الاختراعات والاكتشافات

الهندسة وفن العمارة

بول أ.كوباسا

نقله إلى العربية
خليل يوسف سمرين

العبيكان
Obeikan
Education

Original Title

INVENTIONS AND DISCOVERIES

Architecture and Engineering

Author:

By World Book Inc.

Copyright © 2009 World Book, Inc

ISBN-10: 0716603861

ISBN-13: 978-0716603863

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition

Published by **World Book, Inc**. Michigan (U.S.A.)

حقوق الطبعة العربية محفوظة للعبيكان بالتعاقد مع وورلد بوك المحدودة. الولايات المتحدة الأمريكية.

العبيكان Obeikan © 2012 ـ 1433

ح شركة العبيكان للتعليم، 1435هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كوباسا، بول

الاختراعات والاكتشافات: الهندسة وفن العمارة/ بول أ.كوباسا؛ خليل يوسف سمرين.

- الرياض **1435**هـ

48 ص؛ 20× 28 سم

ردمك: 2 - 625 - 503 - 603 - 978

1 - العمارة 2 - التصميم المعماري خليل يوسف سمرين (مترجم) ب - العنوان

ديوي: 720 رقم الإيداع: 1106 / 1435

الطبعة العربية الأولى 1437هـ - 2016م

الناشر العبيكان Obeikan للنشر

المملكة العربية السعودية - الرياض - المحمدية - طريق الأمير تركي بن عبدالعزيز الأول

هاتف: 4808654 فاكس: 4808095 ص.ب: 67622 الرياض 11517

موقعنا على الإنترنت

www.obeikanpublishing.com

متجر العبيكان Obeikan على أبل

http://itunes.apple.com/sa/app/obeikan-store

امتياز التوزيع شركة مكتبة العبيكان Obeikan

المملكة العربية السعودية - الرياض - المحمدية - طريق الأمير تركي بن عبدالعزيز الأول

هاتف: 4808654 - فاكس: 4889023 ص. ب: 62807 الرياض 11595

جميع الحقوق محفوظة للناشر. ولا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواء أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

قائمة المحتويات

مقدمة 4

الأهرام 6

المعابد 8

الدعائم البارزة 10

تخطيط المدن 12

قنوات المياه 14

السدود 16

الأقواس 18

القباب 20

الجسور المتحركة 22

دعائم البناء 24

الجسور المعلقة 26

الأنفاق 28

مرحاض الصرف 30

أنظمة الصرف الصحي الحديثة 32

التدفئة المركزية 34

تكييف الهواء 36

المصاعد الكهربائية 38

ناطحات السحاب 40

الطاقة الشمسية 42

تواريخ مهمة في الهندسة وفن العمارة 44

مسرد المصطلحات 45

مصادر إضافية 47

يتوافر مسرد للمصطلحات في الصفحتين 45 و46 عُرِّفت فيه المصطلحات التي تظهر بخط **داكن** عند ورودها في الدرس أول مرة.

مقدمة

وجد في بابل القديمة بعض أجمل الأبنية العمرانية الأولى في العالم.

ما الاختراع؟

الاختراع صنع أداة جديدة، أو منتج جديد، أو طريقة جديدة لصناعة شيء ما، والاختراعات تغيِّر طريقة عيش الناس؛ فقبل اختراع السيارة، ارتحل الناس على ظهور الخيل وغيرها من الحيوانات، واعتمدوا –قبل اختراع المصباح الكهربائي– على الشموع وغيرها من المصادر المشابهة للحصول على الضوء.

الهندسة وفن العمارة

الهندسة العِمارية مصطلح ذو معانٍ متعددة ترتبط جميعها بالبناء، فقد تشير إلى فن وعلم إنشاء الأبنية التي يبدعها فنانون يُدعون مهندسين معمارين، وقد تشير كذلك إلى الأبنية نفسها.

إننا نحتاج إلى **الهندسة** في التخطيط، والتصميم، والإشراف على إنشاء الأبنية. وتستعمل أيضًا لتصميم خطوط سكك الحديد، والجسور، **والسدود**، والآلات، وأنظمة الكهرباء. وهذه العمليات هي عمليات مشتركة بين كثير من المدن والبلدات في العالم.

لقد غيَّر التقدم في الهندسة وفنِّ العِمارة طريقة عيشنا؛ فقبل ملايين السنين، ربما كان الناس ينامون على الأشجار لتجنب الحيوانات المفترسة، ويلتجئون إلى الكهوف بحثًا عن الدفء والمأوى، وأمضى الناس سنوات كثيرة يتنقلون من مكان إلى آخر لصيد الحيوانات التي يعتمدون عليها في عيشهم؛ لذا كان لزامًا عليهم أن تكون

بيوتهم، صغيرة وبسيطة، ويسهل حملها إلى حيث يرتحلون.

وعندما زرع الناس الأرض، استقروا في مكان واحد، وبدؤوا بإنتاج طعامهم، ما ساعدهم على بناء بيوتهم الدائمة، ثم تجمَّعوا على مدى آلاف السنين معًا فيما عُرف بالمدن الأولى.

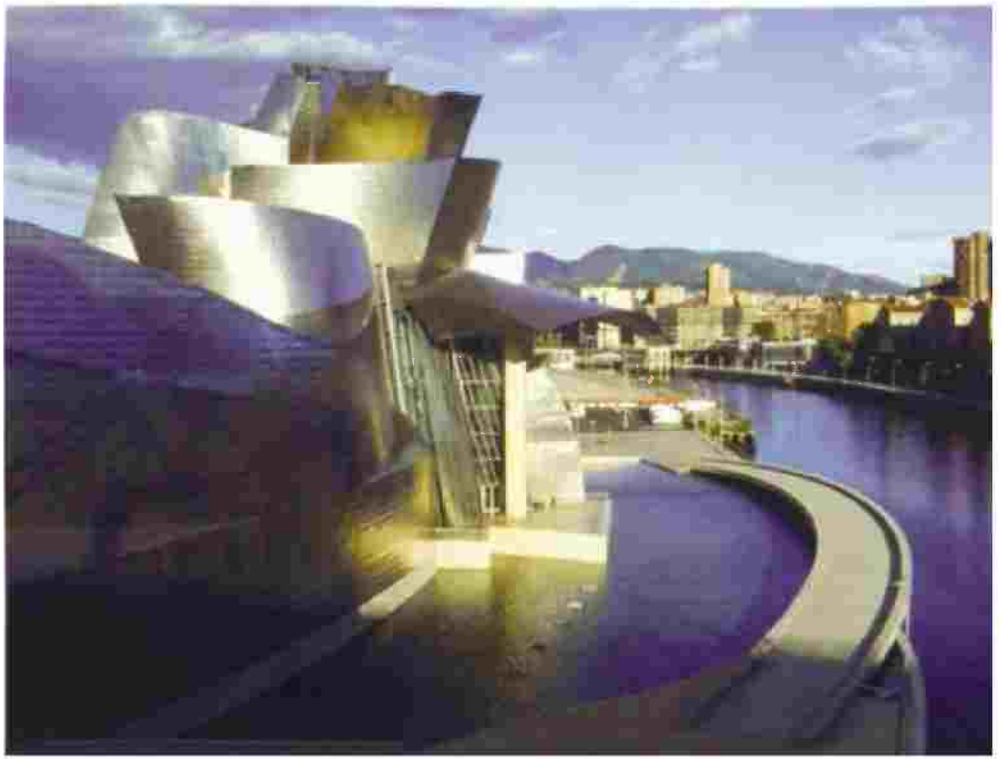
ومع تقدم الأيام والسنين، طور مهندسو العمارة مجموعة من تقنيات البناء الجديدة، فقد عرفوا كيف يبنون الأبنية القوية والآمنة، وكيف يخططون هياكل البناء التي تتطلبها حاجات المجتمعات الخاصة.

ومع تقدم **الحضارة**، توصل المهندسون والمهندسون المِعمارون إلى بعض الإنجازات التي تُعد مدعاة للفخر في التاريخ، فناطحات السحاب الشاهقة، والآثار التاريخية، والكنائس البديعة، جميعها تجذب السياح إلى المدن في أنحاء العالم جميعها.

وما زال هؤلاء المهندسون حتى اليوم يواصلون إنشاء الأبنية التي تدهش كلَّ من يشاهدها وتلهمه.

حقيقة ممتعة

أصل كلمة مهندس مِعْمار باللغة الإنجليزية (Architect) جاء من الكلمة اليونانية (arkhitekten)، التي تعني الخبير في البناء.



شبه بناء متحف جوجينهايم في بلباو، بإسبانيا، سفينة متجهة نحو البحر للإبحار فيه.

الأهرام

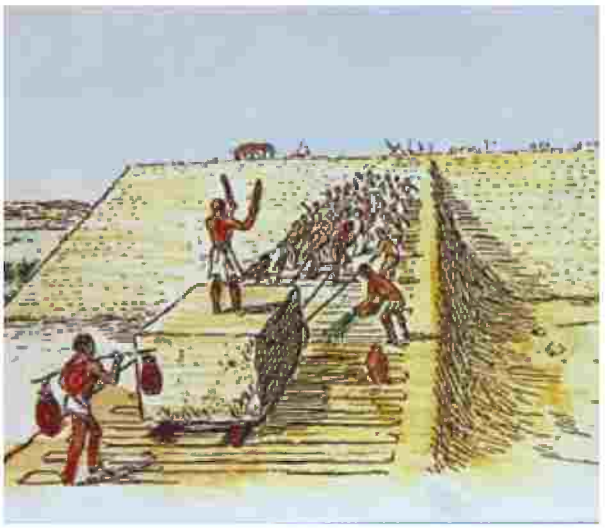
قبل 5000 عام، نشأت في شمال إفريقية **حضارة** قوية انبثقت من الأراضي الزراعية على طول ضفاف نهر النيل، وقد جعل نهر النيل مصر القديمة مركزًا رئيسًا للتجارة، وعلى مدى الثلاثة آلاف سنة اللاحقة، بنى المصريون مبانٍ مذهلة لتكريم فراعنتهم (ملوكهم)، وبنوا كذلك الأسواق التجارية، والمعابد، والقصور، وأبنية أخرى كثيرة. وعلى أي حال، فقد اشتُهروا ببنائهم **الأهرام** قبل أربعة آلاف وخمس مئة سنة خلت.

والأهرام أبنية مربعة القواعد ومثلثة الجوانب تلتقي جميعها عند نقطة واحدة، تُدعى قمة الهرم، بنيت لتكون أضرحة للفراعنة والملكات بعد الموت.

وما تزال العشرات من هذه الأهرام قائمة حتى الآن؛ غير أن أهرام الجيزة تعد الأهرام الثلاثة الكبرى التي حوفظ عليها بصورة جيدة، فقد بُنيت ما بين عامي 2500–2600 قبل الميلاد، وهي إنجاز هندسيّ عظيم يُدعى أكبرها الهرم الأكبر، الذي يتكوَّن من أكثر من مليوني كتلة حجرية، يزن كلّ منها (2.3) طن متري تقريبًا، ومع مرور الزمن اختفت بعض الحجارة الناعمة التي غطت سطح الأهرام، لكنَّ الهرم نفسه لم يتحرك من مكانه ولم يسقط.

وما زالت الأهرام تحتفظ بشكلها وتصميمها الأساسيين تمامًا.

ما زال تمثال أبو الهول يقف حارسًا أمام الهرم الأكبر في الجيزة، في مصر.



إن بنائي الأهرامات المصريين يضعون كتل الحجارة الضخمة على أسطوانات، ويسحبونها إلى أعلى الهرم.

حقيقة ممتعة

بُني الهرم الأكبر للفرعون خوفو الذي عاش سنة 2600 قبل الميلاد تقريبًا. حيث يصل ارتفاعه إلى (450) قدمًا (136 مترًا)، وتغطي قاعدته مساحة مقدارها (13) هكتارًا (5 هكتارات مربعة). ويعتقد العلماء أن ما يزيد على (100,000) عامل أسهموا في بنائه مدة ثلاثة إلى أربعة أشهر في السنة لمدة 20 سنة حتى اكتمل بناؤه.

لقد واجه بناة الأهرام تحديات كبيرة؛ فقد تعين عليهم جلب الحجارة إلى موقع بناء كل هرم، ثم وضعها في المكان المخصص لها. ولجعل مثل هذه الأعمال ممكنة، صمَّم المهندسون منحدرات مائلة مصنوعة من التراب والطوب حول جوانب الأهرام جميعها؛ ليستخدمها العمال في جر الحجارة فوق أسطوانات إلى قمة البناء.

كان المهندسون المصريون علماء رياضيات موهوبين؛ فقد كانت قياساتهم وحساباتهم دقيقة جدًّا؛ وهذا ما جعل قاعدة الهرم الأكبر مربعة تمامًا، في حين كانت الجوانب مختلفة عن بعضها بمقدار ثماني بوصات (20 سم).

ومثلما يستعمل البنَّاؤون هذه الأيام المنحدرات المائلة والأسطوانات لنقل الأجسام الثقيلة، فهم بذلك يعتمدون على النوع نفسه من الحسابات التي أتقنها المصريون القدماء.

بنيت أهرام الجيزة تكريمًا للملوك في عام 2600 قبل الميلاد تقريبًا.

المعابد

وصل عمر هذا المعبد الخشبي الموجود في يانج زيان في الصين إلى ألف سنة تقريبًا.

تُعدُّ **حضارة** الصين أقدم حضارة ما زالت موجودة في العالم، ويمتد تاريخها المكتوب إلى ما يقارب 3500 سنة. تتكون الصين الحالية من أراضٍ ضمَّت دويلات صغيرة كثيرة اعتمدت على الزراعة بصورة أساسية، وفي العام 221 قبل الميلاد، هزم مجموعة من القادة تلك الدويلات ووحدوها في دولة واحدة لها حكومة مركزية قوية.

وبعدئذٍ، سرعان ما نشأت المدن العظيمة، وربطت طرق التجارة الصين ببقية العالم.

يُعدُّ **المعبد** –وهو على صورة برج– واحدًا من أشهر الأبنية الصينية؛ وفي الواقع، بُنيت المعابد الأولى في الهند، لاتخاذها قبورًا، ولكن مع انتشار الديانة **البوذية** في كل من الهند والصين، انتشر كذلك بناء المعابد. وفي نهاية الأمر، أتقن المهندسون الصينيون نموذج المعابد الصينية.

تكون المعابد عادة عريضة عند القاعدة تدق عند قمَّتها، وتتألف (عادةً)، من ثلاثة إلى خمسة عشر **طابقًا**، يغطي كلَّ طابق سقفٌ معلق من القرميد يتقوَّس إلى الأعلى منحنيًا نحو الحافات. وتوجد في معظم المعابد ثمانية جوانب مزخرفة بالعاج، والعظام، والأعمال الحجرية، وغالبًا ما تكون المعابد مصنوعة من الخشب، على الرغم من أن بعضها قد بُني من الحجارة والحديد والطوب وحتى من الذهب.

يضم الطابق الأرضي في المعبد أشياء تتعلق بالنواحي الدينية أو الأضرحة، وتطل الطوابق العليا على مناظر المناطق الريفية المحيطة بها.

وعلى الرغم من مظهرها الناعم الأنيق، فقد أثبتت المعابد الصينية أنها قوية ومتينة بصورة ملحوظة.

ومن أقدم المعابد التي ما زالت قائمة حتى الآن، معبد شونغ يوسي الذي بُني قبل ألف وخمس مئة عام تقريبًا، أما المعبد الآخر المشهور، فهو المعبد الخشبي الذي بني قبل نحو ألف عام. وقد استخدم في بناء هذا المعبد ثلاثة آلاف طن (2721 طنًّا متريًّا) تقريبًا من الخشب. وبقي المعبد الخشبي صامدًا على مرِّ العصور على الرغم من عدم استعمال أي قطعة معدنية في بنائه، ولم تستطع الحروب، أو الهزات الأرضية الكثيرة التي ضربت تلك المنطقة أن تدمره، فهو قد يميل قليلاً، لكنه ما زال صامدًا.

لقد أتقن المهندسون الصينيون استعمال الأعمدة والعوارض، وسرعان ما ظهرت مهاراتهم في البناء على أنظمة الهندسة في أجزاء أخرى من العالم، حيث قامت الهندسة العمارية اليابانية على

المعبد الخشبي ومعبد شونغ يوسي مثالان على كثير من المعابد الموجودة في الصين.

الأسس نفسها من طرق البناء واستعمال الأعمدة والعوارض، إذ ينتج مثل هذا النوع من البناء هياكل قوية ومرنة، وهي صفات مهمة في مناطق تتعرض للهزات الأرضية باستمرار.

تكون المعابد غالبًا غنية بزخارفها على نحو ما هو ظاهر في زخارف سطوح ضريح هيان جنجو في كيوتو، في اليابان.

حقيقة ممتعة

كانت المعابد تصنع تقليديًّا من الخشب، وكانت أعلى من الأبنية المحيطة بها. ونظرًا إلى لذلك، فهي غالبًا ما تتعرض للصواعق فتحرقها بعد مدّة قليلة من بنائها.

الدعائم البارزة

بني الجسر الرابع فوق الخور في أسكتلندا في عام 1890م، ويعدُّ هذا الجسر واحدًا من أروع الأمثلة على الدعائم البارزة.

إضافة إلى بناء الهياكل الضخمة مثل **الأهرامات والمعابد**، حرص المهندسون المعماريون في **الحضارات** القديمة على بناء المدن، وخططوا الطرق التي كانت تمر فيها، وكان من بين مساهماتهم أمثلة على أولى **الدعائم البارزة** في تاريخ البناء.

إن الدعائمَ البارزة امتدادٌ أفقي للبناء، مثل الشرفة أو العارضة التي ترتكز عند طرف واحد فقط، ويكون الطرف الآخر حرًّا، وتستعمل الدعائم البارزة في دعم الجسور أيضًا، فدعائم الجسر ترتكز على برجين أو **رصيفين** عند طرفي الجسر المتقابلين.

ويدعم كل برج جزءًا من الجسر المعلق؛ ويلتقي طرفا الجسر في الوسط بين البرجين حيث يُربطان معًا.

أما في المعابد الصينية، فكانت الدعائم تمتد إلى الخارج لدعم السطوح المقوسة، واستعملت أيضًا لدعم الجسور التي تمتد فوق الأودية العميقة والأنهار العريضة، واستعمل المهندسون المعماريون الصينيون العوارض الخشبية لبناء أبراج جسورهم المعلقة، فوضعوا العوارض بصورة متقاطعة تجعلها تبدو متشعبة على صورة الحرف Y في نهاياتها عند طرفي الجسر.

وفي النهاية، يصبح طرفا الحرف Y قريبين من بعضهما، وهذا ما يجعل الطريقين فوق الجسر يلتقيان في وسطه. جعل هذا التصميم أيضًا الجسر قويًّا، وفي الوقت نفسه جعله مرنًا. وكانت الفراغات المتروكة بين العوارض المتقاطعة تسمح بمرور مياه الفيضانات دون أن تؤدي إلى انجراف الجسر.

تعمل الدعائم البارزة على تدعيم أبراج قلعة قايتباي في الإسكندرية في مصر.

حقيقة ممتعة

للصينيين القدماء طريقة مثيرة للاهتمام في بناء الجسور فوق مجاري الماء؛ إذ كانوا يغرسون أكوام الحجارة، أو الأعمدة الحجرية السميكة، في الطين تحت الماء؛ لبناء أساس قوي لبرج الجسر، ثم يضعون القوارب القديمة بين هذه الأعمدة، ويملؤونها بالحجارة ويغرقونها في الماء، ثم يضعون القوارب المملوءة بالحجارة بعضها فوق بعض حتى تصل الحجارة إلى سطح الماء. وعندئذٍ، يبدؤون ببناء الأبراج القوية فوق الأساس الحجري.

أما في مصر القديمة، فقد كانت الدعائم البارزة تبنى من الحجارة، وقد وجدت سجلات مكتوبة تصف دعائم الجسور المبنية فوق الأنهار قبل آلاف عدة من السنين، وإضافة إلى ذلك، فقد استعملت الدعائم في بناء **الحصون والقلاع** العسكرية.

عرف المصريون كيفية بناء الغرف فوق الجزء العلوي من جدران القلاع التي كانت تمتد إلى الخارج فوق الساحات وأسفلها، فقد استُعملت هذه الغرف للمراقبة، وكانت **كالأبراج** التي تبنى فوق القلاع والحصون التي بنيت لاحقًا.

تعدُّ الدعائم البارزة من الإنجازات المهمة في **الهندسة**، فما زالت تستعمل في بناء هياكل الشرفات والجسور، وتستعمل كثير من الجسور الهيكل الأساسي نفسه مع اختلاف المواد المستعملة في البناء، إذ تبنى الدعائم اليوم بالخرسانة المدعمة بالفولاذ، بدلًا من الحجارة والخشب، ويمكن بناؤها بعوارض ودعائم أخرى تسمى **الترسيس** (انظر الصفحات 25–24).

استعمل المهندس المعمار فرانك لويد الشرفات المعلقة في بناء هذا المنزل.

تخطيط المدن

كانت **ميسوبوتيميا** أو بلاد ما بين النهرين، وهي الأرض التي تعرف الآن باسم العراق، منطقة قديمة تقع في الشرق الأوسط، حيث تطورت فيها أول **حضارة** عرفها التاريخ، وكانت مهدًا لأوائل **المهندسين** والمهندسين المعمارين في العالم، وقد بنى الناس القرى في ميسوبوتيميا ما بين 9000 و5000 قبل الميلاد تقريبًا. وفي عام 3500 قبل الميلاد تقريبًا نمت بعض القرى لتصبح مدنًا صغيرة يضم كل منها آلافًا عدة من الناس.

وفي هذه الأماكن، بدأت أولى عمليات تخطيط المدن.

يعرف تخطيط المدن بعملية توجيه تطور المدن والبلدات، فقد سعى مخططو مدن ميسوبوتيميا إلى ترتيب هذه المدن وتخطيطها، لتفي بحاجات مجتمعاتها، فخصصوا أماكن لعيش السكان، وأخرى للتجارة، وأماكن للعبادة، وأخرى للأبنية الحكومية، وبنوا الأسوار لصدِّ عدوان الغزاة، وخصصوا أماكن للأبنية العامة والنُّصُب التذكارية لتكون معًا في المواقع

مدينة أفسوس من المدن التاريخية المهمة، وآثارها مقصد مهم للسياح في تركيا.

المركزيـة. ومـع تقدم الحضـارة، أصبح تخطيـط المدن شائـع الانتشـار؛ فبدأت المدن الصينية بالنمو في عام 2700 قبل الميلاد تقريبًا، ونشأت المدن في إفريقية عـام 1000 قبـل الميـلاد تقريبًـا، وبنى النـاس في أمريـكا الوسطـى المدن عام 700 قبل الميلاد تقريبًا أيضًا.

كانت هذه المدن جميعها تختلف عن المـدن التي نشـأت في **العصـر الحجري** الأول؛ فقـد ازدحمـت المـدن الجديـدة بالنـاس مـن ذوي الوظائـف، والحـرف، والخلفيـات الثقافيـة المختلفـة. وعندما أخـذت المـدن بالنمو، أصبحـت الحاجة إلـى التخطيط الجيـد ضـرورة أساسية، فـكان علـى المخططين التفكيـر مسبقًا، وتخصيص أماكن مركزية للأبنية العامة وأخرى للمراكز التجارية.

وضع مخططو المدن اليونانيون ومن بعدهـم **الرومانيـون** مخططات لعدد من المـدن الجميلة، فقـد أحضـروا الموارد اللازمة لتلبيـة حاجات النـاس، وأنشؤوا المبانـي العامـة التي أضفت جمـالًا على الحياة اليومية للسكان.

ولم تختلف المدن التي بنيت في **العصور الوسطى (ما بين 400 – 1400 ميلادي)** عن سابقتها مـن المدن، فما زال كثير منها يُحاط بالأسوار وفي وسطها أماكن خصصت للتجارة، وأماكن العبادة، والأبنية الحكومية. وغالبًا ما كانت المدن تبنى حول كنيسة، ومع النمـو المستمر لهـذه المدن، بـدأت تواجه **الازدحام** السكاني، وما زال هذا التحدي يقلق مخططي المدن حتى أيامنا هذه.

يعـد تخطيط المـدن اليـوم أهم من أي وقـت مضـى؛ فالمدن التي لـم تُخطَّط جيدًا، ولـم يُحافظ عليها، ستصبح أبنيتها آيلـة للسقـوط، وغير آمنـة؛ لـذا يتصدَّى مخططـو المدن لهـذه التحديـات وغيرها مـن المشـكلات، لتطويـر مراكـز المـدن الجديدة.

هيبوداموس

كان هيبوداموس (498 – 408 ق. م.) مهندسًا معمارًا من اليونان القديمة، وقد أعدَّ مخططات وتصاميم لمدن عدة، منها ميليتوس وبايرايوس (انظر الخريطة أعلاه). وهو الذي قرر مكان الأبنية المختلفة، وصمم واحدًا من أوائل المخططات الشبكية لشوارع المدن. (الشبكة ترتيب لخطوط أفقية وعمودية متقاطعة). فما زالت طريقة تخطيط المدن على صورة شبكة تُعرف إلى اليوم بهيبوداموس، على الرغم من احتمال استعمال مثل هذه المخططات في مدن أخرى.

قنوات المياه

بُني جسر قناة بوجارد خارج مدينة نيس في فرنسا، من قبل الرومان قبل ألفي سنة تقريبًا.

تعدُّ مصادر المياه أحد أكبر التحديات التي واجهت مخططي المدن في الماضي، وبالتحديد كيفية توفير المياه العذبة لسكان مدينة كبيرة؟ وحتى عندما بُنيت المدن الكبيرة بجانب الأنهار، أو أي مصادر أخرى للمياه، فقد كانت مصادر المياه تلك تعاني **التلوث**.

عندما أُسست روما القديمة في عام 735 قبل الميلاد، كانت مدينة صغيرة تقع بين سبعة تلال، ولما وصلت إلى أوج عظمتها ما بين 100 و 200 قبل الميلاد، ضمَّت الإمبراطورية الرومانية نصف أوروبا، وامتدت شمالًا حتى أسكتلندا، وجنوبًا حتى إفريقيا، وضمَّت روما معظم الشرق الأوسط، فنشأت ضمن هذه المساحة الشاسعة من أراضي الإمبراطورية، مدن كبيرة ازدحمت بالآلاف من السكان، وكانوا جميعًا في حاجة إلى الماء النقي.

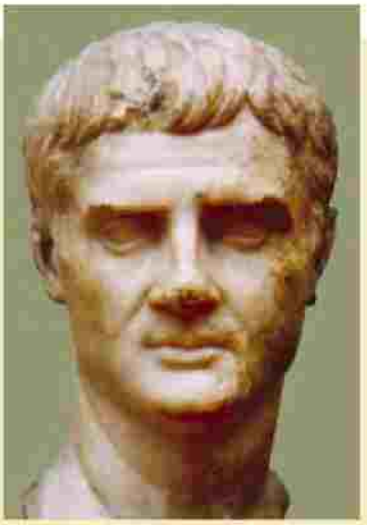
استطاع **الرومان** التغلب على هذه القضية بمساعدة سكان مدينة القدس (مدينة تقع في الشرق الأوسط في فلسطين)، إذ عرف مهندسو هذه المدينة كيفية بناء **قنوات الماء** الأساسية (**أكوادكت**)، وكانت قنوات المياه قنوات حجرية تمرُّ فيها المياه من مكان إلى

آخر. وقد أخذ الرومان الهيكلة الأساسية للقنوات، وأتقنوها فيما بعد، ومع حلول عام 97 قبل الميلاد، كانت تسع قنوات مياه تحمل خمسة وثمانين مليون جالون (322 مليون لتر) من الماء تقريبًا إلى داخل مدينة روما يوميًّا.

اشتركت روما في هذه التقنية مع المدن التي كانت ضمن حكمها، ونتيجة لذلك أصبح أكثر من مئتي مدينة رومانية في أنحاء الإمبراطورية الشاسعة تمتلك مثل هذه القنوات. ومن أشهر هذه القنوات التي ما زالت موجودة، قناة جسر بوجارد بالقرب من مدينة نيس في فرنسا.

بعد تفكك الإمبراطورية الرومانية في عام 395 بعد الميلاد، بقي كثير من المدن التي تستعمل القنوات القديمة، ولم يُبنَ سوى قليل من القنوات منذ ذلك الحين وحتى **العصور الوسطى**. وفي نهاية القرن السادس عشر، صمَّم السير فرانسيس دريك قناة لجر المياه في بريطانيا، وبناها بالقرب من بلدة بلايموث، وفي عام 1609م شُقَّت قناة بطول ثمانية وثلاثين ميلًا (61 كلم) لجر المياه إلى مدينة لندن.

أما اليوم، فتحمل أنابيب موضوعة تحت الأرض الماء إلى معظم الناس الذين يعيشون في المناطق الحضرية، ويوجد كثير من المجتمعات الأخرى التي لاتزال تعتمد على مياه القنوات.



ماركوس أجريبا

كان ماركوس أجريبا (63-12 ق.م.) جنرالًا رومانيًّا عمل تحت إمرة الإمبراطور أوجستس أول أباطرة روما، وقد ساعد أجريبا أوجستس على استعادة السيطرة على روما إبان الحرب الأهلية، وساعده أيضًا على تأسيس الحكومة الرومانية، وكان أول شخص في التاريخ مسؤولًا عن أعمال المياه في المدينة، وقد أُنشئت معظم قنوات الماء في روما بناءً على تعليماته وأوامره؛ ولذلك كان من المفترض أن يصبح خلفًا للإمبراطور أوجستس بعد وفاته، لكنه توفي قبل أوجستس.

تزود قناة هيتش في كاليفورنيا مليونين وخمس مئة ألف مليون شخص بالماء.

السدود

يتحكم سد أسوان المبني على نهر النيل في الجزء الجنوبي الشرقي من مصر، في مياه الفيضان، إضافة إلى توليد الطاقة الكهربائية، وتوفير المياه لري المزروعات.

في الوقت الذي كان فيه **الرومان القدماء** يستخدمون قنوات الماء في نقل المياه إلى المواطنين، كان الناس في مناطق أخرى من العالم يطوِّرون طرقًا للسيطرة على المياه التي يحتاجونها، فإذا لم تتوافر المياه في مجتمع ما، فلا يتمكن المزارعون من زراعة المحاصيل، ومن المحتمل أن يفقد الناس مصادر إمدادات غذائهم، وهذه المشكلة أشد خطورة في المناخات الحارة والجافة، مثل الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

لذا، تعيَّن على الناس معرفة كيفية تخزين الماء حتى يتوافر لهم في فصول الجفاف، أو عندما تجف مجاري الماء الصغيرة. وفي النهاية، وجدوا أن بإمكانهم حجز المياه والاحتفاظ بها عن طريق بناء **السدود** على الأنهار، فتكون بذلك **مستودعًا** للمياه. وعندما يصل حجم الماء في الخزان إلى حد معين، تفتح فتحات الخزان تلقائيًّا للسماح للمياه الفائضة بالجريان مرة أخرى في مجراها الطبيعي.

من المعتقد أن السدود الأولى كانت تشبه السدود التي يبنيها قندس الماء، وبُنيت في الغالب من أكوام من فروع الأشجار وسيقانها، أو حتى من الحجارة. وكانت هذه السدود تعمل بصورة مؤقتة، حيث كان بالإمكان جرفها إذا ارتفع منسوب المياه إلى مقدار كبير.

وقد بنى المصريون القدماء أول سد معروف سنة 2800 قبل الميلاد، ثم بنى الرومان لاحقًا السدود في أنحاء إمبراطوريتهم جميعها من الحجارة المقطوعة بصورة رائعة. وبعض هذه السدود مازال قائمًا ومستعملاً حتى الآن.

استمر الناس في بناء السدود بمواد متنوعة ومختلفة على مرِّ الزمن. وأصبحت السدود أقوى وأكثر أمانًا، واستعملها

سيكون سد الممرات (الخوانق) الثلاثة قادرًا على توفير الطاقة الكهربائية لأكثر من أربع وثلاثين مدينة عند اكتماله.

الناس في مجالات جديدة، فساعدت هذه السدود في بعض الأماكن على تجنب الأضرار الناجمة عن الفياضانات، واستعملها بعض الناس لطحن الحبوب. وأما في العصر الحديث، فتستعمل مياه السدود لتوليد الطاقة الكهربائية.

على الرغم من استفادة كثير من الناس من السدود المائية، فإنها قد تلحق الأذى بالبيئة؛ فعندما تُحجز كميات كبيرة خلف السد في سنوات الجفاف، تجف الأنهار الموجودة أسفل السد، وهذا يؤدي إلى موت النباتات ونفوق الحيوانات التي تعتمد على مياه هذه الأنهار، وتبتلع المياه المحتجزة خلف السد، الأراضي عند ارتفاع الماء، غير أن السدود ما زالت تبنى حتى يومنا هذا على الرغم من ذلك كله.

نظرة عن قرب

يمتد سد الممرات الثلاثة الذي يعد السد الأكبر في العالم، عبر نهر اليانغتس في الصين، وقد صُمِّم هذا السد الذي يبلغ طوله (1.3) ميل (2.1 كلم) وارتفاعه (610) أقدام (186 م)، لتوليد الطاقة الكهربائية والتحكم في مياه فيضانات النهر. وسيمتد خزان مياهه إلى مسافة (400) ميل (644 كلم) باتجاه أعلى السد. ونظرًا إلى ذلك، فقد هاجر ملايين السكان إلى أماكن أخرى بسبب غمر مياه السد منازلهم.

الأقواس

سعى المهندسون المعماريون لأوقات طويلة إلى إنشاء أبنية تعد مفخرة لمجتمعاتهم، وبسبب ذلك اشتهرت كثير من **الحضارات** بهياكل أبنيتها وتصاميمها الخاصة، فقد كانت **الأقواس** السمة المميزة للعمارة في روما مثلًا.

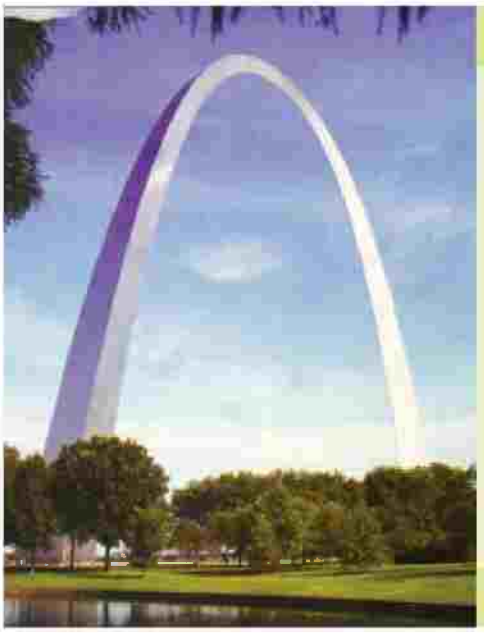
يعرف أحد على وجه التحديد كيف تعلم الناس طريقة استخدام الأقواس في البناء، فمن الممكن أنها بُنيت أول مرة سنة 3500 ق. م.تقريبًا، وفي ذلك الوقت عرف الناس كيفية بناء الأسطح المدعمة بالجدران أو **الأعمدة**.

يتطلب بناء الأقواس تقنيات معقدة أكثر من بناء الجدران والأعمدة.

بنى الناس الأقواس بصورة تقليدية بصفِّ الكتل الحجرية التي تدعم في أثناء البناء بإطارات خشبية، ثم توضع الكتلة الأخيرة التي تدعى **حجر المفتاح**، في الوسط بين جانبي القوس؛ لذا يضغط كل جانب على جانبي هذا الحجر، وهذا ما يبقي القوس في مكانه عندما يُرفَع الإطار الخشبي.

وعندما يُبنى القوس بصورة صحيحة، يتمكن عندئذٍ من دعم أوزان كبيرة جدًّا؛ فعلى سبيل المثال: يستطيع الباب المقوَّس أن يدعم سقفًا ثقيل الوزن، أو حتى **طوابق** إضافية تبنى فوقه.

بُني قوس النصر في قوليوبلس في المغرب تكريمًا للإمبراطور الروماني كاراكالا، عام 216 قبل الميلاد.



نظرة عن قرب

يُعد قوس البوابة في مدينة سانت لويس، في ميسوري، أعلى نصب تذكاري في الولايات المتحدة الأمريكية. إذ يرتفع هذا القوس، المصنوع من الفولاذ، إلى 630 قدمًا (192 مترًا) أعلى مدينة سانت لويس الواقعة على نهر الميسيسبي. وقد بُني هذا القوس في ستينيات القرن العشرين احتفاءً بتوسع الولايات إلى الغرب خلال القرن التاسع عشر. ويستطيع زوّار القوس الصعود إلى غرفة في أعلاه، حيث يتمكنون من مشاهدة المدينة كلّها.

وعلى الرغم من تمكُّن المهندسين المعماريين الأوائل من معرفة كيفية بناء الأقواس، فإنّ عملية البناء تتطلب قدرًا كبيرًا من الجهد والعمل؛ لذا لم تصبح عملية بناء الأقواس جزءًا من الهندسة العمارية حتى بدأ **الرومان** القدماء باستعمالها لبناء **قنوات المياه** والجسور، ولتكريم قادتهم.

وسرعان ما طور المعماريون الرومان استعمالات جديدة للقوس؛ وبدؤوا باستعماله داخل الأبنية لبناء غرف سقوفها **ذات قباب** (مقبَّبة). وباستعمال السقوف المقبَّبة، لم تعد الغرف الرومانية في حاجة إلى استعمال الأعمدة في وسطها لدعم هيكل البناء وثقله، وعلى هذا يمكن دعم السقف عن طريق الجدران الخارجية فقط.

لقد طور الناس في **العصور الوسطى** تصميم الأقواس لبناء أقواس مقببة. وبنوها في صفوف لتشكيل مسارات طويلة مسقوفة تُسمَّى الممرات.

أما اليوم، فتبنى الأقواس من الخرسانة المسلحة والفولاذ، إضافة إلى طرق الحجارة التقليدية. وعلى الرغم من التقنيات والمواد البدائية، فما زال كثير من الأقواس في أماكنها منذ آلاف السنين من بنائها.

يتكون سقف كنيسة دير دوس جيرانيموس في البرتغال، التي بنيت في القرن السادس عشر، من قباب كبيرة.

تملأ فتحة قبة معبد البانثيون الغرفة بالضوء الطبيعي.

مع تطور المدن ونموها، بحث المهندسون المعمارون عن طرق جديدة لتفخيم الأبنية المهمة. ومع الزمن علت **القباب** المذهلة أسطح عدد من الأبنية الرئيسة.

ففي الأقطار التي تعتنق **البوذية**، بنى الناس هياكل تشبه الجرس سُمِّيت (**ستابوس**) أو الأبراج البوذية التي تعد معالم للأماكن المقدسة، أو تخليدًا لذكرى لأحداث خاصة. أما في روما القديمة، فقد طوَّر المهندسون المعمارون تقنيات بناء **الأقواس**، وبنوا قبابًا فعلية.

وأما البانثيون، فهو معبد **روماني** بُني عام 126 قبل الميلاد، وكانت جدرانه على هيئة دائرة ودعمت سقفًا على صورة قبة مستديرة. وعلى الرغم من مرور ألفي سنة على بنائه، فلا يزال هذا المعبد واحدًا من أضخم القباب الحجرية التي بُنيت، حيث يصل ارتفاعه إلى (142) قدمًا (43 مترًا)، ويبلغ عرض قاعدته (142) قدمًا (43 مترًا).

ركَّز معظم المهندسين في أثناء بناء البانثيون على الهيئة التي سيبدو فيها البناء من الخارج. أما بناء البانثيون، فكان رائعًا بصورة خاصة من الداخل؛ إذ توجد في الجزء الأعلى من قبَّته فتحة تسمح بدخول الضوء الطبيعي لإضاءة الغرف. وقد برزت أبواب البانثيون المصنوعة من النحاس الأصفر، وحجارة البناء اللامعة، وأعمال الفنون الأخرى بصورة تكاد تكون شبه مثالية.

ترتكز قبة أيا صوفيا في إسطنبول، بتركيا، على الأقواس وأربع ركائز قوية.

بنى الناس كثيرًا من القباب في القرون التي تلت تصميم البانثيون وبناءه، وكان بناء أياصوفيا في القسطنطينية (التي تعرف الآن بإسطنبول، تركيا)، الذي انتُهي منه عام 537 قبل الميلاد، مثيرًا للإعجاب بصورة خاصة. وتُعدُّ كاتدرائية القديس بطرس في مدينة الفاتيكان وكاتدرائية فلورانسا، الموجودتان في إيطاليا مثالين على القباب التي بنيت في **عصر النهضة**، هذا بالإضافة إلى أن معظم المساجد **الإسلامية تبنى** بسقوف ذات قباب، وأحيانًا تستعمل الدول القباب في الأبنية الحكومية المهمة؛ مثل مبنى الكابتول في الولايات المتحدة الأمريكية. يبني المهندسون المعماريون القباب الضخمة كذلك؛ حتى يتمكنوا من تغطية الملاعب الرياضية، ومن هذه الملاعب ما يمكن فتح قبابها وإغلاقها.

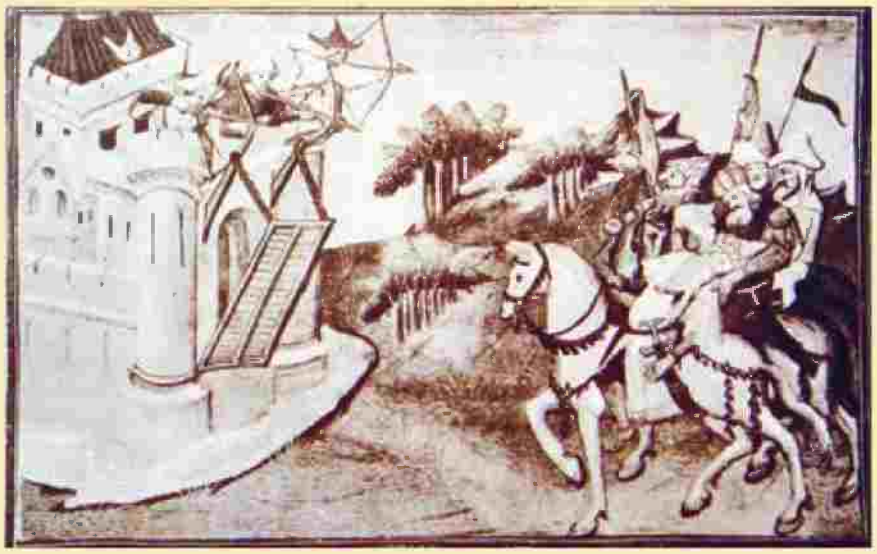
فيليبو برونليسكي

كان فيليبو برونليسكي (1377 -1446م) المهندس المعمار الإيطالي الذي صمَّم قبة كاتدرائية فلورنسا في إيطاليا، وقد سبق له أن حلَّ المشكلة المتعلقة بكيفية منع جدران الكاتدرائية من التفلطح إلى الخارج ومن ثم من الانهيار، وهو شيء يحدث بصورة طبيعية تحت الوزن الهائل للقبة؛ فبدلًا من دعم الجدران بهياكل ضخمة تسمى الركائز، لفَّ سلسلة حديدية كبيرة حول الجدران الخارجية للمبنى، وهذا ما أدى إلى بقاء الجدران في مكانها دون أن تتفلطح إلى الخارج ومن ثم منعها من الانهيار. وقد اشتُهر برونليسكي بخدعته التي أدت إلى كسب عطاء تصميم الكاتدرائية؛ إذ تحدى منافسيه أن يوقفوا البيضة على أحد طرفيها فوق حجر أملس، فلم يتمكن أحد من ذلك. ولمّا حان دوره، كسر طرف البيضة، فوقفت عندئذٍ بسهولة في المكان الذي جرى الرهان عليه.

الجسور المتحركة

مع نمو المدن واكتشاف طرق جديدة للتجارة، عمل الناس على جعل وسائط النقل أسهل وصمَّموا الجسور بوجه خاص لتسهيل عبورهم واجتيازهم العقبات والعوائق كالأنهار والأودية؛ فقد سهلت هذه الجسور على المسافرين الوصول إلى المدن؛ غير أن من عيوبها في الوقت نفسه، أنها سهلت وصول الأعداء والغزاة إلى تلك المدن.

وللتخلص من هذا العيب، سعى المهندسون إلى تطوير جسور تسهل وصول المسافرين الأصدقاء، وتجعل في الوقت نفسه وصول الأعداء أمرًا صعبًا وتبقيهم في الخارج، فتوصل مهندسو القلاع في أوروبا في **العصور الوسطى** إلى حل ناجع، وصمَّموا جسورًا غير ثابتة، سُميت **بالجسور المتحركة**، وكانت تبسط فوق خنادق القلعة، وعندما يرغب



تعمل الجسور المتحركة على بقاء الأعداء في الخارج. تبين الصورة قلعة كيرلافيروكفي في أسكتلندا، التي كان لها جسر متحرك في الماضي، وقد وضع جسر للمشاة في الوقت الحاضر بدلًا منه.

ينقسم جسر بيرنسايد في بورتلاند أوريغون، إلى قسمين ليسمح بمرور السفن من أسفله.

سكان القلعة في عبور الخندق، يمدون الجسر المتحرك فوقه وحرصًا منهم على بقاء الأعداء خارج القلعة، فإنهم يرفعون الجسر بسهولة، وهذا ما يجعل المرور غير ممكن. وإضافة إلى ذلك، كان الجسر يعمل عمل باب أمامي منيع، ويغطي مدخل القلعة تمامًا.

أما في عصرنا الحالي، فتوفر تقنية الجسور المتحركة ممرًّا آمنًا للقوارب والسفن العالية التي تمر أسفل الجسور المنخفضة، فعندما يُبنى الجسر فوق ممر مائي، يجب أن يكون رفعه ممكنًا، حيث ينقسم من منتصفه ليسمح للقوارب بالعبور، ثم يُعاد الجسر إلى مكانه بعد عبور القارب ليسمح بالمرور عبر الممر المائي مرة أخرى.

توجد ثلاثة أنواع من الجسور المتحركة، وهي: الجسور القلابة أو الجسور المتحركة، والجسور المتحركة إلى الأعلى وتفتح من المنتصف، والجسور ذات الرفع الرأسي التي تحتوي على جزء يتحرك إلى الأعلى عند الضرورة، حيث يبقى هذا الجزء ثابتًا في مكانه مثل أرضية المصعد، ولكنه ينفصل عن الطريق من كلا الجانبين. وتقوم الجسور المتأرجحة بالعمل المستوحى من اسمها؛ فهي تتأرجح جانبًا عند الحاجة إلى مرور أحد القوارب، وتتأرجح رجوعًا إلى مكانها الأصلي بعد مرور القارب.

حقيقة ممتعة

كانت خنادق القلعة إحدى وسائل الحماية الجيدة ضد الأعداء؛ لأنها عميقة جدًّا ومملوءة بالماء، لتمنع الأعداء من الوصول بسرعة إلى جدران القلعة. إضافة إلى ذلك، فقد كانت تلك القنوات تحتوي قاذورات ومخلفات سكان القلعة. أما الآن، فقد جفَّ معظم هذه القنوات، وحفرها علماء الآثار لتعرُّف مزيد عن حياة سكان القلاع الذين عاشوا فيها منذ أزمنة غابرة.

دعائم البناء

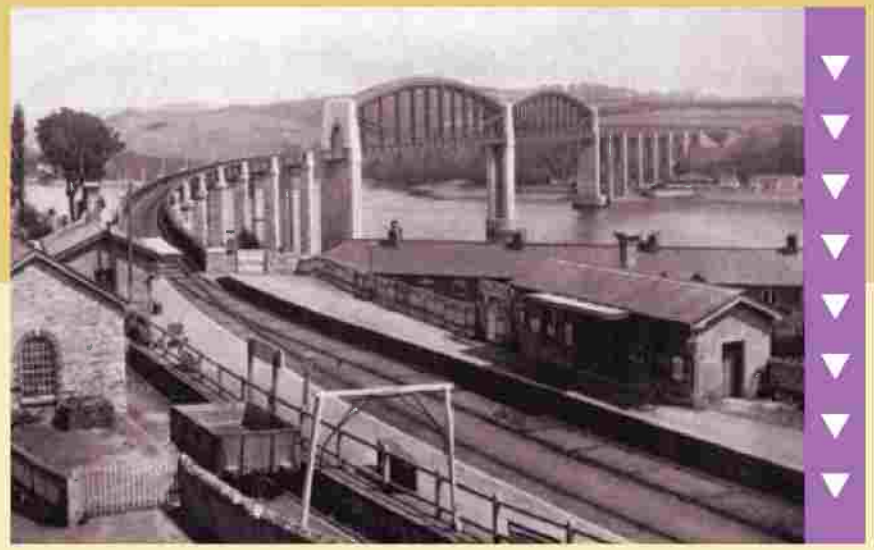
على الرغم من أن **الجسور المتحركة** تعدُّ قفزة إلى الأمام في تصميم الجسور، فإن المهندسين لم يقفوا عند ذلك الحد، فقد ظهرت في القرن السادس عشر جسور أكثر تطورًا من سابقتها. وفي مثل هذا الوقت، استخدم الناس معارفهم السابقة المتقنة في المعادن، والحجارة، والخشب لإبداع صور جديدة من الجسور يمكن مدُّها إلى مسافات أطول.

واستُعملت في كثير من هذه الجسور **الدعائم**، وهي عوارض، أو أي صور أخرى من الدعم، التي تُربط ببعضها على صورة سلسلة من الأشكال المثلثية.

وبهذه الطريقة يمكن جمع الأشكال المثلثية الصغيرة بعضها مع بعض لبناء أشكال مثلثية أكبر منها.

يُعد المثلث من صور البناء القوية؛ لأنه يستطيع تحمل ضغط كبير يقع عليه من أعلى، وهذا ما يجعله الصورة المثالية لحمل وزن الجسر. وعلى الرغم من أن الأشكال المثلثية تبنى من عوارض رقيقة نسبيًّا، فإنها أقوى من المواد التي تُصنع منها.

لم تكن تقنية الدعائم جديدة كليًّا في القرن السادس عشر، فقد استعمل الناس في الشرق الأوسط بعض الأشكال من الدعائم منذ ألفين وخمس مئة سنة



افتتح جسر الملك ألبرت عام 1859م، وقد استعملت الدعائم البيضوية في بنائه للعبور فوق نهر التايمز في (إنجلترا).

تحمل الدعائم في أونتاريو، بكندا، جسر الإسكندرية الملكي فوق نهر أوتاوا.

قبل الميلاد، واستعمل اليونانيون أيضًا الدعائم لبناء سقوف بيوتهم، غير أن المهندسين لم يفهموا الإمكانات الحقيقية للدعائم في البناء حتى بُدِئ بتطوير الجسور الجديدة.

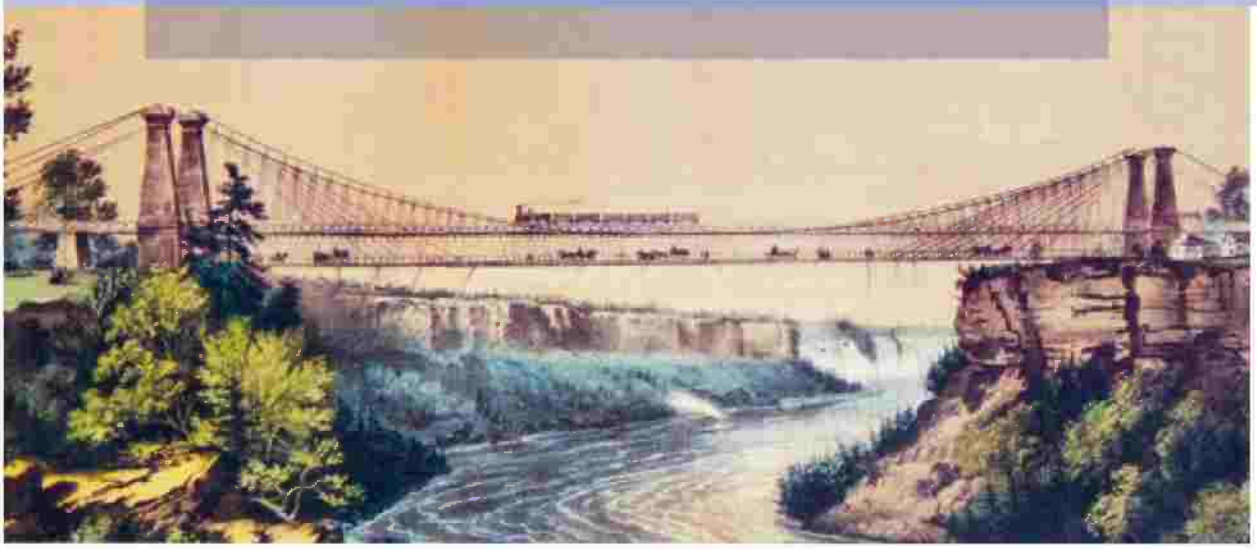
ومع مرور الزمن، بنى الناس جسور الدعائم التي امتدت إلى مسافات أبعد كثيرًا عمَّا كانت عليه في الماضي، فقد يصل طول جسر الدعائم الحديث إلى أكثر من ألف قدم (305 أمتار). وقد كانت غالبية جسور الدعائم تُبنى لإنشاء الطرق فوق دعائمها، وأطلق عليها اسم سطوح جسور الدعائم. وكانت طرقها تمرُّ بين دعائم الجسر.

يمتلك المهندسون اليوم مجموعة متنوِّعة من تقنيات الجسور، ويمكنهم الاختيار منها عندما يصممون الجسور، غير أنه من الأسهل عليهم في معظم الحالات استعمال العوارض الخشبية التي توضع بين الدعائم لبناء الطريق، وعلى الرغم من ذلك، يفضل المهندسون بناء جسور الدعائم؛ لأنها جميلة المظهر وقوية، ويتطلب بناؤها قليلًا من المواد والمعدات الثقيلة.

حقيقة ممتعة

ثلاثة نجارين أمريكيين مبدعين تخصصوا في بناء الجسور الخشبية ذات الدعائم في بدايات القرن التاسع عشر؛ فقد بنى تيموثي بالمر (1770–1821م)، ولويس ويروانج (1770–1843م)، وثيودور بُر (1771 –1822م)، جسور دعائم سمحت للناس بالانتقال والعيش في البراري الأمريكية. ويُعتقد أن بالمر كان السبَّاق في بناء الجسور المغطاة ذات الدعائم، وهذا ما شجع الناس على بنائها في مناطق عدة من الولايات المتحدة الأمريكية.

الجسور المعلقة



افتُتح جسر شلالات نياجارا المعلق عام 1855م، وقد ساعد على مرور المشاة، والعربات، والقطارات فوق الشلالات من القسم الأمريكي في نيويورك، إلى القسم الكندي في أونتاريو.

أدى استعمال **الدعائم** إلى تطورات وتحسينات كبيرة في تصميم الجسور، ولكن بعض المشكلات بقيت قائمة ومعلَّقة. ومن الممكن مدُّ جسور الدعائم وبناؤها فوق مسافات واسعة إذا توافرت القواعد القوية التي ستثبت فيها **دعائم** الجسور؛ لذا كان من الصعب بناء هذه الجسور في الأماكن التي يصعب فيها بناء أعمدة قوية؛ بسبب جريان الماء السريع في الممرات المائية والأودية العميقة، وقد استعمل الناس قرونًا طويلة عروق العنب الملتوية بعضها على بعض، أو عصيّ الخيزران المُضفَّرة، لبناء الجسور المعلقة البسيطة.

ومع بداية القرن التاسع عشر، شرع الناس في تحسين التصميم الأساسي، وبنوا **جسورًا معلقة** ضخمة جدًّا، وكانت الطرق فوق هذه الجسور معلقة بسلاسل من الحديد بدلًا من عروق الكرمة المجدولة.

ومع مرور الزمن، واجه مهندسو الجسور المعلقة عددًا من التحديات، منها على سبيل المثال: هل يستطيعون بناء جسر معلق يمكنه البقاء ثابتًا وقويًّا عند تعرضه لقوة دفع الرياح العاتية، أو عندما تضربه العواصف؟ وهل تستطيع أكبال التعليق حمل ثقل وزن الطريق المعلق، فضلًا على وزن السيارات التي تسير فوقه؟ وهل بإمكانهم بناء جسور معلقة تستطيع الصمود في وجه الهزات الأرضية؟

ومع منتصف القرن التاسع عشر، أجاب **مهندس** أمريكي يدعى جون أوجستس روبلنغ، عن هذه الأسئلة.

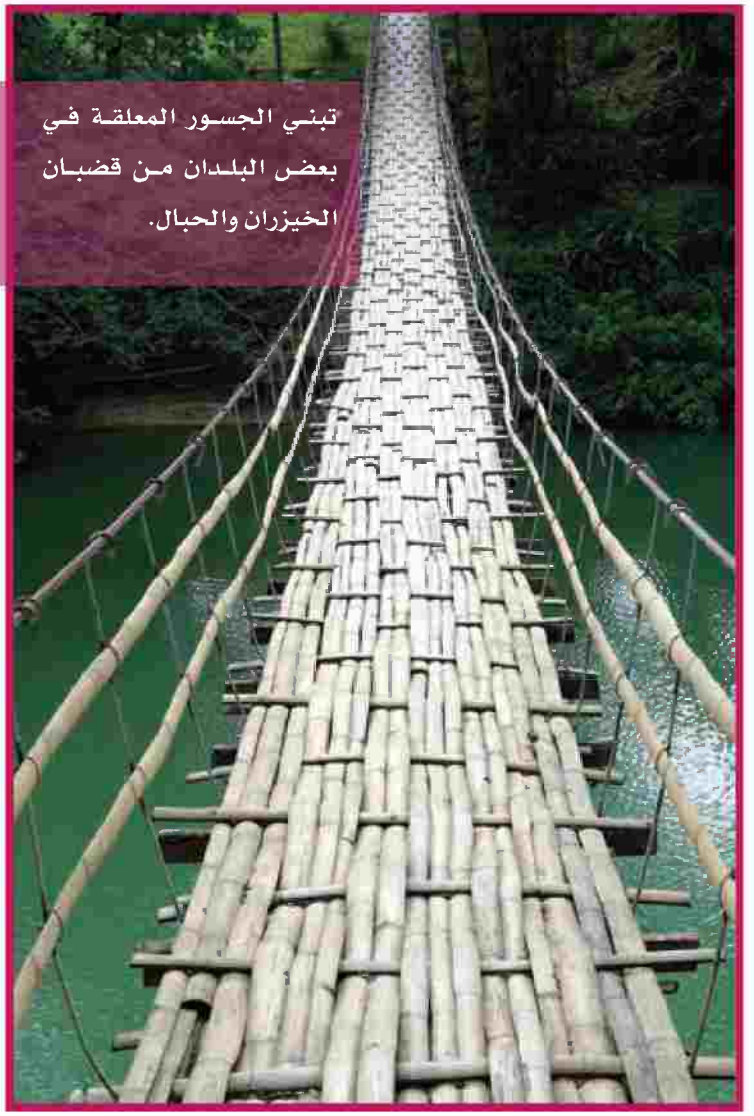
لقد حقق جون اختراقًا في تصميم الجسور عندما جمع بين قوة القواعد

نظرة عن قرب

لقد بُني جسر البوابة الذهبية في سان فرانسيسكو، كاليفورنيا، ما بين عامي 1933م و 1937م. وعلى الرغم من مظهره الذي يوحي بأنه خفيف ورشيق، فإنه يحتوي على (88,000) طن (79,832 طنًّا متريًّا) من الفولاذ، و(390,000) قدم مكعبة (356,616 مترًا مكعبًا) من الخرسانة المسلحة. ويوجد في حبلي التعليق الرئيسين وحدهما ما قيمته 160,000 ميل (257,495 كلم) من الأسلاك، وهذا الطول كافٍ للف الأرض عند خط الاستواء ست مرات ونصف.

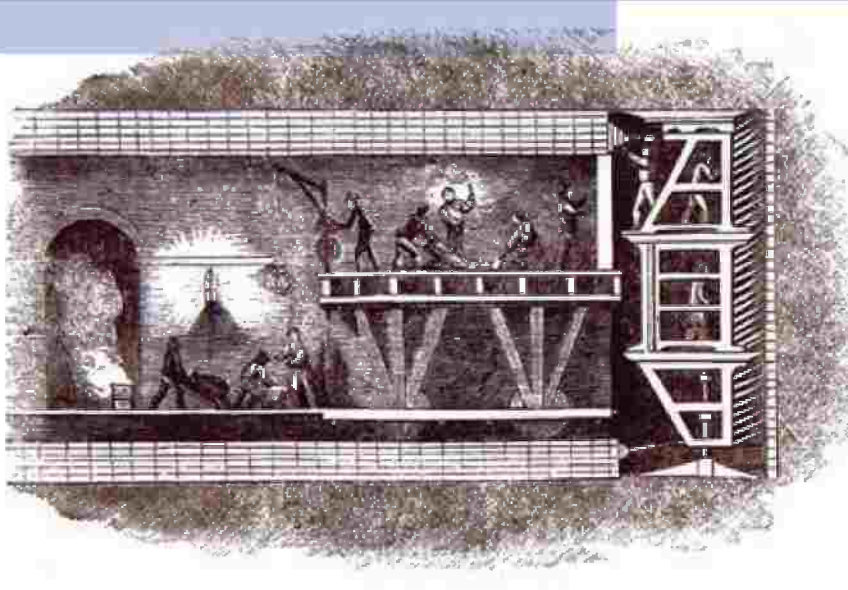
الأرضية في أسفل الطريق، وقوة حبال التعليق من أعلى، فأدى هذا الجمع بين القوتين إلى جعل الجسور قوية جدًّا؛ إذ أمكن مدُّها فوق مياه شلالات نياجارا المزمجرة على الحدود بين نيويورك وأونتاريو في كندا. وقد استخدم روبلنغ تقنيات مشابهة عند بنائه الجسر المعلق فوق نهر أوهايو في سنسناتي من ولاية أوهايو، وكذلك عند بنائه جسر بروكلين في مدينة نيويورك.

أما اليوم، فتُبنى الجسور العملاقة فوق امتدادات واسعة من الأرض؛ وأحد أشهر هذه الجسور جسر البوابة الذهبية الذي يمتد إلى مسافة أربعة آلاف ومئتي قدم (1,280 مترًا) فوق المياه المفتوحة من خليج سان فرانسيسكو.



تبني الجسور المعلقة في بعض البلدان من قضبان الخيزران والحبال.

الأنفاق



استخدم مهندسو نفق نهر التايمز في لندن إنجلترا، دروع الأنفاق؛ لمنع انهيار النفق في أثناء العمل.

بعد اختراع الناس صورًا متعددة من وسائط النقل ساعدتهم على السفر والانتقال السريع إلى أماكن بعيدة، تحول اهتمامهم إلى تحسين حالة الطرق، وأتقن المهندسون المعمارون بمرور الزمن بناء الجسور التي كانوا في حاجة إليها لعبور الأنهار والأودية والأخاديد، وكذلك بحث الناس في الطرق التي تمكِّنهم من حفر الأنفاق لتجنب العوائق التي تعترضهم، مثل الجبال.

وقد عُثر على أدلة وشواهد تبين أن الناس الذين عاشوا في إفريقيا، استعملوا قرون الغزلان وعظام الخيل لحفر الأنفاق منذ أكثر من عشرة آلاف سنة مضت، ومع مرور الزمن، طور الناس أدوات أفضل لحفر الأنفاق، واكتشفوا وسائل مناسبة للبقاء آمنين وهم تحت الأرض؛ فعلى سبيل المثال، تعلموا كيفية دعم سقوف الأنفاق للحيلولة دون سقوط الصخور وانهيار الأنفاق عليهم. أما الفضل في الاكتشافات الأولى لتقنية حفر الأنفاق، فيعود إلى العمال الذين عملوا في تصميم المناجم.

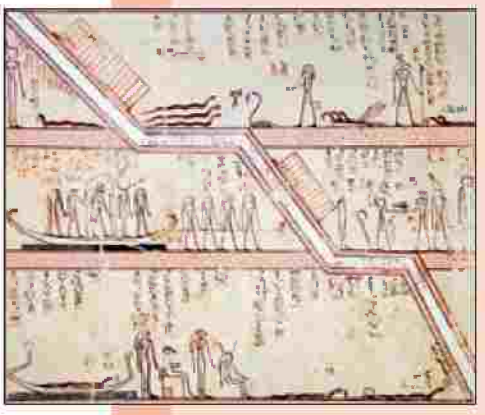
وقد ساعد تطور المتفجرات على جعل عمليات بناء الأنفاق أسرع وأسهل، فأصبح بإمكان الناس نسف أجزاء كبيرة من الصخور، ثم استخدام العربات للتخلص من الأنقاض.

وفي القرن التاسع عشر، أسهم السفر بسكك الحديد، في الحاجة إلى بناء الأنفاق لتصبح أكثر أهمية مما مضى؛ فالقطارات مثلًا لا تستطيع صعود المنحدرات الحادة وهبوطها؛ لذا اعتمدت على حفر الأنفاق، وبناء الجسور؛ لعبور الجبال، والأودية، والأخاديد.

وكلما بنى الناس مزيدًا من الأنفاق، اكتشفوا كيف يمكنهم البناء في الرمال الطرية المتحركة.

ففي عام 1825م، صنع العمال الإنجليز **درع الأنفاق** الذي مكَّنهم من بناء نفق سكة الحديد أسفل نهر التايمز الذي

نظرة عن قرب



كان المصريون القدماء بناة أنفاق مهرة، وقد بنوا الأنفاق لأغراض متعددة، منها: تخزين الماء في غرف تحت الأرض، وبناء مداخل سرية للقبور.

وعلى الرغم من نحتهم الصخور بالأيدي، فقد اخترعوا طرقًا فاعلة لتكسيرها؛ إذ كانوا يشعلون النار أمام الصخور، ثم يسكبون الماء البارد فوق سطوحها الحارة جدًّا؛ فينفذ الماء عبر الشقوق، ويتحول إلى بخار يتمدد مؤديًا إلى تسطيح هذه الصخور.

يمر بوسط لندن، وكان الدرع أسطوانة تمسك بالمواد الموجودة حول النفق، في أثناء وضع العمال الدعائم الفولاذية والخرسانة المسلحة، وقد استغرق بناء النفق ثمانية عشر عامًا، وبوساطته أصبحت القطارات قادرة على العبور من تحت النهر.

عندما أتقن الناس بناء دروع الأنفاق، أصبحت تقنية بناء الأنفاق متوافرة للجميع، حيث تستطيع آلات الحفر الضخمة اليوم حفر الأنفاق بمعدل خمس مئة قدم (152 مترًا) في اليوم.

أما نفق القنال، أوما يعرف بالنفق، فهو نفق للقطارات، يصل بين المملكة المتحدة وفرنسا، ويمتد بينهما أسفل مياه القنال الإنجليزي، وقد افتتح هذا النفق عام 1994م، حيث يسهِّل مرور المركبات التجارية وقطارات المسافرين، وتستغرق الرحلة البالغ طولها مسافة واحد وثلاثين ميلًا (50 كلم) بين بريطانيا وفرنسا بضع دقائق.

يوفر النفق للقطارات طرقًا مناسبة لعبور العوائق الطبيعية والصناعية وتخطيها.

وفرت هذه المراحيض الرومانية القديمة الخدمات لسكان أوستيا في إيطاليا.

كانت عملية التخلص من الفضلات إحدى المشكلات الرئيسة التي واجهت **الحضارة** عبر العصور جميعها، وفي الحقيقة أصبحت **مراحيض الصرف** متوافرة وشائعة في الأبنية والمنازل منذ مئة وخمسين سنة فقط.

بنى سكان ما يعرف الآن بباكستان والهند الغربية، المصارف للتخلص من فضلات البيوت عام 2500 ق.م. تقريبًا، وبعد خمس مئة عام من هذا التاريخ؛ أي عام 2000 ق. م.تقريبًا، بنى سكان جزيرة كريت القدماء قصرًا يحتوي على أنابيب لمياه الشرب وحفر اتُّخذت مراحيض.

أما المهندسون اليونانيون فطوَّروا **نظام تهوية** للمساعدة على التخلص من روائح الفضلات.

فقد أنشأ **الرومان** القدماء صنابير مياه و**أنظمة صرف صحي** تنقل الفضلات من المنازل وتلقيها في الأنهار والجداول القريبة منها، ومع ذلك، توقف التركيز على التخلص من الفضلات مع انتهاء الإمبراطورية الرومانية، وذلك بدءًا من 400 وحتى 1400 بعد الميلاد، إذ اختفت أنظمة التخلص من الفضلات، وتخلَّص الناس من الفضلات بطرحها في الشوارع.

ظهرت بعض أنواع مراحيض الصرف في بعض الحضارات القديمة، لكنها لم تتطور كثيرًا حتى بداية القرن السادس عشر في (إنجلترا). وعلى الرغم من ذلك، ونظرًا إلى عدم توافر حرفة السباكة وأنابيب المياه وكذلك أنظمة الصرف الصحي، فقد كانت المراحيض غير عملية التطبيق.

في عام 1779م، طوَّر شخص إنجليزي يدعى جوزيف براما في تصميم المرحاض، ثم اعتُمِد هذا النوع من المراحيض على نطاق واسع، غير أن أنظمة

أنابيب المياه التي تدعمه كانت تعاني بعض المشكلات الرئيسة، وبالتحديد كانت فضلات المرحاض تصبُّ في حفرة تسمى **بالوعة**، قد تمتلئ بالفضلات فتفيض وينسكب ما فيها إلى الخارج.

وعند منتصف القرن التاسع عشر، طوَّر الناس (**خزانات الصرف الصحي**) لاحتواء الفضلات.

وفي ستينيَّات القرن التاسع عشر، أدخل سبّاك إنجليزي، يُدعى ثوماس كرابير، تحسينات على مرحاض الصرف، وفي السنة نفسها، بدأت بلدية مدينة لندن ببناء واحد من أكثر أنظمة الصرف الصحي تقدمًا. (انظر أنظمة الصرف الصحي الحديثة، صفحات 32–33).

صنعت شركة كرابير هذا النموذج الحديث من المراحيض عام 1890م.

نظرة عن قرب

كان سكان المدن الأوروبية في العصور الوسطى يطرحون قمامة منازلهم في الشوارع بكل بساطة؛ فقد كانت للبنايات ممرات جانبية أمام المنازل عند مستوى الطابق الأرضي، بحيث يُبنى الطابقان الثاني والثالث فوق عارضة تمتد فوق هذه الممرات الجانبية؛ لذا كان الناس يسيرون أسفل عوارض التعليق؛ ليكونوا بعيدين عن طريق ربات المنازل حين يلقين القمامة من الطوابق العلوية. وعليه، أدرك الأوروبيون مع نهاية القرن الثامن عشر، أن الظروف البيئية غير الصحية ترتبط ارتباطًا قويًّا بالأمراض؛ لذا أنشأت المدن أنظمة للتخلص من الفضلات، وجمع القمامة من الشوارع ومن الممرات المائية.

أنظمة الصرف الصحي الحديثة

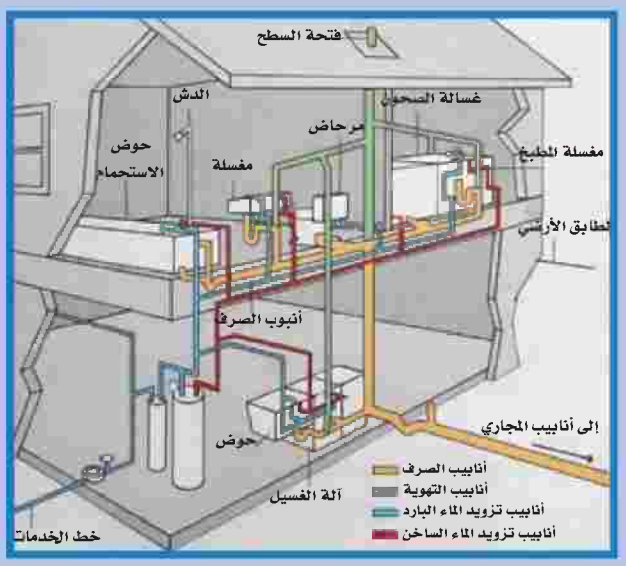
تمتلك المدن والبلدات في عصرنا الحاليّ أنظمة سباكة منفصلة لكل من المياه النظيفة ومياه الصرف الصحي، غير أن الناس لم يدركوا ولمدة طويلة من تاريخهم أهمية النظافة والتخلص من الفضلات. وعلى الرغم من إنشاء بعض **الحضارات** أنظمة لتصريف مياه الفيضانات الناجمة عن العواصف، فإن **أنظمة الصرف الصحي** الحديثة لم تتطور حتى منتصف القرن التاسع عشر.

تحتوي المباني الحديثة هذه الأيام على مجموعات من أنابيب المياه منفصلة تمامًا عن أنابيب التخلص من المياه العادمة.

وبحلول **العصور الوسطى**، كانت المدن والبلدات الأوروبية تعاني مشكلات خطيرة ومرعبة تتعلق بالمياه حيث اختلطت مياه **المجاري** بمياه الشرب، وكان آلاف الناس يموتون في كل عام نتيجة الأمراض التي تنتقل عن طريق المياه الملوثة، أصبح نهر التايمز في لندن حفرة مفتوحة من مياه الصرف الصحي.

عندما أدرك الناس العلاقة بين الأمراض والفضلات، فصلوا المياه النظيفة عن المياه الملوثة. وبحلول القرن التاسع عشر، اخترع الأوروبيون طرقًا لتنظيف مياه الصرف الصحي؛ فقد استفاد مسؤولو الحكومة في لندن من أنظمة الصرف الصحي التي طورها القدماء الذين عاشوا في جزيرة كريت، وقد عدَّ هؤلاء المسؤولون هذه الأنظمة أمثلة يمكن الإفادة منها في تطوير نظام الصرف الصحي المخصوص بهم.

فكانت الفضلات تخلط بالمياه وتنساب خارج البيوت والمنازل، والأصل أن ترسل هذه الفضلات إلى مكان ما، ولكن الناس لم يدركوا تمامًا إلى أين يجب إرسالها، فأوجدت المدن طرقًا لتخزين الفضلات تكون أكثر نظافة وأمنًا من الحفر الامتصاصية التي يستعملونها.



محطات تنقية مياه الصرف الصحي، الظاهرة في الصورة، الموجودة في مدينة ميونخ بألمانيا، ضرورية لكل مدينة.

وفي نهاية الأمر، تمكن **المهندسون** ومخططو المدن من إحراز بعض التقدم في أثناء تنظيفهم المياه بصورة جيدة، وطوروا عن طريق التجربة والخطأ، **أنظمة لمعالجة مياه الصرف الصحي** التي ما زالت تستعمل حتى الآن في معظم بلدان العالم.

وبوساطة هذا النظام، تجري المياه العادمة من المنازل والبيوت في أنابيب فخارية أو أسمنتية كبيرة تنتهي جميعها في مصب مركزي واحد، وعندئذٍ تنتقل الفضلات بين مجموعة من البرك حيث تبدأ عملية التنقية.

في المرحلة الأولى من عملية التنقية، تفصل المناخل الأجسام الكبيرة مثل قطع الخشب، والملابس، والمعادن، ثم تنتقل المياه إلى خزانات حيث تترسب كتل الأوساخ والفضلات الكبيرة في قعرها، وهناك تتكوَّن طبقة سميكة من الرواسب الموحلة، ثم تنقل المياه بعد ذلك إلى خزانات أخرى حيث تعالج بمواد كيميائية متنوعة، وتُصفى حتى تصبح نظيفة، ثم تنساب بعد ذلك في مجاري الممرات المائية القريبة منها.

وقد أدت أنظمة معالجة المياه ومياه الصرف الصحي إلى الحدِّ من ظهور الأمراض بصورة لافتة، وساعدت على تطور المدن والبلدات الحديثة كما نعرفها اليوم.

حقيقة ممتعة

تحتوي رواسب مياه الصرف الصحي الطينية على كميات كبيرة من الطاقة. وتسخّن بعض محطات تنقية مياه الصرف الصحي هذه الرواسب إلى (95) درجة فهرنهاتية (35 درجة مئوية)؛ فتتحلل الرواسب عند هذه الدرجة، وتنتج غاز الميثان الذي يستعمل لتشغيل أجهزة محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المحطة.

التدفئة المركزية

يمكن رؤية نظام غرفة التعرق أسفل هذه الأرضيات الرومانية القديمة.

بعد أن أتقن الناس تقنية جر المياه النقية الصالحة للشرب إلى المنازل، وتصريف مياه الصرف الصحي بعيدًا عن منازلهم، اهتموا بالطرق الأخرى التي تجعل حياتهم مريحة وأكثر متعة، ولاسيَّما البحث عن وسائل لتدفئة بيوتهم بصورة أفضل.

أشعل الصيادون وجامعو الثمار في حقبة ما قبل التاريخ النار داخل خيامهم، مع حرصهم على وجود ثقوب مفتوحة في أعلاها للسماح للدخان بالخروج منها. ولكن، عندما استقرَّ الناس في المجتمعات الزراعية، بنوا أماكن خاصة لإشعال النار في بيوتهم. وعلى الرغم من عدم قدرة هذه الأمكنة على تدفئة بيوتهم، فقد أدت إلى حدوث بعض المشكلات؛ إذ أصبحت الغرف الصغيرة معتمة ومملوءة بالدخان، وكانت فتحات السطوح تسمح بدخول المطر الذي يؤدي إلى إطفاء النار، أو دخول الرياح التي كانت تدفع الدخان إلى داخل المنزل، والأسوأ من ذلك كله، هو عدم قدرة النار على تدفئة البيت كله، بل تقتصر التدفئة على جزء صغير منه؛ لذا لم تكن هذه الطريقة فاعلة لتدفئة المنازل والبيوت الكبيرة التي تعلَّم الناس بناءها.

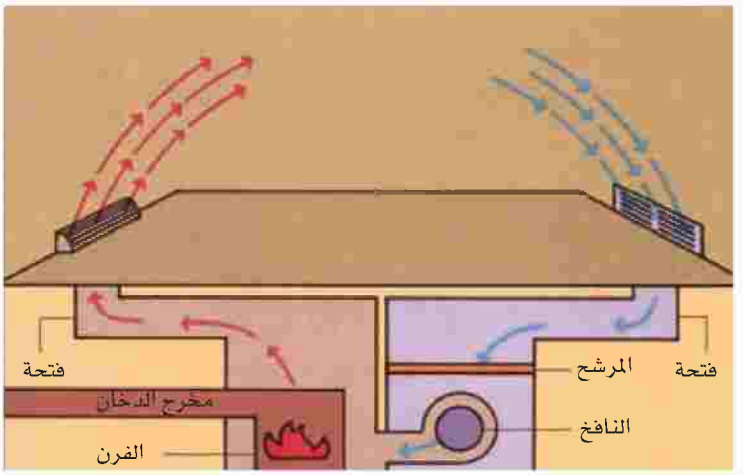
اكتشف **الرومان القدماء** نظامًا استعملوه لتدفئة بعض أجزاء بيوتهم الكبيرة، والأبنية المهمة في فصل الشتاء، وسُمِّي نظامهم هذا **بغرف التعرق** فكان الخدم يشعلون النار في منطقة محددة من البناء، ثم ينتقل الهواء الساخن الناتج من النار أسفل البناء، عبر فتحات أسفل أرضية البناء، إلى الغرف الأخرى عن طريق فتحات في جدرانها.

بنى الناس أيضًا في أمكنة أخرى من العالم مواقد التدفئة منذ وقت مبكر؛ ففي الصين، عام 100 ق.م.تقريبًا، استعمل الناس مدافئ من الحديد السكب. أما في أوروبا، فقد بنى الناس المدافئ المصنوعة من الطوب الحراري مع بداية القرن الخامس عشر، ثم بُنيت لاحقًا من الحديد. وفي عام 1777م، بنى المخترعون الأوروبيون نظام تدفئة يستعمل المياه الساخنة التي تجري داخل سلسلة من الأنابيب التي تؤدي إلى تدفئة

الغرف الواقعة فوقها، وقد أدى هذا التطور إلى اختراع **المشعات** الحرارية.

وفي عام 1820م، بُني أول **نظام تدفئة مركزية** بحجم كبير في مصنع للحرير في (إنجلترا). إذ قام مخترعو هذا النظام بتسخين الماء في مرجل كبير، ثم أرسلوا البخار الساخن جدًّا عبر أنابيب من الحديد السكب ومنها إلى غرف المصنع. ومع منتصف القرن التاسع عشر، امتلك كثير من المحال التجارية وسائل تدفئة تعمل بالبخار الذي تدفعه المراوح عبر أنابيب مخصوصة بذلك.

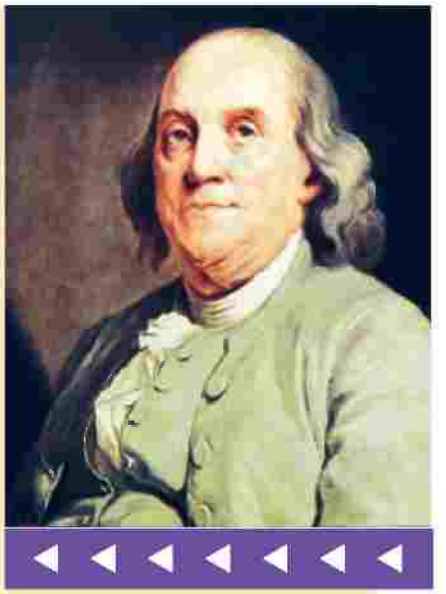
ومع بداية القرن العشرين، بنى كثير من الناس أبنية تعتمد على الغاز في التدفئة بدلًا من الفحم أو الخشب، وما زالت هذه الأنظمة تستعمل في العالم



يسخن الفرن الهواء أسفل البيت، ثم يُدور الهواء في غرف المنزل.

حتى هذه الأيام، على الرغم من تطور التقنية التي تدار بوساطتها.

يستعمل الناس هذه الأيام منظمات الحرارة (**الثيرموستات**) لضبط حرارة الغرف كما يرغبون، وعندما تنخفض درجة حرارة الهواء حول المنظم عن الدرجة التي ضُبط عليها، ترسل الثيرموستات **رسالة كهربائية** إلى نظام التدفئة محفزة إياه على إرسال مزيد من الحرارة إلى الغرفة.



بنجامين فرانكلين

كان بنجامين فرانكلين (1706-1790م) صاحب مطبعة، وناشرًا، ومؤلفًا، وسياسيًّا في الوقت نفسه. لقد كان مخترعًا موهوبًا؛ ففي بداية أربعينيات القرن الثامن عشر، اخترع مدفئة ذات فاعلية عالية مازالت تدعى حتى يومنا هذا بمدفئة فرانكلين، إذ بناها من الحديد السكب في مكان مناسب في الحائط، ولكنها تمتد إلى الخارج قليلًا؛ لنشر الحرارة من جوانبها الثلاثة. ولم يقف فرانكلين عند هذا الحد، فقد اخترع كثيرًا من الأدوات الأخرى الشائعة الاستعمال، مثل العدسات الثنائية البؤرة، وحتى الهيرمونيكا. وقد كان من أوائل من درس الكهرباء وسخرها للاستعمال؛ فقد أثبتت تجربة (الطائرة الورقية والمفتاح) في أثناء العاصفة الرعدية أن البرقَ نوعٌ من الكهرباء؛ لذا ساعده هذا الاكتشاف على اختراع أعمدة منع الصواعق التي ما زالت تستعمل حول العالم في أيامنا هذه؛ لحماية الأبنية من الصواعق.

تكييف الهواء

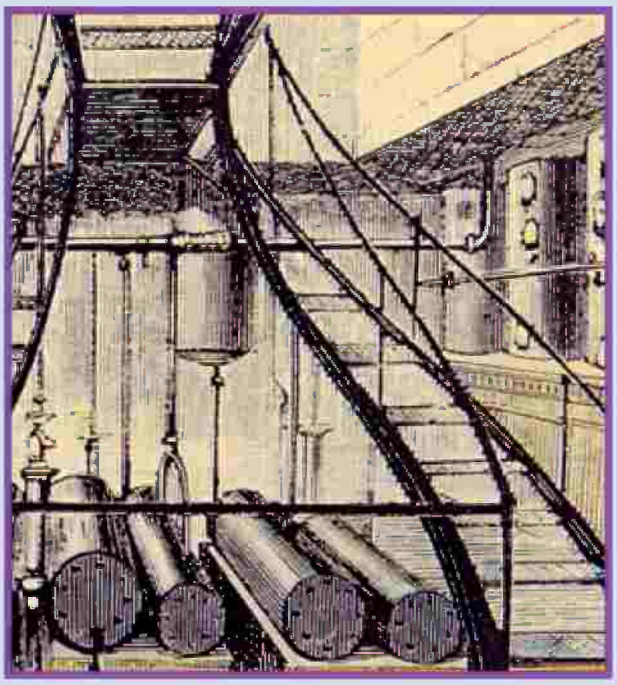
سعى الناس إلى الحفاظ على برودة منازلهم في أثناء شهور الصيف الحارة، تمامًا كما سعوا إلى تدفئة بيوتهم في أثناء أشهر الشتاء الباردة؛ لذا أدت هذه الجهود إلى تطوير **تكييف الهواء**.

لقد قام المصريون القدماء، واليونانيون، و**الرومان** بتبريد الهواء داخل منازلهم بوساطة تعليق حصر مُبلَّلة على المداخل والنوافذ المفتوحة، وعندما يمر الهواء من خلال هذه الحصر، يعمل **الماء المتبخر** على تبريد الهواء. وفي القرن السادس عشر، صنع الفنان والعالم الإيطالي ليوناردو دافينشي أول مروحة ميكانيكية تعمل بوساطة قوة الماء.

عادةً ما تكون المدن بكل ما فيها من أبنية أسمنتية **ومصانع**، أكثر دفئًا من مناطق الريف المحيطة بها. وعليه، فإن سكان المدن يجاهدون كثيرًا للمحافظة على برودة مناطقهم. ومع مرور الزمن، اكتشف كبار رجال الأعمال أن ارتفاع درجة الحرارة في أماكن العمل تجعل من الصعب على العمال البقاء في صحة جيدة، والقيام بالعمل في الوقت نفسه؛ لذا أصبحت الحاجة إلى تطوير أنظمة للتبريد أكثر أهمية.

في منتصف القرن التاسع عشر، اخترع طبيب أمريكي يدعى جون جوري آلة لتبريد الهواء، في أثناء عمله في الطب في ولاية فلوريدا ذات الطقس الحار على مدار العام، وقد استعمل آلته للمحافظة على غرف المستشفى باردة ومريحة. وكانت تلك الآلة التي صنعت عام 1851م، تُصنِّع الثلج تمامًا بالطريقة نفسها التي تعمل بها آلات صناعة الثلج الحديث.

تعمل أنظمة التبريد، مثل النظام أدناه الظاهر في الصورة، الذي صُنع عام 1887م، على تبريد الطعام في أثناء الرحلات البحرية الطويلة



وبعد خمسين سنة من اختراع جوري لآلة التبريد التي تخصه، عرف مهندس يدعى ألفريد ولف كيفية بناء آلة تبريد للهواء لوضعها في قاعة كارنيجي وغيرها من الأبنية المهمة في مدينة نيويورك، واخترع في الوقت نفسه **مهندس** يدعى ويليس كاريير آلة تستطيع تدوير الهواء والتحكم في درجة حرارته ورطوبته.

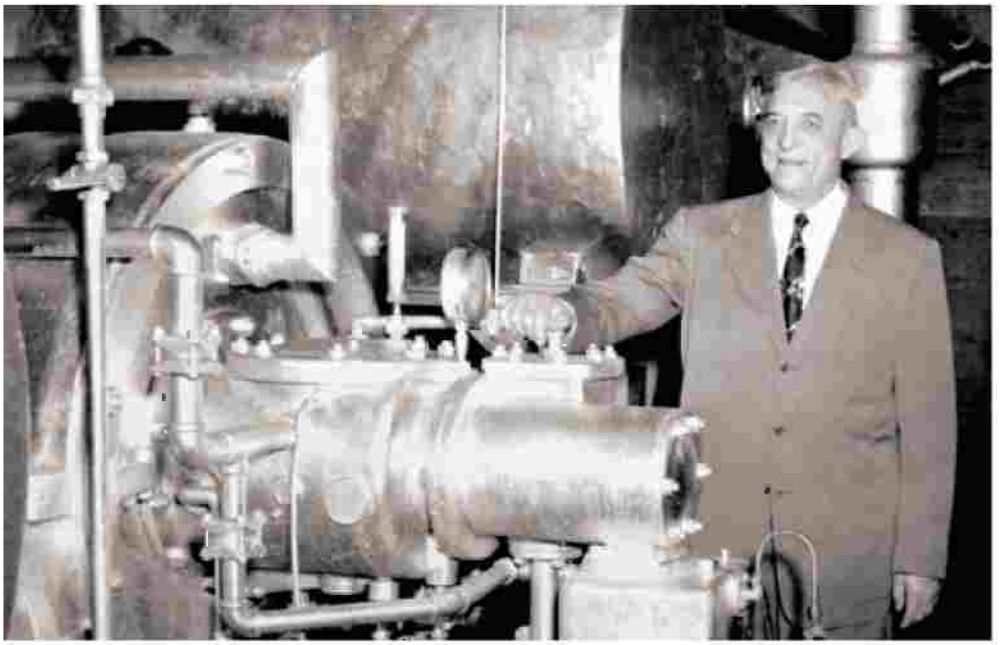
بحلول عام 1922م، شُيِّدت أول بناية كانت مكاتبها مكيفة بالهواء بصورة كاملة، ومع تطور تقنية التكييف، بدأ الناس بتركيب أجهزة التكييف في القطارات، والسيارات، والمنازل.

واليوم، يستخدم كثير من الناس الذين يعيشون في المناطق الحارة أجهزة تكييف الهواء، حيث تبلغ نسبة بيوت الأمريكيين التي تحتوي على مكيفات للهواء قرابة (80%)، وترتفع هذه النسبة إلى نسبة أعلى منها في الدول الآسيوية.

حقيقة ممتعة

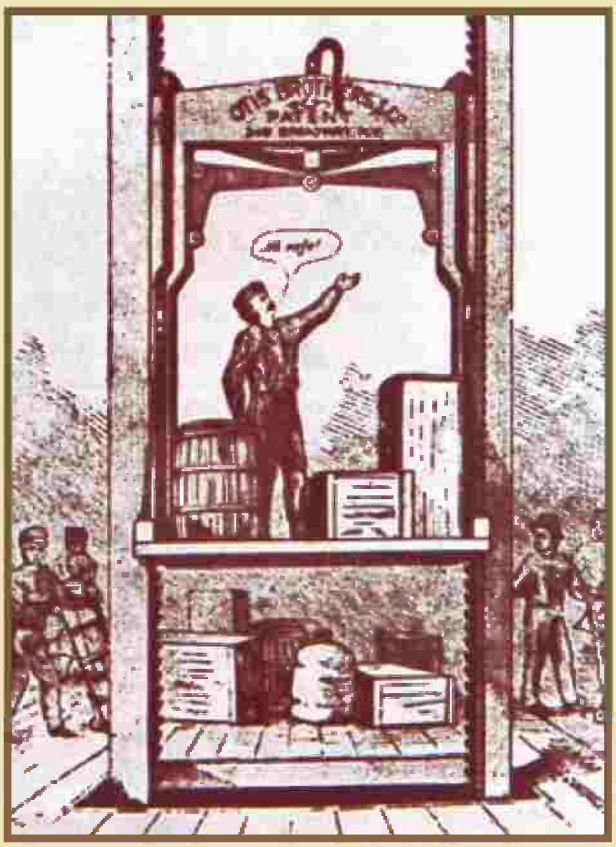
في عام 1906، استعمل ستيوارت كريمر، الذي كان يعمل مهندس نسيج في كارولينا الشمالية، مصطلح التكييف أول مرة، ثم أصبح تكييف الهواء فرعًا من فروع الهندسة المعترف بها منذ عام 1911م.

تتضمن أنظمة التكييف الحديثة ثيرموستات يمكن ضبطها للتحكم في درجة حرارة الغرفة.



ساعد ويليس كاريير الظاهر في الصورة واقفًا بجانب مبرِّده عام 1922م، على تكييف الهواء للملايين من الناس.

المصاعد الكهربائية



يقدم أليشا أوتس عرضًا لمكابح مصعده في عام 1854م.

مع ازدياد أعداد الناس والشركات في كل عام في المدن، أصبح توافر الأماكن الفارغة أكثر أهمية مما سبق. وللحصول على أراضٍ كافية لاستيعاب النمو المتزايد، أخذت المدن بالتوسع نحو الريف والبلدات المجاورة، ولمَّا لم يعد توسيع المدن ممكنًا؛ نظرًا إلى عدم توافر الأراضي، فقد نحا المهندسون منحىً مختلفًا تمامًا؛ إذ بدؤوا بالصعود بالأبنية إلى الأعلى.

كان ارتفاع البنايات حتى نهاية القرن التاسع عشر لا يتعدى **طابقين** أو ثلاثة، ولكن مع ازدياد الحاجة إلى توافر الأرض اللازمة لنمو المدن، بدأ المهندسون بتشييد بنايات أعلى فأعلى؛ ولذلك أصبحت الأدراج والسلالم أطول؛ وهذا يعني أن على الناس بذل جهد أكبر لتسلقها والوصول إلى الطوابق العلوية، وأصبح صعود السلالم والأدراج أكثر صعوبة في أثناء الناس حمل الأثاث واللوازم المخصوصة برجال الأعمال والشركات؛ لذا أخذ المخترعون هذا الأمر في الحسبان، فطوروا المصاعد، وحتى يتأكد لديهم عمل المصاعد بطريقة آمنة ومنتظمة، كان لا بد من بناء المصعد داخل **بئر** يكون طوله بطول البناء نفسه، وكان المصعد يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل على قضبان خاصة مثبتة على جدران البئر؛ كي لا يتأرجح من جانب إلى آخر فوق الحبال التي يتعلق بها.

عملت المصاعد الأولى بقوة الماء أو البخار، لذا كانت بطيئة وغير آمنة، وغالبًا ما ينقطع الأنبوب الذي يحمل البخار اللازم لتحريك المصعد، ما يؤدي إلى سقوط عربات المصعد إلى أسفل البئر وتحطمها.

في منتصف خمسينيات القرن التاسع عشر، اخترع أحد سكان نيويورك أليشا جرافيز أوتس، جهاز أمان يمنع سقوط المصعد حتى لو انقطعت الحبال الداعمة له. ولإثبات سلامة جهازه وأمانه، صعد أوتس في المصعد حتى أعلى البناية، وطلب قطع الحبال التي تحمل المصعد؛ ليثبت عدم إمكانية سقوط المصعد.

بدأ إنتاج مصاعد الركاب عام 1857م، وفي عام 1880م، اخترع عالم ألماني يدعى إيرنست فيرنير فون سيمنس أول **مصعد كهربائي**، وكان آمنًا وموثوقًا به، ولم يسبق أن تمكَّن الناس من الصعود إلى البنايات العالية والهبوط منها بسرعة وسهولة قبل ذلك.

مكَّن اختراع المصعد الكهربائي الناس من بناء أبنية مرتفعة أكثر فأكثر؛ لذا لم يكن مستغربًا أن يتزامن بناء أول ناطحة سحاب مع اختراع المصعد الكهربائي.

تنقل المصاعد الناس صعودًا وهبوطًا في المباني العالية بسرعة، على نحو ما هو ظاهر في الصورة في مدينة ساوثمبتون (بإنجلترا).

حقيقة ممتعة

فكر الناس في مصاعد الأبنية قبل وجود الأبنية المرتفعة بوقت طويل، فقد بنى العالم الرياضي أرخميدس مصعدًا يستخدم الحبال والبكرات، وكان باستطاعة ذلك المصعد حمل شخص واحد، فكانت فكرة عظيمة للبدء في بناء المصاعد؛ ولكنها لم تكن عملية لاستعمالها في ناطحات السحاب الحديثة.

ناطحات السحاب

مع نهاية القرن التاسع عشر، عمل المهندسون المعمارون جاهدين للإفادة من الخبرات والمعارف الممتدة عبر آلاف السنين في مجال البناء؛ لإيجاد حلول لمعالجة ازدحام المدن؛ إذا كان عدد كبير من الناس يرغب في بناء البيوت والمحال التجارية في وسط المدن؛ وهذا ما دفع مخططي المدن إلى محاولة تلبية مطالب الناس عن طريق بناء أبنية أعلى؛ لأنه كلما زاد عدد **الطوابق** في البناية، زاد عدد البيوت والأعمال التجارية والشركات التي يمكن استيعابها.

جعلت هياكل الفولاذ بناء ناطحات السحاب ممكنًا.

عندما فكر المهندسون في بناء أول **ناطحة سحاب**، استخدموا المعارف المتقدمة السابقة في البناء؛ فقد حلَّ اختراع **المصعد الكهربائي** واحدة من المشكلات الكبيرة جدًّا– وهي كيف يمكن نقل الناس والبضائع إلى الطوابق العلوية؟ وساعدت تقنيات البناء المتطورة، ومواد البناء التي تبقى قوية زمنًا طويلًا، على جعل بناء ناطحات السحاب مهمة أسهل أيضًا؛ بإضافة إلى مساعدة عوارض البناء الفولاذية على فتح أبواب جديدة كليًّا في مجال البناء وعالم فن العمارة، إذ كان الناس على مدار آلاف السنين، يرون الحجارة أقوى المواد للبناء، ولكن قد تنهار الأبنية الحجرية على نفسها؛ بسبب وزنها الهائل فيما لو بنيت إلى ارتفاعات شاهقة، غير أنه مع وجود عوارض البناء الفولاذية، لم تعد قيود على ارتفاع البنايات.

تعلم **المهندسون** والمعمارون كيفية بناء الهياكل الفولاذية لناطحات السحاب بصورة سريعة؛ إذ تعمل الهياكل الفولاذية عمل الهيكل الداخلي الذي يبنى من حوله البناء نفسه.

إضافة إلى هذا، كانت **أساسات** الأبنية الجديدة عميقة، تمتد إلى مئات

الأقدام تحت الأرض وداخل الصخور، وكان الهيكل الفولاذي يتزن فوق أعمدة من الخرسانة المسلحة أو من الفولاذ، تُغرس في الأساسات؛ لتساعد على توزيع ثقل البناء على الصخور الصلبة في الأرض.

وقد واجه مهندسو ناطحات السحاب تحديات جديدة، مثل: كيفية بناء أبنية تستطيع الصمود في مواجهة الرياح العاتية والهزات الأرضية القوية. وكلما حسَّنوا تصاميمهم وطوروها وأصبحت البناية أكثر متانة وقوة، ازداد ارتفاع البنايات.

بُنيت أُوَل ناطحات السحاب في مدينتي شيكاغو ونيويورك. اليوم، فتوجد ناطحات السحاب في كل مدينة كبيرة في العالم تقريبًا. وبعض هذه الناطحات المشهورة: مركز التجارة العالمي في مدينة شنغهاي بالصين، وبرج سيرز في شيكاغو، وناطحة سحاب الأمبير ستيت في مدينة نيويورك.

تُعد بناية تايبيه المؤلفة من واحد ومئة طابق، واحدة من أعلى ناطحات السحاب في العالم.

حقيقة ممتعة

عندما يصمم المهندسون المعماريون ناطحات السحاب، فإنهم يأخذون في الحسبان العوامل الطبيعية التي قد يواجهها البناء؛ فمثلًا: كان على المهندسين المعماريين الذين بنوا أول مركز عالمي في الولايات المتحدة في مدينة لوس أنجلوس بولاية كاليفورنيا، أن يبنوا بناءً قويًا يصمد في وجه الرياح الشديدة والأعاصير القادمة من المحيط، وتعيَّن عليهم جعل قواعدها مرنة بدرجة كافية؛ لتصمد أمام الهزات الأرضية. واليوم، يعد ذلك البناء واحدًا من أعلى ناطحات السحاب في الولايات المتحدة.

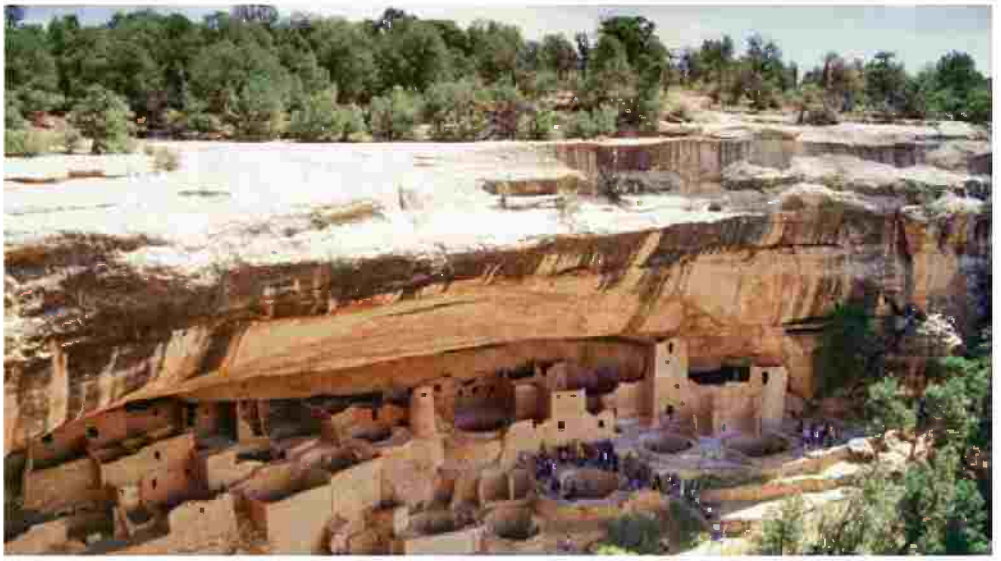
على مدى آلاف السنين، عالج المهندسون المعمارون ومخططو المدن التحديات جميعها التي واجهتهم في أثناء قيامهم ببناء أبنية قوية وكبيرة، واستطاعوا التغلب عليها، وعلى الرغم من ذلك، فقد تزامنت هذه الإنجازات مع ظهور مجموعة أخرى من التحديات الجديدة؛ فالأبنية الحديثة الضخمة والمعقدة في حاجة إلى كميات هائلة من الطاقة اللازمة للتدفئة والتزود بالطاقة الكهربائية، حيث يُحصل على معظم هذا الكم الهائل من الطاقة من **الوقود الأحفوري** (الفحم، وزيت البترول، والغاز الطبيعي)، وقد أدى الاعتماد على الوقود الأحفوري إلى مشكلات كثيرة؛ فالأرض تختزن كميات محدودة من الوقود الأحفوري، الذي سيتناقص في النهاية ثم يختفي.

إضافة إلى ذلك، ينجم عن حرق الوقود الأحفوري **تلوث** هائل؛ وهذا ما يؤدي إلى إحداث تسمم في البيئة، ويسهم في الوقت نفسه في **الاحترار العالمي**.

وكلما زاد وعي الناس بالمشكلات المرتبطة بالوقود الأحفوري، زاد بحثهم عن طرق بديلة للتزود بالطاقة، وتتضمن إحدى هذه الطرق استعمال **الطاقة الشمسية**.

تعود الفكرة الأساسية للأبنية التي تعتمد على الطاقة الشمسية إلى المهندسين الأوائل، الذين اعتمدت أبنيتهم على ضوء الشمس للتزود بالحرارة والضوء، حيث تجمع البيوت الشمسية الحديثة هذه الفكرة، بالاعتماد على ضوء الشمس للتزود بالحرارة والضوء، مع التقنية الحديثة التي تستطيع تحويل أشعة

تشتمل الألواح الشمسية على وحدات معالجة صغيرة تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.



بنى الأمريكيون الأصليون من سكان منطقة ميسا فيردي، كولورادو، منازلهم لجمع أشعة الشمس والحرارة في فصل الشتاء، وتوفير الظل وبرودة الجو في فصل الصيف.

الشمس إلى طاقة نحتاج إليها لتزويد بيوتنا بالطاقة.

في عام 1839م، كان العالم الفرنسي ألكسندر إدموند بكيريل، أول من اكتشف إمكان تخزين الطاقة الشمسية في خلايا، ثم تحويلها إلى طاقة كهربائية، ولكن كان لا بد من الانتظار مئة سنة أخرى حتى يطور العلماء خلايا شمسية تستطيع إنتاج كميات من الطاقة يمكن الاستفادة منها.

في سبعينيات القرن العشرين، ساعد **المهندس** الأمريكي جيمس تينانت بولدوين على تطوير أول بناء حديث يزود بالطاقة كليًّا من طاقة الرياح والطاقة الشمسية.

واليوم، يستطيع الناس وضع **ألواح الطاقة الشمسية** على سطوح أبنيتهم للتزود بالطاقة، حيث تحتوي هذه الألواح على مجموعة من الأجهزة الصغيرة التي تجمع حرارة الشمس على صورة طاقة، ثم تحولها إلى طاقة كهربائية، ومن الممكن استعمال الطاقة الشمسية لتدفئة الأبنية، حيث تجمع أشعة الشمس وتستعمل لتسخين الهواء، أو الماء الذي يدور في البناء لتدفئته.

وفي الوقت الحاضر، فإن نفقات الطاقة الشمسية بوصفها مصدرًا للطاقة، أكبر مما يُنفق على طاقة الوقود الأحفوري، وعلى الرغم من ذلك، تتطور تقنية استخدام الطاقة الشمسية بسرعة كبيرة، ويأمل العلماء والمهندسون المعمارون أن توفِّر الطاقة الشمسية في يومٍ ما مصدرًا نظيفًا للطاقة يُعتمد عليه لتوفير الطاقة لمعظم البنايات الحديثة.

حقيقة ممتعة

كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض في الساعة الواحدة تكفي لسد ما يتطلبه العالم كلّه من الطاقة لعام كامل.

تواريخ مهمة في الهندسة وفن العمارة

– **في عام 2800 ق.م. تقريبًا، بنى المصريون أول سد معروف.**

– **في عام 2600 ق.م. تقريبًا،** بنيت أشهر الأهرام المصرية في الجيزة.

– **في عام 2500 ق.م. تقريبًا،** بُني أول بناء ذي أقواس.

– **في عام 2500 ق.م. تقريبًا،** بنى سكان جنوب آسيا المصارف للتخلص من فضلات بيوتهم.

– **في عام 2000 ق.م. تقريبًا،** بنى سكان جزيرة كريت قصرًا يشتمل على أنابيب للماء ومقاعد استعملت مراحيض.

– **في عام 230 ق.م. تقريبًا،** صمَّم أرخميدس مصعدًا بدائيًّا.

– **في عام 33 ق.م. تقريبًا،** أصبح ماركوس أجريبا، الذي أمر ببناء كثير من قنوات الماء في روما، مفوض الماء في روما.

– **في عام 126** أُنجز مبنى البانثيون في روما القديمة.

– **في مطلع القرن الخامس الميلادي** بني أقدم معبد مازال قائمًا، (معبد باغودا شونغيوسي).

– **في عام 1436م** أُنجز بناء قبة كاتدرائية فلورانسا.

– **في عام 1500م بنى ليوناردو دافينشي أول مروحة ميكانيكية.**

– **في خمسينيات القرن السادس عشر صنع أول مرحاض صرف.**

– **في خمسينيات القرن السادس عشر أدى استعمال الركائز إلى تصميم جسور معلقة أكثر تطورًا.**

– **في عام 1590م** أُنجز بناء **قبة كاتدرائية القديس بطرس في مدينة الفاتيكان.**

– **في عام 1777م** بنى المخترعون الأوروبيون أنظمة تدفئة أدت إلى اختراع المشعاع.

– **في عام 1779م** صمَّم جوزيف براماه نموذجًا محسنًا لمرحاض الصرف.

– **في مطلع ثمانينيات القرن التاسع عشر بدأ الناس ببناء جسور معلقة ضخمة.**

– **في ثمانينيات القرن التاسع عشر بدأ الأوروبيون بتطوير طرق لمعالجة مياه الصرف الصحي وتنظيفها.**

– **في عام 1820م** بُني أول نظام تدفئة ذي حجم كبير في مصنع إنجليزي.

– **في عام 1851م اخترع جون جوري آلة لتبريد الهواء.**

– **في عام 1880** عرض إيرنست فيرنر فون سيمنس أول مصعد كهربائي.

– **في ثمانينيات القرن التاسع عشر بُنيت** أول ناطحات السحاب في مدينتي شيكاغو ونيويورك.

– **في 1906م** كان ستيوارت كرامر أول من استعمل مصطلح تكييف الهواء.

– **في عشرينيات القرن الماضي** شُيِّد أول بناء مكاتبه كلها مكيفة بالهواء بصورة كاملة.

– **في عام 1937م** أُنجز بناء جسر البوابة الذهبية في فرانسسيكو.

– **في عام سبعينيات القرن الماضي ساعد** جيمس تينانت بولدوين على تطوير أول بناء حديث يحصل على الطاقة اللازمة كليًّا من الطاقة الشمسية.

– **في عام 1994م** افتتح نفق القنال الإنجليزي، وهذا ما سمح بمرور القطارات بين المملكة المتحدة وفرنسا.

مسرد المصطلحات

الاحترار العالمي: الزيادة في معدل درجة حرارة سطح الأرض.

الأساس: القاعدة التي تُبنى عليها أجزاء البناء الأخرى من أجل الدعم.

الألواح الشمسية: أجهزة صغيرة تحول الطاقة الموجودة في أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية.

البوذي: له علاقة بالبوذية، وهي ديانة تطورت في 500's B.C. في شمال الهند، ثم انتشرت في وسط، وشرق آسيا وشرقها وجنوب شرقها.

التدفئة المركزية: تدفئة مبنى أو مبانٍ عدة من المصدر نفسه.

الترس: هيكل من العوارض أو الدعائم المرتبطة بسلسلة من المثلثات يستعمل لدعم السقوف أو الجسور.

تكييف الهواء: نظام للتحكم في درجة حرارة الهواء، ورطوبته، ونظافته، وحركته في الأماكن المغلقة.

التلوث: ضرر يصيب البيئة الطبيعية بسبب أنشطة الإنسان.

التوريت: برج صغير يبنى في الأغلب على زوايا البناء.

الثيرموستات: أدوات تساعد على ضبط درجة الحرارة داخل منطقة من البناء أو داخل جهاز.

الجسر المتحرك: جسر يمكن سحبه ورفعه أو تحريكه من جانب إلى آخر جزئيًّا أو كليًّا.

الجسر المعلق: جسر معلق بأكبال من الفولاذ ويرتكز على برجين مرتفعين.

الجفاف: مدَّة طويلة من الطقس الجاف.

حجر الأساس: الحجر الأوسط الموجود في أعلى القوس.

الحصن: بناء ذو جدران عالية، يُتخذ موقعًا للدفاع.

الحضارة: الشعوب والناس الذين وصلوا إلى مراحل متقدمة من التطور الاجتماعي.

الحفرة الامتصاصية: خزان تُحلَّل فيه الفضلات.

الحمولة: البضائع التي تُنقل بالقطارات، والشاحنات، والبواخر، والطائرات.

الخزان: مكان تخزن فيه كميات كبيرة من المياه لاستعمالها عند الحاجة.

الخندق: قناة عميقة وعريضة تحفر حول القلعة أو البلدة لحمايتها من الأعداء.

درع النفق: أسطوانة من الفولاذ تحافظ على سقف النفق من السقوط.

الدعائم البارزة: امتداد أفقي، مثل الشرفة أو العوارض، يرتكز عند طرف واحد فقط.

الركيزة: عمود يرتكز عليه الجسر.

الرواق: سلسلة من الأقواس ترتكز على أعمدة أو عوارض.

السرداب: ممر طويل وعريض.

الروماني: له علاقة بروما القديمة أو بشعوبها.

ستوبا: بناء له هيئة القبة يُستعمل في البلدان البوذية.

السد: حاجز يوضع على مجرى النهر لمنع تدفق المياه.

الشبكة: خطوط أفقية وعمودية متقاطعة.

الصناعة: أي فرع من فروع الأعمال والتجارة والصناعة.

الطابق: مستوى من البناء يوجد فوق الأرض.

الطاقة الشمسية: الاستعمال المباشر لأشعة الشمس لإنتاج الحرارة والطاقة الكهربائية.

العارضة: دعامة رئيسة مصنوعة من الفولاذ أو الخرسانة المسلحة أو الخشب.

العصر الحجري: أقدم مدَّة معروفة في حضارة الإنسان عندما استخدم الناس الأدوات والأسلحة المصنوعة من الحجارة.

عصر النهضة: حركة ثقافية عظيمة بدأت في إيطاليا في الحقبة الأولى من 1300's.

العصور الوسطى: حقبة من التاريخ الأوروبي تقع بين الأزمنة القديمة والحديثة، من 400's بعد الميلاد حتى 1400's.

العمود: دعامة منتصبة إلى الأعلى.

القبة: سقف محدب يشبه وعاء الحساء المجوف مقلوبًا أعلاه إلى أسفله.

قناة جر المياه: قناة اصطناعية تُجر بوساطتها المياه من مكانها الأصلي إلى المكان الجديد الذي ستُستخدم فيه.

القنال: قناة تحفر في الأرض لجر الماء.

القوس: بناء محدب يستعمل لدعم وزن المواد الموجودة فوقه.

الإلكتروني: له علاقة بالإلكترونات التي هي شحنات سالبة توجد في الذرات.

مرحاض الصرف: المرحاض الذي يتخلص من فضلات الإنسان بوساطة الماء الذي ينهمر داخل أنابيب لدفع الفضلات إلى أماكن أخرى.

الازدحام: مشكلة وجود عدد من الناس أكبر من قدرة مساحة معينة على استيعابهم، أو توفير مصادر محددة لدعمهم.

المسلم: له علاقة بالإسلام، وهو الاسم الذي يطلق على الشخص الذي يتبع دين الرسول محمد (صلى الله عليه وسلم) منذ 600's بعد الميلاد.

الطابق: مستوى من البناء يوجد فوق الأرض.

المشعاع: مجموعة من الأنابيب تفقد الحرارة إلى الهواء المحيط بها.

المصعد الكهربائي: آلة رفع تدار بنظام كهربائي، يحمل الناس والبضائع إلى الطوابق العلوية من البناء.

معالجة الصرف الصحي: إزالة الفضلات العضوية بوساطة المجاري.

المعبد: نوع من الأبراج الشائعة في جنوب شرق آسيا، وترتبط بالمعابد البوذية.

الملوَّث: مليء بالفضلات الضارة.

المنجم: حفرة كبيرة تحفر في الأرض لاستخراج الخامات أو الأحجار الكريمة، أو الفحم، أو الملح، أو أي شيء آخر ذي قيمة.

المهندس: الشخص الذي يصمِّم الآلات، والمعدات، والطرق، والجسور، والقنوات، والقلاع، وما شابه ذلك.

مياه الصرف الصحي: المياه التي تحتوي على الفضلات العضوية التي يتخلص منها الإنسان.

ميسوبوتميا (بلاد ما بين النهرين): منطقة في العالم القديم من الشرق الأوسط، نشأت وتطورت فيها أول حضارة في العالم.

ناطحة سحاب: بناء مرتفع جدًّا.

نظام معالجة الصرف الصحي: نظام نقل مياه الصرف الصحي من الأبنية وتنظيفها بوساطة سلسلة من مراحل التنقية.

هايبوكاست: نظام تدفئة البنايات اعتمادًا على تدوير الهواء الساخن من غرف النار.

الهرم: بناء ضخم له أربعة جوانب مثلثة الشكل تلتقي في نقطة واحدة عند أعلاه، تسمى قمة الهرم.

الهندسة: استخدام العلوم في تصميم الأبنية، والآلات، والبضائع.

الوقود الأحفوري: الوقود الطبيعي، مثل الفحم، وزيت البترول، والغاز الطبيعي.

يتبخر: يتحول من سائل إلى غاز.

مصادر إضافية

الكتب:

- **Amazing Leonardo da Vinci Inventions You Can Build Yourself by** Maxine Anderson (Nomad Press VT, 2006).
- **Building Big** by David Macaulay (Houghton Mifflin, 2000).
- **Gargoyles, Girders, and Glass Houses** by Bo Zaunders (Dutton, 2004).
- **Great Inventions: The Illustrated Science Encyclopedia** by Peter Harrison, Chris Oxlade, and Stephen Bennington (Southwater Publishing, 2001).
- **Great Inventions of the 20th Century** by Peter Jedicke (Chelsea House Publications, 2007).
- **Inventions** by Valerie Wyatt (Kids Can Press, 2003).
- **Skyscrapers** by Chris Oxlade (Heinemann Library, 2006).
- **So You Want to Be an Inventor? By** Judith St. George (Philomel Books, 2002).
- **What a Great Ideal! Inventions that Changed the World** by Stephen Tomecek (Scholastic, 2003).

مواقع إلكترونية:

- Ancient Greece
  http://www.ancientgreece.com/s/Art

استكشف تاريخ الفن والهندسة العمارية في العالم اليوناني القديم.

History for Kids: Ancient and Medieval Architecture

- http://www.historyforkids.org/learn/architecuture

تعلم المزيد عن تاريخ العمارة في العصور القديمة والعصور الوسطى من هذا الموقع الصديق للطلاب.

- Byzantine Architecture Project
  http://www.princenton.edu/~asce/const_95/const.html

يتضمن هذا الموقع معلومات عن مشروع جامعة برنستون لدراسة فن العمارة في عصر الإمبراطورية البيزنطية.

- The great Buildings Collection
  http://www.greatbuildings.com

يعرض موقع الأبنية العظيمة (من خلال أسبوع فن العمارة) صورًا وإيضاحات لأكثر من ألف بناء حول العالم.

- National Buildings Museum
  http://www.nbm.org/families–kids

معلومات للطلاب من متحف الأبنية الوطنية، واشنطن.

- National Inventors Hall of Fame
  http://www.invent.org/index.asp

معلومات عن الاختراعات والمخترعين من قاعة مشاهير المخترعين الوطنية.

- Skyscraper Page
  http://www.skyscraperpage.com

معلومات عن ناطحات السحاب في العالم.