

4- Lobed Arch or Multi- foil Arch

٤ - العقد المُفصّص

5- Honey comb Arch or Arch With Squinches

٥ - العقد المقرنص (شكل 17)

6- Arch With Stalactites

٦ - العقد ذو الدلايات

هذا وتتصدر العقود العربية مجموعة أشكال العقود، وتوصف العقود العربية إما بكلمة: Moorish أو بكلمة: Saracenic، نسبة إلى المسلمين أثناء وجودهم بالأندلس⁽¹⁾.

هذا وقد ظهر العقد الحقيقي أول ما ظهر في بلاد ما بين النهرين خلال الحضارة البابلية منذ حوالي ثلاثة آلاف سنة قبل الميلاد، وجدير بالذكر أن التغطية بعقد حقيقي تتفوق بلا شك على التغطية بالأعتاب الأفقية البسيطة، وذلك لسببين: أولهما: أن العقد يمكنه تغطية فتحات أوسع.

وثانيهما: أنه يمكن للعقد أن يتحمل قوى أكبر من تلت التي يُطبقها العتب الأفقي، ويرجع ذلك إلى أن الضغط السفلي على المحيط الخارجي للعقد يؤدي إلى تضاعف فقرات العقد بعضها ببعض، ومن ثمّ إلى زيادة تماسكها.

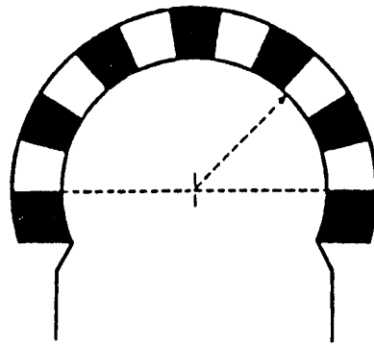
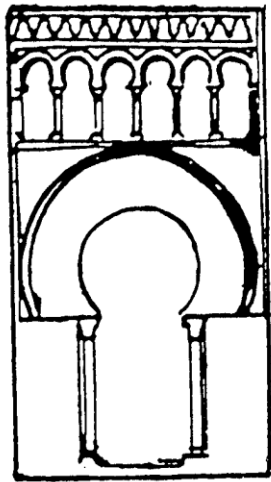
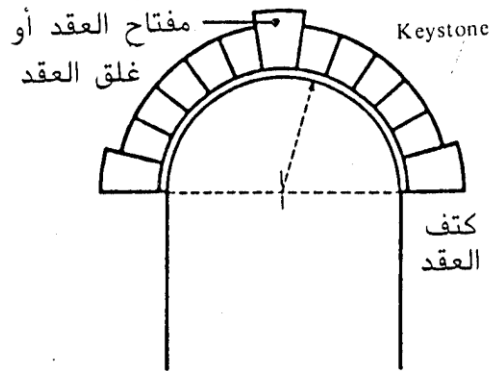
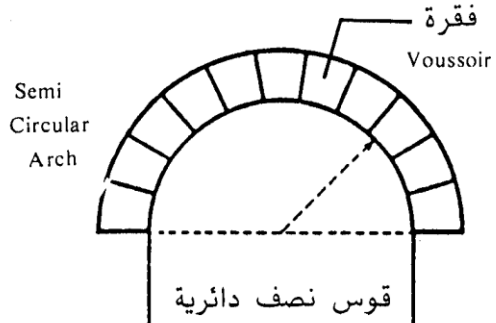
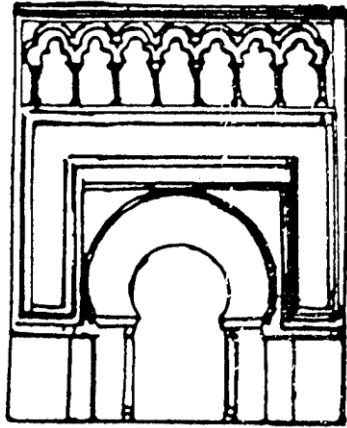
هذا وتجدر الإشارة هنا أيضاً إلى أن تاج العقد هو أضعف موضع فيه، لذا كان لزاماً على المصمم أن يُراعي أن الحمل على التاج يجب أن يقلّ عن الحمل الذي تطيقه أي من الفقرات، ويمكن القول عموماً إنّ العوامل ذات التأثير الأساسي على العقد تشمل زاوية التاج (مدى السلبية)، كذا عمق أسطح الارتكاز للفقرات.

أشكال العقود في العمارة الإسلامية

أولى المسلمون عناية كبيرة للعقود، سواء المفردة منها أو المجمعّة، وأبدعوا في تشكيلها وزخرفتها أيّما إبداع، ونعرض فيما يلي لبعض نماذج من العقود التي ظهرت في العمائر الإسلامية (شكل 5، 6).

(1) عن كتاب

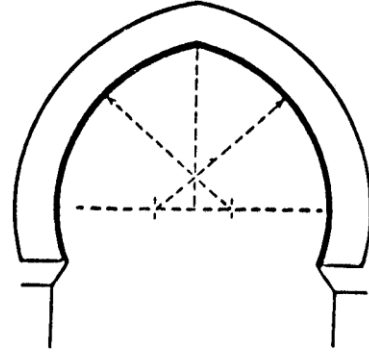
Sir Banister Fletcher's "A History of Architecture" University of London. 1975. p. 1310.



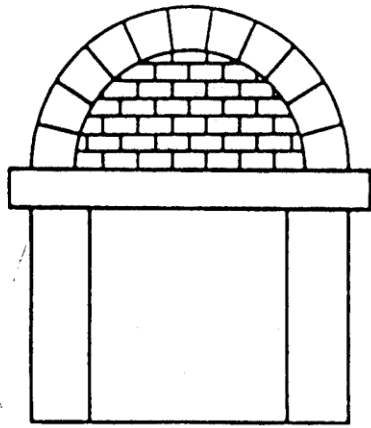
قوس حدّوية ذات فقرات متناوبة

Horse - Shoe Arch With alternative Voussoirs

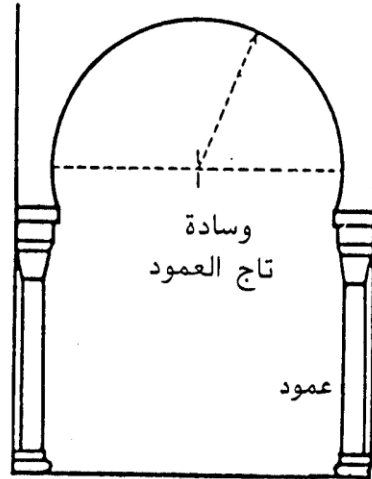
شكل (٥) - أمثلة للعقد نصف المستدير والعقد الحدوي.



قوس مكسورة
Two - Centred
Arch =
Pointed
Horse - Shoe
Arch



عُضادة



قاعدة

شكل (٦) - أمثلة للعقد الحدوي المدبب والمستدير، كذا للعقد المقرنص وللعضادة.

ب- العقود المجمعّة

تتخذ العقود المجمعّة - وهي سمّةٌ من سمات العقود العربية - عدّة أشكال منها:

- 1- Intersecting Arches 1- العقود المتقاطعة
- 2- Joined Arches 2- العقود المتشابكة
(شكل 7)
- 3- Lapping Arches 3- العقود المترابكة
(شكل 7)
- 4- المسكبة (شكل 7)

هذا وقد اقتبس الغرب كثيراً من أشكال العقود التي ظهرت في الحضارة الإسلامية، كالعقد الحدودي وتنويعاته والعقد المدبب، والعقد المفصص على سبيل المثال لا الحصر.

النوافذ

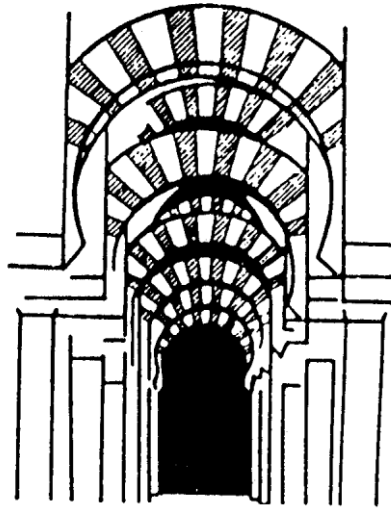
تجدر الإشارة هنا إلى أن المسلمين قد استعملوا في عمائرهم ثلاثة أنواع من النوافذ

هي:

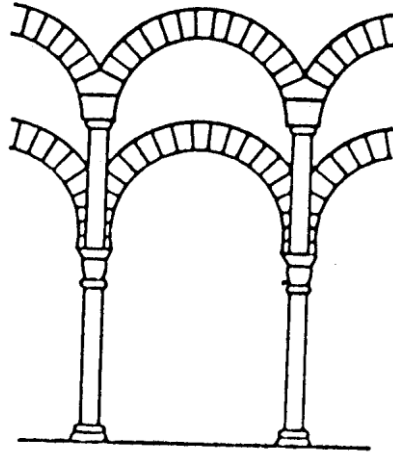
- النوافذ المفتوحة (Through Windows)
- النوافذ العمياء (Blind Windows)
(غير النافذة)
- النوافذ المتوأمة (Twin Windows)

القباب

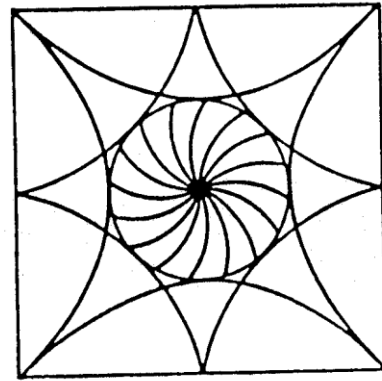
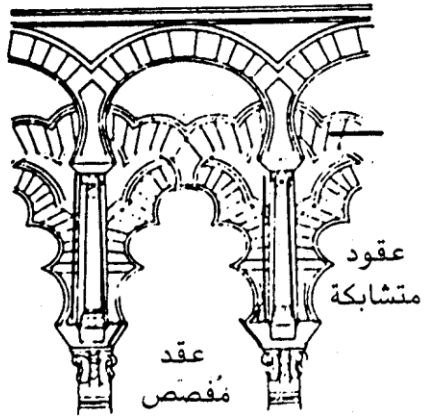
لعلّ المحاولة الناجحة الأولى لتغطية المباني بالقبّة ترجع إلى القرن الخامس قبل الميلاد، إذ أنه قد عُثِر في دير أبي النجا بمصر على قاعدة مربعة أنشئت عليها قبة مستديرة، وكان أسلوب الانتقال من الشكل المربع إلى الشكل المستدير باستخدام مداмик، حيث يُحمَل قالبُ طوبٍ على ركن المربع، ثم تأتي الطوبة الثانية لتبرز عن الأولى قليلاً إلى الداخل، وهلم جرا، لنصل إلى شكل قريب من الاستدارة التي تُنشأ عليه القبة.



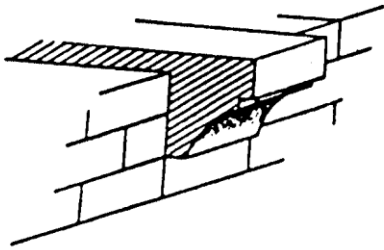
مَسْكَبَة



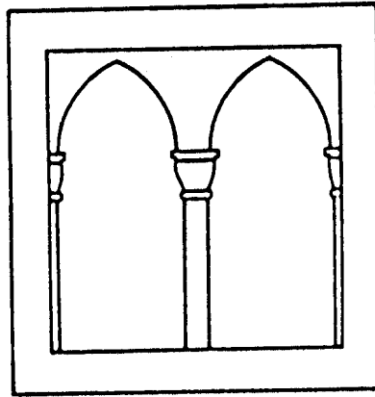
عقدان متراكبان



قبة على تعاريق



وصلة حاملة



نافذة متوأمة

شكل (٧) - أمثلة للعقود المتراكبة والمتشابكة والمسكبة، وقبة على تعاريق ونافذة متوأمة.

وتعتبر قبة مسجد الصخرة بالقدس من أولى القباب التي استخدمت في العمائر الإسلامية، وكان ذلك عام 72 هـ = 691م، وتقوم القبة على بناءٍ مئّمن الشكل يتكون من أعمدة وأكتاف، وتضم الرقبة الأسطوانية للقبة ست عشرة نافذة.

ولقد كانت عملية تغطية الفتحة المربعة بقبةٍ مستديرة تمرُّ بمرحلتين هما:

مرحلة الانتقال الأولى: من الشكل المربع إلى الشكل المئّمن، وذلك بقصد إنقاص الزوايا الجانبية.

ومرحلة الانتقال الثانية: من الشكل المئّمن إلى الشكل تام الاستدارة، وقد تحقق ذلك باستخدام مقرنصات (Squinches) تُشبه المحار، أو مثلثات كروية مقلوبة في أركان المئّمن.

المآذن - المنارات

لم تكن هناك على عهد رسول الله الكريم أية مآذن، حيث كان يُكتفى بالأذان بالارتقاء على ظهر أو على أعلى بناء حوله.

وكلمة المئذنة تنتسب إلى الأذان للصلاة، وكمرادف لهذه الكلمة استعملت كلمة

المنارة باعتبار أن المآذن الأولى في مصر وفي شمال إفريقيا (على شاطئ البحر الأبيض المتوسط)، قد شُيّدت على منوال الإسكندرية التي كانت تُضاء عند قمتها لتهدّي السفن، فضلاً عن أن كلمة المنارة ربما تكون قد استخدمت في معنى مجازي أيضاً هو إنارة القلب بالإيمان عند الدعوة من على المنارة للصلاة، فهي بمثابة وسيلة الناس بنور الدين.

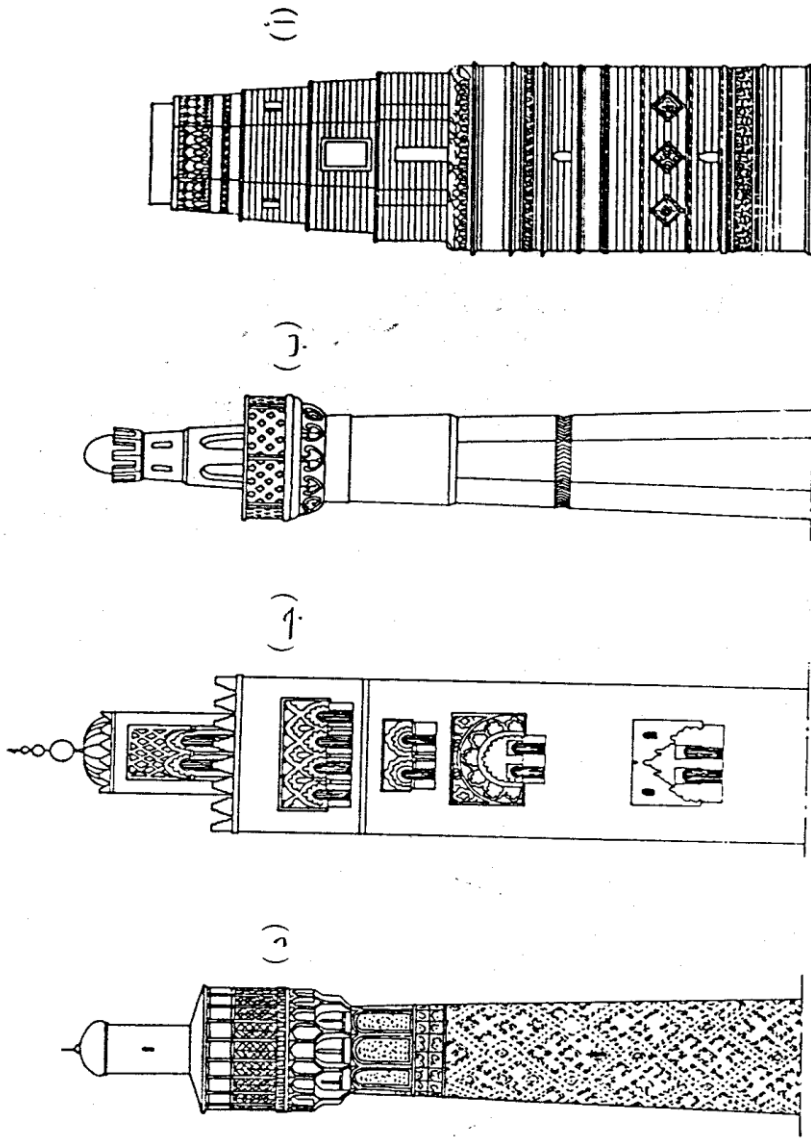
ولقد اقتبست المنارات أو المآذن الأولى في الإسلام أشكال الأبراج القديمة ذات

الهيئة المربعة، كما امتد الاقتباس إلى منارة "فاروس" (Pharos Lighthouse) بالإسكندرية⁽¹⁾، التي تعتبر أول منارة ضخمة في العالم، وقد بُدئ في تشييدها على جزر

(1) عاش الإسكندر الأكبر - مؤسس مدينة الإسكندرية - في الفترة من 356 ق.م حتى سنة 323 ق.م، وأسس مدينة الإسكندرية سنة 331 ق.م. وقد احتلت الإسكندرية مركزاً حضارياً مرموقاً في العالم القديم، ففي القرن الأول قبل الميلاد كانت الإسكندرية أكبر مدن العالم، وكان ذلك في عهد أوغسطس (Augustus) الذي حكم في الفترة الممتدة من 63 ق.م. حتى سنة 14م.

فاروس بالقرب من ساحل مدينة الإسكندرية في حوالي سنة 283 قبل الميلاد، واستغرق بناؤها حوالي إحدى عشرة سنة، وترتفع المنارة حوالي 111 متراً فوق قاعدتها المربعة، وتحمل عند قمته أضواء لإرشاد السفن، وقد دُمّرت منارة الإسكندرية بفعل زلزال، وذلك سنة 1307 أو 1326م، وبذلك تكون هذه المنارة قد صمدت حوالي سنة عشر قرناً من الزمان، وهي آخر عجائب الدنيا السبع التي لم يبق منها في الوقت الحاضر سوى الهرم الأكبر بالجيزة بمصر.

يبين الشكل (8) بعض المراحل التي مرّت بها عمارة المآذن من القاعدة المربعة إلى الأشكال ذات الزخارف البديعة.



شكل (٨) نماذج من المنارات / المآذن في مدن مختلفة

من العالم الإسلامي

(أ) المنارة الغربية لمسجد الحاكم بأمر الله بالقاهرة. (ب) منارة مسجد الكتبية بمراكش.
 (ب) منارة المسجد الجامع بنابين بایران. (Nayin, Iran). (د) منارة مسجد شحار باغ بأصفهان (Chahār Bāgh Mosque).

العناصر الجمالية

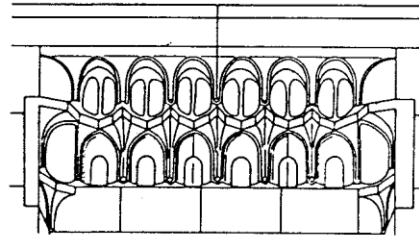
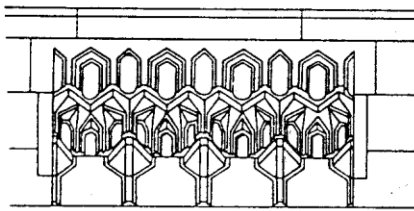
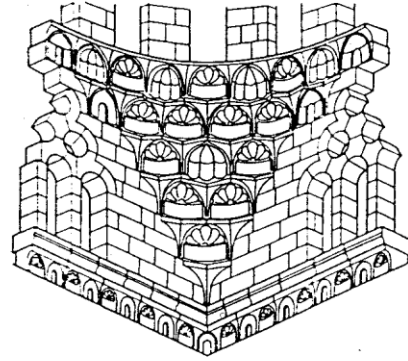
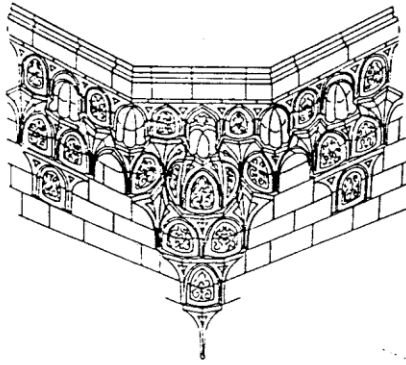
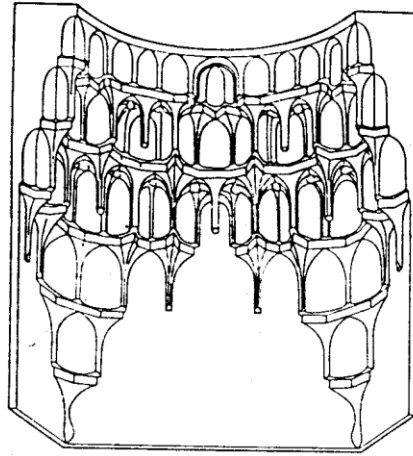
المقرنصات - الدلايات

تُعزى إلى عرب الشام فكرة استخدام المثلاث الكروية للانتقال من البناء المربع إلى القبة تامة الاستدارة، كما يُنسب إلى أهل العراق أسلوب تحويل المربع إلى دائرة (تُغطى بقبة) بوضع حنية في الأركان، منها حنية المقرنص التي كانت تتخذ هيئة تجويفٍ ذي رأس من قبة نصف دائرية.

ولقد استخدمت الدلايات (Stalactites) أو الرؤوس المتدلّية، التي تشبه خلايا النحل (honeycomb) في تغطية البناء المربع عند اتصاله بقبة مستديرة، المحارِب والعقود، شكل (9).

الرقش العربي

إن تعاليم الدين الإسلامي الحنيف تحضّ على الابتعاد عن نحت التماثيل وعمل الرسوم الآدمية والحيوانية، مما حدا بالفنان المسلم إلى الاتجاه إلى ابتداع الزخارف الهندسية (Geometrical)، والزخارف النباتية (Floral)، وهو الفن الذي عُرف بفن الرقش العربي: الأرابيسك (Arabesque)، وقد انضم إلى هذه الزخارف عنصر الخط العربي (Calligraphy) بأشكاله الجمالية المتباينة، وذلك منذ القرن الثاني للهجرة.



شكل (٩) - مقرنصات مركبة شبيهة بخلايا النحل، داخلية وخارجية،
مكوّنة من مثلثات كروية (Spherical Triangles).

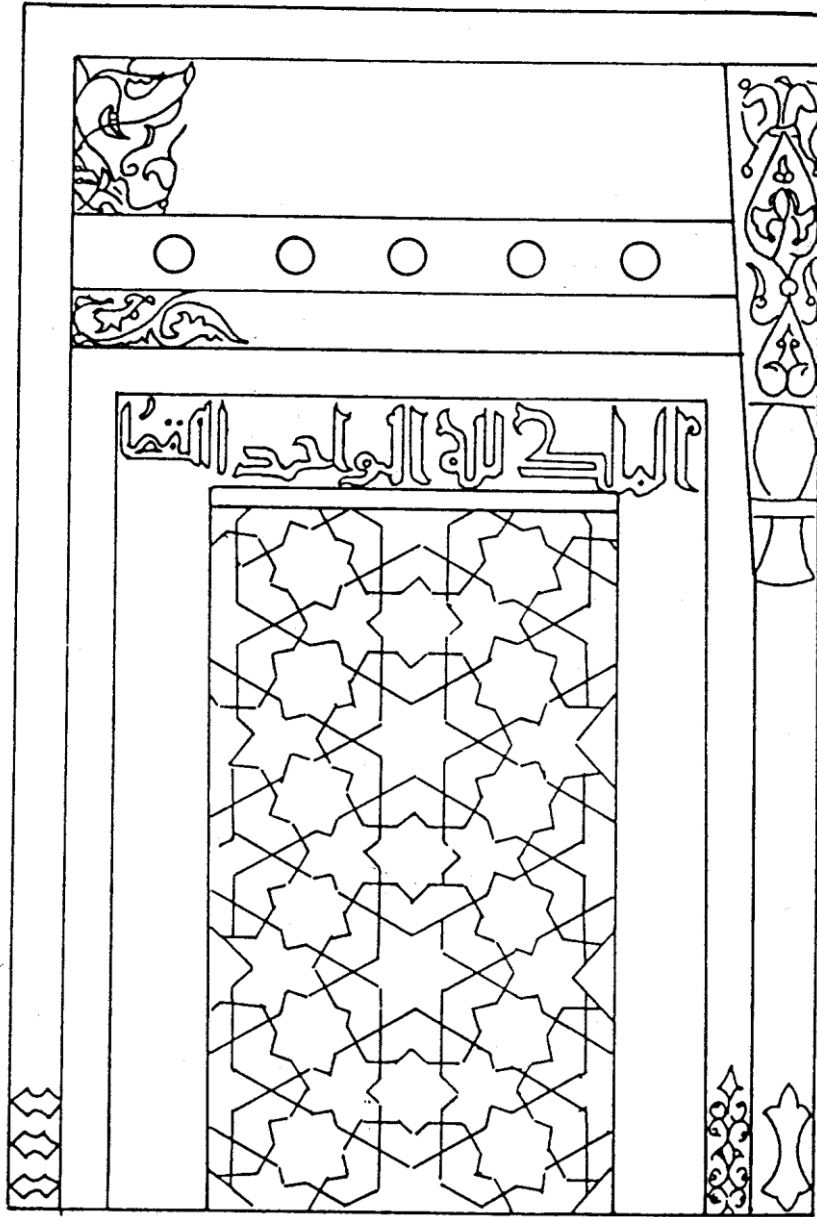
الزخارف الهندسية

إنّ هذا المنحنى الذي اتّبعه الفنان المسلم يتفق تماماً مع الدعوة إلى البعد عن تصوير الإنسان والحيوان، وقد أبدع فيه الفنان المسلم أيّما إبداع، حيث استعان بالأشكال المضلعة المنتظمة من مربعات ومثمنات ومسدسات وغيرها، كذا بالدوائر المتشابكة والأشكال الهندسية عموماً، وقد نتجت عن ذلك تكوينات هندسية نجومية وكوكبية متعددة غاية في الجمال والإبداع، الشكلان (10)، (11).

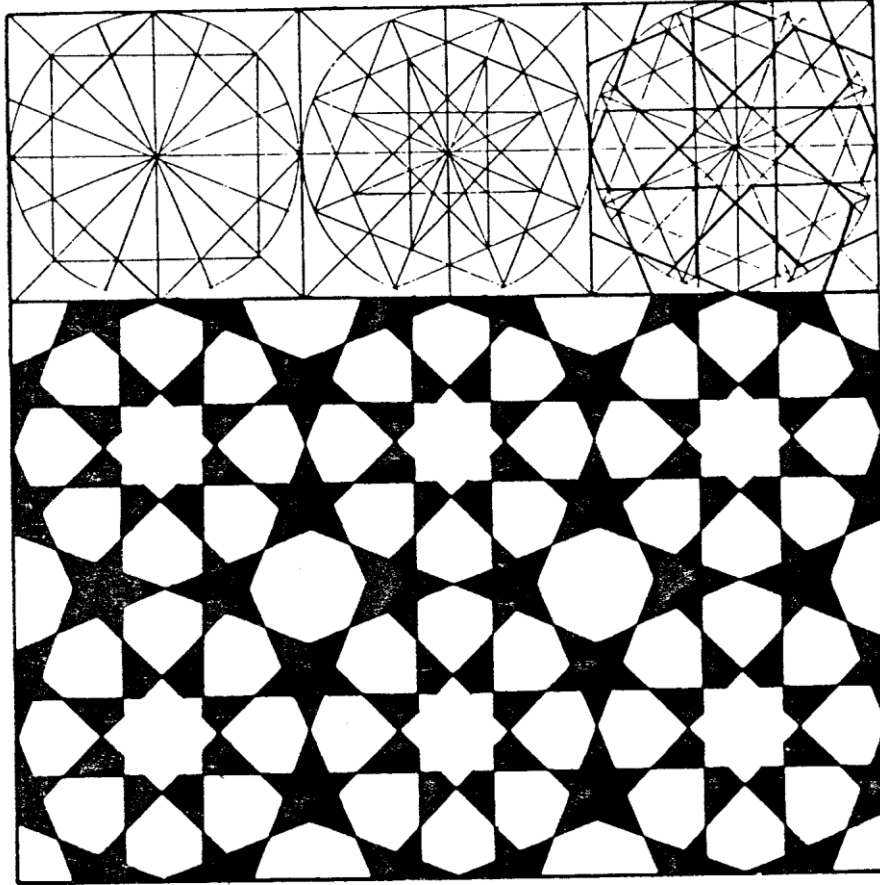
وتدلّ الدراسة المتعمقة للزخارف الهندسية الإسلامية وتحليل عناصرها، على أن الإبداع في هذا المجال لم يكن وليد موهبةٍ طبيعيةٍ فذة لدى الفنان، وإنما ثبت أن مرد ذلك يعود إلى الإلمام الوافر بأصول هندسة الأشكال أي الجومطريا (Geometry)، تلك الأصول التي كانت تنتقل من أساتذة هذه الصناعة إلى طلبتها وممارسيها.

الزخارف النباتية

تعتمد هذه الزخارف على رسم أوراق الأشجار وسيقانها وأزهارها بأسلوب كلي أو جزئي، وبطريق منفرد أو متراكب أو مضفرّ، وقد تتخلله زخارف هندسية أو خطوط عربية، ويلاحظ أن الزخارف النباتية تطول سيقانها وأغصانها مما يبعد بها - عن قصد - عن الطبيعة.



شكل (١٠) - تخطيط زخارف باب بعناصر هندسية ونباتية وخطية



شكل (١١) - تسلسل الإنشاءات الهندسية لعمل زخارف ذات مضلعات ونجوم
متمننة.

مثال تطبيقي من علم المساحة
قياسات الأرض عبر الحضارات المتعاقبة (*)
القيم التقديرية في الحضارة الإغريقية

المصدر	قطر الأرض	محيط دائرة نصف النهار	درجة من درجات خط نصف النهار One Degree of Latitude
عن رواية أرسطو ^(١) (384-322 ق.م)	23554.876 كيلو متراً	74 000 400 000) كيلو متراً (استطاديين)	205.5555
إغريقي مجهول الاسم ^(٢)	1766.157	55 500	154.16666
إراتوستين ^(٣) Eratosthenes (194-276/5 ق.م)	14839.572	46 620	129.500
عن الكندي ^(٤) (873-801 م)	15068.095 7636 8/3 ميل عربي)	47 337.927	131.49424

(*) راجع "مسيرة الحضارة من شك التجريد إلى يقين التجريب" للدكتور جلال شوقي،
نشر مجلة عالم الفكر بالكويت، المجلد التاسع عشر، العدد الرابع، سنة 1989م،
الصفحات: 173-198.

-
- (١) كتاب "علم الفلك: تاريخه عند العرب في القرون الوسطى، لكزولو نلينو، ص: 268.
(٢) نفس المرجع السابق، ص: 269.
(٣) نفس المرجع السابق، ص: 274.
(٤) "رسائل الكندي الفلسفية"، الجزء الأول، ص: 256.

المصدر	قطر الأرض	محيط دائرة نصف النهار	درجة من درجات خط نصف النهار
القياس الأول فلكيو المأمون ^(١) (813-833م)	كيلو متراً 2718.773	كيلو متراً 39957.3	كيلو متراً 110.9925 (4/1 ميلا عربيا)
القياس الثاني	12888.357	40490.064	112.4724 (57 ميلا عربيا)
عن سند بن علي، وعلي بن عيسى وعلي بن البحتري ^(٢)	13129.615	41248	114.57777
أبو الريحان البيروني ^(٣) (974-1051م)	12682.711	39844.008	110.6778
عن قاضي زادة الرومي (ت: 1412م) في شرحه على "الملخص في الهيئة" لمحمود الجعيني (ت: 745 هـ = 1345/4م) ^(٤) وميرك البخاري في شرحه على "حكمة العين" للقزويني	12810.014 (=2164 فرسخا)	40243.939	111.78871
عند خط الاستواء الفلكي الألماني ^(٥) Friedrich Wilhelm Bessel عند المدار القطبي عام 1843م (1784م - 1846م)	12754.79431 12712.15793	40070.36811 40003.42304	111.679782 110.563790
القيم المعاصرة ^(٦) عند خط الاستواء عند المدار القطبي	12 756 12 714	40074.349 39942.302	111.31735 110.95083

(١) نلينو، ص: 281-287.

(٢) نلينو، ص: 289.

(٣) عن كتابه "غرة الزيجات" وكتابه "الإسطرلاب".

(٤) نلينو، ص: 265.

(٥) نلينو، 302، 303.

(٦) The Guinness Book of Answers 1985 P. 31.

2- الهندسة الحسية أو العملية (التطبيقية)

2.1- الأصول النظرية

(من العلم الطبيعي)

عرّف ابن خلدون "الطبيعيات" في مقدمته إذ يقول ⁽¹⁾: "وهو علم يبحث عن الجسم من جهة ما يلحقه من الحركة والسكون... وينظر في الأجسام السماوية والعنصرية وما يتولّد عنها... وما يتكوّن في الأرض من العيون والزلازل، وفي الجو من السحاب والبخار والرعد والبرق والصواعق وغير ذلك، وفي مبدأ الحركة للأجسام..."

فالحركة هنا تفيد التغيّر والتولّد في أعم صورة، وهذا يشمل بالطبع سكون الأجسام من حيث موضعها، وحركة الأجسام من حيث قطعها للمسافة وانتقالها من موضع وحال إلى موضع وحال أخرى، ومن ثمّ فإنّ الدراسات الخاصة بالميكانيكا علمي السكون والحركة) تنضوي تحت لواء العلم الطبيعي فيبحث عنها في كتب الفلاسفة والعلماء على حد سواء من أمثال يعقوب بن إسحق الكندي، وأبي بكر الرازي، وإخوان الصفا، والحسن بن الهيثم، والشيخ الرئيس ابن سينا، وأبي الريحان البيروني وبهمنار بن المرزبان، وابن ملكا البغدادي، والإمام فخر الدين الرازي، والمحقق نصير الدين الطوسي، ونجم الدين الكاتبي القزويني.

2.11- علم السكون (الاستاتيكا)

ترد أقدم النصوص عن علم السكون في كتابات الأفلاطون (427-347 ق.م.)، حيث يقول في كتابه الموسوم تيمايوس (Timaios or Timaeus):

(1) طبعة دار الفكر صفحة 492.

"علم الاستاتيكا هو علم وزن الثقل والخفيف، فإنَّ الجسم يكون في حالة اتزان عندما تؤثر عليه متضادتان، تماماً كما يحدث للميزان عندما يتساوى ثقلاً كفتيه"
ومن هنا جاءت تسميته "بعلم الأثقال"

وترجع فكرة مركز الثقل (النقطة التي يمكن اعتبار وزن الجسم مركزاً عندها) للعالم الإغريقي أرشميدس Archimedes (287-212 ق.م)، إليه يرجع الفضل في مبدأ العتلة أو الرافعة، كذا فكرة الثقل النوعي.

القوة الطبيعية (قوة التثاقل)

عرف علماء العرب والمسلمين قوة التثاقل الناشئة عن جذب الأرض للأجسام، وأطلقوا عليها تسمية "القوة الطبيعية" كذا "الميل الطبيعي"، وأدخلوها في اعتبارهم في دراسة الأجسام المتحركة سواء أكانت هذه الحركة طبيعية أم قسرية.

يقول أبو الفتح عبد الرحمن المنصور الخازني (كان حياً سنة 515هـ = 1121م) في كتابه "ميزان الحكمة":

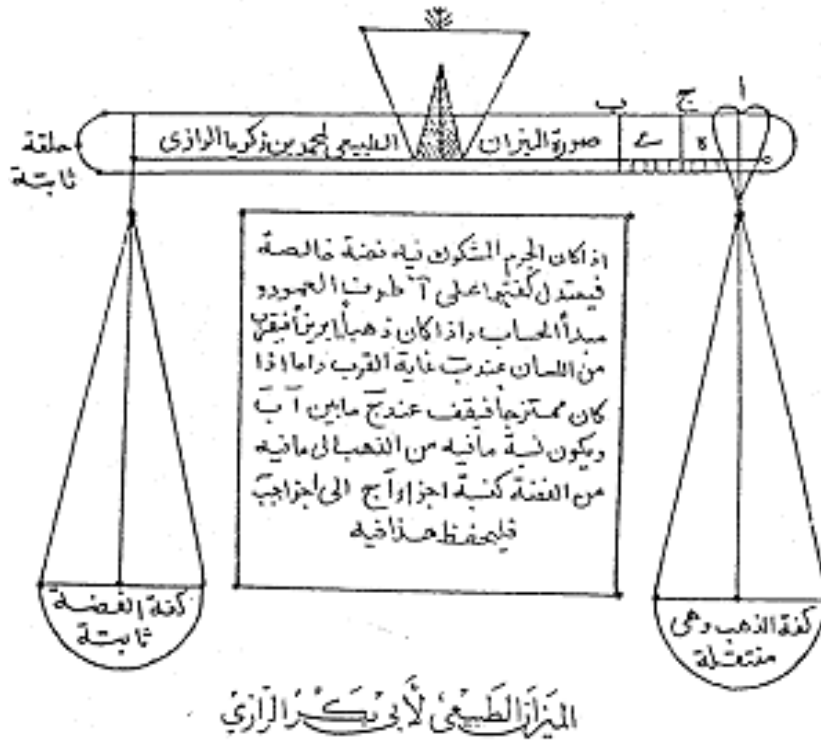
"إنَّ الأجسام الساقطة تنجذب نحو مركز الأرض، وإنَّ اختلاف قوة الجذب يرجع إلى المسافة بين الجسم الساقط وهذا المركز".

يتبين من هذا النص أن علماء العرب والمسلمين قد وقفوا على وجود الجاذبية الأرضية.

الثقل النوعي

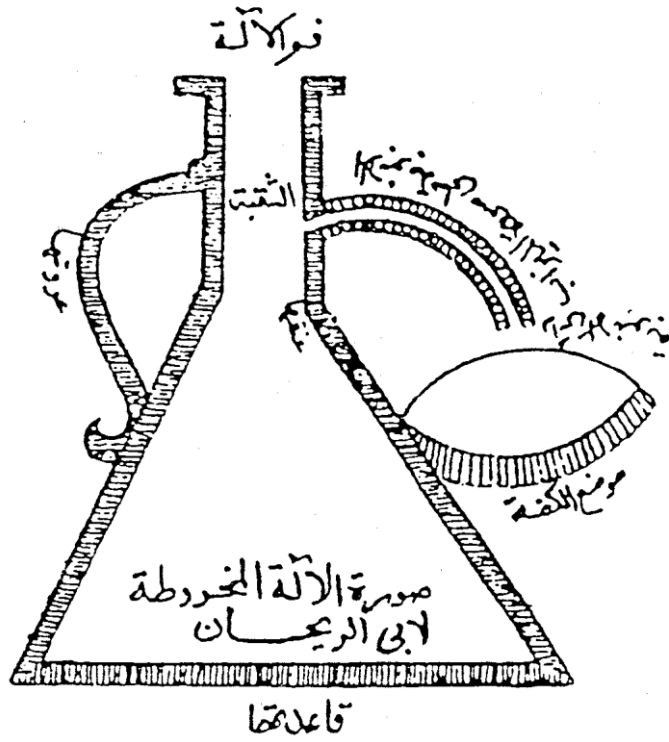
أخذ العرب فكرة الثقل النوعي عن أرشميدس، وعرفوها بأنها النسبة بين وزن حجم معيّن من المادة إلى وزن الحجم نفسه من الماء.

ولقد أبدع علماء العرب والمسلمين في تعيين القيم العددية للثقل النوعي مستخدمين أنواعاً مختلفة من الموازين⁽¹⁾، منها ميزان أبي بكر محمد بن زكريا الرازي، شكل (12)، والآلة المخروطة لأبي الريحان البيروني، شكل (13)، والقسطاس المستقيم لعمر الخيامي شكل (14)، وميزان الحكمة أو الميزان الجامع لعبد الرحمن الخازني، شكل (15).



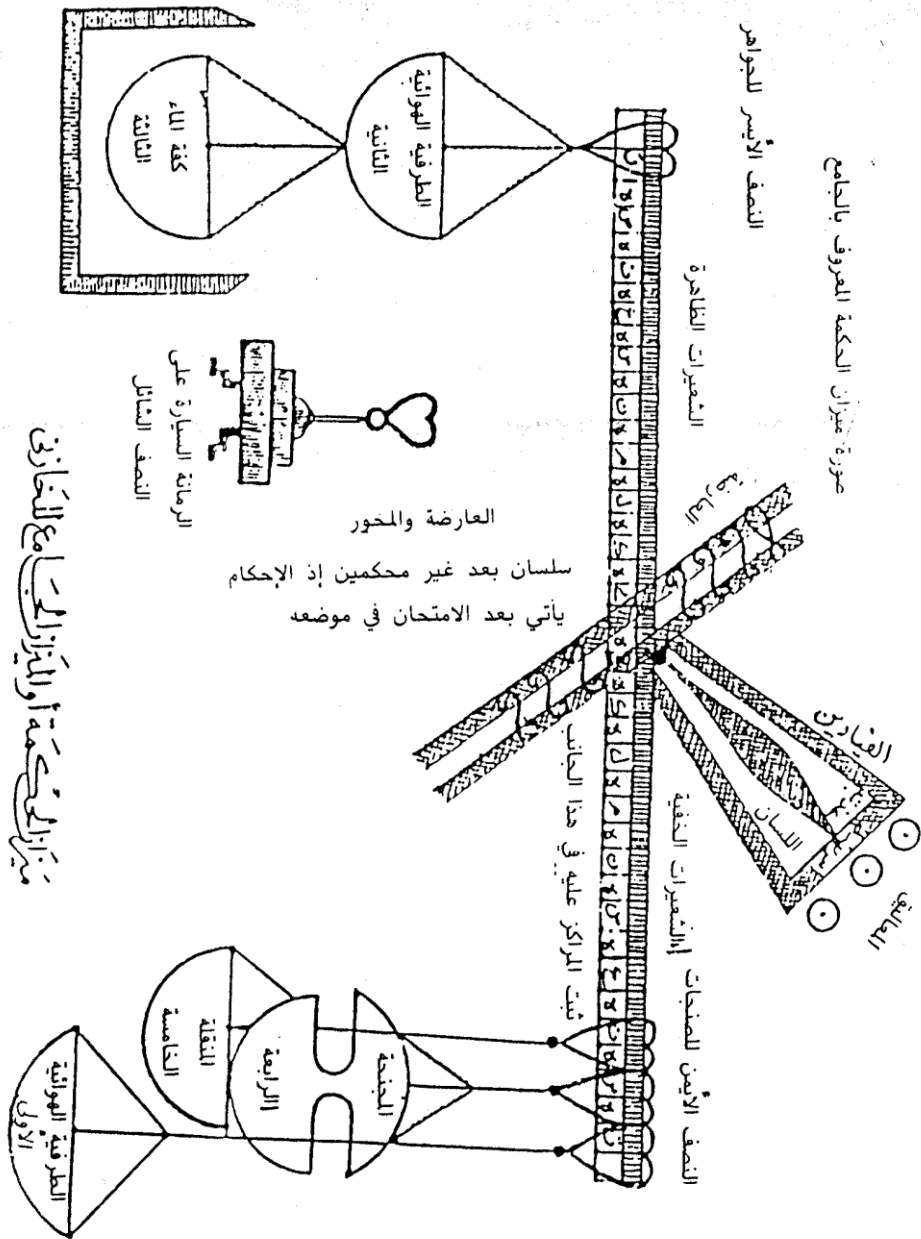
شكل (١٢) - الميزان الطبيعي لأبي بكر الرازي عن كتاب «ميزان الحكمة» للخازني.

(1) راجع «مسيرة الحضارة من شك التجريد إلى يقين التجريب» للدكتور جلال شوقي، نشر مجلة عالم الفكر بالكويت المجلد التاسع عشر العدد الرابع سنة 1989م الصفحات 173-198.



الآلة المخروطية لأبي الريحان البيروني

شكل (١٣) - الآلة المخروطية التي
استعملها البيروني في تعيين الثقل
النوعي للمعادن.



شكل (١٥) - الميزان ذو الكفات الخمس لعبد الرحمن الخازني.

ويبين الجدول رقم (1) نتائج قياسات البيروني ⁽¹⁾ للثقل النوعي لبعض المعادن منسوبة أولاً إلى الذهب وثانياً إلى الماء، كما يشتمل الجدول على أحدث ما حصلنا عليه من قيم الثقل النوعي لهذه المعادن.

القيم الصحيحة للثقل النوعي منسوبة إلى الماء	قيم البيروني للثقل النوعي		المعدن
	منسوبة إلى الماء على أساس الوزن النوعي للماء = 1	منسوبة إلى الذهب على أساس الوزن النوعي للذهب = 100	
19.3-19.258	19	100	الذهب
13.557	13.49	71	الزئبق
11.445-11.389	11.437	60.125	الرصاص
10.474-10.428	10.377	54.625	الفضة
8.92-8.60	8.859	46.625	الصفير
8.726-8.667	8.676	45.666	{ النحاس الأحمر }
	8.526	44.875	{ توتيا النحاس }
7.79-7.6	7.92	41.72	الحديد
7.291	7.15	37.63	القصدير

قيم الثقل النوعي للمعادن كما عينها البيروني بالتجربة.

(1) راجع "دراسات البيروني في الطبيعيات" للدكتور جلال شوقي أبحاث الندوة العالمية الأولى لتاريخ العلوم عند العرب، حلب: 5-12 إبريل عام 1976 جامعة حلب معهد التراث العلمي العربي الجزء الأول، الأبحاث باللغة العربية عام 1977 الصفحات 251-273.

وبمقارنة القيم التي توصل إليها البيروني بقيم الوزن النوعي التي تم تحديدها بالإمكانات المعاصرة، نجد أن قيم البيروني قريبة جداً من القيم الصحيحة بالرغم من أن الأجهزة التي كان يستعملها في زمنه لم تكن لتقارن بالأجهزة الحديثة من حيث الدقة، الأمر الذي يشهد للبيروني بالامتياز والإعجاز.

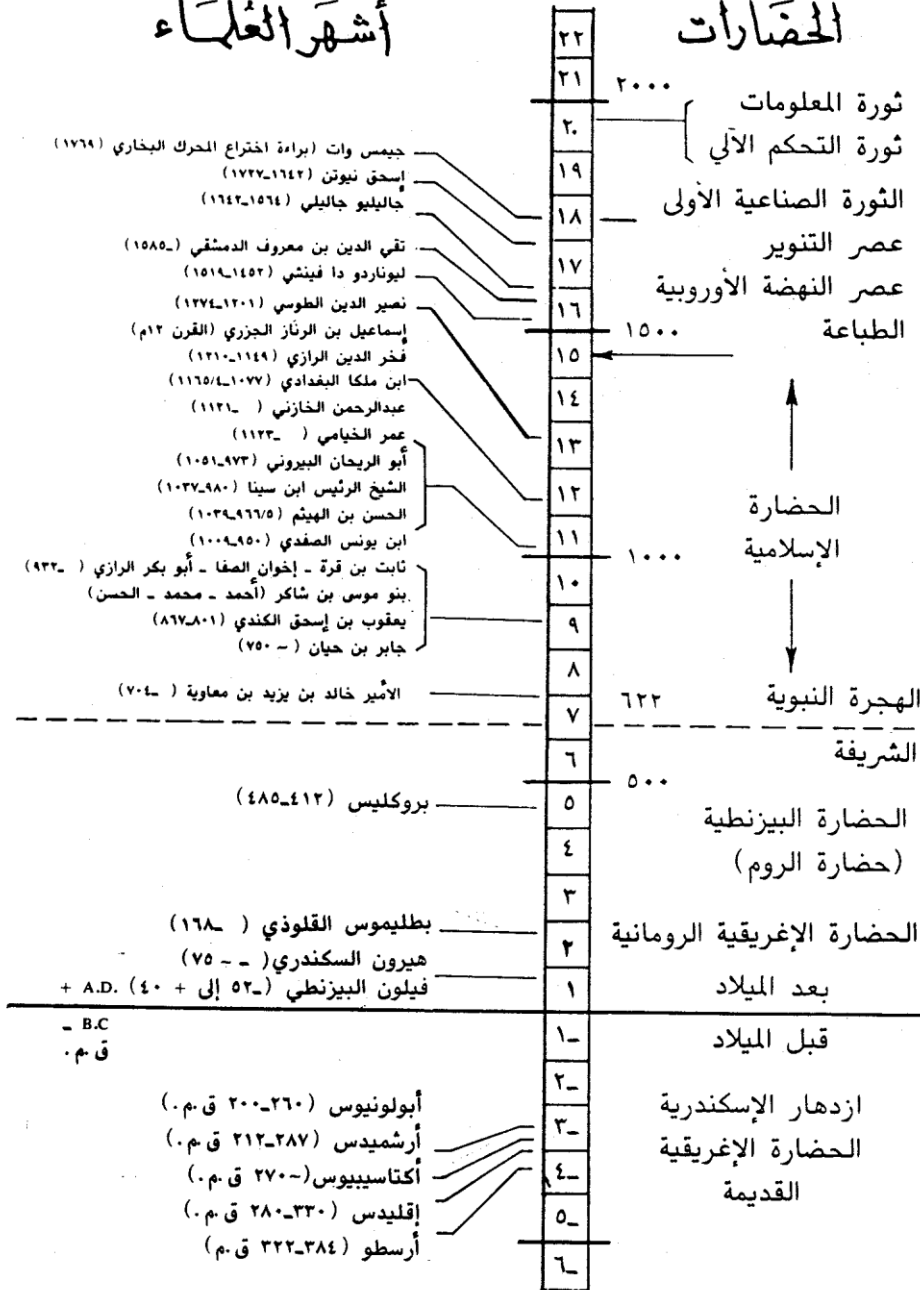
مصادر هندسة الحركات في الحضارة الإسلامية

تعتمد هذه الدراسة الوثائقية لصناعة الآلات عند العرب والمسلمين على تحقيق المصادر الأصلية ودراستها وتحليلها وتقويمها، ألا وهي المخطوطات العربية التي عرضت لهذا الجانب من النشاط الهندسي بدءاً بما أخذه العرب والمسلمون عن الحضارات التي سبقتهم (شكل 16)، لا سيما حضارة الإغريق وحضارة اليوم (البيزنطيين)، وما توصلوا إليه من مفاهيم صحيحة وأفكار أصلية، وما قدموه وأضافوه من ابتكارات عظيمة.

ومن ثم فإن الشق الأول من هذه الدراسة يقدم عرضاً لأهم رواد هندسة الحركات من علماء الإغريق (شكل 17)، وبياناً لأهم منجزاتهم، وذلك في الفترة الممتدة من القرن من القرن الرابع قبل الميلاد إلى القرن السادس بعد الميلاد، وهذه بلا شك هي نقطة البدء التي بدونها لا تصح دراسة جادة ومنصفة لصناعة الآلات، ذلك أن العرب والمسلمين اهتموا منذ صدر حضارتهم بإصدار الترجمات العربية لأهم كتب الإغريق والروم في هندسة الحركات وتحريرها وشرحها مثل جر الأثقال ورفعها، وعمل الساعات والآلات الروحانية (الآلات التي تعمل بالهواء أو البخار)، وميخانيقا الماء (الآلات التي تعتمد على حركة الماء)، وصناعة الأواني العجيبة التي تعتمد فيما تعتمد على فكرة المثعب، وعلى ضرورة عدم الخلاء، وحيل إخراج الماء إلى جهة العلو، وآلات الحرب، ورمي الحجارة، والمرايا المحرقة والآلات التي تتحرك من تلقاء ذاتها إلخ.

أشهر العلماء

الحضارات



شكل (١٦) - تعاقب الحضارات وبيان أشهر العلماء في الفترة الممتدة من ٥٠٠ إلى ١٦٠٠م.

هذا وقد استوعب علماء العرب والمسلمين التقنيات الإغريقية استيعاباً تاماً مكنهم ليس من حفظ تراث الإغريق فحسب، وإنما أتاح لهم ذلك لاستيعاب فرص التحسين والتطوير والإبداع والابتكار، وما أن حل القرن الثالث للهجرة (القرن التاسع الميلادي)، حتى أتت حركة الترجمة أكلها حين ظهر "كتاب الحيل" لنبي موسى بن شاكر، وهو باكورة إنتاج العرب والمسلمين في هندسة الحركات، وعن هذا المصنف يقول ابن خلكان في كتابه "وفيات الأعيان"^(١).

"وهو عجيّب نادر، يشتمل على كل نادرة، وقد يكون هو الكتاب الأول الذي يبحث في الميكانيك.

ولقد وقفت عليه فوجدته من أحسن الكتب وأمتعها، وهو مجلد واحد..."

كما يُنسب إلى بني موسى كتابٌ في الآلات الحربية^(٢).

ولعله يكون من المناسب هنا أن نعرض ببعض التفصيل لعبارة "الآلات الروحانية" التي أخذها علماء العرب والمسلمين عن علماء الإغريق، ويبدو أن هذه التسمية قد أطلقت على الحيل كلّها التي يعزب على المشاهد رؤية ما يبعث حركتها، وكأنما تقوم أرواح خفية بإحداث هذه الحركات، كما كان يحدث - في الحضارة الإغريقية - من فتح الأبواب (شكل 18)، وبعث الموسيقى وما إلى ذلك من الحيل، ويتضح ذلك من تعريف حاجي خليفة في كتابه "كشف الظنون عن أسامي الكتب والفنون"^(٣)، حيث يقول:

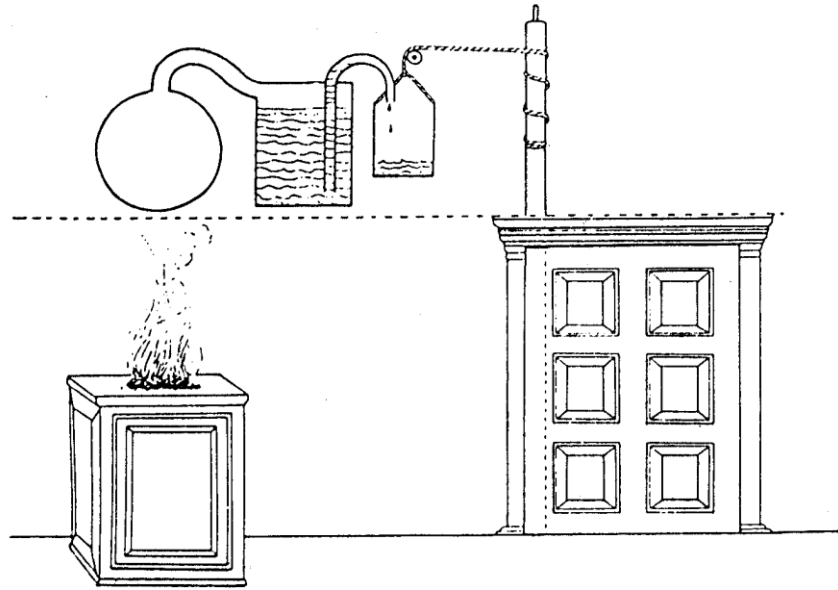
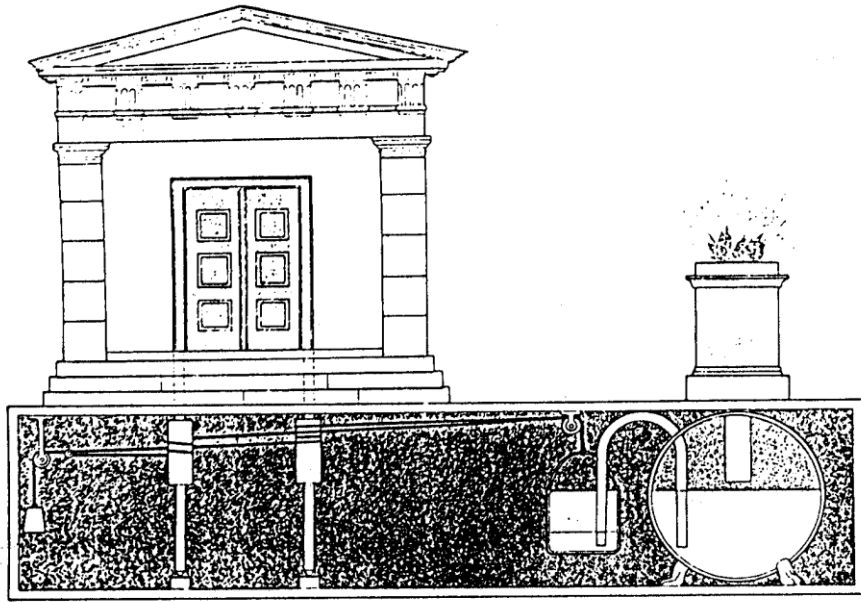
علم الآلات الروحانية المبنية على ضرورة عدم الخلا كقدح العدل، وقدح الجور.

أما الأول فهو إناء إذا امتلأ منها قدر معين يستقر فيها الشراب، وإن زيد عليها - ولو بشيء يسير - ينصبّ الماء، ويتفرغ الإناء عنه بحيث لا يبقى قطرة.

(١) المجلد الثاني صفحة 79.

(٢) كتاب "إرشاد القاصد إلى أسنى المقاصد، لابن ساعد الأنصاري، صفحة 112.

(٣) صفحة 148.



شكل (١٨) - الاستعانة بالتمدد بفعل الحرارة في إحداث حركة غير مرئية الفاعل أو التدبير، ومن ثم ظهرت - في رأيي - تسمية: «الآلات الروحانية» عند الإغريق.

وأما الثاني فله مقدار معين، إن صب فيه الماء بذلك القدر القليل يثبت، وإن ملئ يثبت أيضاً، وإن كان بين المقدارين يتفرغ الإناء. كل ذلك لعدم إمكان الخلا.

قال أبو الخير وأمثال هذه من فروع علم الهندسة من حيث تعيين قدر الإناء، وإلا فهو من فروع علم الطبيعي.

ومن هذا القبيل دوران الساعات، ويسمى علم الآلات الروحانية لارتياح النفس بغرايب هذه الآلات.

وأشهر كتب هذا الفن حيل بني موسى بن شاكر، وفيه كتابٌ مختصرٌ لِقَبْلين^(١)، وكتاب مبسوط للبديع الجزري^(٢). انتهى"
ونقدم فيما يأتي قائمة بأهم المصنفات العربية التي ألّفت في مجال "هندسة الحركات":

القرن 3 هـ = 9 م

1- كتاب "الحيل" لبني موسى بن شاكر.

القرن 4 هـ = 10 م

2- كتاب "مفاتيح العلوم" لمحمد بن أحمد بن يوسف الخوارزمي.

القرن 5/6 هـ = 12/11 م

3- كتاب "رفع المراكب الغارقة" لأمية بن أبي الصلت.

القرن 6 هـ = 12 م

4- كتاب "إعجاز المهندسين" للسموأل المغربي.

5- كتاب "الجامع بين العلم والعمل، النافع في صناعة الحيل" أو "كتاب في معرفة الحيل الهندسية" لبديع الزمان إسماعيل بن الرزاز الجزري.

6- كتاب "علم الساعات والعمل بها" لفخر الدين رضوان بن محمد الساعاتي (كذا وصف ساعة باب جهرون بدمشق).

(١) يقصد "Phlio or Philon of Byzantium" فيلون البيزنطي السكندري.

(٢) يقصد "بديع الزمان إسماعيل بن الرزاز الجزري".

القرن 10 هـ = 16 م

7- كتاب "الطرق السننية في الآلات الروحانية" لتقي الدين محمد بن معروف الراصد
الدمشقي.

أدوات جر الأثقال بالقوة اليسيرة

يشير محمد بن أحمد بن يوسف الخوارزمي (المتوفى سنة 387 هـ = 997 م)، في
مصنفه "مفاتيح العلوم"⁽¹⁾ إلى الأدوات المستعملة في عصره في مجال جر الأثقال فيذكر
منها ما يأتي:

البرطيس (لفظة يونانية بمعنى المحيطة) - المخل (لفظة يونانية) - البيرم/ البارم
(لفظة فارسية) - أبو مخليون - الكثيرة الرفع - الإسفين - اللولب.

وعن حيل جر الأثقال ورفعها يقول ابن خلدون في مقدمته⁽²⁾: "... وكذلك في جر
الأثقال بالهندام، فإن الأجرام العظيمة إذا شيدت بالحجارة الكبيرة يعجز قُدْرُ الفَعْلَةِ عن
رفعها إلى مكانها من الحائط، فيتحيل لذلك بمضاعفة قوة الحبل بإدخاله في المعالق من
أثقال مقدرة على نسب هندسية تصيرّ الثقل عند معاناة الرفع خفيفاً، فيتم المراد من ذلك
بغير كلفة.

وهذا إنما يتم بأصول هندسية معروفة متداولة بين البشر، ويمثلها كان بناء الهياكل
المائلة لهذا العهد التي يُحسب أنها من بناء الجاهلية، وأن أبدانهم كانت على نسبتها في
العِظَم الجسماني، وليس كذلك، وإنما تم لهم ذلك بالحيل الهندسية كما ذكرناه، فتفهم ذلك
والله يخلق ما يشاء سبحانه".

هذا وقد كان المهندسون في الحضارة الإسلامية على علم بما توصل إليه الإغريق
في الحيل، ولعل أهم ما كُتب في هذا المجال هو كتاب "شيل الأثقال" الذي ألفه هيرون

(1) تحقيق: إبراهيم الأبياري - طبعة دار الكتاب العربي، بيروت، الطبعة الأولى سنة 1404 هـ =
1984 م، صفحاتنا 269، 270.
(2) طبعة دار الفكر، صفحة 409.

السكندري أو إهرن الكبير (Hero or Heron of Alexandria) في حوالي القرن الأول للميلاد، ويبدو أن أهم حيل شيل الأثقال وجرها تمثلت في الأدوات الآتية:

١ - تعداد البكر (البكرات المتعددة)، وتمشية الخيط (أي الحبل) الجاذب فيها، شكل (19).

٢ - الدواليب متداخلة الأسنان، شكل (20).

٣ - اللوالب (لأعمال الجر).



شكل (١٩) - تطبيق فكرة مجموعة البكرات لرفع جسم ثقيل بواسطة قوة يسيرة، كما وردت في مخطوط تقي الدين بن معروف المخطوط بمكتبة شستر بيتي بدبلن - رقم: ٥٢٣٢، صفحة ٢٨.

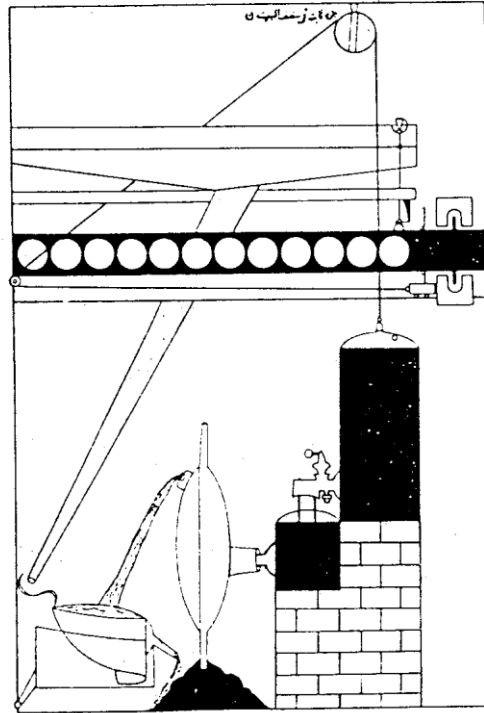
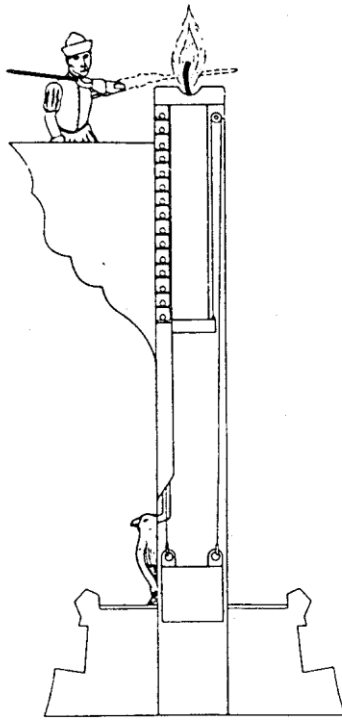
أمثلة لمنجزات الحضارة الإسلامية في مجال "هندسة الحركات"

تعرض الأشكال (21) حتى (28) أمثلة لآليات ووسائل متنوعة من إبداع علماء الحضارة الإسلامية، حيث يبين كلٌّ من الشكلين (21)، (22) نوعين من الساعات من أعمال بديع الزمان الجزري، بينما تبين الأشكال (23) إلى (25) تصميمات مختلفة لآليات تستخدم في رفع الماء إلى جهة العلو من ابتكار الجزري، كما يقدم شكل (26) أربعة تصميمات للغرض نفسه من إنجازات تقي الدين بن معروف. أما الشكلان (27)، (28) فيبينان أمثلة من آليات توليد الحركة ومن ثم القدرة، الشكل الأول بتسخير الماء، والشكل الثاني بتسخير الهواء.

مُعجم صنعة الآلات عند الأوائل

إنه في ضوء الدراسة المتقدمة تم إعداد معجم يضم المصطلحات الفنية التي استعملها الأوائل، وهي مصنفة على الوجه الآتي:

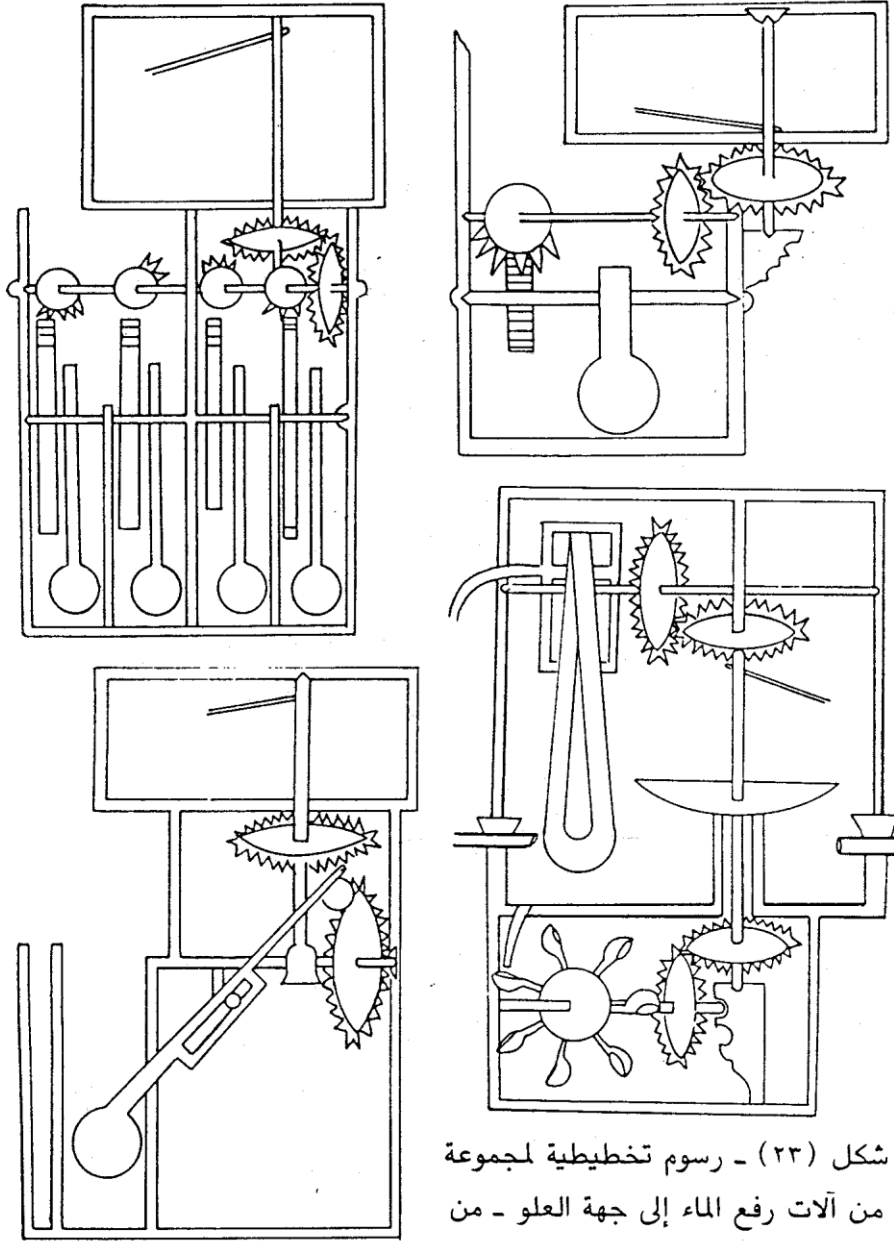
10	آلات الساعات:
144	الآلات الروحانية: وميكانيك الماء
21	آلات شيل وجر:
	الأتقال - آلات الحرب
61	الآلات الرصدية وأجزاؤها:
27	الآلات الموسيقية:
263	المجموع:



شكل (٢٢) - ساعة دقاقة
تعمل بنظام الشمع والفتيل

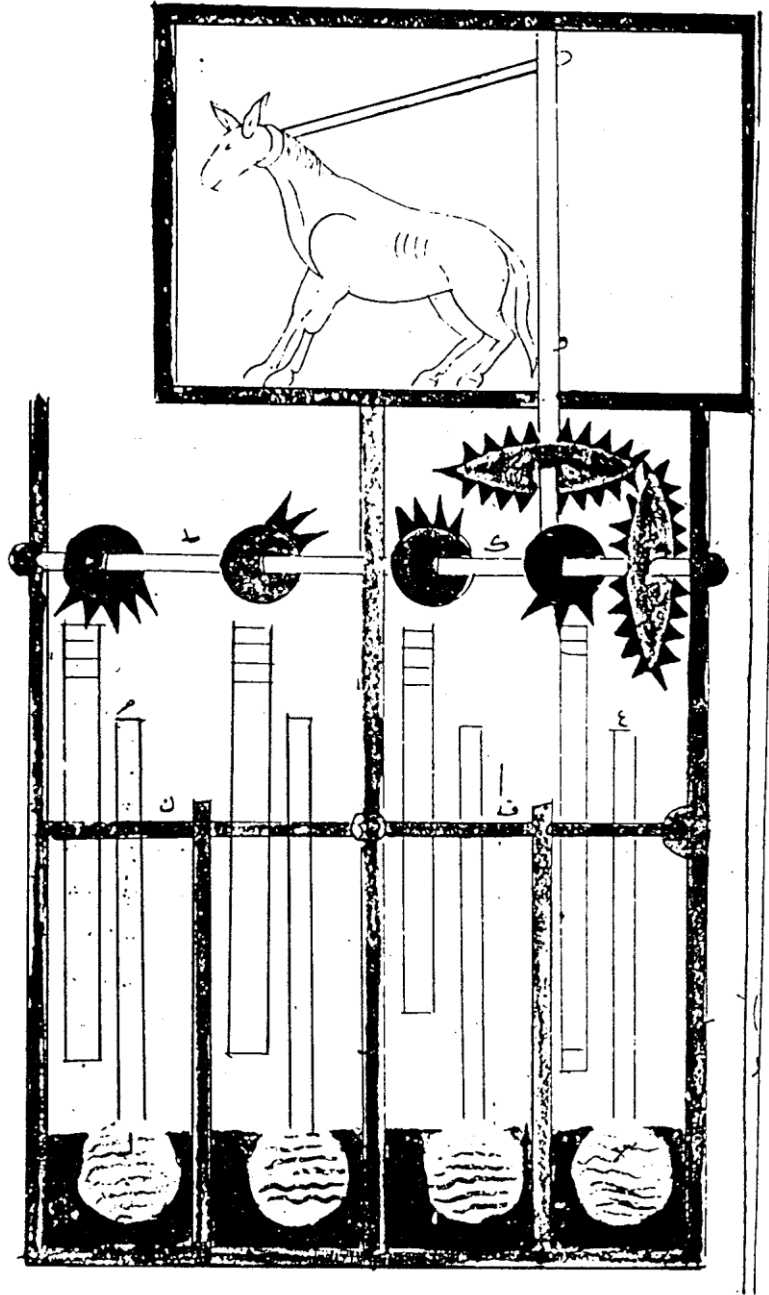
شكل (٢١) - ساعة مائية من أعمال الجزري

- من أعمال الجزري

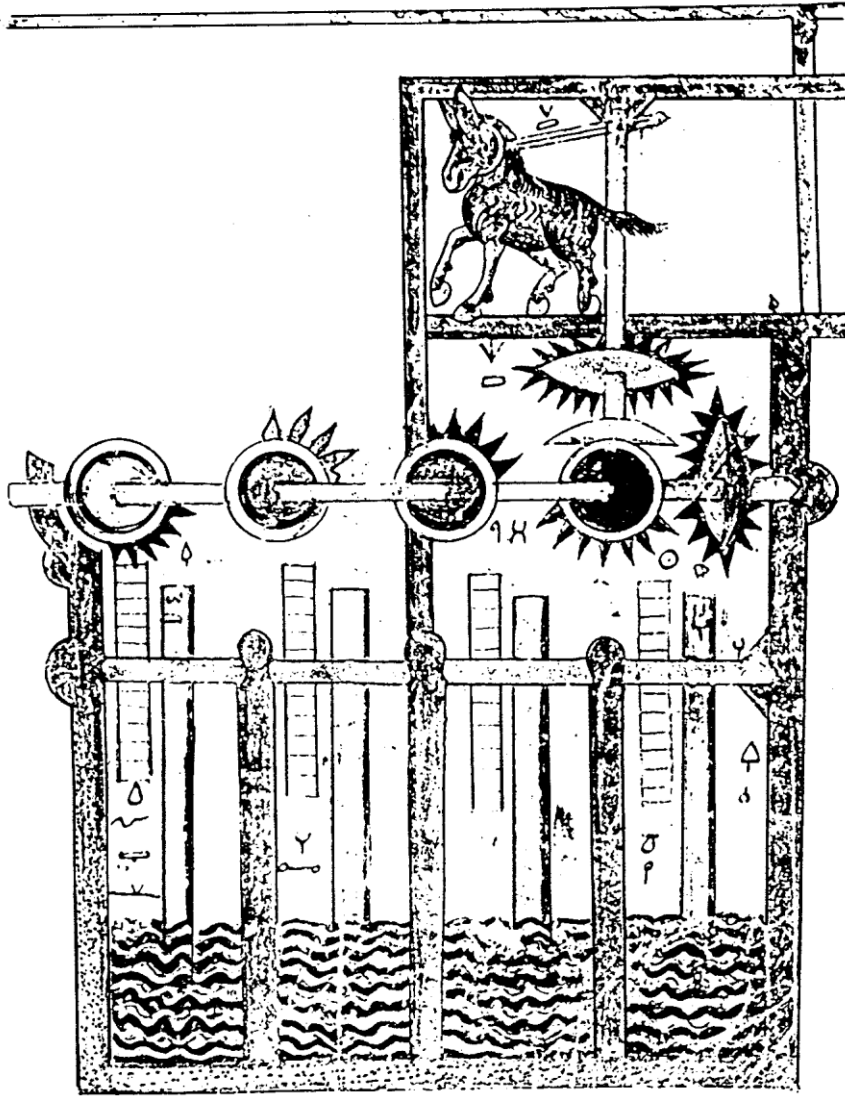


شكل (٢٣) - رسوم تخطيطية لمجموعة
من آلات رفع الماء إلى جهة العلو - من
أعمال الجزري.

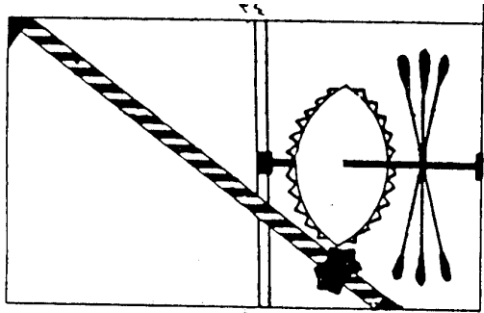
(ملحوظة: الدابة التي تدير الآلة ليست مبيّنة في الشكل)



شكل (٢٤) - آلة المغارف الغامسة الأربع - من أعمال الجزري.
 (عن مخطوط مكتبة بودليانا بجامعة أكسفورد - مجموعة جريفز، رقم ٢٧)

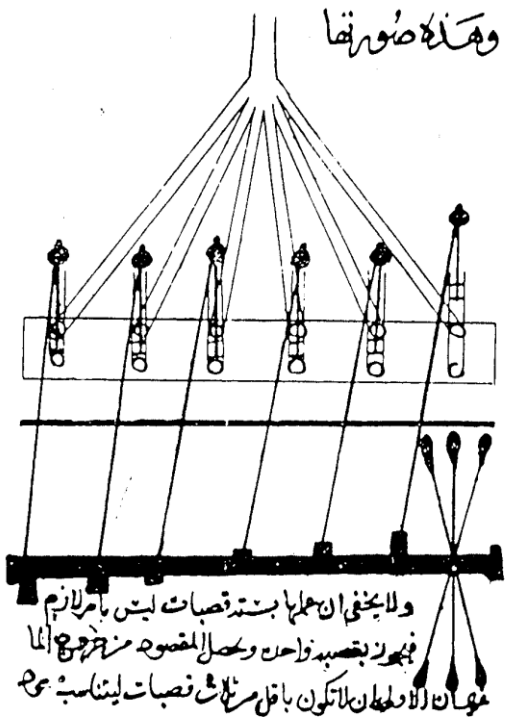


شكل (٢٥) - آلة المغارف الغامسة الأربع - من أعمال الجزري .
(عن متحف المتروبوليتان للفن)



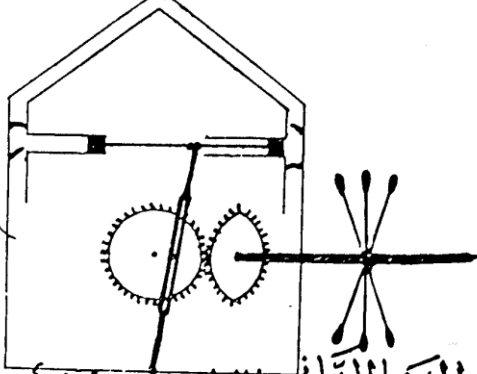
الفصل الثالث في آلة أخري وهي سهم طويل يحرف قاسر
في الماء قد يشبه منه وفوقه سهم معترض مركب في عضادتين

وهذه صورتها



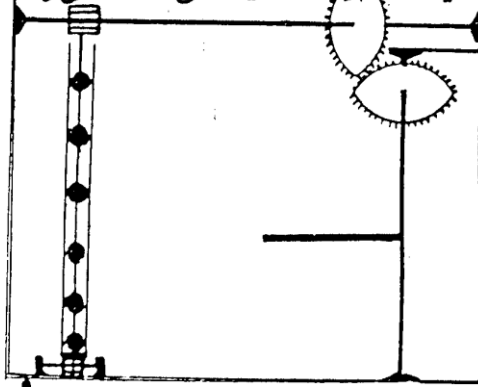
ولا يخفى ان عملها بستة قصبات ليس باجرام
فيكون بقصبته واحد وحصل المقصود من خروج الماء
موانع الاطمان لا تكون باقل من ثلاث قصبات ليناسب عمده

المحرض الذي اعددته له وهذه صورته ذلك جميعه

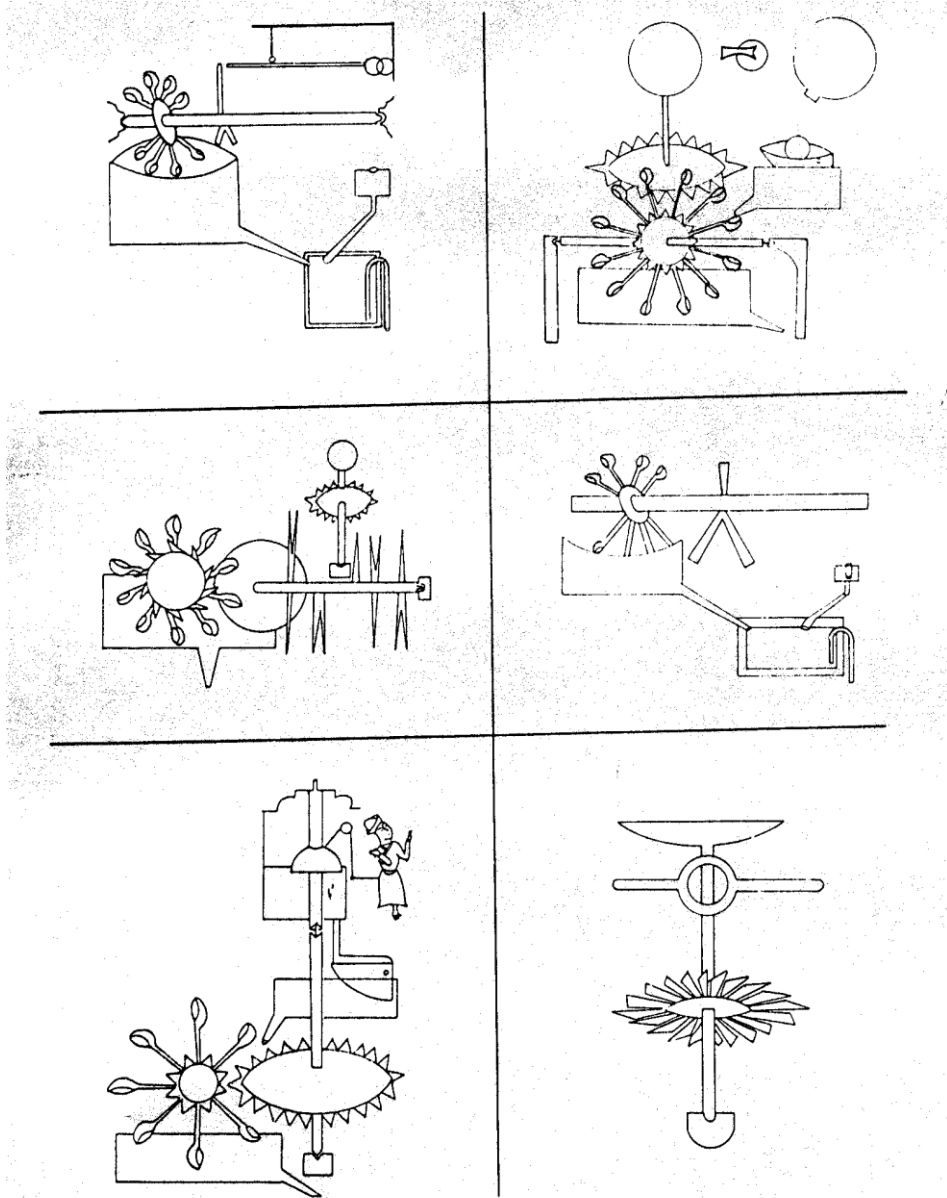


الفصل الثاني في آلة أخري وهي سهم يحرف
طرفه في الماء وطرفه في حجة العلو ما مل وسرك في أسفله فوق الماء

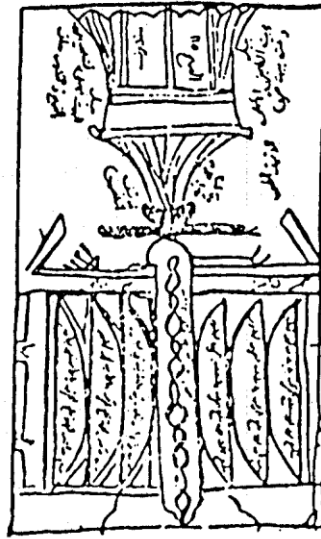
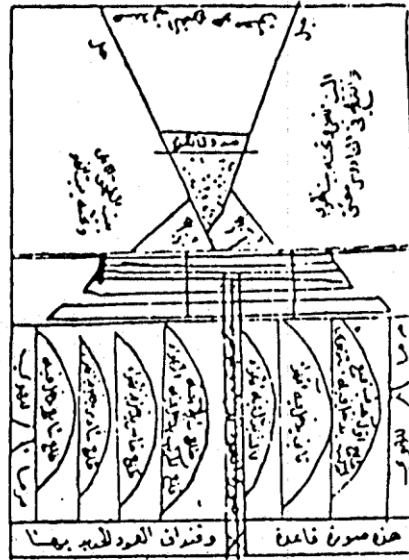
فاذا روي السهم الاعلى انما فدا في حركته الدوير القضي
فجذب حبل الاكبر من حروف القصبه فاجذب الماء في ظل الاكبر
ان تصعد ويسكن في المحرض الذي يريد وهذه صورته



شكل (٢٦) - عدة آلات لرفع الماء إلى جهة العلو كما أوردها ابن معروف في كتابه. (عن مخطوط مكتبة شستر بيتي بدبلن - رقم: ٥٢٣٢)



شكل (٢٧) - توليد الحركة (ومن ثم القدرة) ونقلها بالمسنتات (الدادنجات) والأعمدة (الأسهم) - من أعمال بديع الزمان الجزري.



شكل (٢٨) - مثالان من طواحين الهواء في الحضارة الإسلامية - من رسم
الدمشقي في القرن الثامن الهجري = القرن الرابع عشر الميلادي.

خاتمة

- لعلي بهذا العرض الموجز لحالة العلوم والمعارف الهندسية أن أكون قد وُفِّت في رسم ملامح إنجازات علماء العرب والمسلمين في هذا المجال، وأن أكون قد أصبت ولو بعض الشيء - في بيان مدى إسهام الحضارة الإسلامية في مسيرة الحضارة الإنسانية من أحد جوانبها وهو الجانب الهندسي، وإنه إن كان لي أن أسوق عذراً لطول الحديث وتعدُّ التمثيل، فإنه مما يشفع لي ذلك الرجوع إلى المصادر الأصلية من المخطوطات العربية، والحرص على توثيق النصوص، وتحري الدقة في المعاني والتأويل.
- إنَّ أمة بهذا التراث المجيد لجديرة بأن تتخطى الحواجز والعقبات، وأن تتبوأ بسرعة ولهفة - موقعاً متميزاً في ركب الحضارة على هذا الكوكب الذي انطلقت منه مركبات وأجرام إلى الكواكب الأخرى، فهل لمن أبداعوا في علوم الهندسة والهيئة طيلة قرون ثمانية أن يلحقوا بعصر الفضاء؟
- وختاماً أكرر لكم جزيل شكري وامتناني على الدعوة وعلى التكريم، وطول الأناة، وحسن الاستماع، ورحابة الصدر، وعظم الصبر.
- والله ولي التوفيق
- والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته.

