منشآت الهندسة المدنية – الحمولات وتصنيفها – مفهوم الأمان

1-1- المنشآت الهندسية ومواد البناء

1-1-1- مقدمة – لمحة تاريخية:

يمكننا تلخيص المتطلبات الأساسية الواجب تأمينها عند تصميم المباني والمنشآت الهندسية، وفق النحو التالي:

- الأمان: تحقيق متطلبات السلامة الإنشائية، وهنا دور المهندس الإنشائي.
- الجمال والدور الوظيفي (الحل الوظيفي): الدور الأساس للمعماري.
- الاقتصاد والديمومة: تعاون بين كافة الاختصاصات لاختيار مواد البناء المناسبة ومواد الاكساء والتجهيزات، والتصميم الأمثل لمقاطع العناصر.

وبهدف تأمين سلوك متجانس ومتكامل للهياكل الحاملة في المنشآت الهندسية إزاء الأفعال والحمولات الخارجية، يتوجب تأمين ما يلي:

1. مقاومة الهيكل الحامل لكافة الحمولات والأفعال الخارجية المطبقة، فضلاً على الوزن الذاتي الحمولات الميتة، وذلك بصورة سليمة وأمينة.
2. نقل مجموع القوى المذكورة أعلاه إلى نظام تأسيس ثابت يعمل على تفريغها بشكل آمن إلى التربة.
3. عدم ظهور إشارة وهن أو ضعف أو تشقق أو ميلان أو هبوط غير مسموح به في العناصر الإنشائية المكونة للهيكل الحامل.

ويتم تحقيق ذلك من خلال إنجاز المراحل التالية:

- **مرحلة التصميم المعماري:**

مشاركة المهندس الإنشائي للمصمم المعماري عند إعداد مرحلة التصميم المعماري وتحديد شكل الجمل الإنشائية المناسبة لمقاومة الأفعال الشاقولية والأفقية (أعمدة، جدران، المواد المستخدمة، ارتفاعات الطوابق و التراجعات...)، وكذلك يتم تثبيت مواقع القواطع والعناصر غير الإنشائية وأشكال الواجهات وموادها، وكذلك مواقع بيوت الدرج والمصاعد...

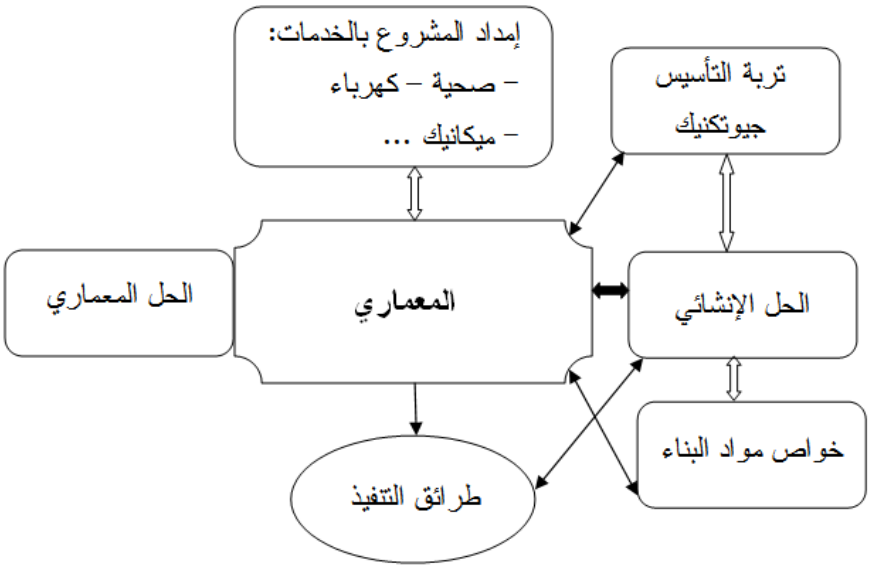
- **مرحلة التحليل الإنشائي:**

حساب الحمولات الشاقولية والأفقية كافة سواءً العادية أم الاستثنائية، وتحديد التراكبات الرئيسة أو الثانوية بحيث يتم الحصول على أسوأ حالات التحميل ليصار إلى إجراء التحليل الإنشائي المناسب وحساب كافة القوى والجهود الناجمة عن تطبيق هذه التراكبات والحمولات على كافة العناصر المكونة للهيكل الإنشائي الحامل.

- **مرحلة التصميم الإنشائي:**

يعمل المهندس الإنشـــائي على تحديد الأبعاد النهائية لمقاطع العناصـــر الإنشـــائية كافة، وإعداد المخططات التنفيذية والتفصيلات الإنشائية اللازمة.

ويوضح المخطط التالي العلاقة المتبادلة بين المهندس المعماري، الذي غالباً ما يكون مدير مكتب الدراسات أو الاستشاري الرئيس في أغلبية المشاريع، وبقية الاختصاصات الأخرى عند دراسة وتنفيذ مشروع ما.

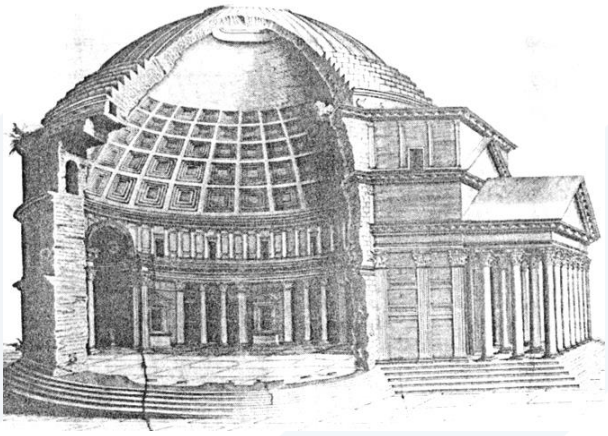


وقبل الدخول في التفاصيل التقنية لتصميم المنشآت الهندسية المعرضة لحمولات أفقية، من المناسب القيام بعرض سريع لأهم المنشآت المهمة والملهمة التي تم انجازها من قبل أساتذة كبار في عالم الهندسة والبناء (بانوراما سريعة).

يمكن القول أن البابليون هم أول من استخدم الكلس كمادة بناء رابطة لحجر البناء المستخدم في المباني الحجرية (الملاط الكلسي)، و قام المصريون بإضافة البحص إلى الملاط عند إنشاء أهراماتهم العظيمة، الأمر الذي يعني أن الحضارات القديمة عرفت كيف تصنع مادة ما هي "البيتون الكلسي" .

وبعد مضي عدة آلاف من السنين على تلك الحضارات الأولى جاءت الحضارة الرومانية القديمة، وعلى الرغم من أن الإسمنت الذي استخدمه الرومان لم يكن الإسمنت البورتلاندي المعروف حالياً فلا يوجد أدنى شك في أنهم استخدموا نوعاً من أنواع البيتون في منشآتهم المتنوعة. ويتألف الملاط الروماني من الكلس المطفأ والغضار المشوي أو من مواد طبيعية على الأغلب من أصول بركانية والتي تحتوي على السيليكا المتفاعلة. يبين الشكل (1-1) أحد المنشآت البيتونية الرومانية المميزة "البانثيون Pantheon, Rome" الذي أنجز عام 126 ق.م، بقبة مجازها يبلغ 43.5m لم يتم تجاوزه حتى القرن التاسع عشر.

أخترع الإسمنت البورتلاندي الحديث عام 1824م من قبل جوزيف إسبدن (Joseph Aspdin) وهو بنّاء من (Leeds) في إنكلترا، وقد مزج الحجر الكلسي المطحون مع الغضار ومن ثم قام بشي الخليط في فرن، ليطحن الكلينكر الناتج، وقد أعطى اختراعه اسم الإسمنت البورتلاندي بسبب شبهه بحجر البناء الطبيعي المستخرج من قرب بورتلاند في إنكلترا . إن النجاح التجاري لإسمنت إسبدن أدى إلى انتشار سريع للإسمنت الهيدروليكي عبر أوربا والعالم، وهذه كانت بداية صناعة الإسمنت الحديث.



الشكل (1-1): البانثيون ، روما - 126 ق.م – "The Pantheon, Rome"

في مجال الأبنية Buildings:

في القرن العشرين، وبفضل الاختيار الأمثل للجمل الإنشائية الحاملة، والتقدم في صناعة واستخدام مواد البناء (بيتون نوعي)، وتنوع طرائق حساب وتنفيذ الأبنية فقد تطور بشكل سريع إنشاء الأبنية العالية المنفذة من البيتون المسلح (سكنية ومكاتب).

هذا ونتيجة لزيادة ارتفاع الأبنية العالية فإن العناصر الإنشائية الحاملة تتعرض لقوى داخلية كبيرة بسبب زيادة القوى الناظمية الناتجة عن الحمولات الشاقولية، وأيضاً زيادة عزوم الانعطاف والقوى الناظمية وقوى القص الناجمة عن الأفعال الأفقية (الرياح، الزلازل). بالتالي يجب اختيار الجملة الإنشائية بدقة بحيث يكون البناء العالي اقتصادياً ويؤمن صلابة شاقولية وأفقية كبيرة للمبنى، وذلك لتأمين السلامة العامة والاطمئنان التام لساكنيه عند تعرضه لحمولات أفقية، ولتحقيق ذلك يجب أن تبقى قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية لقمة البناء العالي أو اللانتقالات الطابقية ضمن الحدود المسموحة التي تحددها الكودات الناظمة. ولهذا السبب سوف نعمل على تفصيل هذا الموضوع في فصل خاص يعالج موضوع الأبنية العالية سواءً أكانت بيتونية مسلحة أم معدنية.

في الواقع، إذا كنا نستطيع بناء عشرة طوابق من الأبنية الفولاذية فإننا نحتاج تقريباً لنفس الوقت اللازم لصنع القالب اللازم لصب طابق بيتوني واحد.

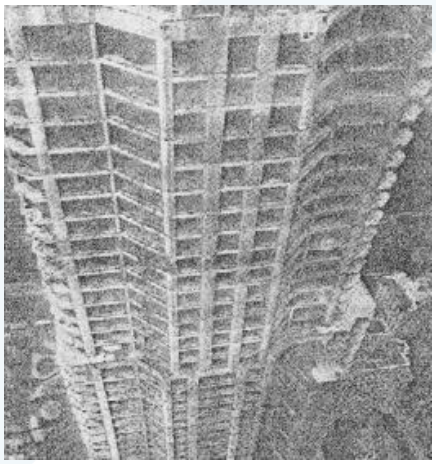
على أية حال إن التقدم الحاصل في السنوات الثلاثين الماضية في مجال طريقة الإنشاء وسرعة تصلب البيتون جعل زمن الدورة الإنشائية لبناء طابق تصل إلى يومين أو ثلاثة، ويمكن أن يقارن هذا مع الوقت المحتمل لبناء منشأة معدنية.

إن اعتماد الطوابق المتكررة في المبنى البيتوني يساهم في تخفيض الكلفة فمثلاً إن مبنى (Cityspire Building) في مدينة نيويورك، (الشكل 1-2)، ليس تماماً البناء السكني النموذجي، ولكنه يوضح كيف أن الطوابق المتكررة تزيد من فاعلية استخدام القوالب.

هذا و تجري محاولة الاستفادة من ميزات كل من البيتون والفولاذ في نوع جديد من المنشآت وهو يدعى البناء المختلط (المنشآت المختلطة)، و يبدو أكثر اقتصادية من أجل الأبنية العالية جداً.

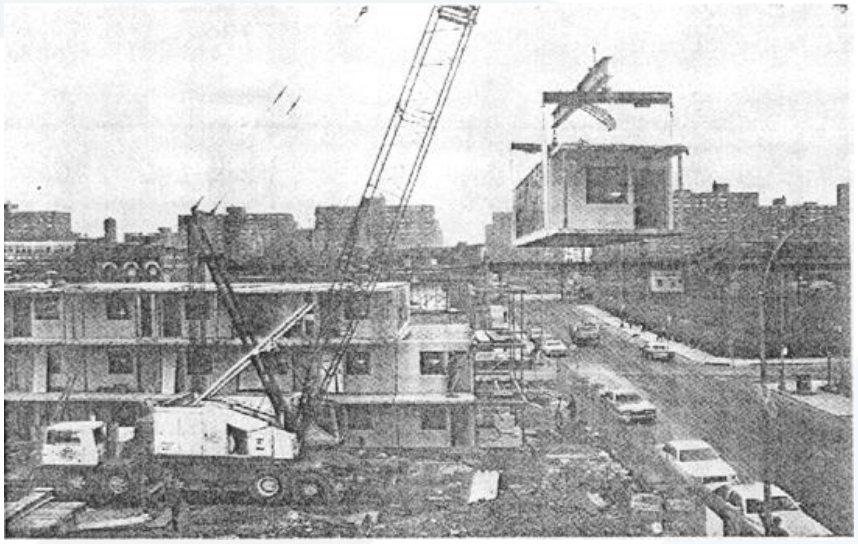
حتى عام 1970 لم يستطع البيتون منافسة الفولاذ بشكل جدي في الأبنية العالية وذلك بسبب الفروق الرئيسية في سرعة الإنشاء وخاصة عندما يكون هناك اهتمام بالغ في سرعة استرداد كلفة تمويل المشروع فإن الوقت اللازم للإنشاء يكون عاملاً اقتصادياً حاسماً.

توجد طريقة أخرى مختلفة تماماً لإنشاء الأبنية البيتونية حيث تصنع عناصر البناء في معامل ومن ثم تنقل إلى موقع التجميع وهذه الأبنية البيتونية المسبقة الصنع لها ميزة توفير الكلفة وتحسين مراقبة النوعية.



الشكل (1-2): مبنى (Cityspire) في نيويورك – فاعلية استخدام القالب بسبب تماثل الطابق المتكرر

إن تقنية تصنيع الأبنية التجارية و السكنية بالكامل في المصانع تمكن من تخفيض كلفة البناء (الشكل (1-3)، و تستخدم هذه التقنية بشكل واسع في البلدان التي تعاني من أزمات سكنية ونقص حاد في المنازل حيث يتم تصنيع كامل مكونات البناء في المصنع، مثل الحمامات والمطابخ مع تنفيذ شبكة المياه المالحة والحلوة في مكانها مسبقاً وكذلك وضع القرميد والنوافذ.



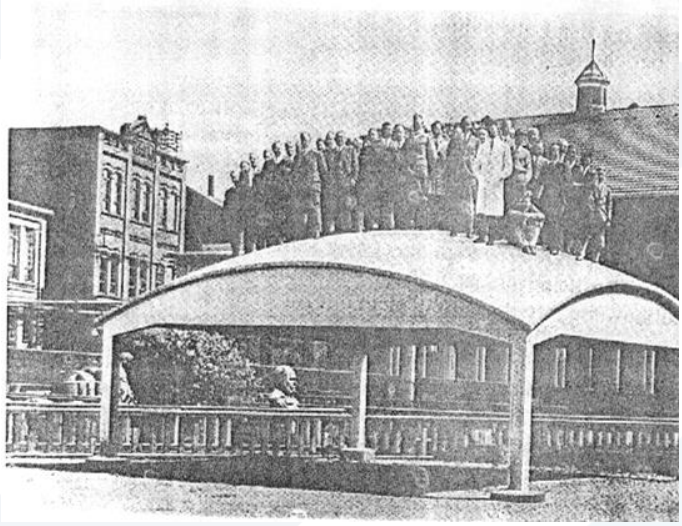
الشكل (1-3): أبنية مسبقة الصنع

القشريات Shells:

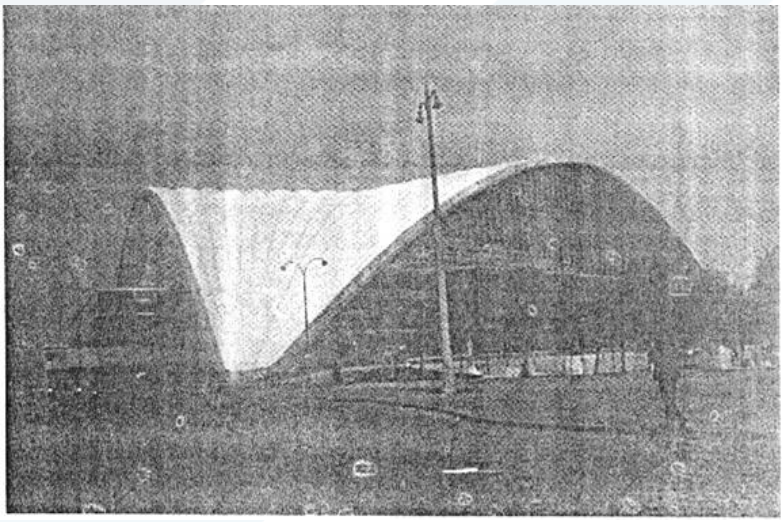
تقاوم الجوائز الحمولات المطبقة بشكل أساسي بواسطة الانعطاف، بينما تنقل القشريات وبسبب ميزة تقوسها نفس الحمولات إلى المساند عبر الفعل المباشر للضغط المحوري بدون وجود تأثير يذكر للانعطاف إذا كانت هذه الحمولات موزعة بانتظام.

تستخدم هذه السقوف المنحنية (القشريات) من أجل تغطية المساحات الكبيرة (منشآت خاصة) كالملاعب والمسابح والمعارض والمسارح والمعامل والصالات الكبيرة وغيرها.

لقد تمّ بناء أول منشأة قشرية رقيقة حديثة مصنوعة من البيتون عام 1920 لحساب شركة (Zeiss) في ألمانيا وذلك اعتماداً على نظرية طورت على يد كل من (Franz Dischinger) و (Ulrich Finsterwalder)، كما هي مبينة في الشكل (1-4). وإن أقل من ثلاثين عاما تفصل هذه البداية المتواضعة نسبياً عن إنشاء صالة المعارض في باريس (الشكل (1-5)) مع مجاز يبلغ 240m ومساحة أرضية مغطاة تتجاوز $7400m^2$.

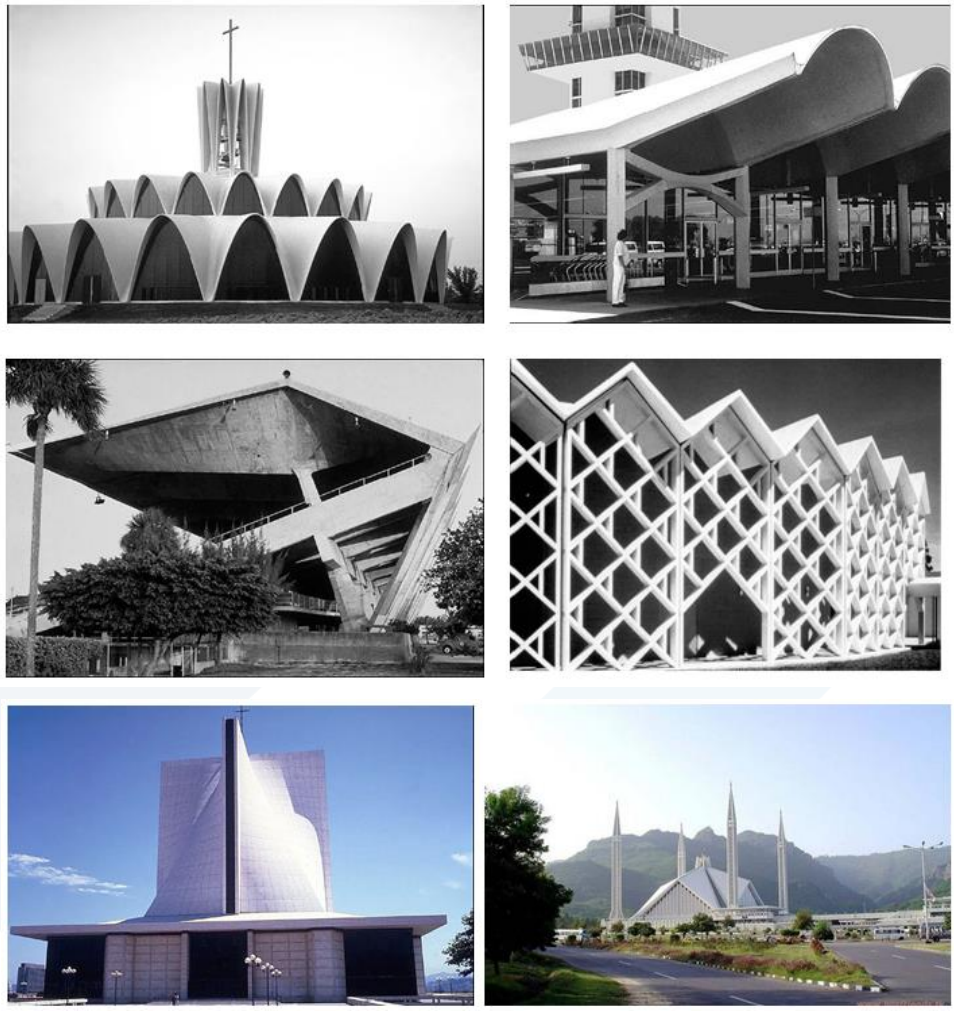


الشكل (1-4): القشرية التجريبية التي أنشئت من قبل المهندس Dischinger



الشكل (1-5): صالة المعارض في باريس

يؤدي استخدام هذا النوع من الأسقف إلى توفير في استهلاك مواد البناء من تسليح وبيتون وذلك لأن سماكة هذه المنشآت تكون غالباً صغيرة، إنها تتطلب سماكات أقل من السقوف المستوية (5 إلى 8 سم)، ولكنها بحاجة إلى خبرة عالية في التنفيذ. في الواقع إن العامل الاقتصادي والشكل المعماري الجميل لهذه السقوف جعلها تنتشر بسرعة كبيرة وخاصة في أيامنا هذه (الشكل 1-6).



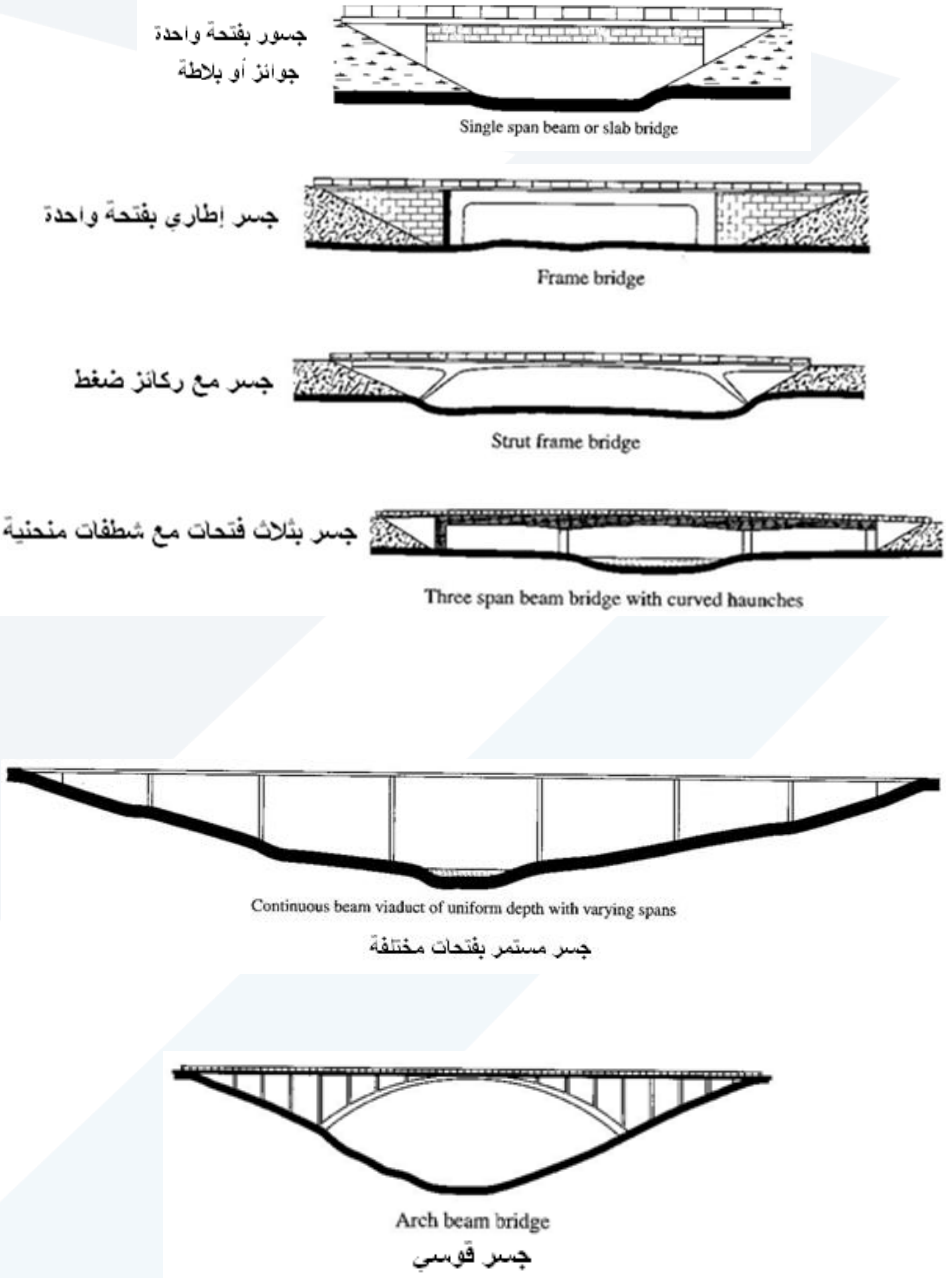
الشكل (1-6): أنواع مختلفة من السقوف القشرية المنفذة

الجسور Bridges:

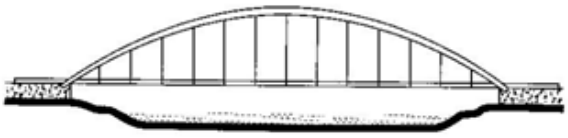
تطورت الجسور البيتونية خلال السنوات المائة الماضية وأصبحت عنصراً رئيساً في شبكات الطرق العامة، وكما هو الحال في جميع المنشآت البيتونية فإن تكلفة القوالب والأعمال الإضافية تسبب مشكلة يتطلب حلها تطويراً وإبداعاً في تقنيات الإنشاء، وخاصة عند بناء جسر فوق مجرى مائي رئيس أو وادي عميق أو طريق سريع.

إن تطور البيتون المسبق الإجهاد جعل بناء تلك الجسور يتم بسرعة حيث سمح هذا النوع من البيتون بإنشاء الجسور ذات المجازات الكبيرة بدون الحاجة إلى القوالب.

يبين الشكل (1-7) أنواع النظم الإنشائي للجسور (المقطع الطولي).



الشكل (1-7): أنواع النظم الإنشائي للجسور



Tied arch or bowstring bridge

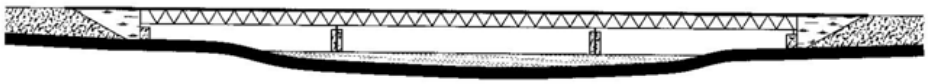
جسر قوسي مع شدادات أو جسر بوسترنغ

Suspension bridge

جسر معلق

Cable stayed bridge

جسر مع كابلات مشدودة



Truss bridge

جسر بجوائز شبكية

تابع للشكل (1-7)

ويوضح الشكل (1-8) بعض الجسور الجميلة والجريئة المنفذة في العالم.

تقاطعات معقدة في تكساس

الشكل (1-8): نماذج مختلفة من الجسور المنفذة في العالم

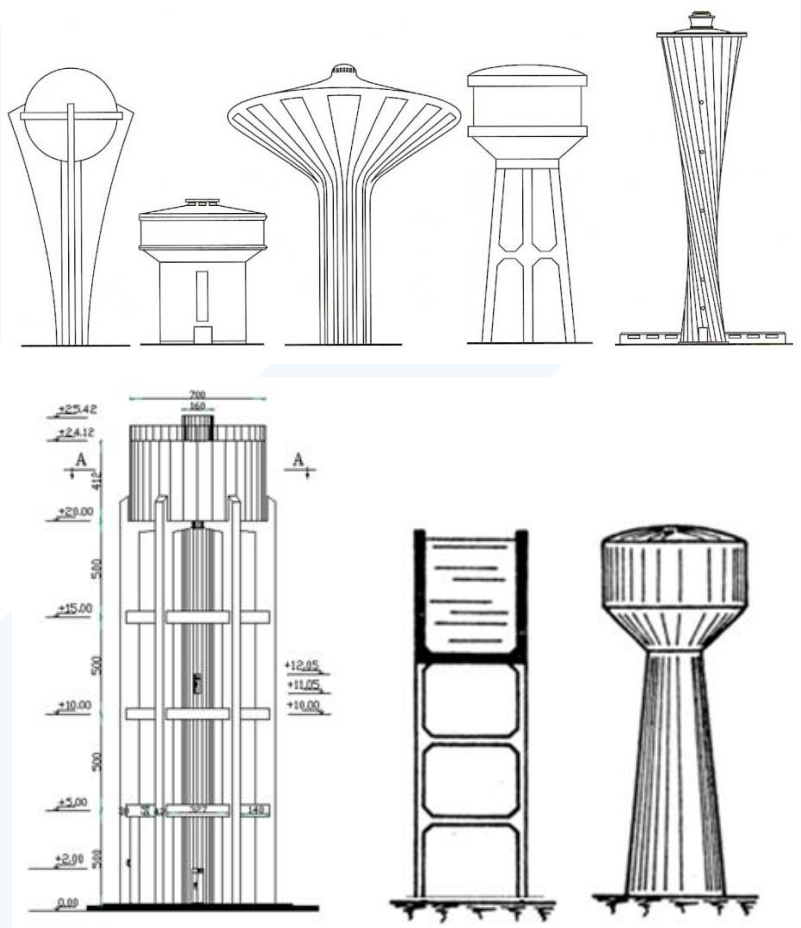
خزانات المياه Water tanks:

الخزانات هي منشآت هندسية تستعمل بصورة عامة لحفظ السوائل، وهي تأخذ أشكالاً مختلفة تبعاً لسعتها والغاية من استعمالها، ويتم إنشاء الخزانات من البيتون العادي أو المسلح، أو من المواد المعدنية. بالتالي، تدخل عوامل واعتبارات متعددة مرتبطة بالمتطلبات الاستثمارية والاقتصادية والمعمارية في اختيار نوع الخزان المراد إنشاؤه.

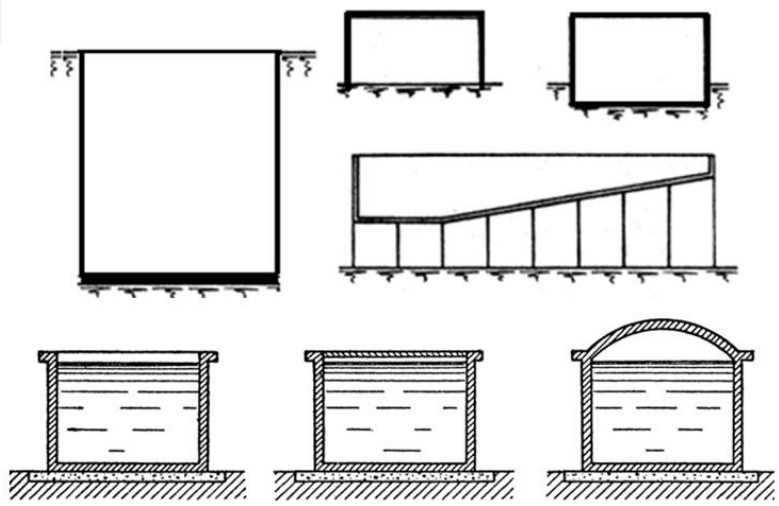
يمكن أن تصنف الخزانات إلى عالية وأرضية.

- **الخزانات العالية**: برجية محمولة على جملة من الجدران أو الأعمدة وتكون أحواض هذه الخزانات (الحلة) مربعة أو مستطيلة المقطع أو أسطوانة أو مخروطاً، الشكل (1-9).

- **الخزانات الأرضية**: يكون حوضها مطموراً كلياً أو جزئياً أو يستند قاعها على الأرض الطبيعية مباشرة، أو محمولة على جملة من الأعمدة صغيرة الارتفاع، كما هو مبين في الشكل (1-10).



الشكل (1-9): أشكال مختلفة للخزانات العالية



الشكل (1-10): أشكال مختلفة للخزانات الأرضية

المداخن Chimneys - **الأبراج** Towers:

المداخن هي نوع من أنواع المنشآت العالية والنحيفة، وهي من المنشآت الخاصة المعرضة للتآكل والتأثيرات الغازية و هذا يستدعي حماية البيتون من الحرارة واختلاف تغيرات الحرارة بين البيتون و المعادن العازلة. في الواقع، تزيد الحرارة العالية للغازات من مشاكل التغير و العزل بينما تؤدي الحرارة المنخفضة إلى مشاكل ناتجة عن تكثف الأحماض. وهناك أمور أخرى يجب أخذها بعين الاعتبار تتضمن إزالة التكثف وإزالة أوساخ الفضلات من المداخن.

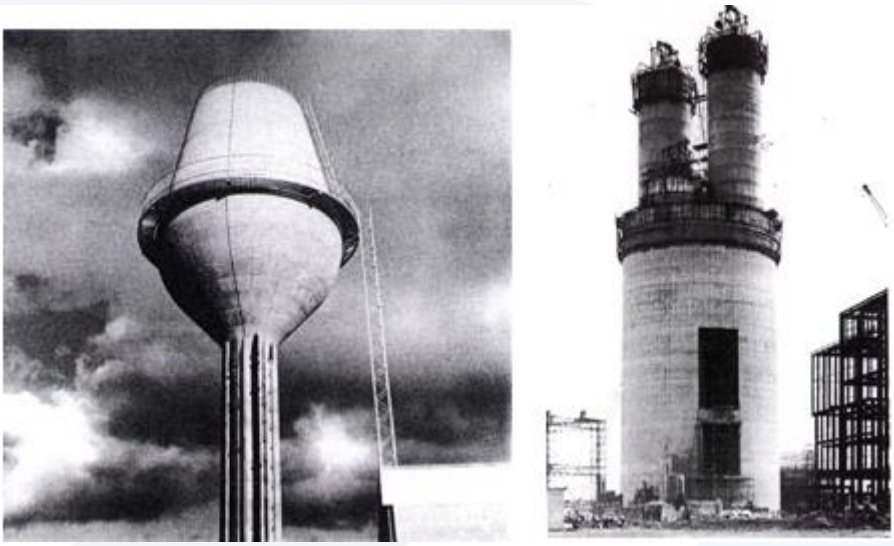
وفي حالة الأبراج المنتشرة بشكل أقل من المداخن فلا يؤخذ بالحسبان موضوع تسرب الحرارة، ولكن في حالة وجود الهوائيات عليها فالانعكاسات الشمسية والرياح قد يكون لها اعتبارات أخرى.

لقد تم استعمال البيتون في المداخن منذ حوالي 100 سنة، ويعتبر الآن المادة الأساسية للمداخن العالية واقتصادياً للمداخن العملية مختلفة الارتفاع (20m to 100m).

تستعمل نماذج مختلفة من المداخن في معامل الإسمنت ومحطات توليد الطاقة والأعمال البيتروكيميائية.

يمكن أن تحمل المداخن في بعض الأحيان أبراجاً للمياه (الشكل 1-11).

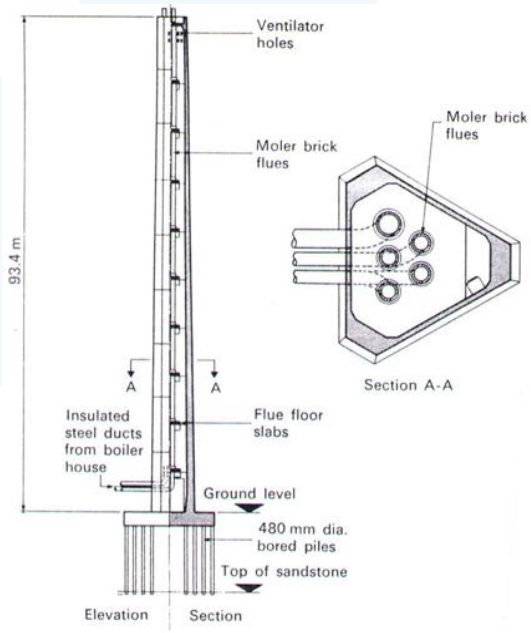
يمثل الشكل (1-12) نوعاً من المداخن بارتفاع 93m، لها شكل مثلث متساوي الأضلاع يحوي خمسة مصارف من الآجر أربعة منها بقطر600mm والخامس قطره 900mm، مثبتة على بلاطات طابقية دائرية بقطر 9m وتحتوي سارية المدخنة على ثقوب للتهوية في أسفل البلاطة العليا لكي تؤمن تهوية كاملة، ونظراً لشكلها غير الاعتيادي فقد تم إجراء تجارب على أنفاق الرياح لمعرفة حالات الدخان وعوامل قوى الرياح.



الشكل (1-11): نماذج من المداخن

تم إنشاء عدد كبير من أبراج الاتصالات والمراقبة، و قد شيد أول برج تلفزيوني من البيتون المسلح في انكلترا عام 1970 في منطقة Emley Moor ، يبلغ ارتفاعه 329m وارتفاع السارية البيتونية 274m ويحمل سارية شبكية فولاذية بارتفاع 55m ، يبلغ القطر عند القاعدة 22.4m ويقل حتى يبلغ 6.4m في الأعلى، وتقل سماكة الجدار البيتوني من 533mm عند القاعدة إلى 350mm في الأعلى، والأساسات لها شكل حلقة دائرية بقطر خارجي 35.4m تستند على صخر رملي (الشكل 1-13).

وفي عام 1974، تم بناء أطول برج من البيتون المسلح في Toronto في كندا، بارتفاع 550m.

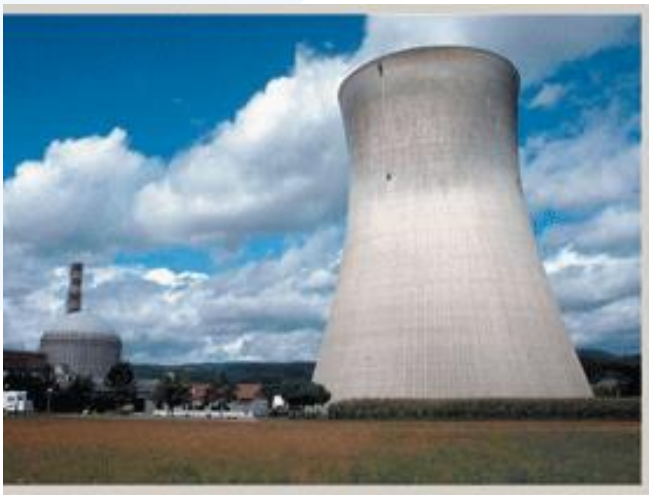


الشكل (1-12): مدخنة بارتفاع 93m في Belfast

الشكل (1-13): أبراج عالية من البيتون المسلح

أبراج التبريد Cooling towers:

يظهر الشكل (1-14) نموذجاً من أبراج التبريد لمحطة توليد للطاقة، ويمكن أن يتم بناؤها بارتفاعات تتجاوز الـ 200m، ويكون لها عادة شكل قطع زائد لتسهيل جريان التيارات الهوائية التي تبرد البخار الناتج عن عنفات التوليد عندما يرتفع إلى الأعلى ويتكاثف إلى ماء. تبنى هذه القشريات بواسطة القالب المنزلق حيث يتقدم القالب إلى الأعلى بسرعة ثابتة تسمح للبيتون الطازج أن يكتسب مقاومة كافية لتحمل حمولات الإنشاء.



الشكل (1-14): أبراج التبريد

ومن أجل منع حدوث كوارث نووية كالتي حدثت في تشرنوبيل عام 1986، يتم وضع المفاعلات النووية في العالم الغربي ضمن أبنية واقية تمنع انتشار الإشعاعات (الشكل 1-15)، ففي حالة حدوث نقص في المادة المبردة بسبب انكسار أنبوب رئيسي مثلاً، مما يوقف جريانها ضمن نواة المفاعل فإنه من المتوقع حصول درجات حرارة وضغط كبيرين جداً، لذلك يجب تصميم البناء الواقي كإناء للضغط قادر على تحمل ضغوط داخلية ضخمة، والبقاء سليماً بحيث يمنع انتشار الإشعاعات النووية إلى البيئة.

إن معظم الأبنية الواقية هي منشآت بيتونية تتألف من جدار خارجي بسماكته 1.5-2m، في حين يصنع جسم المفاعل عادة من الفولاذ مع أن بعض محطات توليد الطاقة في أوربا تحوي جسم مفاعل مصنوع من البيتون مسبق الإجهاد.

الشكل (1-15): تنفيذ كابلات قبة البناء البيتوني الواقي لمفاعل نووي – بيتون مسبق الاجهاد

(Daya Bay, Chine)

الأبراج المعدنية Steel towers:

تم استخدام الفولاذ لأول مرة في إشادة الأبنية و الجسور منذ أكثر من مئة عام ، ومنذ ذلك الوقت و حتى اليوم ثبتت فعاليته واقتصاديته كمادة إنشائية في تكوين معظم الجمل الإنشائية، لما يتميز به من خواص تجعل منه رائدا في مجال الإنشاء، ومن هذه الخواص نبين ما يلي:

- يملك عامل مرونة مرتفع مقارنة مع باقي مواد الإنشاء.
- مقاومة ميكانيكية عالية، بالتالي صغر في أبعاد المقاطع المطلوبة عند التصميم، وخفة الوزن مقارنة مع المواد الأخرى من أجل مقاومة نفس الحمولة المطبقة.

- يشغل حيزا صغيرا من الفراغ و بالتالي استفادة أكثر من المساحة.
- يتميز الفولاذ بمنحني إجهاد- تشوه بعتبة لدونة كبيرة، بالتالي تجعل من استخدامه أمرا ضروريا عندما يتعلق الأمان بمفهوم المطاوعة، حتى إن المنشآت البيتونية المسلحة تعتمد على لدونة الفولاذ عند تشكل المفاصل اللدنة لتأخير الانهيار الكلي للبناء.
- الفولاذ مادة مقاومة للتعب وللعوامل الجوية عند اتخاذ الإجراءات الوقائية والاحتياطات اللازمة.
- تملك مادة الفولاذ إمكانية إجراء وصلات باللحام أو بالبراغي أو بالبراشيم، وهذا التنوع في وسائل الربط يعطي تنوعاً في عقد اتصال المنشأة (عقد صلبة – نصف صلبة – مفصل لدن – مفصل كامل...)، كما أنها تعطي إمكانية الفك وإعادة التركيب، وإضافة أجزاء جديدة وتجهيزات جديدة (أجهزة الحماية الزلزالية مثلا).

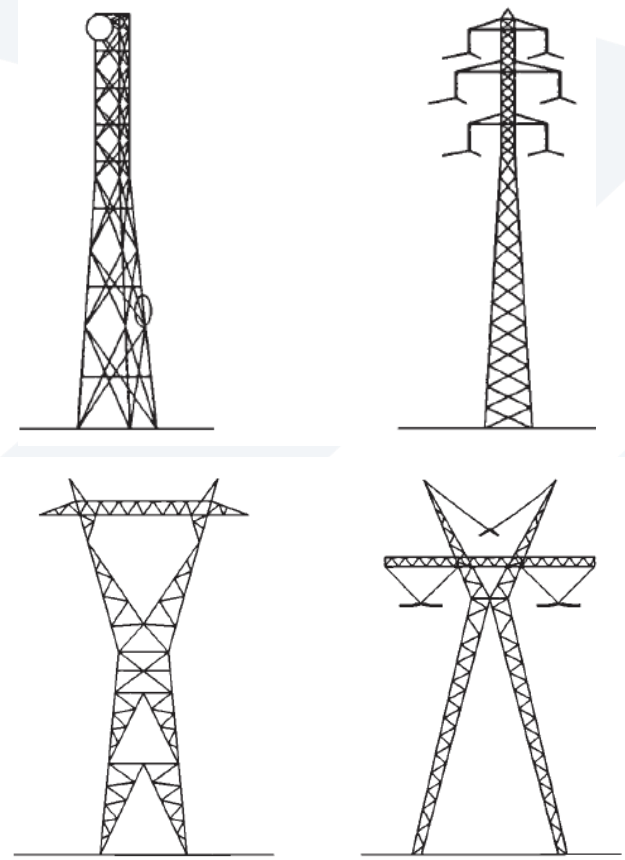
ازداد استخدام المنشآت الفولاذية حتى أصبحت تشمل أهم المنشآت الحيوية والصناعية كأبراج الاتصالات السلكية واللاسلكية المسؤولة عن وظائف مهمة و حيوية في الحياة اليومية، وكذلك تعتبر أبراج الخطوط الكهربائية ذات التوتر العالي (ذات الانتشار الواسع) من المنشآت الهامة وانهيارها يؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي، وبالتالي تعطل الكثير من المنشآت الحيوية و أهمها المشافي و من بعدها المنشآت الصناعية.

إن هذه المنشآت تملك طبيعة خاصة تتفرد بها عن باقي المنشآت، بالإضافة لكونها من الفولاذ، فهي نحيفة جدا أي أنها طويلة جدا بالنسبة لمقطعها. كما أن طبيعة الوصل بين عناصرها تؤثر على استجابتها للتحريض الخارجي. وتختلف هذه المنشآت عن الأبنية البيتونية بأنها لا تملك بلاطات صلبة (الطوابق)، وهذا أيضا يؤثر على الاستجابة العامة إزاء الحمولات الخارجية المطبقة وخاصة ذات التأثير الديناميكي (زلازل ورياح).

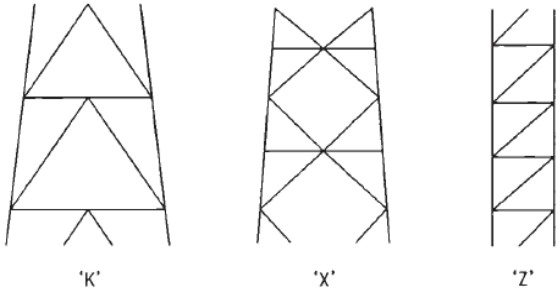
تدرس هذه المنشآت لتقاوم الحمولات الطبيعية من رياح و ثلج و زلازل، ويمكن أن يؤخذ بالحسبان تأثير الإشعاع الشمسي وما يسببه من رفع لدرجة حرارتها وبالتالي حدوث تشوهات غير مرغوبة.

إن الشكل الأكثر استخداماً للأبراج المعدنية هو الشكل الشبكي لما له من دور مهم في تقليل المساحة المعرضة للرياح، علاوة على خفة الوزن، ويكون لها في العادة مقطع مربع أو مثلثي، وتكون الأرجل مدعومة بالأربطة الرئيسية و كلاهما مدعومان بالأربطة الثانوية لتجنب التحنيب.

يبين الشكل (1-16) نماذج من هذه الأبراج المعدنية، وأما الشكل (1-17) فيوضح أشكال التربيط المعتمدة.



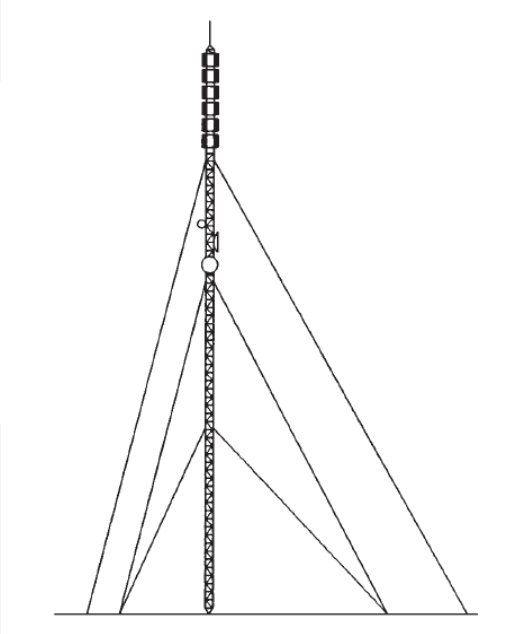
الشكل(1-16): نماذج من الأبراج المعدنية



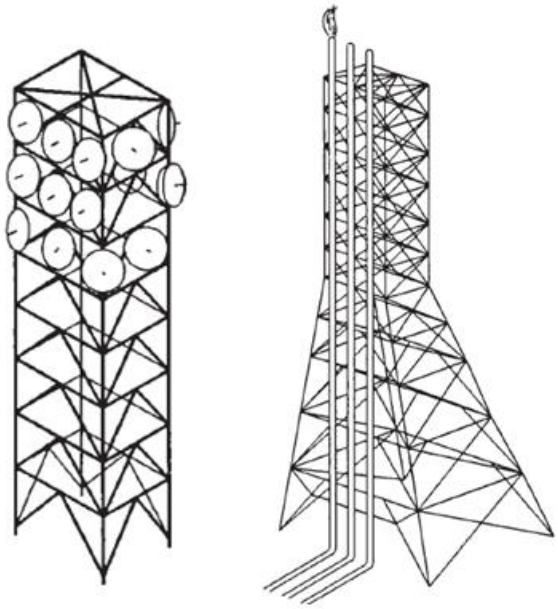
الشكل(1-17): أشكال التربيط

وفيما يخص الأبراج المربطة بكابلات Guyed towers، فيمكنها تأمين ارتفاعات عالية باستهلاك قليل للمعدن مقارنة بغيرها، وتكون هذه الأبراج عادة مربطة بثلاث اتجاهات وذلك على محيط نصف قطره 2/3 من ارتفاع البرج، ويكون للصارية مقطع مثلثي شبكي أو أنبوبي في الأماكن التي يكثر فيها الجليد (الشكل 1-18).

يوضح الشكل (1-19) الأبراج الحاملة للصحون اللاقطة و المداخن الصناعية.



الشكل(1-18): برج معدني مربط بكابلات



الشكل(1-19): أبراج معدنية حاملة للصحون اللاقطة و المداخن الصناعية

السدود Dams:

تعتبر السدود من أعظم وأضخم الإنشاءات الهندسية التي يبنيها الإنسان على الإطلاق بهدف تخزين مياه الري أو التحكم بالفيضانات أو توليد الطاقة أو حتى لخلق مناطق استجمام جديدة، فالسدود غيرت منذ زمن مضى معالم واضحة في الحضارة البشرية.

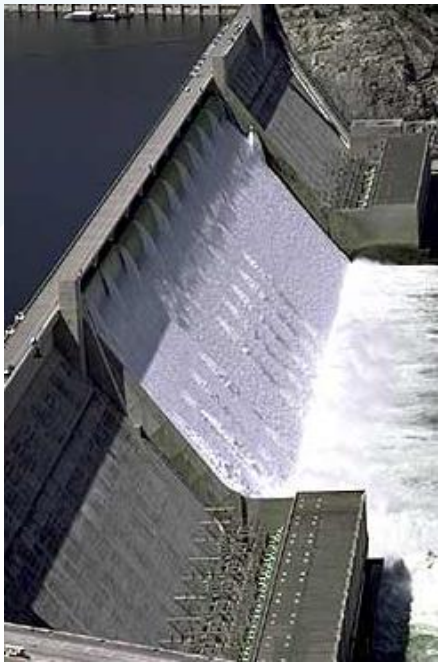
ويتم اختيار موقع السد في أقرب مكان ممكن من منطقة الاستهلاك المحلي للمياه سواء لأغراض الري أو للشرب وذلك بالاستناد إلى عدد من الشروط وفق النحو التالي:

- الشروط الطبوغرافية.
- الشروط الجيولوجية والجيوتكنيكية.
- الشروط الهيدرولوجية.
- الشروط الاقتصادية.

إن الأنواع الشائعة من السدود الدائمة هي السدود الترابية والصخرية (الردم الترابي أو الردم الصخري مع نواة ترابية أو ذات واجهة بيتونية)، والسدود البيتونية الثقلية أو القوسية أو المدعمة (جدران داعمة)، ويتم اختيار نوع السد بحسب الظروف الطبوغرافية والجيولوجية لأكتاف الوادي وأساسه وبحسب الغرض من هذا السد، بالإضافة لتوفر المواد الأولية اللازمة لإنشاء السد وكذلك الأموال المتاحة.

تبين الأشكال 1-20 حتى 1-23 السدود سابقة الذكر.

- السدود الثقلية Gravity dams



الشكل (1-20): سد ثقلي من البيتون

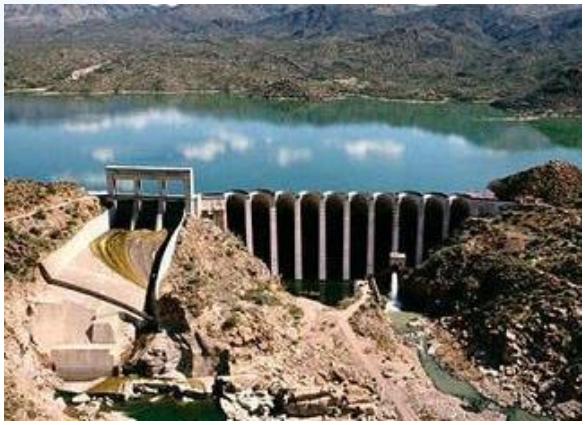
- السدود الترابية Embankment dams

الشكل (1-21): سد ترابي

- السدود القوسية Arch dams

الشكل (1-22): سد قوسي من البيتون المسلح

- السدود المدعمة Buttress dams

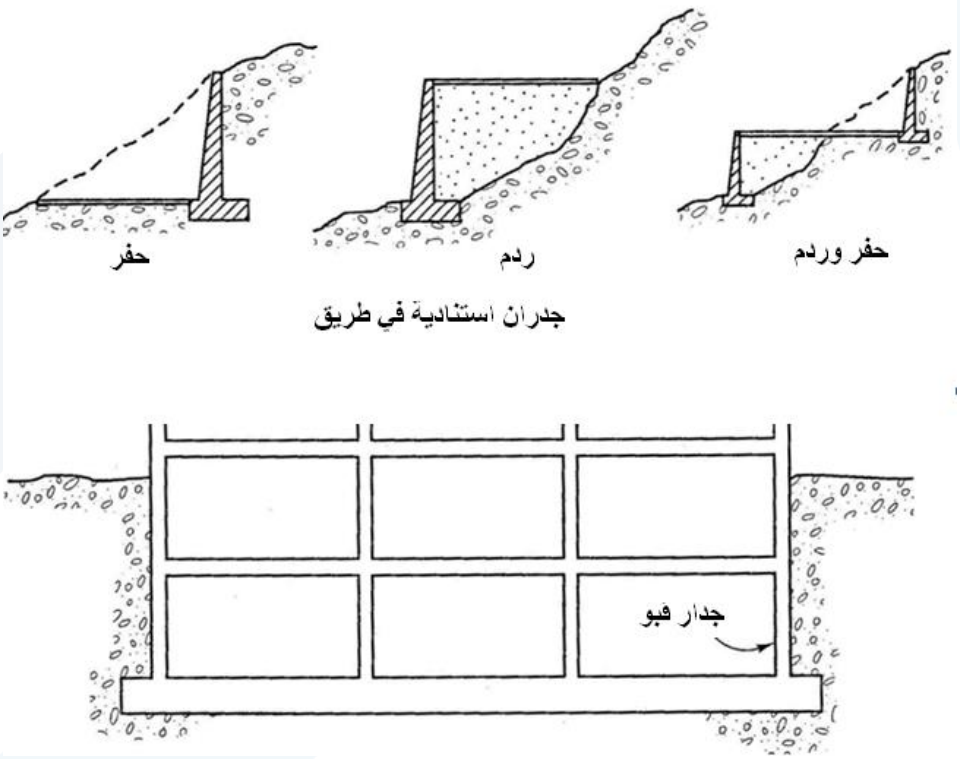


الشكل (1-23): سد مع جدران بيتونية مسلحة داعمة

الجدران الاستنادية من البيتون المسلح RC Retaining walls:

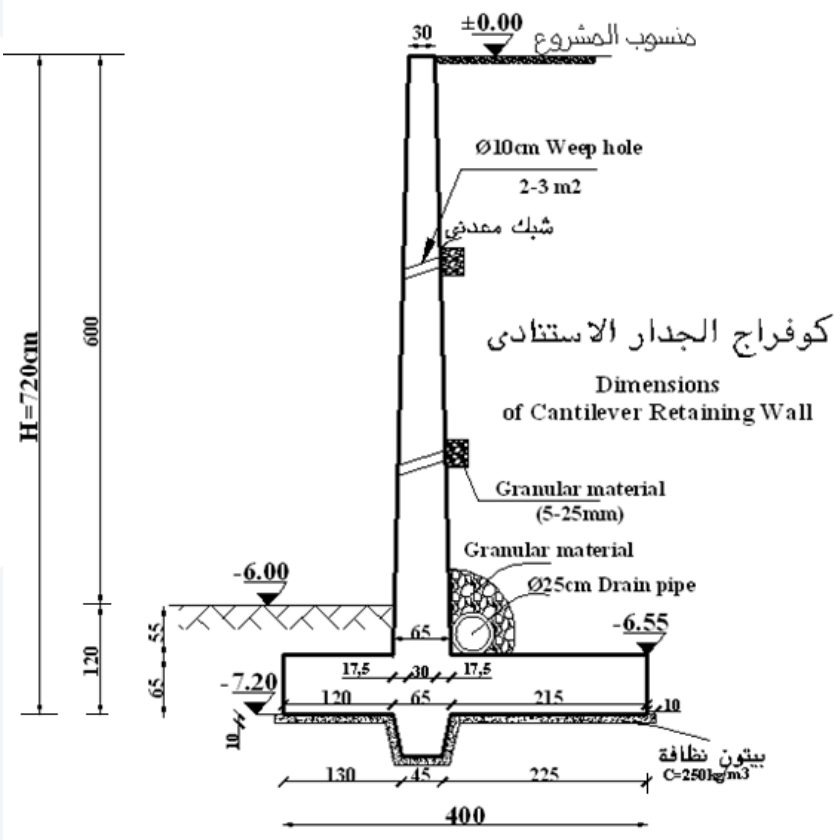
تعتبر المنشآت الاستنادية من أهم العناصر الأساسية في المشاريع الكبيرة والمرافق المهمة (مرافئ ، جسور ، طرق ...الخ).

الجدار الاستنادي هو منشأة هندسية تحمي المواد المفككة من الانهيار، ويستخدم أيضاً كعنصر حامل ينقل الحمولات إلى التربة كما في ركائز الجسور وجدران الأقبية. ونلاحظ أن الجدران الاستنادية تكون مترافقة دائماً مع أعمال الطرق المارة في المنحدرات، حيث يتطلب إنشاء جملة من المنشآت الصناعية الملحقة والفردية لحجز التربة كما هو مبين بالشكل (1-24) وذلك تبعا للمقطع العرضي للطريق.



الشكل (1-24): أمثلة على الجدران الاستنادية:جدران على جوانب الطريق و جدران الأقبية

ولكي نتجنب زيادة الدفع الأفقي على الجدران الاستنادية، الناجم عن وجود مياه خلفها، ينصح بتنفيذ فتحات تصريف (قساطل) موزعة كل $(2\ to\ 3m^2)$ ، بقطر يتراوح بين $(8\ to\ 12cm)$ ، أو بتنفيذ أنبوب صرف مثقب على كامل طول الجدار، بقطر وسطي يساوي $(25cm)$ ومحاط بفلتر من البحص، وأن تكون تربة الردم من أحجار مكسرة أو حصويات، كما هو مبين في الشكل (1-25).

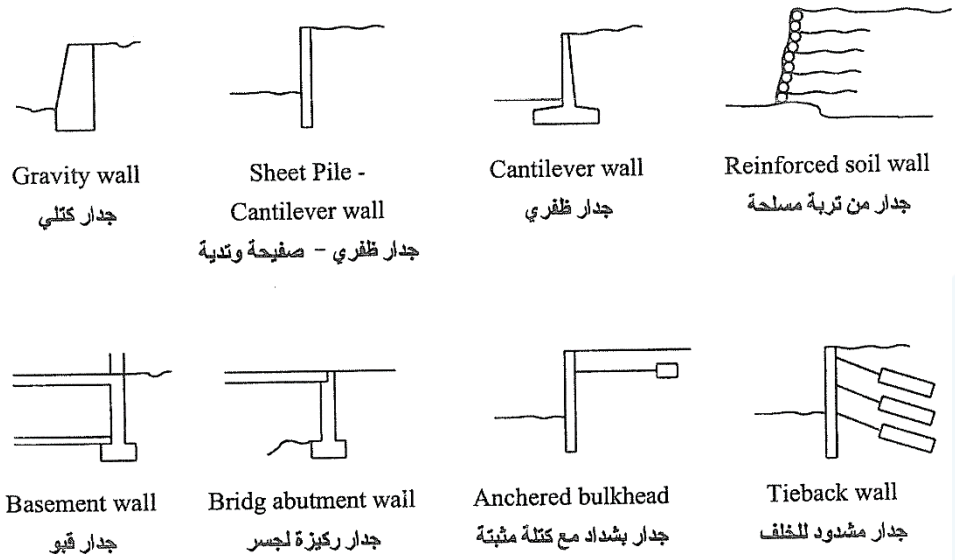


الشكل (1-25): تصريف المياه الواقعة خلف الجدار

تعتبر عملية حجز التربة ومنعها من الانهيار من أقدم المسائل التي تعرضت لها الهندسة الجيوتكنيكية ، ويمكن القول بأن أهم المبادئ الأساسية لعلم ميكانيك التربة تم تطويرها بهدف دراسة و تصميم الجدران الاستنادية. ونشير إلى أنه في الفترة الأخيرة تم استخدام طرائق أخرى لحجز الترب المفككة وتأمين استقرارها: التقوية المعدنية - التقوية بالجيوتكستيل والبولميرات...

تصنف الجدران الاستنادية وفق طرائق مختلفة، تستند إما على كتلتها الخاصة وإما على مرونتها الإنشائية وإما على طبيعة إرسائها و تثبيتها .

ويبين الشكل (1-26) أنواع الجدران الاستنادية الشائعة الاستعمال.



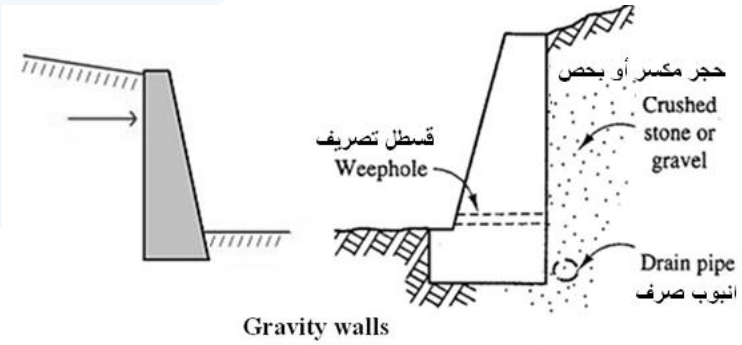
الشكل (1-26): أنواع الجدران الاستنادية الشائعة الاستعمال

ويمكننا أن نميز الأنواع التالية:

أ- الجدران الثقلية (الكتلية)

يعتبر هذا النوع من أقدم الجدران الاستنادية المستخدمة و أبسطها. تمتاز بسماكتها الكبيرة و صلابتها العالية (قابلية ضعيفة جدا للانعطاف) بحيث تنحصر حركتها بشكل رئيسي بالانزياح الجانبي أو الدوران (الشكل 1-27).

يكون ارتفاع التربة المحجوز خلفها صغيراً، عادة أقل من ثلاثة أمتار $(\leq 3m)$ ، وتحسب على شرط الانقلاب والانزلاق والتحقق من أنه لا يوجد إجهادات شد في مقاطعها على كامل ارتفاعها. وينفذ الأساس من البيتون المغموس أو البيتون العادي، أما الجدار الحاجب فيمكن تنفيذه من البيتون المغموس أو العادي أو من حجر البناء.



الشكل (1-27): جدران استنادية كتلية

ب- الجدران الاستنادية الظفرية

هذا النوع من الجدران ينعطف ويدور وينتقل جانبيا، ويعتمد على مقاومته للانعطاف بتحمل ضـغط التربة الجانبي. في الواقع، إن مخطط ضغط التربة الجانبي على الجدران الاستنادية الظفرية يرتبط بالصلابة النسبية و تشوه كل من التربة المحجوزة و هذه الجدران.

وتقسم إلى نوعين حسب ارتفاع التربة المحجوزه خلفها:

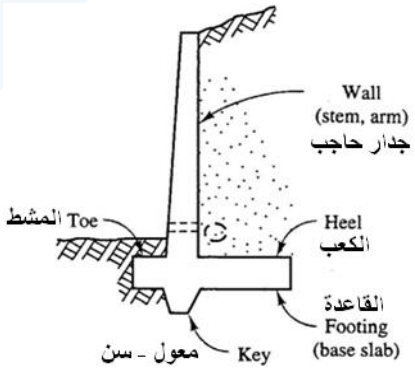
- جدران بيتونية مسـلحة (ظفرية): يتراوح ارتفاعها من $3m$ إلى $6m$ ،ويتألف من جدار ظفري مرتبط جيدا بقاعدته (الشكل 1-28).
- جدران بيتونية مسـلحة مزودة بجدران تقوية (الشـكل 1-29): عندما يكون ارتفاع الجدار أكبر من سـتة أمتار $(> 6m)$ ، فإنه من الأفضـل اسـتخدام جملة من جدران التقوية (مثلثية الشـكل)، مرتبطة جيدا بالجدار الشـاقولي (الحاجب) من جهة و موثوقة جيدا بالقاعدة من جهة أخرى. بالتالي تختلف آلية عمل هذه الجدران عن السابقة.

تتوضع جدران التقوية بتباعد لا يزيد على ارتفاع الجدار ولا يقل عن نصف ارتفاعه.

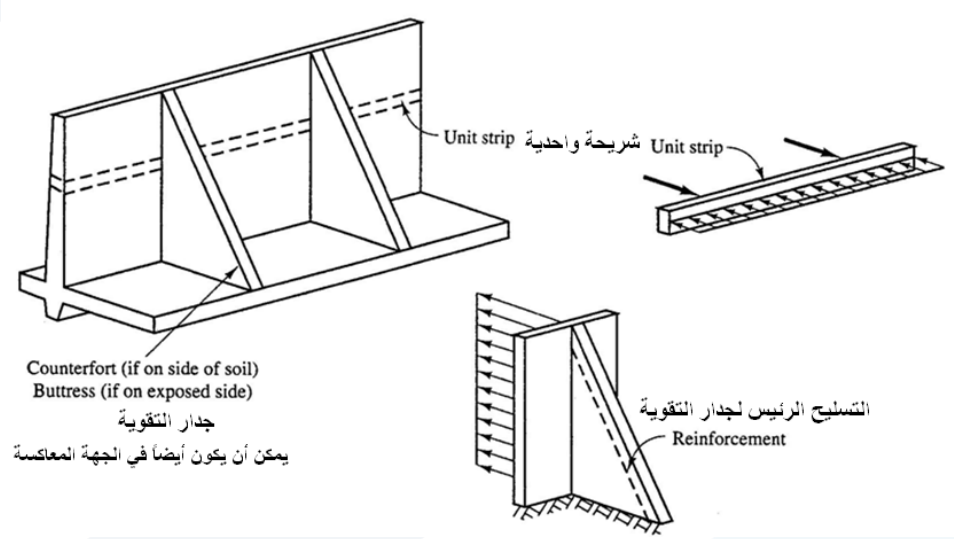
يتم حسـاب الجدار الحاجب بعد تقسـيمه إلى شـرائح مترية أفقية، عاملة كجائز مسـتمر مسـتند على جدران التقوية، ومعرض لضغط التربة الأفقي.

تعمل جدران التقوية كأظفار شـاقولية موثوقة في القاعدة وخاضـعة للجهود المنقولة إليها عن طريق الجدار الحاجب ويكون مقطعها على شـكل T، وتتألف بلاطة الضـغط فيها من الجدار الحاجب نفسـه، وترتبط شـدة حمولتها بقيمة الضغط العائد على الجدار الحاجب عند منسوب ما وكذلك بقيمة التباعد بينها.

بالتالي يوضـع التسـليح الرئيسـي لجدران التقوية بالقرب من الوجه المائل ويرسـى جيدا داخل البروز الواقع عند نهاية القاعدة.



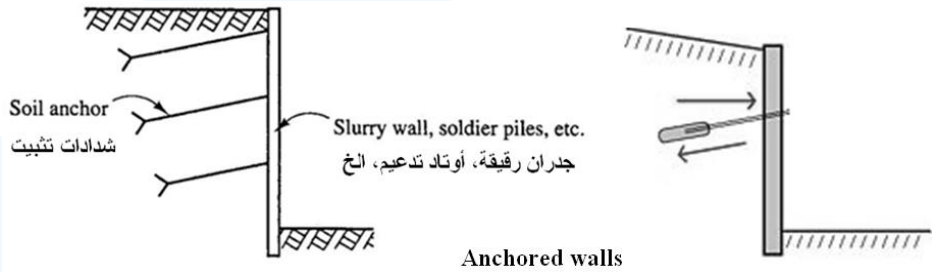
الشكل (1-28): جدار استنادي ظفري من البيتون المسلح



الشكل (1-29): جدار استنادي من البيتون المسلح، مزود بجدران تقوية

ج- الجدران الاستنادية المقواة (مدعمة)

عندما يكون الحفر عميقاً، يعمد إلى تقوية الجدران بجملة من عناصر التربيط الخارجية (الشكل 1-30)، وذلك لمنع حركتها باتجاه معين، فنجد مثلا جدران الأبنية و الأرصفة وكذلك ركائز الجسور التي يمكن كبح حركتها الجانبية عن طريق العناصر الأفقية التي تحملها عند القمة. ويمكن مقاومة الإنزياحات الجانبية لبعض أنواع الجدران عن طريق تأمين إرساءات كافية في التربة (شدادات)، بالتالي تحصل عملية تخفيض قيم عزوم الانعطاف نتيجة عملية التقوية عند القمة أو عند نقاط مختلفة على كامل ارتفاعه.



الشكل (1-30): جدران استنادية مدعمة

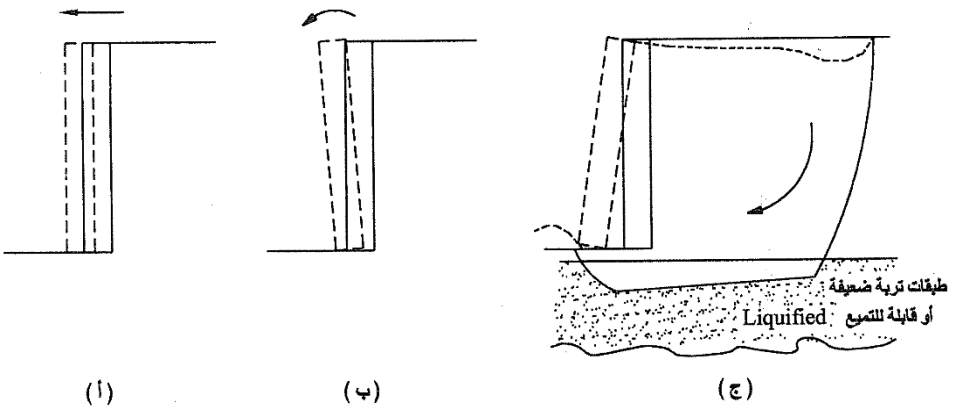
ينتج عن ظروف الاستثمار، وحالات التحميل المختلفة على الجدار، وخاصة عند حدوث الزلزال، حصول تغيرات هامة في خواص التربة حيث تتشكل جملة من قوى العطالة، مولدة حالة عدم استقرار في الجدار المحسوب وفقا لشروط الاستقرار الستاتيكي، وتشكل تشوهات دائمة في الجدار.

في الواقع، تتطلب عملية تصميم جدار استنادي ما معرفة جيدة لنمط انهياره: انزلاق، انقلاب أو انعطاف.

أ- الجدران الثقلية (الشكل 1-31):

تنهار الجدران الاستنادية الثقلية وفق ميكانيزم انهيار الأجسام الصلبة:

- انزلاق: عدم توازن القوى الجانبية.
- انقلاب: عدم توازن العزوم حول نقطة الدوران عند القاعدة.
- أو عن طريق عدم استقرار عام ناجم عن انهيار التربة الواقعة خلف أو تحت الجدار (طبقات تربة ضعيفة أو قابلة للتميع).

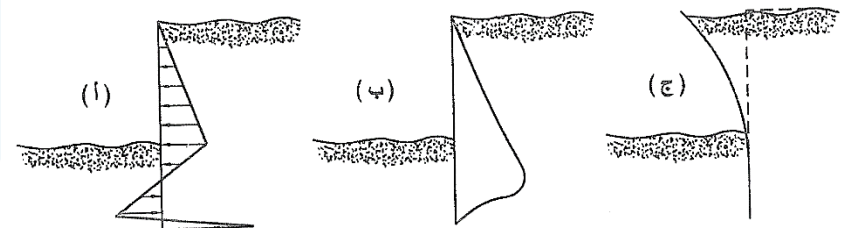


الشكل (1-31): ميكانيزم انهيار الجدران الثقلية

(أ) انزلاق - انتقال ، (ب) انقلاب – دوران ، (ج) عدم استقرار عام

ب- الجدران الظفرية و الصفائح الوتدية (الشكل 1-32):

يمكن أن تنهار هذه الجدران وفق ميكانيزم مشابه للجدران الثقلية، إضافة لميكانيزمات انهيار داخلية قصية أو انعطافية.

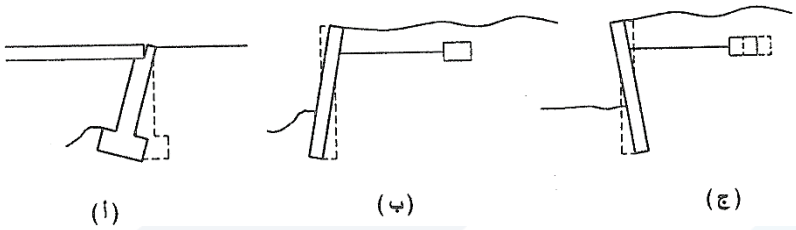


الشكل (1-32): انهيار انعطافي لجدار ظفري

(أ) ضغط التربة ، (ب) عزوم الانعطاف ، (ب) ميكانيزم الانهيار بالانعطاف

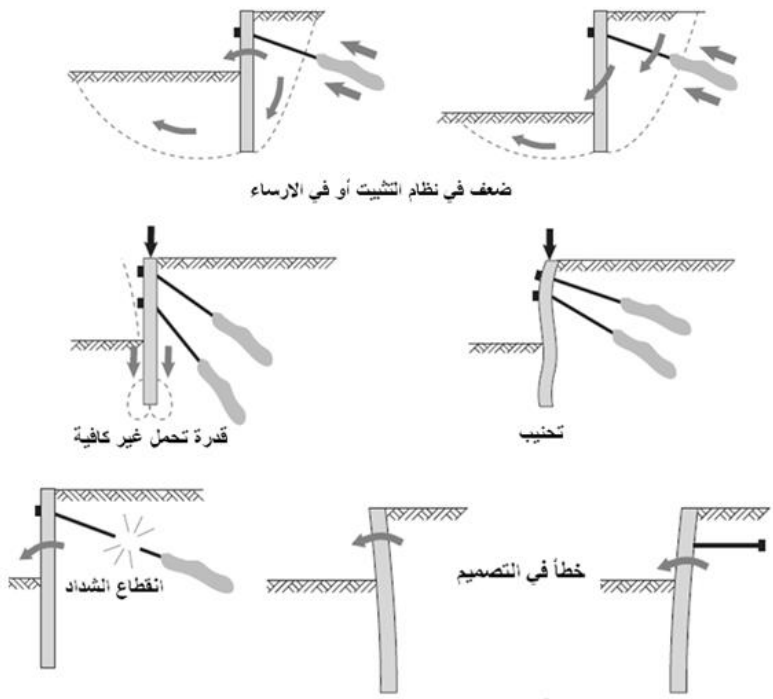
ج- الجدران المقواة (الشكل 1-33):

تنهار هذه الجدران عن طريق حالة عدم اســتقرار عامة ، انهيار انعطافي، انهيار عناصــر التربيط أو التقوية ، أو الدوران حول نقطة ارتكاز عنصر التقوية.

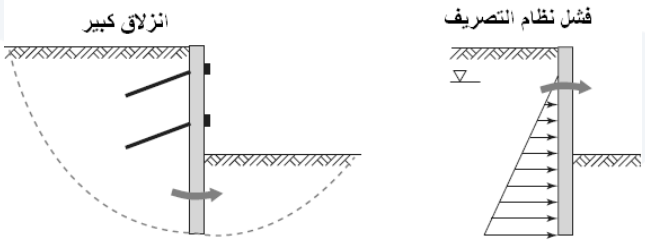


الشكل (1-33): أنماط انهيار الجدران المقواة: (أ) دوران ركيزة الجسر حول القمة ، (ب) دوران الجدار نحو الداخل بسبب ضعف المقاومة المعاكسة، (ج) إرساء ضعيف للشداد

هذا ويبين الشكل (1-34) أنماط انهيار بعض المنشآت الاستنادية لأسباب مختلفة مرتبطة بتشوهات وميكانيزمات خاصة: ضعف وعجز نظام التثبيت والإرساء، التحنيب، عدم كفاية قدرة تحمل، انقطاع الشداد، أخطاء تصميمية، فشل نظام تصريف المياه، وخطر حصول انزلاقات كبيرة وعدم استقرار المنحدرات...



الشكل (1-34): أنماط انهيار بعض المنشآت الاستنادية - أسباب وميكانيزمات مختلفة-



تابع للشكل (1-34): أنماط انهيار بعض المنشآت الاستنادية - أسباب وميكانيزمات مختلفة-

العبارات من البيتون المسلح RC Culverts:

العبارة هي ممر مغلق يستعمل لإمرار الماء تحت الأرض أو تحت الطريق أو تحت السد. ويمكن أن يكون مقطع العبارة بأي شكل وعادة يكون على شكل دائري أو مربع أو مستطيل. وتتراوح سرعة الماء في العبارة البيتونية بين 1-2 m/sec.

في الواقع، تختلف الأنفاق عن الممرات (العبارات) بنمط تنفيذها، باعتبار أن الممرات هي منشآت يتم تنفيذها بعد حفر التربة ومن ثم ردمها، أما الأنفاق فتنفذ في الموقع دون حفر التربة العلوية والجانبية.

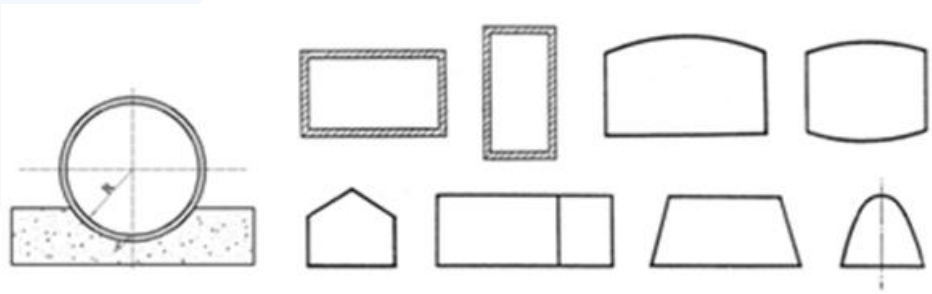
وعندما تكون العبارات كبيرة، بحيث يتراوح ارتفاعها بين (1.8 to 4)m، فيجب اتخاذ بعض الإجراءات والترتيبات الخاصة، بحيث تزود بميل طولي يسهل عملية تصريف المياه، وبشبكة إطفاء الحرائق وتجهيزات الإنارة والتهوية.

تنفذ العبارات من مواد مختلفة: حجر البناء، بيتون عادي، بيتون مسلح، بيتون مسبق الصنع. ويمكن أن تتألف العبارة الواحدة من أكثر من فتحة صندوقية.

يمكن أن تصنف العبارات من البيتون المسلح، كما يلي:

1- تصنيف العبارات حسب شكل مقطعها العرضي:

دائرية، مستطيلة بفتحة أو أكثر، مربعة بفتحة وحيدة أو أكثر، مستطيلة مع غطاء قوسي، مستطيلة مع غطاء وحصيرة قوسيه، مستطيلة مع غطاء مستوي، نصف قطع ناقص، عبارة شبه منحرفة، أشكال مختلفة، كما هو مبين في الشكل (1-35).



الشكل (1-35): مقاطع عرضية مختلفة للعبارات

2- تصنيف العبارات حسب نمط إنشائها، وارتفاعها (h):

- عبارة مصبوبة في المكان.

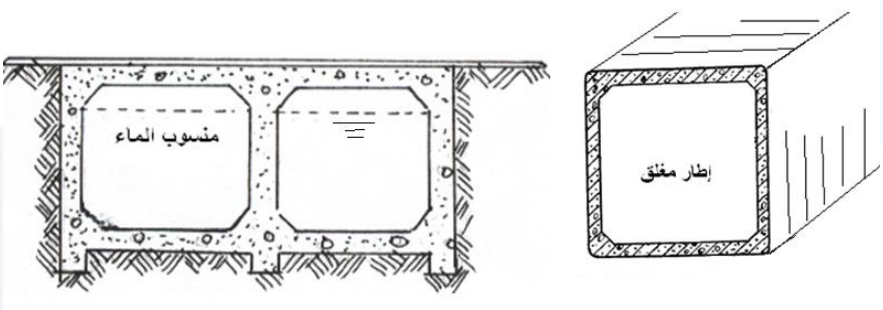
- عبارة مسبقة الصنع.

- عبارة صغيرة : $(h \leq 120cm)$.

- عبارة متوسطة: $(h \leq 180cm)$

- عبارة كبيرة: $(h = 180\, to\, 400cm)$

يظهر الشكل (1-36)، عبارة صندوقية متوسطة أو كبيرة بفتحة وحيدة أو بفتحتين، من البيتون المسلح والتي تعمل كإطار مغلق.



الشكل (1-36): عبارة صندوقية باارتفاع $(h \geq 180 - 400cm)$

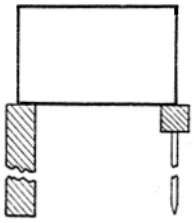
3- تصنيف العبارات حسب الاستخدام:

عبارات مرور المشاة، عبارة طرقية، عبارة سكك حديدية، عبارة فنية بهدف تمرير التمديدات العائدة لمجموعة من الأبنية، وعبارات لنقل المواد...

4- تصنيف العبارات حسب نوع الأساس:

- تنفيذ على حصيرة وهي الأكثر شيوعاً مع كلفة أقل.

- تنفيذ على أبار أو أوتاد: تنفذ في حالات استثنائية عندما تكون التربة سيئة جداً، أو عندما تتطلب شروط الاستثمار تجنب أي هبوط للتربة كحالة السكك الحديدية على سبيل المثال، الشكل (1-37).

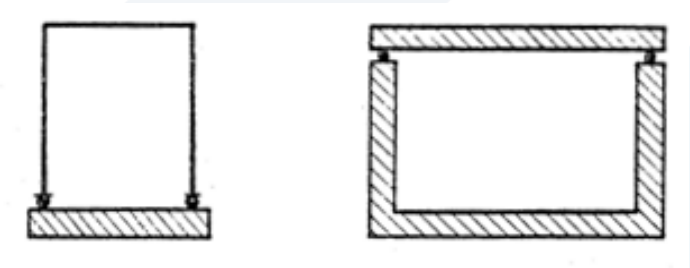


الشكل (1-37): عبارة منفذة على آبار أو أوتاد

5- تصنيف العبارات حسب طريقة الحساب:

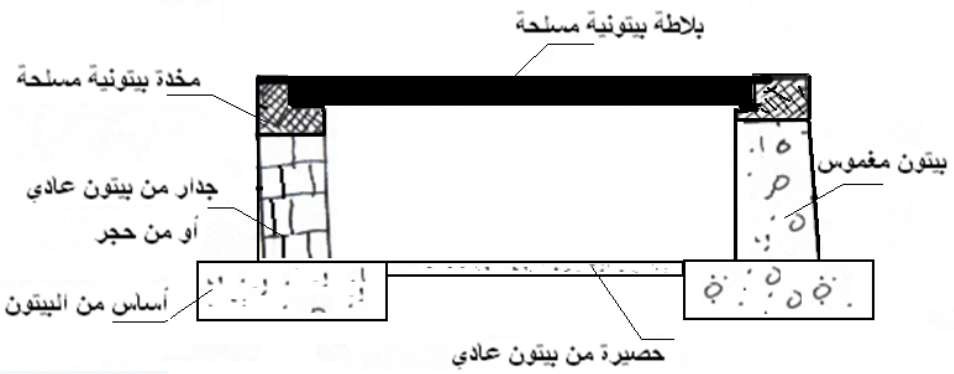
تحسب العبارات وفق طرائق مختلفة، نذكر منها:

- إطار مغلق يستند على حصيرة.
- إطار مغلق يستند على صفين من المساند، عند أسفل الجدران الشاقولية للعبارة.
- إطار متمفصل يستند على حصيرة سميكة، الشكل (1-38).
- مجراة بشكل U مع غطاء متمفصل، الشكل (1-38).



الشكل (1-38)

ونشير إلى أنه بالإمكان تنفيذ عبارة مؤلفة من جدارين استناديين ، الشكل (1-39)، تستند عليهما بلاطة بيتونية مسلحة، مع حصيرة مصبوبة ببيتون عادي تحمي أرضية العبارة، ولكن بشكل عام تكون تكاليف العبارة الصندوقية البيتونية المسلحة أكثر اقتصادية.



الشكل (1-39)

1-1-2- مواد البناء:

إن المعرفة الدقيقة لسلوك مواد البناء المكونة للعناصر الإنشائية وغير الإنشائية في المنشآت الهندسية، تمكن من إعداد الدراسات التي تحقق متطلبات الأمان والاقتصاد والديمومة للمنشآت والمباني الواقعة في بيئات متنوعة.

يمكن أن نصنف مواد البناء وفق نوعين رئيسين:

مواد إنشائية:

وهي المواد المستخدمة في تكوين العناصر الإنشائية المشكلة للهياكل الحاملة التي تقاوم الحمولات المطبقة وفق مسار معين، ليتم تفريغها في تربة التأسيس.

مواد الإكساء والعزل:

تستخدم لأغراض معمارية، وهي تكوّن مجموع العناصر غير الإنشائية إذ يطلب أن تقاوم وزنها الذاتي فقط، كالأعمدة التزينية، وطبقات الإكساء والأسقف المستعارة ومجموع القواطع المعمارية وغيرها...

1-1-2-1- المواد الإنشائية:

نبين فيما يلي المواد الإنشائية المستخدمة في تكوين عناصر المنشآت الهندسية:

1- الحجر الطبيعي: تم استخدام الحجر الطبيعي في إنشاء الإهرامات والقلاع والمدرجات الأثرية، ويكون الحجر وفق نوعين:

حجر طبيعي غشيم: يستخدم في إنشاء المباني الريفية، والمنشآت غير الهامة.

حجر منحوت: تكوّن العناصر الإنشائية للمباني المهمة.

وأهم الخواص التي يمتاز بها الحجر الطبيعي: مقاومة عالية على الضغط وضعيفة على الشد، ديمومة كبيرة ومقاومة جيدة لعوامل الطبيعة والحريق والمواد الكيماوية.

2- الآجر الترابي: يتكون من التراب الناعم المخلوط بالقش أو التبن، والمجبول بالماء، ليصنع بشكل قطع متوازي مستطيلات، معرضة لأشعة الشمس حتى تأخذ القوام المناسب ليتم البناء بها، ويقال إن أول من استخدمها سكان وادي الرافدين (برج بابل). ومن خواصها: ديمومة ضعيفة، يتأثر بالعوامل المناخية والماء، مقاومات ميكانيكية ضعيفة، ولكن تمتاز بعازلية حرارية جيدة.

3- الآجر الغضاري المشوي: يتكوّن من مزيج من التربة الناعمة جداً (غضار) والماء، ويصب بقوالب نظامية ويشوى في الأفران بدرجة حرارة تصل 1400C°. يمتاز الأجر الغضاري بمتانة إنشائية جيدة، وعازلية حرارية جيدة، وهو يقاوم العوامل المناخية والرطوبة بشكل جيد.

4- الخشب: مادة إنشائية جيدة، مقاومة للشد والضغط، بالتالي إمكانية استخدامها في العناصر الخاضعة لانعطاف، وتم استخدام الخشب في البداية بشكل أغصان وجذوع أشجار، ومن ثم جرى تصنيع الخشب على شكل مورين وألواح. ومن عيوب الخشب ضعف المقاومة على الحريق، وإمكانية تعرضه للتسوس إذا لم يعالج.

5- الفولاذ: من أهم وأقوى المواد الإنشائية، ويمتاز بمقاومة عالية على الشد والضغط، ويستخدم في تكوين المنشآت المعدنية (الشبكية والشدادات)، ولكن يوجد بعض العيوب منها: قابليته للصدأ وتأثره بالحريق.

6- البيتون والبيتون المسلح.

7- مواد بناء حديثة: غالباً ما تستخدم في أعمال التقوية والتدعيم، وهي بوليميرات مسلحة بألياف (FRP: Fiber Reinforced Polymers)، وسنتطرق إليها لاحقاً.

1-1-2-2- مواد الإكساء والعزل:

- الحجر أو الرخام للواجهات والأرضيات.
- الكلس المخلوط مع قشر القنب للطينة (ألياف).
- التراب المخلوط مع التبن للطينة.
- الكلس كمادة دهان.
- الخشب للمنجور الخشبي.
- الجبصين كمادة للعناصر التزينية.
- المواد الحديثة المكونة لأعمال الإكساء والتغطية: ألمنيوم، لدائن مسلحة وغيرها....
- مواد الدهان والمعالجات المقاومة للعوامل المناخية وأعمال العزل المقاومة للرطوبة.

1-1-2-3- تصنيف المواد الإنشائية:

يمكن أن نقسم المواد الإنشائية إلى مجموعتين رئيسيتين:

1- مواد إنشائية متجانسة: حجر – خشب – حديد – ألمنيوم. ولتنفيذها يتم تأمين وصلات بين العناصر والمكونات الإنشائية عن طريق مواد أخرى منها: مونة رابطة للحجر، مسامير معدنية للخشب، لحام الحديد أو تجميعها ببراشيم أو براغي.

ويبين في الجدول (1-1) الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد.

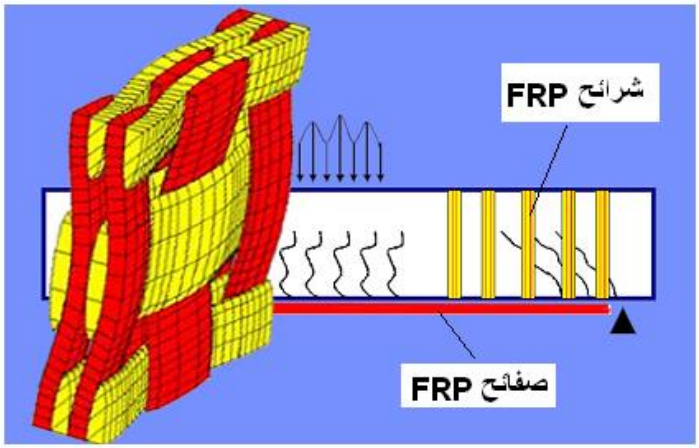
المادة الإنشائية		المقاومة (kgf/cm^2) على الشد	المقاومة (kgf/cm^2) على الضغط	عامل المرونة (tf/cm^2)	الوزن الحجمي (tf/m^3)
الحجر	كلسي	-	1400-200	~500	~2.5
	غرانيت	-	1800-1000	~500	~3.0
الخشب	أرز (صنوبر)	أكبر من الضغط بحوالي 2-3 مرات	~400	~100	0.80
	سنديان		~500	~125	0.85
	جوز		~600	~150	0.90
الحديد	خام	~3500		~1500	7.7
	فولاذ عادي	~5000		~2000	7.85
	عالي المقاومة	~7000		~2100	7.00
	فائق المقاومة	~20000		~2100	~8.00
ألمنيوم	إنشائي	~2100	-	~700	~2.70

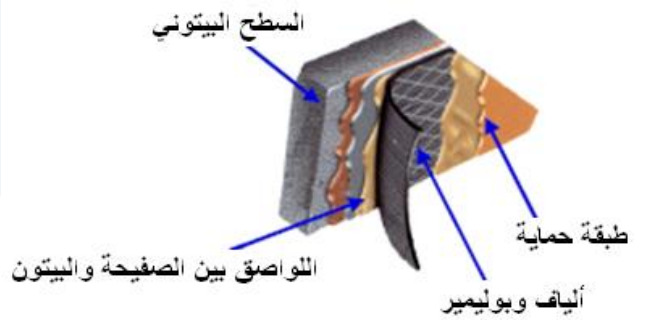
الجدول (1-1): الخواص الميكانيكية للمواد الإنشائية المتجانسة

2- مواد إنشائية غير متجانسة: البيتون المسلح – اللدائن أو البوليميرات المسلحة بألياف. ويسمى هذا الصنف بالمواد المركبة (Composites)، والتي تتكون من مونة رابطة (Matrix)، وألياف (Fibers). تتكون المونة من راتنجات أو لواصق (إيبوكسي-بوليستير...)، بالمقابل يمكن أن تكون الألياف زجاجية (Glass) أو أراميدية (Aramids) أو كربونية (Carbons). بدأ في السنوات الخمسة عشرة الأخيرة استخدام البوليميرات المسلحة بألياف (FRP) في تقوية الأبنية والمنشآت الهندسية (الشكل 1-40)، خاصة تلك الواقعة في مناطق زلزالية، لما تملك من خواص وميزات هامة كخفة وزنها، ومقاومتها للصدأ، وسهولة تنفيذها، إضافة لمقاومتها العالية على الشد.

يوضح الجدول (1-2) الخواص الميكانيكية للبوليميرات المستخدمة في تكوين مونة المواد المركبة المستخدمة في أعمال الإصلاح والتقوية.

ويبين الشـــكل (1-41) مقارنة بين خواص الألياف المســـتخدمة في تكوين الـــــ FRP ، من خلال قراءة العلاقة التي تربط الاجهادات بالتشوهات لكل مادة.

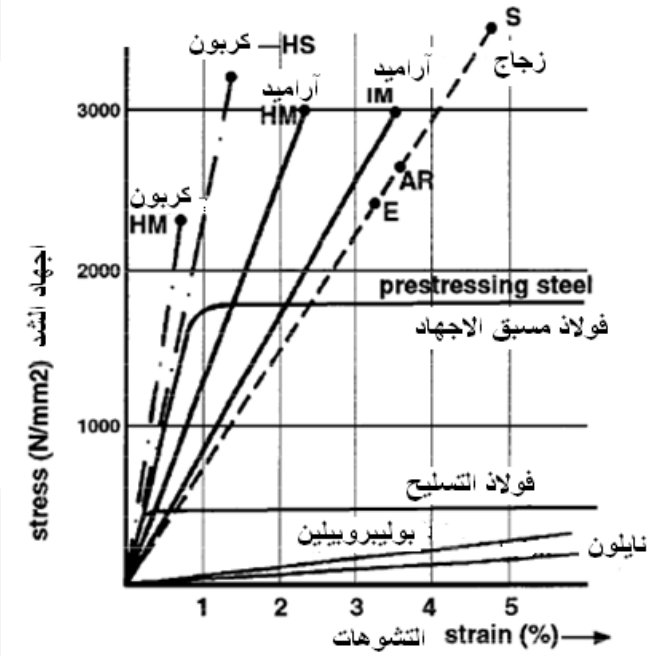




الشكل (1-40): مبدأ المعالجة بالمواد المركبة (FRP)

Material	Specific strength	Ultimate tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity in tension (GPa)	Coefficient of linear expansion ($10^{-6}/^{0}C$)
نوع البوليمير	الوزن النوعي	المقاومة على الشد	عامل المرونة	عامل التمدد الحراري
Polyester	1.28	45-90	2.5-4.0	100-110
Vinylester	1.07	90	4.0	80
Epoxy	1.03	90-110	3.5	45-65
Phenolic	1.5-1.75	45-59	5.5-8.3	30-45

الجدول (1-2): الخواص الميكانيكية للبوليميرات



الشكل (1-41): العلاقة بين اجهادات الشد والتشوهات لعدة ألياف مستخدمة في (FRP)

ويبين الجدول (1-3) خواص اللواصق الأكثر استخداماً في تطبيقات الهندسة المدنية وخاصة في أعمال البيتون المسلح.

Property الخاصية		Epoxy	Polyester*	Polyurethane
مقاومة الشد (ASTM D638)	MPa psi	28-90 4000-13,000	4-90 600-13,000	1.2-70 175-10,000
التشوه النسبي , % (ASTM D638)		3-6	2-6	100-1000
مقاومة الضغط (ASTM D695)	MPa psi	105-175 15,000-25,000	90-205 13,000-30,000	140 20,000
عامل المرونة -ضغط , 10^3 (ASTM D695)	MPa psi	—	2-3 300-400	70-700 10-100
درجة حرارة التشوه (ASTM D648)	°C	45-260	60-200	—
عامل التمدد الحراري 10^{-6} / °C (ASTM D696)		45-65	55-100	100-200

* استخدام نادر في منشآت الهندسة المدنية

الجدول (1-3): خواص اللواصق المستخدمة في أعمال البيتون المسلح

أخيراً، نشير إلى أنه يمكن أن تتواجد هذه الألياف في السوق على شكل حزم وجدائل أو على شكل حصائر حيث الألياف تتوضع باتجاهين أو بشكل عشوائي، كما هو مبين في الشكل (1-42).

الشكل (1-42): ألياف زجاجية على شكل جدائل (بكرات) أو رولو أو حصائر

1-2- العناصر الإنشائية ومقاطعها المناسبة لمواد الإنشاء:

1-2-1- المقاطع المناسبة للمواد:

- **الحجر الطبيعي**: تصنع الأحجار سواءً لأعمال إنشائية أم تزينية لتستخدم في عمل مقاطع عرضية مستطيلة.

- **الخشب**: مقاطع مستطيلة أو مربعة حسب الغرض وبأطوال مختلفة:

$$a \times b \times L$$

- ألواح من الخشب: $10 \times 20 \times 400cm$
- مبسطات من الخشب: $5 \times 20 \times 400cm$
- مورين: $10 \times 100 \times 400cm$

- **الفولاذ**: قضبان التسليح – اسلاك فولاذية – مقاطع بروفيلية:

- قضبان التسليح (أعمال البيتون المسلح): دائرية بأقطار:

$$\phi 6mm \text{ to } \phi 35mm$$

- أسلاك فولاذية عالية المقاومة (أعمال البيتون مسبق الإجهاد):

$\phi 2mm \text{ to } \phi 8mm$ تشكل جدايل أو ضفائر.

- مقاطع بروفيلية: تستخدم في تنفيذ المنشآت والأعمال المعدنية:

1- مواسير (قساطل): تبدأ بتكوين عناصر الدرابزون بقطر $\phi 20mm$ ، إلى الأعمدة الخفيفة $\phi 250mm$ ، وصولاً لصناعة قساطل المياه أو البترول $\phi 1000mm$.

2- المقاطع الصندوقية: مربعة بأبعاد $80 \times 80 \rightarrow 270 \times 270mm$ ، أو مستطيلة بأبعاد تصل $80 \times 195mm$ ، تستخدم في إنشاء الجوائز الشبكية وفي تكوين الأعمدة للأعمال الصغيرة، ويتم وصلها بواسطة صفائح مناسبة.

3- الصفائح: يمكن أن تكون بسماكات مختلفة $t = 5 \rightarrow 40mm$ ، ويمكن أن تستخدم في تكوين الأسقف والأرضيات المعدنية على شكل ألواح رقيقة متموجة.

4- زوايا معدنية: $L\ 20\times20 \rightarrow 200\times200mm$

5- مجاري: U or C: $C\ 30mm \rightarrow 400mm$

6- مقاطع I: $I\ 80mm \rightarrow 600mm$

7- مقاطع I بشفة عريضة H: $H30mm \rightarrow 1000mm$

8- مقاطع T: $T20mm \rightarrow 140mm$

9- مقاطع مركبة: تصنع وفق الشكل الذي يريده المصمم، وغالباً ما يكون مكوناً من صفائح.

- **البيتون**: يمكن تصنيع المقطع المراد، إذ يتم صب البيتون الطري في القالب المناسب للحصول على المقطع المطلوب : مستطيل – T – L – I ...

مع الانتباه إلى ضرورة تأمين سماكة دنيا لهذه العناصر البيتونية تساوي:

- قشريات: $t = 6cm$
- بلاطات عادية أو مطوية: $t = 8cm$
- حواجب أو جدران: $t = 15-20cm$
- أعصاب: $t = 10cm$
- جوائز وأعمدة: $t = 20cm$

مع التأكيد على ضرورة التحقق من المتراجحة التالية: $t \geq 4D_{max}$ ، حيث D_{max} : قطر أكبر بحصة.

1-2-2- اختيار المقاطع المناسبة للعناصر الإنشائية:

- العناصر الخطية:

- حالة الحجر: مقطع عرضي مستطيل.
- حالة الخشب: مقطع عرضي مستطيل.
- حالة الفولاذ: تصنع الشدادات من قضبان التسليح ومواسير ومقاطع صندوقية. أما بالنسبة للعناصر المضغوطة يمكن استخدام العناصر المكونة للشدادات باستثناء القضبان، بعد أن يتم تحقيق شرط التحنيب بحيث يتم تقويتها بصفائح. وفيما يخص العناصر المنعطفة يتم استخدام مقاطع بروفيلية محققة لشروط السهم والمقاومة. ويمكن أن تصنع الأعمدة من مقاطع مسحوبة أو مقاطع مصنعة (الشكل 1-43).
- حالة البيتون المسلح: يمكن تنفيذ المقطع المرغوب، والمقاطع الدارجة هي مستطيلة، مربعة، دائرية، تي، صندوقي...

- العناصر السطحية (الشكل 1-43):

- حالة الفولاذ: صفائح متموجة، أو مختلطة مع البيتون.
- حالة البيتون: بلاطات بأنواعها.

الشكل (1-43)

- **المنشآت الفراغية:** تستخدم وفقاً للعناصر سواءً أكانت خطية أم مستوية.

وهي نظم خاصة من العناصر الإنشائية المفصلية، المصنوعة من المعدن، وهي توفر حلاً اقتصادياً للمجازات الكبيرة، لا يتوقف دور الهياكل على تسقيف الفراغات فقط بل قد يشمل بناء الجدران أو الأعمدة مع السقف في تكوين معماري وإنشائي واحد وتكون بأشكال مستوية أو مائلة أو منحنية (الشكل 1-44).

الشكل (1-44): قبة جيوديزية كبيرة قطرها 67 متراً مغطاة بلدائن مقواة، تغطي مساحة العرض المخصصة، والتي وضعت على مستويات داخل القبة وفي إنشاء منعزل عن إنشاء القبة، بينما تظهر القبة وهي تغطي الفراغ الأساسي للمعرض في شكل وهيئة جديدة، ساعد على ذلك شفافية المادة التي تم بها تغطية القبة مما حقق فكرة الاتصال بين فراغ العرض وبين الفراغ الخارجي من نقاط عديدة أثناء الحركة على حيزات العرض الداخلية.

- **المنشآت المعلقة (الكابلات والخيام):**

تســتخدم للأســقف ذات المجازات الكبيرة فقط وليس للمباني متعددة الطوابق، إذ يتم نقل حمولات الكابلات إلى ركائز (أعمدة ضخمة) تعمل على الضغط. إذن تعتمد الفكرة الإنشائية الأساسية على تحويل الحمولات إلى قوى شد وضغط وبالتالي إلغاء عزوم الانعطاف عن طريق تقوسات أو تحدبات معينة في شكل النسيج المغطي للمنشأة (الشكلين 1-45 و 1-46).

الشكل (1-45): المنشأة تشكل فراغ معماري أبعاده 126 × 120 متراً، وتقوم الركيزتان الكبيرتان من البيتون المسلح بتلقي حمولات مجموعتين من الكابلات الرئيسية بالاتجاه الطولي للمبنى ومثبتة في النهايات بأساسات أرضية، أما الكابلات العرضية فتتفرع من الكابلات الرئيسية لتكوّن شكلاً مميزاً للسقف المكون من ألواح معدنية (ملحوم مع الكابلات).

الشكل (1-46): الإنشاء المشكل للخيمة معلق بواسطة 12 عموداً من الفولاذ بارتفاع 100 متر، ونسيج السقف ذو طبقة مزدوجة للعزل، وقطر القبة 320 متر وبارتفاع 50 متر عند المركز.

1-2-3- الجمل الإنشائية والمجازات المناسبة لمادة الإنشاء:

الحجر: الجمل التي تعطي إجهادات ضغط: أعمدة – جدران – أقواس.

- المجاز المناسب لأقواس الحجر: حتى $10m$

- ارتفاع الجدران الحاملة: يمكن الوصول حتى خمسة عشرة طابقاً.

الخشب:

- المجاز المناسب للجوائز: حتى $7-8m$

- المجاز المناسب للجوائز الشبكية: حتى $15-20m$

الفولاذ:

- المجاز المناسب للجوائز البسيطة: حتى $15m$ للمقطع المسحوب، و حتى $25m$ للمقطع المصنع.

- المجاز المناسب للإطارات: حتى $40m$ للمقطع المصنع.

- المجاز المناسب للجوائز الشبكية: حتى $50m$ للمصنعة المستوية، و حتى $60m$ للمصنعة القوسية.

- ارتفاع المباني أكبر من مائة طابق، وفيما يخص الجسور الطرقية باستخدام كابلات معدنية يمكن الوصول لمجازات أطوالها مئات الأمتار.

البيتون المسلح:

- الجوائز من البيتون المسلح: حتى $15m$.

- الجوائز من البيتون المسلح مسبق الإجهاد: حتى $40m$.

- إطارات من البيتون المسلح: حتى $25m$.

- أقواس من البيتون المسلح: حتى $50m$.

- بلاطات مصمتة عاملة باتجاه واحد من البيتون المسلح: حتى $5m$.

- بلاطات مصمتة عاملة باتجاهين من البيتون المسلح: حتى $6\times6m$.

- بلاطات فطرية من البيتون المسلح: حتى $8\times8m$.

- بلاطات مفرغة باتجاه واحد من البيتون المسلح: حتى $6m$.

- بلاطات مفرغة باتجاهين من البيتون المسلح: حتى $10\times10m$.

- بلاطات جائزية متصالبة من البيتون المسلح: $16\times16m$.

- بلاطات مطواة /منثنية/ من البيتون المسلح: $20m$.

- قشريات اسطوانية جائزية من البيتون المسلح: $40m$.

- قشريات اسطوانية إطارية من البيتون المسلح: $50m$.

- قشريات اسطوانية إنتقالية (مجسم مكافئ زائدي أو ناقصي..): $60m$.

- قشريات دورانية (قبب): قطر حتى $50m$.

1-3- المنشآت الهندسية وطرائق الإنشاء

يوجد طرائق متعددة يمكن اعتمادها في تصنيف المنشآت الهندسية، ويمكن تلخيص معايير التصنيف على النحو التالي:

- وفقاً للشكل الهندسي: خطية – سطحية – فراغية (تقاطع المنشآت الخطية أو السطحية بشكل فراغي).
- وفقاً لطريقة التنفيذ: مسبقة الصنع – في المكان – مختلطة (مسبقة أو منفذة في المكان).
- وفقاً للأفعال المشوهة (نوع القوى الداخلية): شد، أو ضغط أو عزم ....
- وفقاً لنمط المنشأة: طابق واحد – متعددة الطوابق – خاصة.
- وفقاً للصلابة الجانبية للمنشأة: منشآت مطاوعة – صلبة – شبه صلبة.
- وفقاً للمواد المستخدمة: بيتونية مسلحة – معدنية – خشبية ....
- اعتبارات اقتصادية.

1-3-1- طرائق الإنشاء:

يوجد ثلاث طرائق لإنشاء المباني والمنشآت الهندسية:

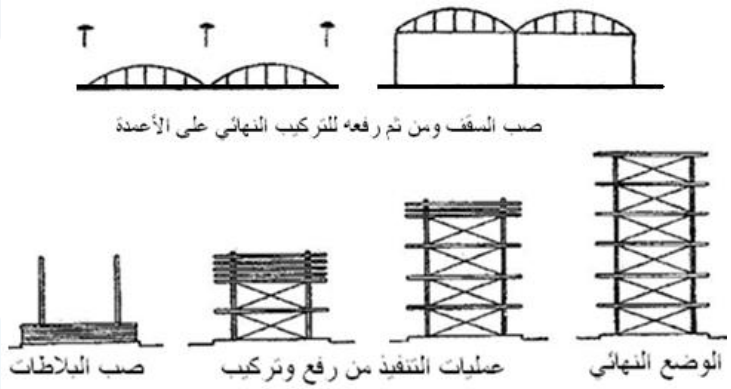
1-3-1-1- مسبقة الصنع:

إمكانية تكوين المنشأة جزئياً أو كلياً في المصنع، لتنقل إلى الورشة ومن ثم تركب بشكل نهائي، ويلاحظ هنا بأنه يتم توفير كلفة تنفيذ القالب مع تنفيذ نوعي للعناصر الإنشائية (تسليح دقيق مع صب جيد محقق للشروط الفنية)، ويجب العمل على مراعاة النقاط التالية:

- وسائل وتجهيزات النقل والتركيب.
- منسوب التأسيس ونظامه.
- الوصلات والعقد.

ويمكن أن تتم هذه العملية باستخدام المواد الإنشائية كافة باستثناء الحجر، وتكون مفضلة عند استخدام مواد خفيفة أو مواد تتطلب تكنولوجيا متطورة وكذلك يد عاملة خبيرة.

يوضح الشكل (1-47) مراحل تنفيذ صالة بهذه الطريقة.



الشكل (1-47): تنفيذ عناصر أسقف صالة مسبقة الصنع (طابق واحد أو متعدد الطوابق)

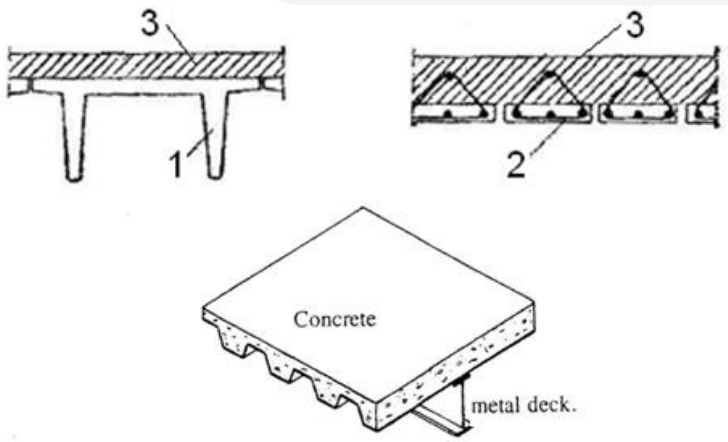
1-3-1-2- مصنوعة في المكان:

يمكن أن نستخدم أنواع المواد الإنشائية كافة في تكوين هذه المنشآت، وخاصة المواد غير المتجانسة، وتكون مناسبة أكثر للحجر والبيتون المسلح.

1-3-1-3- منشآت مع عناصر مختلطة:

تكون المنشآت أو العناصر الإنشائية المختلطة مكونة من قسمين (الشكل 1-48): مسبق الصنع و منفذ بالمكان (المنشآت المصنعة جزئياً في الموقع)، هذا ويمكن أن تتم معالجة العيوب الناجمة عن الصنع المسبق في الورشة، من خلال تحقيق

وصلات جيدة وتخفيف من حجم الآليات المطلوبة للنقل والرفع، وكذلك تأمين ربط أفقي وشاقولي جيد للمنشآت يزيد من درجة عدم التقرير، بالتالي أكثر أماناً واقتصاداً.



الشكل (1-48): العناصر الإنشائية المختلطة

1&2- عناصر إنشائية مسبقة الصنع

3- بلاطات مصبوبة بالمكان

1-3-1-4- الإنشاء وفقاً للمادة المستخدمة:

نبين فيما يلي طرائق الإنشاء وفقاً للمادة المستخدمة في الصنع:

- الحجر: يتم بناء الحجر باستخدام مونة رابطة بمقاومة قريبة من الحجر.
- الخشب: يتم وصل العناصر عن طريق فرزات بأشكال مناسبة، ويمكن استخدام المسامير الفولاذية لتأمين الوصلات. ويمكن أن تتم عملية الصنع في المصنع أو في الموقع.
- الحديد والألمنيوم: تؤمن العناصر بمقاطع بروفيلية خاصة وفقاً للتصميم وذلك في المعمل، ويتم التركيب في الورشة، وتوصيل العناصر وتأمين العقد والوصلات المناسبة في الموقع باستخدام تقنيات اللحام أو البراشيم أو البراغي.
- البيتون: يجب التمييز بين البيتون مسبق الصنع، والبيتون مسبق أو لاحق الاجهاد، والبيتون المصبوب بالمكان. وفي كل الأحوال نعتمد الخطوات التالية:
  - إعداد القالب المناسب (خشب – حديد ...) – كوفراج.
  - وضع التسليح المناسب كما هو وارد في المخططات التنفيذية (إعداد القضبان بأقطارها وأطوالها المناسبة كافة).

- تأمين الخلطة البيتونية المناسبة وفقا للمقاومة ودرجة التشغيل المطلوبة.
- صب البيتون في القالب.
- دك أو رج البيتون بطريقة مناسبة لإملاء الفراغات كافة والحصول على بيتون طري مكتنز.
- معالجة البيتون الطري بطرائق مناسبة حتى يأخذ المقاومة المطلوبة.
- فك القالب.

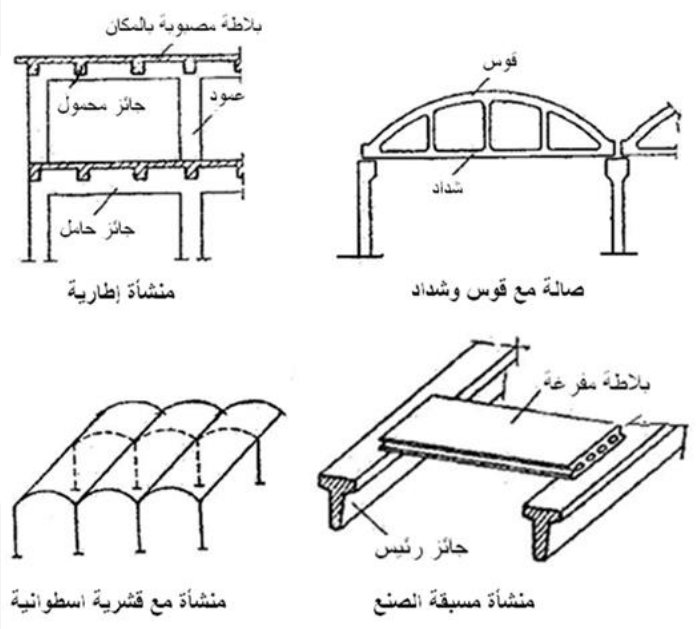
1-3-2- العناصر الإنشائية وتشكيل الجمل الإنشائية:

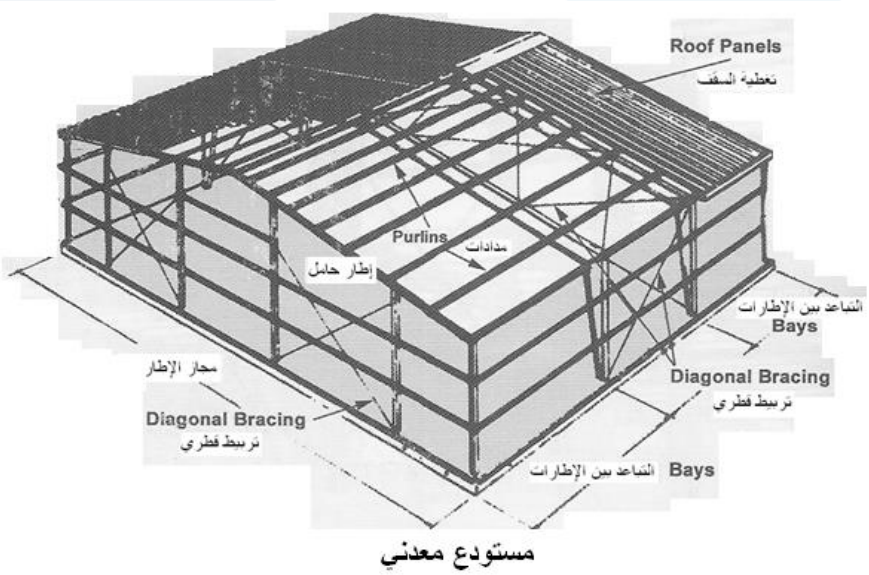
تصنف العناصر الإنشائية وفقاً لتناسب أبعادها، وذلك على النحو التالي (الشكل 1-49):

- خطية: هي عناصر أحادية الاتجاه، تكون نسبة الطول فيها إلى أبعاد مقطعها العرضي كبيرة، مثل: أعمدة وجوائز وشدادات وشيناجات....
- سطحية: هي عناصر ثنائية الاتجاه، تكون فيها السماكة صغيرة جداً بالنسبة للبعدين الآخرين، مثل البلاطات الأفقية والجدران والبلاطات الرقيقة المنحنية (القشريات)...
- حجمية: هي عناصر ثلاثية الأبعاد، تكون أبعادها الثلاثة متقاربة مثل قواعد الأساسات...

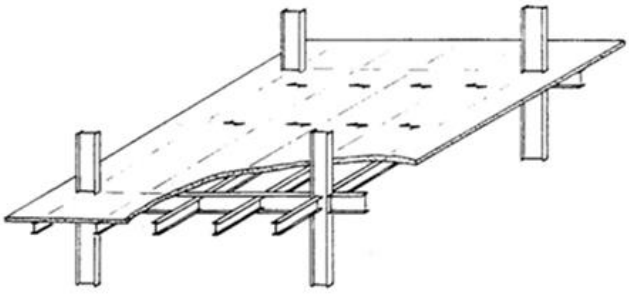
ويمكن أن تكون العناصر الخطية مستقيمة (شدادات – أعمدة – جوائز - أظفار...) أو منحنية (أقواس معلقة – أقواس مضغوطة)، وكذلك تكون العناصر السطحية إما مستوية (بلاطات أفقية) أو منحنية (مشدودة معلقة أو مضغوطة على شكل قشريات مخروطية أو قباب أو اسطوانية...).

بتجميع العناصر المذكورة أعلاه يتشكل لدينا الهيكل الحامل للمنشأة أو ما يعرف بالجملة الإنشائية المقاومة للأفعال والحمولات الخارجية.

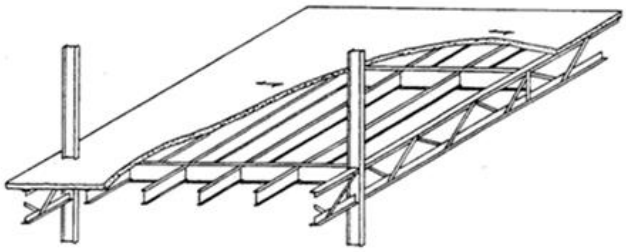




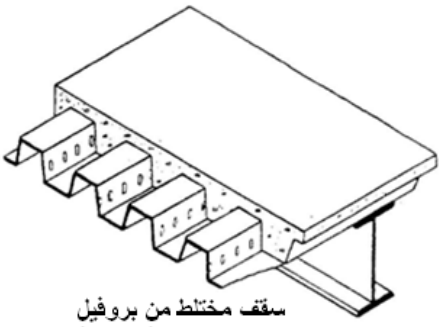
الشكل (1-49): نماذج لبعض الجمل الإنشائية وعناصرها



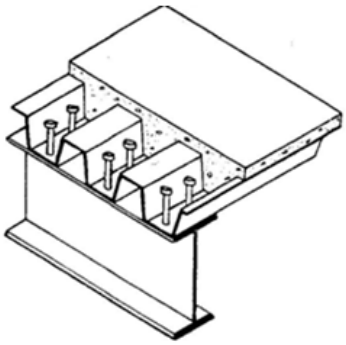
نظام من جوائز معدنية باتجاهين



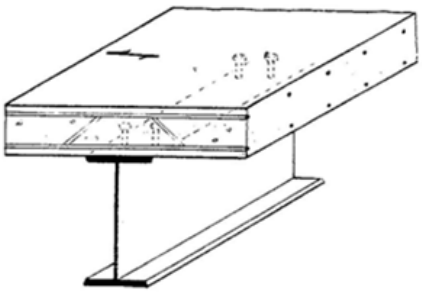
نظام من جوائز معدنية بثلاثة اتجاهات



سقف مختلط من بروفيل
معدني وبلاطة بيتونية



إطار وسقف مختلط



نظام إطاري مختلط

تابع للشكل (1-49)

1-4- مفهوم الأمان

1-4-1- آراء عامة

تعرف السلامة والصحة المهنية بأنها العلم الذي يهتم بالحفاظ على سلامة وصحة الإنسان، وذلك بتوفير بيئات عمل آمنة خالية من مسببات الحوادث أو الإصابات أو الأمراض المهنية، أو بعبارة أخرى هي مجموعة من الإجراءات والقواعد والنظم في إطار تشريعي تهدف إلى الحفاظ على الإنسان من خطر الإصابة، والحفاظ على الممتلكات من خطر التلف والضياع.

وتدخل السلامة والصحة المهنية في كل مجالات الحياة، فعندما نتعامل مع الكهرباء أو الأجهزة المنزلية الكهربائية فلا غنى عن أتباع قواعد السلامة وأصوله، وعند قيادة السيارات أو حتى السير في الشوارع فإننا نحتاج إلى اتباع قواعد السلامة وأصولها، وبديهي أنه داخل المصانع وأماكن العمل المختلفة وفي المنشآت التعليمية فإننا نحتاج إلى قواعد السلامة، وعند حصول زلزال ما، فإنه يجب الالتزام بجملة من القواعد واتخاذ الإجراءات المناسبة لتجنب أكبر قدر من الخسائر المادية والبشرية، بل يمكن القول إنه عند تناول الأدوية للعلاج أو الطعام لنمو أجسامنا فإننا نحتاج إلى اتباع قواعد السلامة.

ونبين فيما يلي الأهداف العامة التي تسعى السلامة والصحة المهنية إلى تحقيقها:

1- حماية العنصر البشري من الإصابات الناجمة عن مخاطر بيئة العمل وذلك بمنع تعرضهم للحوادث والإصابات والأمراض المهنية.

2- الحفاظ على مقومات العنصر المادي المتمثل في المنشآت وما تحتويه من أجهزة ومعدات من التلف والضياع نتيجة للحوادث.

3- توفير وتنفيذ كافة اشتراطات السلامة والصحة المهنية التي تكفل توفير بيئة آمنة تحقق الوقاية من المخاطر للعنصرين البشري والمادي.

4- تستهدف السلامة والصحة المهنية كمنهج علمي في تثبيت الأمان والطمأنينة في قلوب العاملين أثناء قيامهم بأعمالهم، والحد من نوبات القلق والفزع الذي ينتابهم وهم يتعايشون بحكم ضروريات الحياة مع أدوات ومواد وآلات يكمن بين ثناياها الخطر الذي يتهدد حياتهم، وتحت ظروف غير مأمونة تعرض حياتهم بين وقت وآخر لأخطار فادحة.

1-4-2- السلامة الإنشائية للمنشآت الهندسية

درجت العادة في حساب المنشآت الهندسية على تشغيل العناصر الإنشائية المختلفة بإجهادات أقل مما تستطيع موادها مقاومته، وذلك للأخذ بالحسبان مجموعة من العوامل السيئة أو الطارئة التي يمكن أن تتضافر وتلتهم هذا الفائض في المقاومة، دون أن يؤدي ذلك إلى انهيار المنشأة أو تصدعها، أو حتى إلى ظهور أية عيوب فيها.

مبدئياً نستطيع أن نقول: إن تشغيل عنصر إنشائي بإجهادات صغيرة يزيد في درجة الأمان فيه، إلا أن هذا الأمر يصطدم بعقبة الكلفة الاقتصادية، مما يستلزم ضرورة تحقيق توازن بين هذه الكلفة وبين درجة أمان معقولة وفقاً لاعتبارات مختلفة، يستبعد فيها أحياناً بعض العوامل نادرة الحدوث، أو الظروف القاهرة والاستثنائية، والتي يتبع تقديرها إلى المهندس تبعاً لأهمية المنشأة، ولما يسبب انهيارها من أضرار مادية وبشرية وردود أفعال نفسية، وأهم تلك الاعتبارات هي:

أ. فداحة نتائج الانهيار من الناحيتين البشرية والاقتصادية.

ب. شروط التحميل، بما في ذلك الاعتبارات التي تخص حالات التحميل المختلفة.

ت. مستوى التنفيذ والبناء.

ث. أهمية العنصر الإنشائي في المنشأة.

ج. طبيعة الإنذار عن قرب حدوث الانهيار.

ح. ضعف المقاومة، وما يستلزمه تأمين صيانة كافية للمنشآت.

نستنتج من هذا أن مسألة الأمان في المنشآت بصورة عامة هي إحدى المسائل التي تستوجب الاستعانة بالطرائق الإحصائية لحلها. إلا أنه كان الاتجاه في الماضي إلى استعمال الإحصائيات في دراسة الأمان بالنسبة للمهندس العادي، أقل وضوحاً من الاتجاه إلى التوسع باستعمال الإحصائيات في تدقيق صفات البيتون الذي يصنع في الورشة، وقد أصبح الآن استعمال الإحصائيات في تعيين معايير التصميم ذا أهمية كبرى، ولكن لابد من التنويه إلى أنه يخشى من الوصول إلى نتائج مغلوطة وغير دقيقة إذا لم يعتدل في استعمال الرياضيات في هذا المجال، وذلك بالاعتماد على الخبرة العملية والمنطق السليم.

كما يجب الإشارة هنا إلى أن الأمان المطلق غير موجودة بعكس ما يعتقد، حيث يقبل الإنسان بصورة طوعيه احتمالاً غير مهمل للحوادث الطارئة، إذ أن غياب المجازفة نهائيا يعتبر أمراً صعباً جداً، إن لم نقل مستحيلاً، وبصورة خاصة في مجال الإنشاءات، حيث يتدخل، إضافة إلى الاستقرار ضد الانهيار، أمورّ أخرى أهمها: الديمومة وقابلية الاستخدام التي لم تعر أي اهتمام حتى نهاية القرن الثامن عشر، على الرغم من أن الأمان شغل عقول الإنشائيين منذ فجر التاريخ، وأكبر دليل على ذلك (كود حمورابي). كما تعتبر حوادث التصدع أو حتى الانهيارات التي تطرأ على المنشآت التي التزم في تشييدها بالقواعد المعروفة، برهانا على الطابع الكيفي للسلامة.

ومن نواحي أخرى، يرتبط الأمان باعتبارات ذات أهمية اقتصادية وسياسية وحتى أخلاقية، حيث نعرف أن احتمال انهيار منشأة يتناقص بازدياد كلفتها، وكذلك يمكن نظرياً تصغير درجة سلامة المنشآت، بحيث يتم التوصل إلى كلفة أصغرية لمجمل المنشأة. ولكن وجود خطر الحوادث الجسدية، يؤدي إلى تدخل اعتبارات على الصعيد الأخلاقي والتي لا يمكن إهمالها.

أخيرا على الصعيد السياسي، نلاحظ في بعض الدول النامية، التي لم تستكمل بعد حاجتها الأولية، أنه يعتمد مستوى سلامة أكثر انخفاضاً من دولة غنية، وذلك في سبيل تأمين المساكن اللازمة للناس بأقل كلفة وبأسرع وقت.

من الجدير بالذكر أنه ليس هناك من ارتباط واضح بين طبيعة الأمان ودرجتة في منشأة ما، وبين الأمان في مختلف عناصرها الإنشائية، حيث يعتمد ذلك على طبيعة الجهود المؤثرة في تلك العناصر وعلى خضوع مختلف المقاطع لتلك الجهود، كما يتعلق الأمان في المنشآت البيتونية المسلحة بصورة رئيسة بقابلية المادة للتكيف تحت تأثير الحمولات المفرطة، وذلك عن طريق حدوث إعادة توزيع للجهود أكثر ملاءمة من التوزيع الأول، مع ملاحظة أن ظاهرة التكيف هذه تتجلى بشكل واضح في منشآت البيتون المسلح بصورة تفوق في فعاليتها جميع التوقعات.

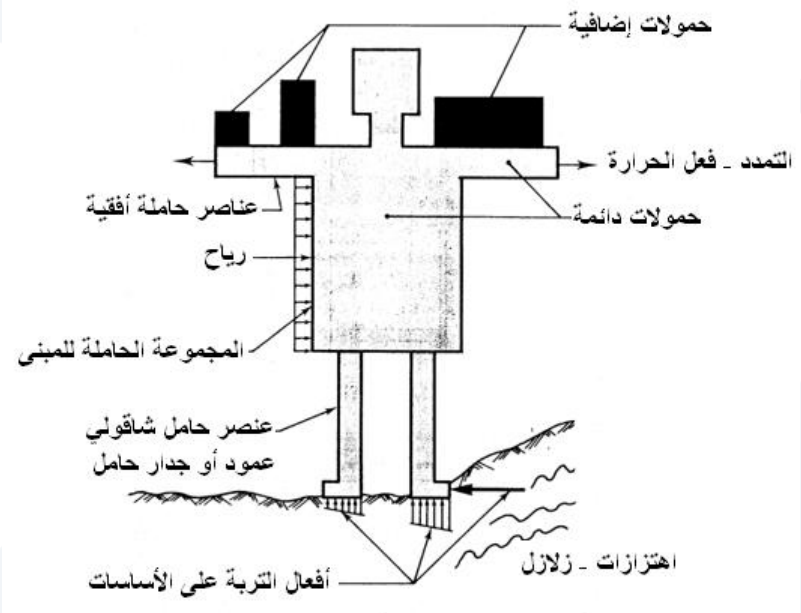
1-4-3- فلسفة الأمان في حساب المنشآت الهندسية

يجري تحديد الأفعال على مختلف أنواعها فور اختيار المنشأة ولدى المباشرة بدراستها. والأفعال هي مجموعة القوى التي تصمم المنشأة لتحملها (الشكل 1-50)، وتقسم إلى نوعين:

- **أفعال مباشرة:** هي مجموعة القوى التي تخضع لها المنشأة مباشرة، وهي: الحمولات الدائمة، الحمولات الإضافية العادية (ديناميكية أو غير ديناميكية) والحمولات الإضافية الاستثنائية الممثلة بالأفعال المناخية (رياح – ثلج) وقوى الزلازل. ويدعى هذا النوع من الأفعال أفعالاً مباشرة، لأنها تنتقل بواسطة المنشأة إلى الأساسات.

أفعال غير مباشرة: هي جملة الأفعال التي قد تتعرض لها المنشأة، كالقوى الناتجة عن الحرارة، الانكماش والزحف، الإجهاد المسبق، تحركات الركائز وحدوث التشققات. ويمكن أن تسمى هذه الأفعال بأفعال التشوهات المفروضة.

ويتحقق الأمان عندما تكون المقاومة الداخلية للمواد المستعملة في العناصر المختلفة للمنشآت، أكبر بنسبة محددة من القوى الداخلية الناجمة عن الحمولات والأفعال الأخرى المباشرة أو غير المباشرة المتوقعة، بحيث تبقى المنشأة صالحة للاستثمار أثناء الفترة المفترضة وطوالها تصميماً لبقائها قيد الاستثمار.



الشكل (1-50): أنواع الحمولات المطبقة على منشأة ما

ويعود السبب في تأمين هذه النسبة إلى عدم التمكن من إدخال العوامل السيئة كافة في الحساب بصورة مباشرة، والتي ترتبط بما يلي:

- ظروف الاستخدام الفعلية للمنشأة.
- العوامل الجوية.
- خواص التربة ومواد البناء.
- طرائق الحساب وفرضياتها المبسطة.
- أخطاء الحساب المحدودة طبعا – أخطاء التنفيذ المعقولة.
- شروط الحفظ والصيانة.
- قدم و اهتراء المواد.
- التحولات اللاحقة.

تنبثق أهمية الأمان الإنشائي مما يسمى "فجائية الحوادث"، إذ لا يوجد ما ينذر عن قرب تجاوز حمولات الإنذار والإجهادات المرنة، وبالتالي عن قرب حدوث الانهيار، بحيث يؤدي التصدع الجزئي للمنشأة إلى الانهيار التام فيما إذا ثابرت الحمولات على الزيادة. ولكن على الرغم من أن الحوادث التي قد تصاب بها المنشآت بصورة عامة، غالبا ما تكون فجائية بحيث يكون من الصعب التنبؤ عن قرب حدوثها، إلا أنه من العدل أن نقول: إن أسباب الحوادث الخطيرة التي

قد تصـيب المنشـآت، لا تعود في أغلب الأحيان إلا لارتكاب أخطاء كبيرة وخطيرة في تطبيق قواعد التصـميم والإنشـاء الأساسية.

1-4-4- عامل الأمان في القواعد والكودات الناظمة (التصميم)

من الطبيعي أن تكون الغاية المثلى التي يرجى الوصـول إليها في حسـاب منشـأة ما، هي التجانس في درجة الأمان بالنسـبة لجميع العناصر التي تتألف منها هذه المنشأة. ويعني هذا أن يكون لجميع تلك العناصر درجة احتمال واحدة إزاء الانهيار، شريطة أن نكون قد حكمنا على درجة الاحتمال هذه بأنها موافقة ومقبولة.

تهدف قواعد الحسـاب بصـورة عامة إلى إيضـاح الطرائق التي تسـمح ببناء منشـآت لها درجة من الأمان تتوافق مع الغاية من إنشـائها ومع ديمومتها. ولقد وضـعت هذه القواعد بحيث يكون لعوامل الأمان الخاصـة بالاسـتعمال في مختلف العناصر التي تتألف منها منشأة ذات صفة معينة، درجة واحدة من الكبر.

اعتباراً من الحمولات الأعظمية، يتم حسـاب الإجهادات والتأكد من أنها أصـغر من الإجهاد المسـموح $\bar{\sigma}$ ، الذي يسـتنتج من إجهاد انكسـار المادة R بتقسـيمه على عامل الأمان K بعد أن يتم اختياره ولمرة واحدة. ويعبر عن هذا التحقيق بالمتراجحة الأساسية التالية:

$$\sigma \le \bar{\sigma} \quad , \quad \bar{\sigma} = \frac{R}{K}$$

ثم تبين بعد ذلك أن مفهوم الأمان بهذه الطريقة غير كاف للأسباب التالية:

1- تبعا لطبيعة المنشآت واستخدامها، حيث تتفاوت الدقة في تقدير الأفعال الأعظمية، فمثلا يمكن تحديد ضغط الماء على جدران حوض بدقة، بينما لا يمكن التأكد من تقدير قوى الرياح العاملة على بناء عال، لأن سـرعة الرياح هي متغير عشـوائي، كما تعطي القراءات المناخية قيماً أعظمية خلال عشـرات السـنين فقط وفي بعض الأقاليم، كما أن تحويل سـرعة الرياح إلى قوة تتبع بدورها إلى شـكل المنشـأة وإلى العوائق المحيطة بها، وفقا لقوانين لا تزال مجهولة. نسـتنتج من ذلك أنه من أجل المحافظة على تجانس عامل الأمان، يجب أن يتغير عامل الأمان المعرف سـابقاً تبعاً لطبيعة الأفعال ونوعها.

2- لا تأخذ المتراجحة الأسـاسـية السـابقة بعين الاعتبار ظاهرة التكيف اللدن في المقاطع، حيث تختلف أهمية هذه الظاهرة تبعا لطبيعة الأفعال أيضـاً، ولشـكل المقطع الذي تطبق عليه، فمثلاً، تنكسـر القطع الخاضـعة للضـغط البسيط عند الوصول إلى إجهاد الانكسار، بينما تتحمل قطعة خاضعة للانعطاف البسيط مؤلفة من مادة "مرنة - لدنة" دون انكسار، عزوم انعطاف تفوق بمقدار 50% تلك التي توافق ظهور إجهاد انكسار في نقطة من المقطع.

3- في بعض الحالات، تعتبر المتراجحة الأسـاسـية السـابقة غير كافية من أجل ضـمان الأمان في المنشـآت بمواجهة زيادة طارئة للأفعال، ويحدث ذلك عندما لا تتناسب الإجهادات مباشرة مع القوى المطبقة، كما هي الحالة بصورة عامة في

مقاطع البيتون المسلح الخاضعة للانعطاف المركب، وفي مقاطع البيتون مسبق الإجهاد. على سبيل المثال، يمكن للحساب على سرعة الرياح القصوى التي تندرج مع الأفعال الاستثنائية، أن يكون مسيطراً في بعض الأحيان، وبصورة خاصة في حال المنشآت الخاضعة للانعطاف المركب، والتي تكون بالتالي حساسة جداً للتغيرات في قيم عزوم الانعطاف الناجمة عن ضغط الرياح. إذ كثيرا ما نصادف في الأبراج الشاهقة أن تزايداً في ضغط الرياح بمقدار 20% قد يؤدي إلى التزايد في إجهادات الشد في الفولاذ من مرتبة 80 إلى 100%. بل أكثر من ذلك، يمكن لفعل الرياح عند السرعة القصوى تغيير إشارة الإجهادات وتوليد شد في بعض المقاطع التي تكون خاضعة أصلا للضغط. إذ أدى هذا التغير في إشارة الإجهادات إلى حدوث الكوارث في المنشآت التي درست على الرياح العادية.

4- في البيتون، يمكن للحمولات الإضافية التي تولد إجهادات مهمة تدوم فترة طويلة من الزمن (خزانات المياه)، أن تكون أكثر خطورة من حمولات تؤثر من فترة إلى أخرى ولمدة قصيرة من الزمن، وبالمقابل يولد التغير المتكرر والمهم للإجهادات انكسارا للمادة على التعب كالجسور مثلاً. ومن الطبيعي إذن تطبيق عامل أمان يتعلق بمدة وطريقة تطبيق الأفعال من أجل الحصول على تجانس عام للأمان.

5- في حال وجود أفعال متغيرة، متعددة ومستقلة، تؤثر فترة قصيرة من الزمن، يجب الأخذ بعين الاعتبار الاحتمال الضعيف لتضافرها كما هي الحالة لبناء سكني، إذ من غير المحتمل أن تؤثر فيه عاصفة سنوية تعمل في الوقت الذي تكون فيه السقوف محملة بدرجة قصوى.

1-4-5- تحقيق الأمان في المنشآت البيتونية وفق الكود السوري

تتلخص أغراض الكود السوري في أن تحقق المنشأة البيتونية المسلحة في أجزائها ومجموعاتها المختلفة بصفتها وحدة متكاملة، متطلبات الاستثمار والتشغيل التي أنشئت من أجلها طوال الفترة المفروضة لبقائها صالحة للاستثمار مع توفير عامل أمان كاف ضد كل حالة من حالات الحدود التالية:

- في نطاق المقاومة:

- حالة حد الانهيار (الحالة الحدية القصوى): وتكون بتصدع أي مقطع في المنشأة أو بفقد الثبات في جزء منها أو في مجموعة، كما لو كان جسما صلداً.
- حالة عدم الاتزان: وتكون بالتحنيب أو بالتشققات أو التشوهات المهمة التي تغير في الشكل الهندسي للمنشأة.

- في نطاق الاستثمار:

- حالة حد تجاوز الاجهادات المسموح بها: ويعتبر أن كلاً من البيتون في الضغط، وفولاذ التسليح في الضغط والشد مواد ذات سلوك مرن.

- حالة حد التشقق المعيب: وهي الحالة الحدية التي تسبب صدأ فولاذ التسليح.
- حالة حد السهم المعيب دون ضياع الاتزان، ويدخل فيها الاهتزاز غير المقبول.

1-4-5-1- تحقيق الأمان في الحالة الحدية القصوى:

يعتبر الأمان محققا في الحالة الحدية القصوى عندما تكون قدرة تحمل العنصر أو لكل مقطع منه، والتي يرمز لها (R_U) ، مضروبة بعامل تخفيض يسمى عامل تخفيض المقاومة (Ω) ، لا تقل عن القوة الداخلية الناجمة عن الأفعال القصوى (U) التي تمثل الحمولات المصعدة. ويترجم ذلك بالمتراجحة التالية:

$$U \leq \Omega \, R_U$$

ويمكن أن تمثل (U) عزوم الانعطاف، عزوم الفتل، قوى محورية أو جهود قاطعة.

ويجب تصميم المقاطع الحرجة في العناصر بحيث يكون نمط انهيارها مطاوعاً بحيث نتحاشى الانهيار الهش والمفاجئ.

1-4-5-2- تحقيق الأمان في حالات نطاق الاستثمار:

يتحقق الأمان في حالات حدود الاستثمار عندما تكون الإجهادات الفعلية الناجمة عن أفعال الاستثمار غير المصعدة في أسوأ حالات التحميل لا تتجاوز الإجهادات المسموحة للبيتون في الضغط والفولاذ في الشد والضغط، أو عندما لا تتجاوز سعة التشققات المتوقعة أو قيم السهوم المحسوبة القيم التي تعيب استثمار المنشأ. ويتم تصميم أو تحقيق المقاطع أو العناصر على تراكب الحمولات التي تعطي أكبر قيمة للإجهادات أو التراكب الأسوأ بالنسبة لاستقرار المنشأ أو أحد عناصره. ويشير الكود السوري إلى أنه يمكن الاستغناء عن التحقق من حالة حد تجاوز الإجهادات المسموحة عندما يتم التحقق على حالات الحدود في نطاق المقاومة، والتي تم شرحها سابقاً، باستثناء الحالات التالية:

- العناصر والمقاطع المعرضة لضغط السوائل (E) عندما لا تتخذ احتياطات كافية لحمايتها من تسرب السوائل عبر الشقوق، أو احتمالات صدأ الفولاذ، وفي هذه الحالة يتم التحقق على مرحلة ما قبل التشقق (حد سعة التشقق المعيب).
- المنشآت المعرضة لحمولات ديناميكية متكررة تسبب ظاهرة التعب في فولاذ التسليح، كالجسور مثلاً. وتعدل قيم الإجهادات المسموحة وفق الكود المعتمد.
- بعض المنشآت الخاصة كالمداخن، والمنشآت المنفذة من البيتون مسبق الإجهاد.

أما التحقق من حالات الحدود الأخرى في نطاق الاستثمار والمتمثلة بحد سعة التشقق أو حد السهم المعيب فيبقى ضرورياً في الحالات الموجبة له، وفق الاشتراطات الخاصة بها. ونشير إلى أن الكود السوري ينص على أنه في حال إدخال أفعال الزلازل في الحساب يصبح التحقق من مقاومة المقاطع والعناصر تحت تأثير حالات التحميل المختلفة وفق الحالة الحدية القصوى إلزامياً.

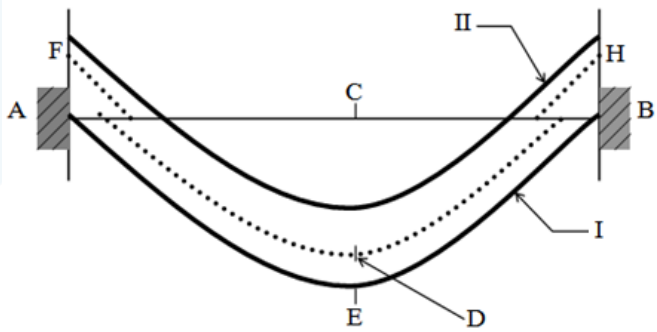
1-4-6- أمان وسلامة منشآت البيتون المسلح

يتحلى البيتون المسلح بصفة هامة هي قدرته على التكيف، ويعني هذا أنه إذا كانت بعض المقاطع في نقطة ما فائضة المقاومة، وبعض المقاطع الأخرى غير كافية، تنتقل الجهود بصورة آلية نحو المقاطع الفائضة المقاومة وكأن تلك الأخيرة تهرع لمساندة المقاطع الضعيفة المقاومة. ويحدث هذا كله بفضل التشوهات والتحولات التي تطرأ على البيتون المسلح، وبصورة خاصة عن طريق الانزلاق النسبي بين الفولاذ والبيتون، تشقق البيتون المشدود وجريان المناطق المضغوطة. نستنتج مما سبق أنه طالما نبقى ضمن الحدود المعقولة التي تمليها الخبرة العملية، يكون باستطاعتنا لحد ما، تشغيل قطعة من البيتون المسلح كما حسبناها.

ونستطيع القول: إن السقوف المؤلفة من جمل إنشائية غير مقررة ستاتيكيا، تمتاز بقدرتها على التكيف، ففي أغلب الأحيان، يكفي الالتزام بالنسب المئوية للتسليح التي تحددها الكودات في العناصر المنعطفة، لتجنب حدوث انكسارات مفاجئة فيها. أما فيما يتعلق بالجمل المقررة وبصورة خاصة الأظفار والبروزات، فلا يتم فيها أية إعادة لتوزيع العزوم، وبمعنى آخر فهي عاجزة عن التكيف والتلاؤم عند اختلاف حالات الجهود، وبالتالي فهي أكثر حساسية وخطورة لأخطاء التنفيذ والحساب من سواها.

ولكي نفهم جيدا ظاهرة التكيف، نعتبر على سبيل المثال، بلاطة مرتبطة بعصبين متوازيين كما هو موضح بالشكل (1-51). عملياً، يستحيل معرفة عزوم الوثاقة بدقة عند منطقة اتصال البلاطة بالعصبين، وبالتالي يستحيل معرفة العزوم في نقطة ما من البلاطة، وكل ما نعرفه، أن عزوم الوثاقة هذه واقعة بين عزمين حديين: الأول يوافق حالة الاستناد البسيط للبلاطة (منحني I)، والثاني يخص البلاطة الموثوقة بصورة تامة (منحني II). ولنفرض أننا نحسب البلاطة وفق مخطط العزوم المنقط بحيث يكون:

$$\frac{AF + BH}{2} + CD > CE$$



الشكل (1-51): ظاهرة التكيف في المنشآت

ففي حال كون عزم الوثاقة المعتمد (AF) أصغر بقليل من العزم الفعلي، يكون مقطع الوثاقة الذي نعينه اعتمادا على العزم (AF) غير كاف، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات في مقطع الوثاقة هذا، وينتج عن ذلك زيادة في قيم العزوم التي تؤثر في القسم الوسطي من الفتحة، حيث تسعى البلاطة للاقتراب من حال الاستناد البسيط بسبب تغير درجة وثاقتها. ولكن بما أن المقاطع في القسم الوسطي من الفتحة هي مقاطع فائضة المقاومة، فيكون باستطاعتها مقاومة هذه الزيادة في قيم العزوم. في العناصر الخاضعة للشد البسيط، كالشدادات مثلاً، يكون الانكسار أقل خطراً من أنواع الانكسارات الأخرى، ويعود السبب إلى أن التشوهات الكبيرة التي تسبق حدوث تلك الانكسارات تنذر بقرب حدوثها، أي أن الانكسارات لا تحدث فيها على شكل انهيار كلي مفاجئ.

إن انكسار الأعمدة في منشآت البيتون المسلح يؤدي بصورة حتمية إلى انهيارها المفاجئ والعنيف، ولا يسبقه عمليا دلائل تشير إلى قرب حدوثه كالشقوق الدقيقة مثلاً، وبصورة خاصة في الأعمدة التي تكون فيها لامركزية قوى الضغط معدومة، بحيث لا يوجد أي متسع من الوقت لمنع حدوثه وللحد من الأضرار التي تنجم عن ذلك. وبما أن المنشأة معنية مباشرة بمتانة أعمدته وسلامتها، لذلك تقضي هذه الأسباب مجتمعة إلى التزام جانب الحذر واليقظة عند حساب الأعمدة، طبقاً لما نصت عليه قواعد الحساب.

في النتيجة يمكن القول: إن ارتكاب أي خطأ في حساب منشآت البيتون المسلح وتنفيذها لا بد من أن يؤدي إلى التدني في درجة الأمان، كما أن المبالغة في ارتكاب مثل تلك الأخطاء يمكن أن يسبب حدوث تصدعات، أو ظهور عيوب كلفة إصلاحها كبيرة، ولها انعكاسات سلبية على العلاقات الاجتماعية، لما تسببه من ردود الأفعال النفسية والشائعات التي قد تطرأ عنها، بصورة قد تؤثر على اقتصادية المشاريع ومردودها وديمومتها.

1-4-7- الصورة الحقيقية لعمل منشآت البيتون المسلح

تستخدم بصورة عامة علاقات مقاومة المواد في حسابات البيتون المسلح من أجل تعيين عزوم الانعطاف في الجوائز المقررة فقط، بينما تقود هذه العلاقات إلى تقديرات أدنى من الحقيقة في فتحات السقوف غير المقررة، لاعتمادها على فرضية الوثاقة التامة في المساند، في حين أن مثل هذه الوثاقة غير موجودة عمليا في منشآت البيتون المسلح. كما أن تغير درجة الوثاقة باستمرار مع الزمن بسبب تلدن البيتون، يؤدي إلى تحولات مهمة في مخططات العزوم.

أدى فقدان التوافق بين الفرضيات، التي تشكل الأساس الذي ترتكز عليه حسابات الجمل غير المقررة استاتيكيا وبين الشروط الفعلية التي تشتغل وفقها الجمل الإنشائية المصنوعة من البيتون المسلح، وبصورة خاصة في الأبنية السكنية العادية، إلى اعتبار أن الحساب الدقيق لهيكل بناء لا يقدم سوى أماناً وهمياً وآخرون قالوا "خطراً". ومن هنا جاءت أهمية الاكتفاء ببعض الطرائق المبسطة أحياناً، المنصوص عنها في الأنظمة والقواعد الرسمية. وإن استطاعت طرائق الحساب هذه أن تقدم وسائل عملية وفعالة في حساب هياكل المنشآت من البيتون المسلح، إلا أنه يجب ألا نتصور دقة

غير موجودة فيها، بل نكتفي بالقول: إن الفرضيات والأسس التي تعتمد عليها أكثر ملاءمة للواقع من أية طرائق حساب أخرى. ولقد بينت التجارب والخبرة العملية أن الهياكل المحسوبة وفق هذه الطرائق، قد سلكت سلوكا جيداً بمرور الزمن، وهذا يجيز لنا القول بأنها طرائق مضمونة وأمينة بما فيه الكفاية.

يبدأ عمل المنشأة المصنوعة من البيتون المسلح بصورة جزئية وفقا لتتابع عمليات الصب، وبصورة عامة الهيكل أولاً، ثم السقوف وبعدها القواطع وجدران التملئه، والأوزان الميتة التي تخص التجهيزات الداخلية، وفي النهاية حمولات الخدمة المتغيرة. وينتج عن هذا في مقاطع البيتون تتابع لحالات الإجهادات المختلفة، مما يؤدي في النتيجة إلى حالة نهائية تختلف عن حالة الحساب التي تخص تشغيل المنشأة بصورة آنية.

يؤدي عمل المنشأة بصورة متتابعة إذن إلى تغير سلوكها في كل طابق بإعادة توزيع العزوم في كل مرحلة من مراحل التنفيذ بصورة غير مماثلة لما يعطيه الحساب، ومن ناحية أخرى، يعيق وجود القواطع وجدران التملئة، العمل الفعلي للجملة الإنشائية الذي يعطيه الحساب المرن. هذا فيما يخص جدران الواجهات المبنية قبل تكملة الهيكل حيث يتم الصب فوقها، أما في الحالة التي تبنى فيها جدران التملئة بعد إنشاء الهيكل، فغالبا ما يكون سطح التماس في أعلى الجدار وأسفل الجائز، غير مثالي (مونة غير مدكوكة جيدا، حوادث تقلص الإسمنت...)، إلا أن سطح التماس هذا مهما يكن غير مثالي، لا بد وأن يكون فعالا في بعض النقاط التي تكفي لتفريغ بعض من حمولة الجائز، وتحرمه من العمل على الانعطاف الذي حسب من أجله.

في المنشآت التي تخضع لحمولات إضافية تتغير بمرور الزمن تغيراً كبيراً وسريعاً كالجسور، لا تظهر فيها أثار اللدونة إلا بصورة طفيفة ومحدودة جداً. أما في المنشآت التي تخضع للوزن الذاتي ولحمولات إضافية تؤثر بشكل دائم ومستمر أي أنها لا تتغير بمرور الزمن، أو تتغير تغيراً صغيراً جداً كما هي الحالة في الأبنية السكنية وخزانات المياه والمنشآت المماثلة، لا تظهر آثار اللدونة بصورة كاملة نسبيا.

يكون عامل مرونة المقاطع ثابتا على طول امتداد الخطوط الوسطية للجوائز المستمرة مثلاً، في بدء وضعها موضع الخدمة، وبالتالي يتبع توزيع عزوم الانعطاف في المقاطع القانون الذي تعطيه الحسابات القائمة على أساس الاستمرار النظري. إلا أن بروز حوادث اللدونة إلى حيز الوجود، يؤدي إلى أن الحالة السابقة لا تبقى على هذه الصورة مع مرور الزمن، وذلك لأن عامل المرونة للبيتون يتغير بدلالة الإجهادات التي تؤثر في المقاطع وبدرجة خضوع تلك المقاطع لحادثة الجريان. في الواقع، يتناقص عامل المرونة مع زيادة الإجهادات، بالتالي فإن عزوم الانعطاف المرنة الصغرى تزداد بحيث يتغير الخط الذي يمثل عزوم الانعطاف بمرور الزمن.

بالنظر للاعتبارات السابقة نجد أن عمل منشأة ما من البيتون المسلح يخضع لظروف من الصعب حصرها والسيطرة عليها حسابيا، وهذه تؤدي بالنتيجة إلى جعل الحساب الدقيق في كثير من الحالات متشائماً.

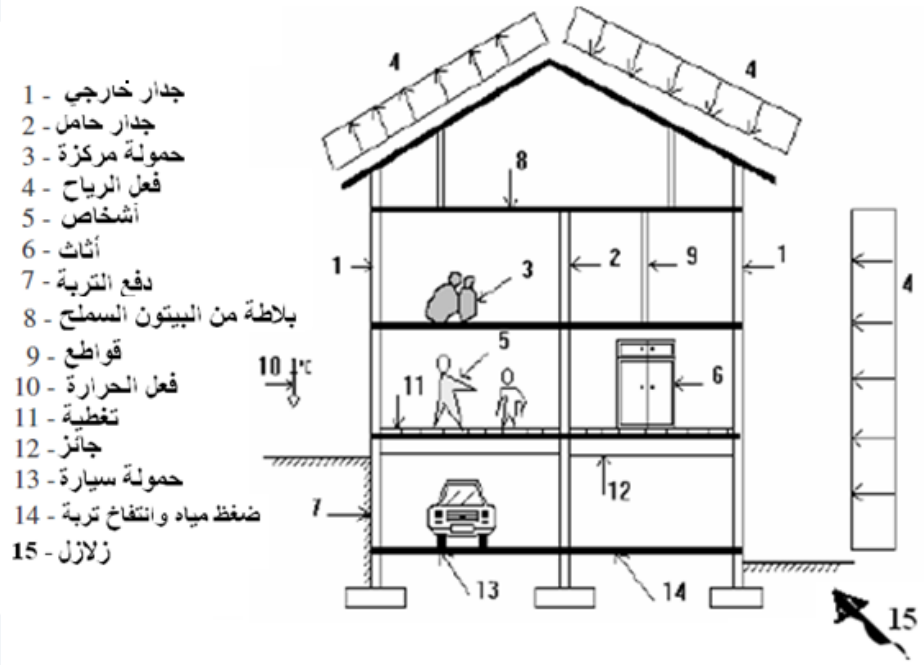
بصورة عامة، نستطيع أن نقول: إنه نادراً ما تستعمل طرائق الحساب الدقيقة في مقاومة المواد لحساب هياكل الأبنية من البيتون المسلح، على اعتبار أن تلك الهياكل تشكل جمل إنشائية غير مقررة استاتيكيا، وحسابها يتطلب المعرفة المسبقة لعطالات مختلف عناصرها الإنشائية (بلاطات وأعمدة وجوائز)، إذ يتوجب تحقيق تلك العطالات عن طريق التقريب المتتالي. وبما أن غاية الحساب تذهب إلى تقدير أبعاد المقطع وكمية التسليح، بمعنى آخر، لا يكفي حساب واحد ولمرة واحدة فقط وإنما يتوجب عمل اثنين أو إعادته ثلاث أو أربع مرات في أغلب الأحيان. ويجعل هذا، تطبيق هذه الطرائق طويلاً وشاقا من أجل حساب بناء عالي بصورة خاصة في حال تغير عطالات الجوائز، أو في حال عدم وجود أي تناظر في الهيكل أو الشكل أو الحمولات.

في الأبنية العادية المخصصة للسكن وفي أكثر الأبنية الإدارية والمدارس، تكون أغلب الأحيان الحمولات الإضافية من مرتبة الحمولات الدائمة، أو تفوقها بقليل. وبالنسبة لمثل هذه الأبنية يكون من المنطقي والمعقول أن نستبدل طرائق حساب الجوائز المستمرة الذي يؤخذ فيها بعين الاعتبار الاستمرار النظري، وهي التي يخشى أن تكون درجة دقتها أمراً مبالغاً فيه، بطرائق حساب مبسطة ومعقولة تأخذ بعين الاعتبار مسألة اللدونة الوسطية للبيتون. تتوافق هذه الطرائق في الحساب مع تلك التي تستعملها معظم مكاتب الدراسات المختصة.

1-5- تقييم الأحمال والأفعال

1-5-1- مقدمة عامة

بعد الانتهاء من مرحلة التصميم المعماري للمنشأة المتمثلة بتحديد شكل هيكله الإنشائي والمواد المكونة له، ومواقع القواطع الداخلية، وأشكال الواجهات، والارتفاعات وتراجع الطوابق الأخيرة إن وجدت ...الخ، تبدأ مرحلة جديدة من الدراسة تسمى مرحلة التحليل الإنشائي، في هذه المرحلة يقوم المهندس بتحديد أنواع الحمولات الشاقولية والأفقية كافة، وهي التي يمكن أن تؤثر على الهيكل الحامل للمنشأة، كما هو موضح في الشكل (1-52).



الشكل (1-52): منشأ الحمولات المطبقة على منشأة ما

ومن ثم يجري التحليل على النموذج الإنشـــائي، وذلك وفق الطريقة التي يراها مناســـبة (نظرية المرونة أو اللدونة) والتي توافق طبيعة سلوك المادة الإنشائية بهدف تحديد القوى الداخلية الأعظمية (قوى محورية، عزوم انعطاف، قوى قص، عزوم فتل...الخ)، في كافة مقاطع العناصـــر الإنشـــائية، الناجمة عن أســـوأ حالات التحميل الممكنة للحمولات المطبقة (مغلفات القوى الداخلية)، ويمكن أن يكون الحساب يدوياً أو باستخدام الحاسبات الإلكترونية. ومن الجدير بالذكر أنه يتم كتابة معادلات التوازن باستخدام الأبعاد الهندسية للمنشأ قبل التشوه سواء تم التحليل الإنشائي بطريقة المرونة (قانون هوك) أو بطريقة اللدونة التي تعتمد على الســـلوك الفعلي للمادة (أي تحليل المنشـــأ من الدرجة الأولى)، ماعدا حالات دراسة استقرار المنشأ أو بعض عناصره حيث يجب إدخال بعض افتراضات تحليل المنشأة من الدرجة الثانية أو كلها كما في حالة تحنيب الأعمدة مثلا. ويمكن الرجوع إلى نظريات مقاومة المواد للإطلاع على هذا الموضوع.

يخضع اختيار أبعاد المقاطع العرضية لشروط متعددة، يمكن تلخيصها كما يلي:

- **الشرط المعماري:**

الأبعاد التي تناسب الدراسة المعمارية. في بعض الحالات تضع الدراسة المعمارية حدوداً قصوى على الأبعاد الإنشائية، ويلزم الالتزام بهذه الأبعاد، إلا إذا كانت لا تحقق السلامة الإنشائية، عندها يلزم مناقشة المعماري للاتفاق على أبعاد مناسبة مقبولة إنشائياً. كما قد تطلب أبعاداً تزيد كثيراً على المطلوب إنشائياً، ويلزم الالتزام بها إذا كانت أساسية من الناحية المعمارية.

- **شرط السهم:**

يتعلق أساساً بالعناصر المعرضة لعزوم انعطاف، نص الكود على ارتفاعات دنيا لتحقيق شرط السهم، وفي حال اعتماد ارتفاعات أقل منها، يطلب الكود تحقيق السهم حسابياً. وينصح باعتماد الارتفاعات المطلوبة لشرط السهم (ما دام ذلك ممكناً)، خاصة وأن النزول عنها يعني زيادة في كمية التسليح، إضافة لضرورة التحقيق الحسابي.

- **شرط التحنيب الجانبي:**

يتعلق بالعناصر المعرضة لإجهادات الضغط، كالأعمدة، وكالجوائز عندما يكون جناحها المضغوط ذا عرض قليل. ففي حالة الجوائز، إذا كانت الجهة المعرضة للضغط من الجائز غير مسنودة جانبياً (حالة جائز مقلوب مثلاً)، فيمكن أن يتعرض الجائز للتحنيب الجانبي، ويلزم تخفيض مقاومته .

وفي حالة الأعمدة، يعد العنصر المضغوط (العمود):

- طويلاً إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابيين (بالاتجاهين المتعامدين) على سمك قطاعه في الاتجاه المعتمد على 12 بالنسبة لعمود ذي مقطع مستطيل أو مربع و 10 بالنسبة لعمود ذي مقطع دائري.
- قصيراً إذا لم تزد النسبة عن القيم المحددة أعلاه.
- في حالة الأعمدة ذات المقاطع غير المستطيلة أو الدائرية، يعد العمود طويلاً إذا زادت نحافته $\left(\lambda = \frac{L_0}{i}\right)$ على 40، حيث $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ هي نصف قطر العطالة في الاتجاه المدروس، L_0 الطول الحسابي (طول التحنيب)، A مساحة مقطع العمود، و I عزم عطالة المقطع بالاتجاه المدروس.

- **شرط الصلابة:**

يتعلق مباشرة بالأساسات، وذلك لتأمين صلابة مناسبة قادرة على توزيع الأحمال توزيعاً منتظماً.

- **شرط التشقق:**

يتعلق أساساً بالوسط المحيط بالمنشأة وبالعناصر الحاملة. ويلزم الكود السوري حساب السماكات للعناصر الواقعة بتماس مع الماء بحيث لا يزيد عرض الشق على 0.1mm، بينما في المنشآت العادية، يمكن أن يصل عرض الشق إلى 0.3mm .

- **شرط المقاومة:**

مقاومة الجهود والقوى التي يمكن أن يتعرض لها المقطع، وهي:

- عزوم الانعطاف : M_x - M_y
- عزم فتل: T (أي عزم حول المحور z)
- قوة ناظميه: N (على المحور z)

- قوتا قص: هما V_x - V_y.

بالتالي يمكن القول أن شرط المقاومة يتضمن ثلاثة شروط أساسية يمكن تلخيصها كما يلي:

- شرط العزم، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المنعطفة ذات المجازات الطويلة نسبياً والأحمال غير الثقيلة.
- شرط القص، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المنعطفة ذات المجازات القصيرة نسبياً والأحمال الثقيلة. ويتفرع عن هذا الشرط، شرط الثقب، وهو الذي يحكم التصميم عادة في البلاطات المعرضة لأحمال ثقيلة مركزة، كالبلاطات الفطرية والأساسات.
- شرط الضغط، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المضغوطة كالأعمدة.

مع ملاحظة أنه يمكن أن يتعرض العنصر الإنشائي لأكثر من قوة، من القوى السابقة بالوقت ذاته. مثلاً تتعرض جدران القص والأعمدة (في حالة الزلازل) لقوى ناظمية ولعزوم انحناء ولقص أفقي، ويلزم تصميمها لمقاومة هذه القوى.

أخيراً، وبعد اختيار الأبعاد الأولية للعناصر الإنشائية من الشروط السابقة، يتم حساب الأحمال على العناصر، ثم يتم التحليل الإنشائي وتحديد مغلفات القوى الداخلية النهائية.

وقبل عملية التصميم الانشائي النهائي وإعداد المخططات التنفيذية للمنشأة موضوع الدراسة، يعمل الدارس الإنشائي على تحديد بعض المسائل والمعطيات الأولية الأساسية ودراستها لتخدمه في عملية التصميم وذلك اعتماداً على الفكرة المعمارية، ويتضمن ذلك مايلي:

- وضع الفواصل بين الكتل، للتمدد والتقلص الحراريين، للهبوط التفاضلي، وللزلازل.
- إجراء الدراسة الأولية الإنشائية: دراسة أولية لتحديد مسار الأحمال (الأفقي والشاقولي)، واقتراح الجملة الإنشائية المناسبة (في كل كتلة) والمقاومة للقوى الشاقولية والأفقية. ويمكن أن تكون الجملة المقاومة للقوى الأفقية: جملة إطارات مقاومة للعزوم أو جملة جدران قص، أو جملة مختلطة من إطارات أو جدران قص، أو جملة أخرى. عندما تقاوم الإطارات المقاومة للعزوم (في الجملة المختلطة) ما لا يقل عن 25% من القوى الأفقية، تسمى الجملة جملة ثنائية. وكما ذكرنا سابقاً، ترافق هذه المرحلة من الدراسة الإنشائية مرحلة الدراسة المعمارية، بحيث يجري في هذه المرحلة اختيار الجملة الإنشائية (أو الجمل الإنشائية) المناسبة لنقل الأوزان الشاقولية من حية وميتة وغيرها إلى الأعمدة والجدران ومنها إلى الأساسات. قد يكون هناك حاجة لعمل عدة حلول إنشائية ثم إجراء مقارنة اقتصادية وفنية بينها. وبعد التوصل إلى الحل الأنسب، يلزم توضيح هذا الحل بالرسم عن طريق رسم مخططات القالب (الكوفراج) وبشكل يوضح طريقة عمل جميع العناصر الإنشائية، كما يجب توضيح الأبعاد الأولية المختارة لجميع العناصر على مخططات القالب، وتعطى هذه الأبعاد للمعماري ليستعملها في رسوماته المعمارية. إذ تعد مخططات القالب (الكوفراج) هي المخططات المطلوبة من الإنشائي تسليمها في نهاية مرحلة الدراسة الأولية.

- من أجل إنجاز هذه المرحلة، يجب معرفة عدة أمور، يمكن تلخيصها في نقطتين مهمتين: النقطة الأولى هي المجازات المناسبة لكل جملة من الجمل الإنشائية، وذلك لتخفيف عدد الحلول المقارنة الواجب دراستها، والنقطة الثانية هي كيفية إجراء الدراسة التقريبية السريعة لاختيار أبعاد العناصر الإنشائية للحل المقترح.

في النتيجة يلخص المهندس نتائج الدراسة الأولية ضمن ما يسمى بالمذكرة التفسيرية أو التبريرية، التي تحتوي على شروحات وحسابات مبسطة في الوقت نفسه. وبعد أن يتم استلام الدراسة الأولية وإبداء الملاحظات عليها، يقوم المهندس الدارس بالتحقق من كفاية أبعاد مقاطع العناصر البيتونية لمقاومة القوى والجهود الداخلية الناجمة عن التحليل الإنشائي، وحساب التسليح اللازم. أما إذا ثبت أن الأبعاد المختارة غير كافية فيلزم زيادة هذه الأبعاد حتى الوصول للأبعاد المناسبة. وإذا احتجنا لزيادة الأبعاد بنسبة لا تتعدى 25%، يمكن إهمال الزيادة في الوزن الذاتي، ولا حاجة لإعادة التحليل الإنشائي. أما إذا تعدت الزيادة في الأبعاد نسبة 25% فيلزم أخذ زيادة الوزن الذاتي للعنصر بالحسبان وإعادة التحليل.

أخيراً يعمل الدارس على إعداد المذكرة الحسابية اعتبارا من الأبعاد والسماكات التي تم تحديدها مسبقا، وبتطبيق إحدى القواعد المعروفة في تصميم وحساب منشآت البيتون المسلح. ومن ثم يقوم بإعداد المخططات التنفيذية ورسم المساقط (الكوفراج) والمقاطع الطولية والمقاطع العرضية والتفصيلات وترتيبات التسليح بما في ذلك العقد والوصلات مع الأخذ بالحسبان الاشتراطات المتعلقة بالتسليح وترتيباته.

1-5-2- تقدير الأحمال والأفعال

1-5-2-1- الأحمال الدائمة (الميتة) (G or DL):

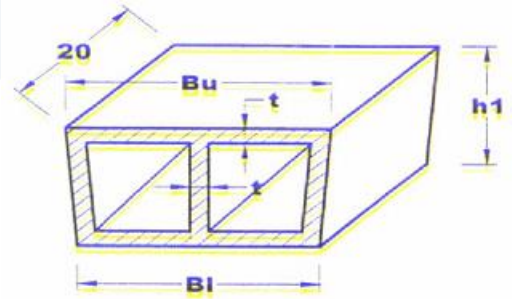
الحمولات الدائمة هي القوى الناتجة عن الجاذبية الأرضية، كالأوزان على مختلف أنواعها، سواء منها الأوزان الذاتية للمنشأة أو أوزان العناصر الثابتة فوقه، والتغطيات والقواطع الثقيلة، أو القوى الجانبية المطبقة على المنشأة بشكل مباشر أو غير مباشر. ويتم تقييم الحمولات الدائمة حسب أحجامها أو أوزانها الحجمية المعطاة في الجدول (1-4)، وفقا لطبيعة المادة. وفي حال عدم القيام بحساب دقيق تؤخذ أحمال التغطية مساوية:

- ($2\ kN/m^2$) عند عدم وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط.
- ($3\ kN/m^2$) عند وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط، أو في حالة السطح النهائي فتحسب ولا تقل عن ($3\ kN/m^2$).

ويحوي الجدول (1-5) أوزان البلوكات المستعملة في بلاطات الأسقف المفرغة (الهوردي).

المادة	الوزن الحجمي (kgf/m^3)	الوزن الحجمي (kN/m^3)
الفولاذ	7850	78.50
البيتون العادي	2400	24
البيتون المسلح بنسبة تسليح متوسطة (1%)	2500	25
الحجر البازلتي (حجم مالئ)	3000	30
الحجر الغرانيتي (حجم مالئ)	2800	28
الحجر الكلسي (حجم مالئ)	2700	27
الحجر الرملي (حجم مالئ)	2300	23
البلوك المجوف	1900–1400	19–14
البحص غير المرصوص	1800–1400	18–14
الرمل غير المرصوص	1800–1500	18–15
الإسمنت (فلت)	1200–1000	12–10
البناء العادي بالمونة	2000–1800	20–18
البناء بالحجر المجوف البيتوني	1400	14
الرخام أو السيراميك	2500–2400	25–24
الزجاج	2500 – 2300	25 – 23
المجبول الإسفلتي	2000	20
الطينة الإسمنتية (لا تقل سماكتها عن 20 mm)	2300	23

الجدول (1-4): الوزن الحجمي لبعض مواد البناء



أوزان البلوك من أجل سماكة 2.5 سم بافتراض وزن حجمي مصمت 2000 كغ /			أوزان البلوك من أجل سماكة 3 سم بافتراض وزن حجمي مصمت 2000 كغ / م3		
h1 سم	وزن بلوك بأبعاد 32 / 35 سم	وزن بلوك بأبعاد 35 / 38 سم	h1 سم	وزن بلوك بأبعاد 32 / 35 سم	وزن بلوك بأبعاد 35 / 38 سم
14	9.4	10	14	10.9	11.6
16	10.0	10.6	16	11.6	12.4
18	10.6	11.2	18	12.4	13.1
20	11.2	11.8	20	13.1	13.8
22	11.8	12.4	22	13.8	14.5
24	12.4	13	24	14.5	15.2
25	12.7	13.3	25	14.9	15.6
26	13.0	13.6	26	15.2	16.0
28	13.6	14.2	28	16.0	16.7
30	14.2	14.8	30	16.7	17.4
32	14.8	15.4	32	17.4	18.1
34	15.4	16	34	18.1	18.8
36	16.0	16.6	36	18.8	19.6

الجدول (1-5): أوزان البلوكات المستعملة في بلاطات الأسقف المفرغة (الهوردي)

تعد الجدران الفاصلة الداخلية الموجودة على البلاطات البيتونية المسلحة ثقيلة، إذا كانت أوزانها في المتر المربع من مساحتها لا تقل عن 1.5 kN ($>1.5\ kN/m^2$). وتعامل هذه الجدران معاملة الحمولات الدائمة (الميتة G).

1-5-2-2- الأحمال الإضافية غير الديناميكية (حية) (P):

يشمل هذا النوع من الحمولات القوى التالية:

- الأوزان الستاتيكية التي تنقل من مكانها من وقت إلى آخر كأثاث البيوت والأجهزة والآلات الستاتيكية غير المثبتة والمواد المخزنة.
- أوزان الأشخاص مستعملي المنشأ، شرط أن يؤخذ بالحسبان في تقدير هذه الأوزان، العامل الديناميكي، في حال وجوده، كما يحدث في صالات الاجتماعات ومرائب السيارات مثلا.

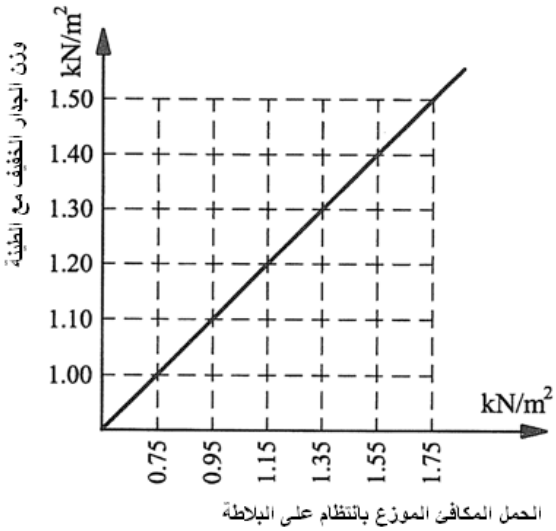
ومن الجدير بالذكر أنه من النادر أن تبت المواصفات عموماً بأمر الحمولات الإضافية العادية غير الديناميكية للمستودعات وللمنشآت الصناعية أو الخاصة، وإنما يقوم المهندس بالاستقصاء عن طبيعة وأوزان تلك الحمولات.

وتتغير هذه الحمولات بصورة عامة، تبعا لطبيعة المنشأة. وندرج في الجدول (1-6) بعض قيم الحمولات الإضافية العادية غير الديناميكية المعتبرة وفق الكود السوري.

في الأبنية المعدة للسكن ذات الطوابق المتكررة، يسمح بتخفيض الحمولات الإضافية على العناصر الحاملة كالجدران والأعمدة والأساسات وفق الجدول (1-7) حيث تمثل (P) قيمة الحمولة الإضافية الكلية على السقف. ونشير هنا إلى أنه لا يسمح بأخذ عامل التخفيض إذا كان عدد الطوابق لا يزيد عن خمسة، أو إذا كانت الطوابق تستعمل مستودعات أو مخازن أو مشاغل أو مدارس أو أماكن عامة يمكن أن يفرض استخدامها المتوقع تحميل الطوابق بالحمولات الإضافية القصوى في نفس الوقت.

ملاحظة: نشير هنا إلى أن الكود السوري سمح بإهمال أوزان الجدران والقواطع الخفيفة المتوضعة على بلاطات خاضعة لحمولة إضافية أكبر من $6kN/m^2$.

تعتبر الجدران الداخلية (حوائط وقواطع) الموجودة على البلاطات البيتونية المسلحة خفيفة، إذا كانت أوزانها في المتر المربع من مساحتها لا تزيد عن $1.5kN/m^2$ ($\leq 1.5kN/m^2$). ويمكن الاستعاضة عن حمل الجدار الخفيف المركز على خط طولي بحمل إضافي مكافئ موزع بانتظام على مساحة بلاطة السقف الموجود عليها بعد الأخذ بالحسبان الوزن الفعلي تبعاً لمادته وسمكه وطوله وارتفاعه، والتعويض بالشدة المبينة في الشكل (1-53):



الشكل (1-53): الحمل المكافئ من الجدران الخفيفة

الغرض من استعمال البناء		شدة الحمل الموزع (kgf/m^2)	شدة الحمل الموزع (kN/m^2)
السطوح	غير مستعملة أفقية أو مائلة حتى 10 درجات	100	1

	غير مستعملة مائلة أكثر من 10 درجات	50	0.5
	مستعملة (يمكن الوصول إليها)	200 أو مثل الطابق المتكرر	2 أو مثل الطابق المتكرر
الشرفات	أبنية خاصة	400	4
	أبنية عامة	500	5
أبنية سكنية	غرف	200	2
	ممرات وأدراج	300	3
فنادق	غرف نوم	250	2.5
	ممرات وأدراج	500	5
مدارس	غرف صفوف وإدارة	300	3
	ممرات وأدراج	500	5
مشافي	غرف نوم	250	2.5
	ممرات وأدراج	400	4
	غرف عمليات	تحسب ولا تقل عن 300	تحسب ولا تقل عن 3
	غرف أبنية خاصة	200	2
	أضابير	تحسب ولا تقل عن 500	تحسب ولا تقل عن 5
	ممرات وأدراج أبنية عامة	400	4
	ممرات وأدراج أبنية خاصة	300	3
	غرفة مطالعة مع تخزين كتب	500	5

الجدول (1-6): الحمولات الإضافية العادية P ، تبعاً لطبيعة الإشغال

موقع السقف	قيمة الحمولة الإضافية
السقف الأعلى أو السطح	P
السقف الأول تحت السطح	P
السقف الثاني تحت السطح	0,9P
السقف الثالث تحت السطح	0,8P
السقف الرابع تحت السطح	0,7P
السقف الخامس تحت السطح	0,6P
السقف السادس تحت السطح وما دون	0,5P

الجدول (1-7): نسب تخفيض الحمولات الإضافية العادية P

1-5-2-3- تقويم الأحمال الإضافية الديناميكية (P_d):

إن هذا النوع من الحمولات يولد قوى أخرى تضاف إلى قيم القوى الأساسية وتكون نتيجة التركيز الديناميكي والارتجاج الحاصلين من تحركات الحمولات الديناميكية، وتدخل هذه الحمولات في الحساب بضربها بعامل خاص (δ) يسمى "عامل الزيادة الديناميكي"، يتم حسابه على أساس نسبة قيمة تردد الحمل الديناميكي وقيمة تردد المنشأة، كما تدخل فيه نسبة قيمة الحمل الديناميكي إلى قيمة الحمل الثابت.

ففي حالة الآلات الترددية الثقيلة المثبتة على بلاطات، أو بلاطات جسر طرقي و أرضيات المرائب والكراجات المعرضة لصدمات عند مرور المركبات حيث هذه الصدمات تكون مهمة وتزداد بازدياد سرعة المركبات، وفي هذه الحالة تتولد جهود أكبر بكثير من تلك التي تسببها عند الوقوف. ويتم تحديد قيمة عامل الزيادة الديناميكي بالعلاقة التالية:

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4\frac{G}{P}}$$

حيث: L: طول عنصر المنشأة الذي يحمل الحمل الإضافي مقدراً بالمتر.

G: كامل الحمولة الدائمة على العنصر.

P: كامل الحمولة الإضافية على العنصر.

تطبيق: لدينا بلاطة من البيتون المسلح طولها 5 m، وعرضها 3 m، بسماكة قدرها 20 cm. تخضع هذه البلاطة لحمولة إضافية متدحرجة 100 kN ، والمطلوب حساب قيمة عامل الزيادة الديناميكي(δ).

- تحديد G : $G = 0{,}2 \times 3 \times 5 \times 25 = 75\,kN$
- تحديد δ :

$$\delta = 1 + \frac{0{,}4}{1 + 0{,}2 \times 5} + \frac{0{,}6}{1 + 4 \times \frac{75}{100}} = 1{,}35$$

بالتالي، تدخل قيمة الحمولة الإضافية بالحساب معادلة لـ: $P_d = 1{,}35 \times 100 = 135\,kN$

أخيراً، وعند حساب العناصر الحاملة للمصاعد الكهربائية، والحمولات المشابهة لها، يمكن اعتماد عامل زيادة ديناميكي مقداره 200% للحمولة المعتبرة.

ويمكننا الرجوع إلى الملحق رقم /1/ من الكود السوري الأساس عند تقويم هذا النوع وغيره من الحمولات الإضافية.

1-5-2-4- حمولات الرياح (W) :

وفقاً للكود السوري، يمكننا دراسة تأثير الرياح على الأبنية والمنشآت باستعمال إحدى الطريقتين التاليتين، ويعود للمصمم اختيار إحداهما، على أن تؤخذ كل طريقة بشكل كامل.

- **الطريقة الأولى:** واردة في الكود الأساس، مع اعتماد سرعة هبة الرياح V_k ، وما يتبعها من تعاريف وعلاقات وأشكال وجداول لحساب ضغط الرياح.

- **الطريقة الثانية:** وهي الواردة في الملحق رقم /1/ للكود والخاص بالأحمال.

يتم تقويم حمولات الرياح انطلاقا من فرضية أساسية هي أن الطاقة الحركية للرياح والناتجة عن سرعتها تتحول إلى طاقة ضغط ديناميكي مكافئ بمجرد اصطدام الرياح بحاجز ثابت ولا نهائي وفقا للصيغة:

$$W_d = \frac{V^2}{1630} \quad \left(kN/m^2\right)$$

حيث: W_d : الضغط الديناميكي المكافئ لهبة الرياح الناتجة عن سرعتها.

V : سرعة الريح التصميمية وتقدر بالمتر في الثانية.

ونبين فيما يلي الخطوات الهامة في تحديد كل من سرعة هبة الريح و الضغط الكلي المكافئ كما هو وارد في الطريقة الأولى الواردة في الكود الأساس:

أ- تحديد سرعة هبة الريح:

تؤخذ قيم سرعات هبات الرياح V_k من سجلات دوائر الأرصاد الجوية في المنطقة المدروسة، ومن ثم تحدد سرعة الرياح التصميمية V ، ولكل اتجاه على حده وفق ما يلي:

- $V = V_k$ لتصميم المنشآت أو عناصر إكساء الواجهات التي يقل كل من بعدي واجهتها المدروسة عن 10 m أو يساويه.
- $V = \frac{V_k}{1,35}$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بعدي واجهتها المدروسة عن 10m و يقل عن 20m ، مع الإشارة إلى أن السرعة V تقابل القيم المعطاة في الأرصاد الجوية تحت تسمية الرياح العظمى.
- $V = \frac{V_k}{1,45}$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بعدي واجهتها المدروسة عن 20m أو يساويه.

تعرف الهبة بأنها ريح تستمر لمدة أكثر من عشرين ثانية وسرعتها أكثر من $8.5\,m/\sec$ ، على أن يكون الفرق في سرعة الريح بين بداية الهبة وأعظم سرعة فيها أكثر من $4.5\,m/\sec$. وتعطي دوائر الأرصاد الجوية عادة قيمة سرعة هبة الرياح القصوى السنوية لمنطقة ما، وكذلك قيم سرعات هبات الرياح السنوية القصوى للسنين التي تم فيها تسجيل فعلي لحركة الرياح في منطقة ما مدروسة.

واعتماداً على القيم المعتمدة لسرعات هبات الرياح السنوية القصوى، تعرف سرعة الرياح المميزة المعتمدة في التصميم بأنها: سرعة هبة الرياح التي لا يمكن تجاوزها أكثر من مرة واحدة خلال خمسين عاما متتاليا ويرمز لها V_k

أما إذا قلت الفترة الزمنية المسجلة لسرعات هبات الرياح القصوى السنوية لمنطقة ما عن خمسين عاماً متتالية، فيمكن تحديد سرعة الرياح المميزة المعتمدة في التصميم باستعمال العلاقات الرياضية المناسبة، وتؤخذ من المراجع المختصة في الأرصاد الجوية، بحيث لا تقل عما هو وارد في الملحق (ج) من الكود السوري الأساس. ونبين في الجدول (1-8) القيم الخاصة لسرعة الهبة لبعض المواقع في سوريا. وفي حال عدم توفر معطيات إحصائية دقيقة عن سرعات هبات الرياح القصوى في المنطقة المدروسة، فيمكننا اعتماد القيم الموجودة في الجدول (1-9)، والذي يمثل تقسيم المناطق تبعاً لسرعة هبة الريح على ارتفاع 10 متر فوق سطح الأرض، ويخدم في تحديد الضغط الديناميكي W_d المكافئ لهبة الريح المميزة (الاعتبارية) V_k.

المحطة أو الموقع	سرعة الهبة $V_k\ (m/\sec)$
دمشق (المزة)	48
حلب	40
حماه	46
طرطوس	44
صلنفة	58
اللاذقية	42

حمص (قطينة)	50

الجدول (1-8)

المنطقة	درجة الرياح	سرعة هبة الريح V_k		الضغط المكافئ W_d
		كم/ساعة	متر/ثانية	kgf/m^2 (kN/m^2)
الأولى	قوية جدا	175	48.6	148 (1.48)
الثانية	قوية	150	41,6	108 (1.08)
الثالثة	معتدلة	125	34,7	75 (0.75)
الرابعة	ضعيفة	100	27,8	48 (0.48)

الجدول (1-9)

ب- الحساب الستاتيكي للمنشآت على الرياح:

بينت التجارب أنه بالإمكان اعتبار مفعول الرياح الكلي على المنشآت العادية والأبنية قليلة الارتفاع $(H \le 50m)$ ، والتي لا تزيد النسبة بين ارتفاعها وعرض واجهتها المواجهة للرياح عن أربع مرات $\frac{H}{D} \le 4$ (التأثيرات الديناميكية صغيرة نسبيا)، بصفة حمل ضغط استاتيكي منتظم وأفقي W_e ، موزع على كامل عرض الواجهة المعرضة للرياح، ويحدد هذا الضغط بالعلاقة التالية:

$$W_e = \alpha_0 . K_h . K_s . W_d$$

حيث:

W_e: ضغط الرياح الكلي المكافئ مقدراً بالـــ (kN/m^2)، المطبق على الواجهة المعرضة للرياح والمفروض تركيزه بصفة حمولة استاتيكية.

α_0: عامل السطح، ويتعلق بخشونة السطوح وعددها، ويحدد من الجدول (1-10).

شكل المسقط	عدد أضلاع المسقط n	α_0
مثلث أو مستطيل	$3 \le n \le 4$	1.30
مخمس	$n = 5$	1.05
مضلع منتظم	$5 < n \le 20$	1.05 – 0.02 n

مضلع أو دائرة	$n > 20$	0.65

الجدول (1-10)

K_h : عامل علو المنشأ بالنسبة لمستوى سطح الأرض، ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$K_h = 2{,}5\left(1 - \frac{42}{h+60}\right) \quad ; \quad h \geq 10\,m$$

وتؤخذ قيمة هذا العامل $K_h = 1$ بالنسبة للجزء الذي يقل ارتفاعه عن عشرة أمتار.

K_s : عامل الموقع بالنسبة لحماية المنشأ من فعل الرياح أو من تعرضه لها. ويحدد من الجدول (1-11).

الموقع المتعرض للعواصف (شواطئ البحار، رؤوس التلال، الجزر)	$K_s = 1.3$
الموقع الاعتيادي متوسط التعرض (السهول)	$K_s = 1.0$
الموقع المحمي من العواصف سواء بالتلال أو بالعناصر الثابتة الأخرى	$K_s = 0.8$

الجدول (1-11)

في الواقع، تؤثر الرياح خارجيا على السطوح المواجهة للرياح بأحمال دفع موزعة بينما تؤثر على السطوح الأخرى بأحمال سحب موزعة أيضاً. كما تؤثر داخليا على الجدران بأحمال دفع أو سحب نتيجة لنفاذية الجدران، ويمكن للمهندس المصمم العودة إلى الكود الأساس وملحقة رقم /1/، أو المراجع والكودات العالمية المختصة لمعالجة ودراسة الحالات السابقة.

ج- الحساب الديناميكي للمنشآت على الرياح:

تتعرض المنشآت النحيفة، التي لا تنطبق عليها الاشتراطات البعدية الواردة في الفقرة السابقة، إلى تأثيرات ديناميكية بسبب فعل هبات الرياح. ويتم الرجوع إلى الكودات العالمية والمراجع المتخصصة لأخذ هذه التأثيرات بالحسبان واعتمادها في الحساب.

1-5-2-5- حمولات الثلج (P_S) :

يتم تقويم حمولات الثلج في المناطق المختلفة وفق الأسس التالية:

- الوزن الحجمي للثلج: يتغير الوزن الحجمي مع نوعية تكاثف الثلج، ويتراوح بين ($1-4\ kN/m^3$)، أي بمعدل وسطي $2.50\ kN/m^3$. ويؤخذ في الحسبان تجلد الثلج في بعض الأحيان، إذ ينتج عنه سماكة في الجليد قد تبلغ خمسين ميليمترا، ويكون الوزن الحجمي للجليد مساويا لوزن الماء النوعي ($10\ kN/m^3$).
- السماكة المتوسطة الممكن تجمعها فوق المنشأ.

- انحدار السطح الذي يتساقط عليه الثلج: في الحالات العادية والمساحات الأفقية التي لا يتجاوز انحدارها عن الأفق 25°، وحتى علو قدره 2500 m فوق سطح البحر يمكن اعتماد قيم أفعال الثلج كما هي واردة في الجدول (1-12).

علو المنشأ عن سطح البحر بالمتر (h)	حمولة الثلج P_s (kgf/m^2)	حمولة الثلج P_s (kN/m^2)
$h \le 250$	0	0
$250 < h < 500$	$\frac{h}{10} - 25$	$\frac{h}{1000} - 0.25$
$500 \le h < 1500$	$\frac{h}{4} - 100$	$\frac{h}{400} - 1$
$1500 \le h \le 2500$	$\frac{h}{2.5} - 325$	$\frac{h}{250} - 3.25$

الجدول (1-12)

وفي السقوف التي يتجاوز انحدارها 25°، تؤخذ القيم المبينة في الجدول (1-12)، مضروبة بعامل التخفيض المبين في الجدول (1-13).

قيمة زاوية الانحدار α	عامل التخفيض $\frac{75-\alpha}{50}$
25	1.00
30	0.90
35	0.80
40	0.70
45	0.6

الجدول (1-13)

1-5-2-6- الأفعال الناتجة عن آثار الحرارة والانكماش (T) /بيتون مسلح/:

تقسم المنشآت من حيث الحرارة والانكماش إلى قسمين:

- المنشآت التي لا يعترض تشوهها الخارجي موانع أو حواجز، ويجري هذا التشوه بحرية تامة، بالتالي لا يلحق هذا النوع من المنشآت أفعال من جراء الحرارة والانكماش. وتشير معظم القواعد والكودات العالمية إلى أنه يمكن في حسابات

الأبنية العادية من البيتون المسلح عدم الأخذ بالحسبان الآثار الناجمة عن الحرارة والانكماش من أجل العناصر الإنشائية الواقعة بين فواصل التمدد، التي يحدد تباعدها الأعظمي على النحو التالي:

25m في المناطق المعرضة لتقلبات كبيرة في درجة الحرارة (الجافة والصحراوية)،

35m في المناطق المعرضة لتقلبات حرارية معتدلة (متوسطة الرطوبة)،

45m في المناطق الرطبة (الساحل السوري مثلا).

أما في حال تجاوز تلك الحدود العظمى فيجب الأخذ بالحسبان آثار الانكماش والحرارة في الحسابات.

تصاب قطعة من البيتون، خاضعة لفعل مباشر أو غير مباشر، بتغيرات آنية وأخرى بطيئة. ويتم شرح العلاقة بين الإجهادات المطبقة والتغيرات الحاصلة بواسطة عامل يسمى عامل التشوه (E_c).

وتتأثر هذه التغيرات (التشوهات) بعدة عوامل أهمها:

- نوعية الإجهادات المطبقة: نلاحظ بأن تشوه البيتون يزداد في حالة الانعطاف عن حالة الضغط، ويكون أكبر ما يمكن في حالة الشد المباشر.
- سرعة التشوهات أو التحميل: يتغير شكل المنحني (σ-ε) عندما يتم تحميل المادة بسرعات كبيرة حيث يكبر المجال المرن وتصبح المادة أكثر هشاشية، ويزداد عامل التشوه.
- عمر البيتون، الظروف المناخية وخواص مكونات البيتون وأبعاد العنصر المدروس.

لقد أثبتت التجارب بأن عامل مرونة البيتون يتغير بصورة كبيرة، ويرتبط بعوامل مختلفة، أهمها: مقاومة البيتون على الضغط، طبيعة الحمولة المطبقة ومكونات البيتون... وتتراوح القيم العملية لهذا العامل بين 15000 – 37500 MPa

ويمكننا حساب قيمة هذا العامل استنادا للعلاقات التجريبية التالية:

- في حالة الأحمال اللحظية أو المتغيرة تغيراً سريعاً، وعندما تكون إجهادات التشغيل أقل من 55% من مقاومة الكسر f'_{cj} (عمر البيتون j يوم) ، يؤخذ من العلاقة التالية:

$$E_{co} = 5700\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa)$$

- في حالة الأحمال ذات الأجل الطويل وعدم وجود تسليح للضغط في المقاطع المعرضة لعزوم انعطاف يجوز أخذه من العلاقة التالية:

$$E_c = 1900\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa)$$

$$E_c = \frac{1}{3}E_{co}$$

- في حالة الحساب على حالة الحد من السهم المعيب، يمكننا اعتماد العلاقة التالية:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_{cj}} \quad (kg/cm^2 \quad ; \quad E_c = 4750\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa))$$

إذا حدث في البيتون المضغوط أو المشدود تغير ما في الاتجاه الذي يؤثر فيه الجهد، يحدث في هذا البيتون في الوقت نفسه تغير عرضاني إشارته تعاكس إشارة التغير الطولاني. فإذا كان ε_ℓ التشوه الطولاني و ε_t التشوه العرضاني فتمثل النسبة بين هذين التشوهين : $\upsilon = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_\ell}$ ، عامل بواسون.

وقد بينت التجربة أنه من أجل جهد ضغط أصغر من نصف جهد الانكسار بالضغط، تكون التغيرات العرضانية عكوسة بكاملها. ومتى ازداد جهد الضغط فوق هذا الحد تظهر تغيرات عرضانية غير عكوسة، ويرجع السبب في ظهورها إلى التشققات التي تحدث في البيتون في هذه المرحلة من التحميل. وهكذا يقابل عامل بواسون الخاص بالمجال الذي يستعمل فيه البيتون المسلح التغيرات المرنة فقط. وتتراوح قيمته بين 0,1 و 0.3، وتزداد بقدر ما يكون عمر البيتون صغيراً ومقاومته ضعيفة. وتكون قيمة هذا العامل مساوية للصفر أثناء الحساب بالطريقة الحدية.

وتعطى قيمة عامل القص العرضاني بالعلاقة: $G = \frac{E_C}{2(1+\upsilon)} \approx 0.42E_C$

1-5-3- مقاومة البيتون للحريق:

1-5-3-1- آراء عامة:

تنقص مقاومة العناصر البيتونية المسلحة بصور تدريجية عندما تتعرض للحريق، وعموماً يجب مراعاة الشروط الثلاث التالية عند التصميم:

1- المحافظة على المقاومة الإنشائية.

2- مقاومة انتشار اللهب.

3- مقاومة انتقال الحرارة.

يتم تطبيق الشرط الأول على جميع عناصر المنشأة، وأما الشرطان الثاني والثالث، فيتم تطبيقها على الأسقف والجدران، لأن لهما وظيفة الفصل بين الفراغات.

وتتعلق مقاومة العنصر البيتوني للحريق بالعوامل التالية:

- نوعية البيتون.
- نوعية فولاذ التسليح.
- سماكة الغطاء البيتوني للتسليح.
- أبعاد العنصر الإنشائي وشكله.

- نوع طبقة الحماية وسماكتها إن وجدت.

نوعية البيتون:

يسلك البيتون المصنوع من الحصويات الكلسية، بالنسبة للحريق، بشكل أفضل من البيتون المصنوع من الحصويات السيليسية، سواء فيما يتعلق بدرجة الحرارة التي يتحملها البيتون مع المحافظة على مقاومته، أو بمعدل نقصان المقاومة مع درجة الحرارة، أو بالنسبة لعامل التمدد الطولي الحراري، أو بالنسبة لتفتت الغطاء البيتوني بالحرارة عندما تزيد سماكته عن حد معين (بحدود $400^{\circ}C$). وبشكل عام يمكن القول إن البيتون المسلح يبقى محافظاً على مقاومته على الضغط حتى درجة حرارة $(250^{\circ}C)$، وفوق هذه الدرجة تبدأ المقاومة بالتناقص.

نوعية فولاذ التسليح:

يسلك فولاذ التسليح المشغول على الساخن، في حالة الحريق، بشكل أفضل من ذلك التسليح المشغول على البارد، إذ أن مقاومة النوع الأخير تنخفض كثيراً مع ارتفاع درجة الحرارة. وبالنسبة لفولاذ التسليح المشغول على الساخن، فإن حد الخضوع لا يتعرض للنقصان حتى درجة حرارة $(400^{\circ}C)$، ويتناقص هذا الحد مع ارتفاع درجة الحرارة. وعند الدرجة $(550^{\circ}C)$ التي تسمى بالدرجة الحرجة لفولاذ التسليح، يصل حد الخضوع إلى 50% من حد الخضوع في درجات الحرارة العادية، ويجب العمل على عدم تجاوز الدرجة الحرجة خلال الفترة التي تعد فيها المنشأة البيتونية مقاومة للحريق.

سماكة الغطاء البيتوني للتسليح:

يتم حساب الغطاء البيتوني لفولاذ التسليح، بحيث يحمي فولاذ التسليح من ارتفاع درجة الحرارة لمدة معينة فوق الدرجة الحرجة للتسليح، وذلك لضمان استقرار المنشأ.

وعندما تزيد سماكة الغطاء البيتوني على $40mm$، يجب وضع تسليح إضافي ضمن هذا الغطاء لمسكه ومنعه من التفتت (خاصة عند استعمال الحصويات السيليسية)، والتسليح الإضافي عبارة عن شبكة لا يقل وزنها عن $5kgf/m^2$، ويتأمن هذا عن طريق أسلاك فولاذية قطرها $2mm$، بتباعدات لا تزيد عن $100mm$.

أبعاد العنصر الإنشائي وشكله:

عندما تكون سماكة العنصر الإنشائي أقل من حد معين، فمن الممكن أن ينهار البيتون أثناء تعرضه للحريق، قبل وصول فولاذ التسليح لدرجة حرارته الحرجة.

1-5-3-2- سماكات الغطاء البيتوني و أبعاد العناصر الدنيا لمقاومة الحريق:

يتم تحديد مقاومة الحريق للعناصر الإنشائية المختلفة ويؤخذ بالحسبان أن هذه العناصر تحمل حمولاتها الاستثمارية، وتوضح الجداول (من 1-14 حتى 1-18) السماكات الدنيا للغطاء البيتوني لفولاذ التسليح في الجوائز، والأبعاد الدنيا للعناصر المختلفة وهي معرضة لهذه الحمولات، وذلك عند استعمال حصويات سيليسية، ويمكن تخفيض هذه الحدود الدنيا عندما نستعمل البحص الكلسي بدلاً من السيليسي.

وصف البيتون	مقاومة الحريق لفترة قدرها (بالساعة)			
	0.5 h	1h	2h	4 h
بيتون بدون حماية إضافية	15	25	50	65
بيتون مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسماكة 15mm على شبك تسليح خفيف	15	15	40	50
بيتون مع طبقة حماية من الأسبستوس سماكتها 15mm	15	15	15	25

الجدول (1-14): السماكات الدنيا للغطاء البيتوني لفولاذ التسليح في الجوائز لمقاومة الحريق (mm)

وصف البيتون	مقاومة الحريق لفترة قدرها (بالساعة)			
	0.5 h	1h	2h	4 h
بيتون بدون حماية إضافية	80	110	180	280
بيتون مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسماكة 15mm على شبك تسليح خفيف	70	85	170	250
بيتون مع طبقة حماية من الأسبستوس سماكتها 15 mm	60	60	125	170

الجدول (1-15): العروض الدنيا للجوائز البيتونية المسلحة لمقاومة الحريق (mm)

وصف البيتون	مقاومة الحريق لفترة قدرها (بالساعة)			
	0.5 h	1h	2h	4 h
أسقف من بلاطات مصمتة أو من عناصر جاهزة على شكل مقطع T أو مجرى U مقلوبة وذات نصف قطر اتصال بين سطحها الأفقي والجزء العلوي للجسد الذي لا يزيد عن عمق المقطع	90	100	125	150

أسقف من عناصر بشكل U مقلوبة وذات نصف قطر اتصال بين سطحها الأفقي والجزء العلوي للجسد يزيد عن عمق المقطع مسبقة الصنع أو مصبوبة في المكان	65	75	100	150
أسقف من بلوكات مفرغة أو عناصر جاهزة على شكل صندوق أو مقاطع I موضوعة بجانب بعضها البعض	65	75	90	125

الجدول (1-16): السماكات الدنيا للأسقف البيتونية المسلحة لمقاومة الحريق (mm)

وصف البيتون	مقاومة الحريق لفترة قدرها (بالساعة)			
	0.5 h	1h	2h	4 h
جدران بيتونية بدون حماية إضافية	75	75	100	175
جدران بيتونية مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسماكة 15mm مع شبك تسليح خفيف	65	75	100	175

الجدول (1-17): السماكة الدنيا للجدران البيتونية المسلحة لمقاومة الحريق (mm)

(الجدار معرض لحريق من وجه واحد فقط)

ملاحظة (1): لا تقل سماكة الغطاء البيتوني للتسليح الرئيس عن 25mm لمقاومة فترة 4 ساعات، وعن 15mm لمقاومة فترات تقل عن 4 ساعات.

ملاحظة (2): عندما يتعرض الجدار لحريق من وجهين فيعامل معاملة العمود المعرض للحريق.

وصف البيتون	مقاومة الحريق لفترة قدرها (بالساعة)			
	0.5 h	1h	2h	4 h
أعمدة بيتونية بدون حماية إضافية	150	200	300	450

أعمدة بيتونية مع طبقة حماية أسمنتية أو جصية بسمك 15mm على شبك تسليح خفيف مثبت حول العمود	150	175	275	425
أعمدة بيتونية تحوي شبك تسليح من أسلاك مسحوبة ضمن الغطاء البيتوني بحيث لا يقل قطر السلك عن 2.5mm ولا يزيد التباعد عن 150mm	125	150	225	300

الجدول (1-18): القطر أو البعد الأدنى للعمود البيتوني المسلح لمقاومة الحريق (mm)

1-5-4- التأثيرات الكيميائية:

تتأثر المنشآت البيتونية ببعض المواد الكيميائية مثل الزيوت النباتية والدهون والمحاليل السكرية ومحاليل الكبريتات والكلوريدات ومياه البحر والمياه الجوفية المحتوية على تلك المحاليل، إن التعرض الطويل لهذه المواد يؤثر على البيتون تدريجياً.

للتقليل من فعل المواد الكيميائية على البيتون يجب استخدام بيتون صلب غير مسامي مع العناية التامة به لتحقيق درجة عالية من الكثافة وعدم النفاذية للسوائل. ويمكن استعمال طبقات واقية مناسبة توضع فوق البيتون في حالة تعرضه المباشر المستمر للمواد الكيميائية المتلفة للبيتون، كما ويمكن أيضاً استعمال الأنواع الخاصة من الإسمنت المقاوم للمواد الكيميائية.

1-6- حالات التحميل – تراكبات الأحمال

1-6-1- تحديد الأفعال القصوى (الحمولات المصعدة U):

تحدد الأفعال القصوى (U) المأخوذة بالتصميم وتراكيبها الممثلة كما يلي:

أ- التراكيب الأساسية للحمولات المصعدة :

نبين فيما يلي التراكيب الأساسية للحمولات المصعدة التي يجب على المصمم اعتبارها أثناء الدراسة واختيار التركيب الأخطر، مع الانتباه إلى ضرورة توزيع الحمولات الإضافية (L or P) في أسوأ حالات التحميل بالنسبة للعنصر أو المقطع المدروس.

الأفعال المؤثرة: حمولات عادية دائمة (G or D) وإضافية (P or L) متضمنة عامل الزيادة الديناميكي إن وجد :

$$U = 1{,}4G + 1{,}7P$$

وتؤخذ بقية التراكيب كما هو وارد في الكود الأساس.

ملاحظة: لا تجمع حمولة الزلازل مع الرياح بل نأخذ الحالة الأسوأ بينهما.

ب- التراكيب الثانوية للحمولات المصعدة:

في الحالات الخاصة التي تؤدي فيها الحمولات الشاقولية إلى زيادة استقرار المنشأة أو مقاومتها ضد الضغوط أو التأثيرات الجانبية، يتوجب على المصمم تقديرها وتحقيق المقطع أو العنصر أو المنشأ على واحد أو أكثر من التراكيب الثانوية الملائمة والمنصوص عنها في الكود الأساس.

1-6-2- تراكب الأفعال وفق ملحق الكود رقم /2/ - حالة الحد الأقصى

في حالة تحديد القوى الزلزالية وفق الطريقة الستاتيكية الثانية أو الطرائق الديناميكية (ملحق الكود رقم /2/)، يتم تصميم المباني والمنشآت البيتونية وكل الأجزاء المكونة لمقاومة الأفعال القصوى وفق التراكيب التالية :

- **التراكيب الأساسية للأفعال الزلزالية:**

$$1.1(1.2D \pm 1.0E + f_1 L + f_2 S)$$

$$1.1(0.9D \pm 1.0E)$$

حيث:

D،L،S: الأفعال الناتجة عن الأحمال الميتة والحية والثلج على الترتيب.

f_1 : تساوي 1.0 للأسقف في المواقع ذات التجمعات العامة وفي الأماكن التي تتجاوز فيها الأحمال الحية $5kN/m^2$ وتساوي 0.5 لباقي المواقع.

f_2 : تساوي 0.7 للأسقف النهائية ذات الأشكال الخاصة والتي لا تسمح بطرح الثلج بعيداً عن المنشأ وتساوي 0.2 لباقي أشكال الأسقف النهائية .

E : الأفعال الناتجة عن الزلازل وتحدد بالعلاقة التالية:

$$E = \rho E_h + E_v$$

E_h : الأفعال الناتجة عن الهزة الأرضية وتحسب من القص القاعدي V.

ρ : عامل الوثوقية وعدم التقرير.

E_v : الأفعال الناتجة عن المركبة الشاقولية للهزة الأرضية وتعطى بالعلاقة التالية:

$$E_v = 0.5 C_a I D$$

بالتالي تصبح العلاقات التي تعطي التراكيب الأساسية كما يلي:

$$1.1[(1.2 \pm 0.5 C_a I) D \pm \rho E_h + f_1 L + f_2 S]$$

$$1.1[(0.9 \pm 0.5 C_a I) D \pm \rho E_h]$$

وفي حال تأثير الحمولات التالية (T, P, H, F) في التصميم فإن كل حمولة يجب أن تضاف إلى التراكيب السابقة بعد تصعيدها بالعوامل التالية: $(1.2T, 1.2P, 1.6H, 1.3F)$.

حيث :

T : القوة المشوهة ذاتياً والتأثيرات الناتجة عن التقلص والتمدد الحراريين...

P : وزن الأحمال الناتجة عن تجمع المياه فوق السطح الأخير.

H : الضغط الجانبي للتربة، ولتأثير الماء إن وجد.

F : الحمل الناتج عن السوائل.

- **التراكيب الخاصة للأفعال الزلزالية:**

في بعض الحالات الخاصة كتلك الناتجة عن احتواء المنشأة عدم انتظام من النوع الرابع الشاقولي أو المسقط الأفقي، الممثل بانقطاع في مسار الأحمال (جداول (3-4 و 3-5) من ملحق الكود رقم /2/) فإن كافة العناصر الساندة لمثل هذه الجمل يجب أن تحقق أيضاً حالات تراكب الأحمال الزلزالية الخاصة التالية :

$$1.2D \pm 1.0 E_m + f_1 L$$

$$0.9D \pm 1.0 E_m$$

حيث : $E_m = \Omega_o E_h$

Ω_0 : معامل تكبير القوة الزلزالية يحدد من ملحق الكود رقم /2/ حسب نوع الجملة الإنشائية ويأخذ بالحسبان المقاومة الإنشائية الإضافية (المتبقية في المنشأ بعد تشكل أو مفصل لدن فيه).

- **التراكيب الأساسية للأفعال الأخرى مع عدم وجود زلازل:**

تؤخذ تراكيب الحمولات المصعدة بعواملها المحددة للعناصر البيتونية وفقاً لما ورد في الكود الأساس بحيث لا تتضمن القوى الزلزالية.

1-6-3- تحديد عامل تخفيض المقاومة (Ω):

بهدف تلافي خطر تغير خواص المواد (البيتون والفولاذ) الميكانيكية والفيزيائية، اختلاف ظروف عمل المنشأ ككل وظروف عمل عناصره على حده تبعا للوظيفة الإنشائية لكل عنصر وكذلك ظروف التنفيذ المختلفة من عنصر لآخر في المنشأ الواحد، يؤخذ عامل قيمته أقل من الواحد يسمى عامل تخفيض المقاومة Ω. ويحدد تبعا لطبيعة الجهود المؤثرة في المقاطع كما يلي:

- المقاطع المعرضة للانعطاف البسيط أو لقوى شد محورية أو لامحورية: $\Omega = 0,9$
- المقاطع المعرضة للضغط البسيط (ضغط محوري): $\Omega = 0,65$
- المقاطع المعرضة للقص و الفتل أو أحدهما (دون زلازل) : $\Omega = 0,85$
- المقاطع المعرضة للقص و الفتل أو أحدهما (مع زلازل): $\Omega = 0,75$
- المقاطع المعرضة لقوى ضغط لامحورية:

$$0,9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{N_U}{N_C}\right) \geq 0,65$$

حيث: N_U : قوة الضغط المطبقة على المقطع العرضي

N_C : مقاومة المقطع البيتوني لوحده $(0.85\, f'_C\, A_C)$

1-6-4- عامل زيادة الاجهاد المسموح للتربة في حالة الأفعال المصعدة:

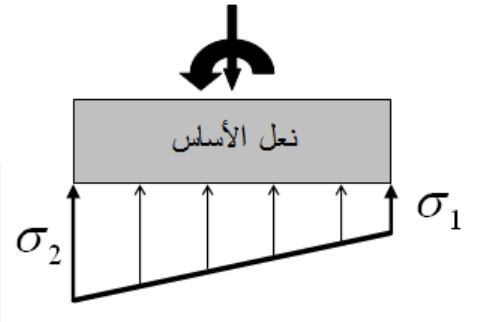
يتم وفق الكود السوري تصميم جميع العناصر الإنشائية على الحالة الحدية القصوى عندما يؤخذ تأثيرات الزلازل بالحسبان، وبالتالي تكون الحمولات المطبقة على الأساسات هي الحمولات المصعدة.

ولما كانت مقاومة التربة المعتمدة في تقارير التربة تعطي أكبر إجهاد مسموح تطبيقه على هذه التربة من حمولات الاستثمار (غير المصعدة) والمسمى $(\bar{\sigma}_s)$ ، لذا لا بد من توضيح طريقة التحقق من تربة التأسيس في حالة الزلازل (انظر الشكل 1-54).

- حالة التوزع المنتظم والخطي القريب من المنتظم للإجهادات المطبقة تحت الأساس $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 2$: يكون الإجهاد المسموح مساويا: $1.6(\bar{\sigma}_s)$

- حالة التوزع الخطي للإجهادات المطبقة تحت الأســاس $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 2$ ، وفي حال وجود شــد تحت الأســاس (حيث يلزم حذف هذا الجزء المشدود تحت الأساس من الحساب): يكون الإجهاد المسموح مساويا: $2.0(\bar{\sigma}_s)$

ملاحظة: يمكن أخذ قيمة متوسطة لعامل التصعيد تكون بين 1.6 و 2.0 حسب النسبة بين الاجهادين.



الشكل (1-54)

1-6-5- الأمان والتصميم وفق حالات حدود الاستثمار:

نذكر فيما يلي الأسس المعتمدة في حساب مقاطع البيتون المسلح أو التحقق منها، وفقاً لحالات حدود الاستثمار:

- اعتماد التحليل الخطي المرن: يســلك البيتون والفولاذ ســلوك المواد المرنة، وبذلك يكون توزيع الإجهادات في المقطع خطياً. ويســتند التحليل الخطي المرن في تحقيق المقاطع إلى الفرض بأن الإجهادات الفعلية في المقاطع الحرجة في كل من البيتون والفولاذ يجب ألا تزيد عن الإجهادات المسموحة.
- اعتماد نظرية برنولي – نافييه: المقاطع المســتوية قبل الانعطاف تظل مســتوية بعده، أي أن التشــوه في كل من البيتون والفولاذ يتناسب مع البعد عن المحور السليم.
- إهمال البيتون المشدود في التحليل والتصميم، ويعمل الفولاذ لوحده على موازنة محصلة إجهادات الشد.
- اعتماد القيم التالية للنسبة المعيارية $n = \left(\frac{E_s}{E_c}\right)$ ، والمسماة بعامل التكافؤ:

$n = 15$ حالة حد تجاوز الإجهادات المسموحة،

$n = 10$ حالة حد التشقق المعيب،

ويمكن تخفيض قيمة عامل التكافؤ عند استخدام بيتون بنوعية جيدة: $f'_c \geq 250 kg/cm^2$

$n = \left(\frac{E_s}{E_c}\right)$ حالة حد السهم.

ملاحظات مهمة:

- إذا شـــملت الحمولات المؤثرة ضـــغط الرياح W أو أثر التشـــوهات المفروضـــة T معا، فيمكن زيادة الإجهادات المسـموحة في كل من البيتون والفولاذ بنسـبة 25% . على أن يتم التحقق دوماً دون هذه الأثار، أي بالتراكب (G+P) أو ((G+P+(E or F) في حال وجود ضغط التربة أو السوائل.
- إذا شملت الحمولات المؤثرة ضغط الرياح W و أثر التشوهات المفروضة T معا، فيمكن زيادة الإجهادات المسموحة في كل من البيتون والفولاذ بنســـبة 33%. على أن يتم التحقق دوماً دون هـذه الأثـار، أي بـالتراكـب (G+P) أو ((G+P+(E or F) في حال وجود ضغط التربة أو السوائل.
- يطبق ما ورد في الملاحظتين السابقتين على الإجهاد المسموح به للتربة: $1.25\overline{\sigma}_s$ أو $1.33\overline{\sigma}_s$.