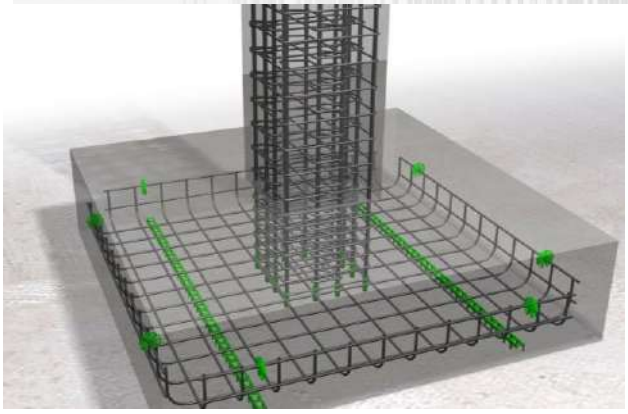
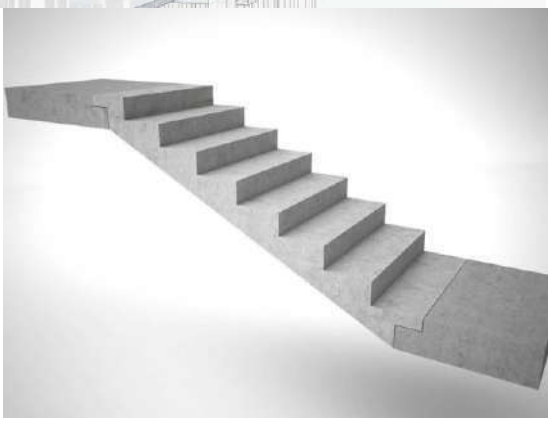
منشورات جامعة قاسيون
للعلوم والتكنلوجيا
كلية هندسة العمارة

البيتون والبيتون المسلّح





إعداد

دكتور مهندس

ساطع بدوي

الفصل الأول

تكنولوجيا البيتون وتصميم العناصر والمنشآت البيتونية المسلحة

- مقدّمة

1-1. تطور استخدام البيتون
2-1. البيتون وخصائصه.
1-2-1. تعريف البيتون
2-2-1. تصنيف البيتون
3-2-1. مكونات البيتون
4-2-1. مميزات ومساوئ البيتون
3-1. الأنواع المختلفة من البيتون
1-3-1. البيتون العادي
2-3-1. البيتون المسلح
3-3-1. البيتون مسبق الإجهاد
4-3-1. البيتون مسبق الصنع
5-3-1. البيتون عالي المقاومة
6-3-1. البيتون المقذوف
7-3-1. البيتون البوليميري
1-3-7-1.البيتون البلاستيكي.
2-3-7-1.البيتون البوليميري الاسمنتي.
3-3-7-1.الخرسانة الاسمنتية المحقونة بالبوليميرات
8-3-1. الخرسانة الخفيفة
- انواع الخرسانة الخفيفة.

9-3-1. البيتون الثقيل
- المواد الداخلة في تركيب البيتون الثقيل.

10-3-1. البيتون الكتلي
4-1. صفات الخلطة البيتونية
1-4-1. متانة البيتون
2-4-1. طراوة الخلطة البيتونية
5-1. المنتجات البيتونية المسلحة
1-5-1. معلومات عامة عن منتجات البيتون المسلح
2-5-1. تصنيف منتجات البيتون المسلح

1-5-3. أنواع المنتجات البيتونية المسلحة
1-6. الخرسانة والخرسانة المسلحة في المباني والمنشآت الهندسية
1-6-1. المجازات المناسبة لاستخدام البيتون المسلح في المنشآت الهندسية
1-6-2. أنواع البيتون، مقاومتها ومواصفاتها واستخداماتها

الفصل الأول

الخرسانة وخصائصها

- مقدمة:

يتكون البيتون من مزيج من المواد الحصوية والاسمنت والماء وتشكل المواد الحصوية كتلة البيتون بينما يقوم الاسمنت بعمل الرابط الكيمائي بتفاعله مع الماء حيث يتحول إلى مادة متصلدة تقوم بربط الحصويات للحصول على مادة متينة وقوية هي البيتون.

ولذا فإن مزيج الحصويات مع الاسمنت والماء هو مادة لدنة، قابلة للتماسك والتصلد بمرور الزمن وحتى تصبح كتلة صلدة ومتماسكة وتتحدد الصفات الفيزيائية والميكانيكية للبيتون بحسب ظروف التماسك والتصلد ونسب المواد الداخلة في التركيب، ودرجة الحرارة والرطوبة التي يتعرض لها البيتون خلال فترة التصلد ، ويمكن الحصول على بيتون بمواصفات مختلفة تحقق جودة البيتون بالتحكم بالعوامل المؤثرة في خواصه وذلك باختيار نسب معينة للماء والاسمنت ونسب المواد الحصوية الخشنة(البحص) إلى المواد الحصوية الناعمة (الرمل) ،وباستخدام قياسات متدرجة للمواد الحصوية، وبالتحكم بشروط درجة الحرارة ونسبة الرطوبة.

يتميز البيتون بسهولة التشكيل، ومقاومة الضغط والصمود في درجات الحرارة العالية وعدم التأثر بالعوامل الجوية. هذه الميزات جعلت منه مادة إنشاء رئيسية في معظم بلدان العالم إضافة إلى توافر المواد الداخلة في تركيبه محليا وفي معظم البلدان مما يجعله مادة انشاء اقتصادية مقارنة مع المواد الأخرى.

إن مقاومة البيتون للضغط جيدة ولا تقل عن مقاومة الأحجار الطبيعية مما يجعله مناسبا للاستخدام في العناصر المعرضة للضغط بشكل أساسي إلا أن مقاومته للشد منخفضة جدا مقارنة مع مقاومته للضغط وهذا ما شكل عث\قبة في استخدامه في عناصر المنشآت المعرضة للشد بشكل مباشر أو العناصر المعرضة لعزم الانعطاف التي تتعرض لإجهادات الشد والضغط معا إلى ان تم استخدام القضبان الفولاذية لتسليح البيتون في مناطق الشد ووضع نظريات حساب منشآت البيتون المسلح.

1-1. تطور استخدام البيتون:

عرف الاسمنت الطبيعي (الاسمنت الروماني) كمادة رابطة بين الحجار منذ العصور القديمة عند المصريين والرومان واستخدم في بناء البيوت وتغطية سطوح الطرقات. واكتشف الاسمنت الصناعي

(الاسمنت البورتلاندي) من قبل الإنكليزي جوزيف اسبيدن واستمرت البحوث التجريبية في طرائق صناعة الاسمنت وانتاجه بطرائق مختلفة لحرق المواد الداخلة في تركيبه من الأحجار الكلسية والغضار ودامت هذه البحوث فترة طويلة نتج عنها الحصول على اسمنت بمواصفات عالية الجودة.

وبدأ استخدام الاسمنت في أعمال البيتون المسلح في النصف لأول من القرن التاسع عشر وسجل الفرنسي مونييه عام 1867 اختراعه في صناعة الأحواض النباتية ثم سجل اختراعا لإنشاء الجوائز والأعمدة عام 1877 واستطاع كونين تطوير الاتجاه العلمي النظري لإنشاء البيتون المسلح فاقترح وضع القضبان الفولاذية لتسليح البيتون في مناطق الشد ووضع نظريات حساب منشآت البيتون المسلح وأسس حساب الأقواس والأنابيب الأسطوانية والخزانات المائية. وقام الفرنسي هينبك بتجارب مستمرة على البيتون المسلح من عام 1879 حتى توصل عام 1892 لوضع طريقة علمية كاملة للإنشاء الهيكلي وأصدر عددا من النشرات العلمية ضمنها اختراعاته في البيتون المسلح وأصبح المهندس الاستشاري لعدد من بيوت المقاولات في أوروبا وقائم بإنشاء العديد من العمال المدنية والمباني الصناعية والانتفاعية خلال الأعوام 1894 حتى 1898 وانتشرت بعد ذلك الإنشاءات البيتونية المسلحة في أوروبا على يد مهندسين مختصين تضمن إنشاء المباني والجسور والخزانات والمسارح والمعارض ومحطات السكك الحديدية وبدأ هينبك القاء محاضراته في هذا الموضوع عام 1897 في المدرسة الوطنية للطرق والمعابر في باريس.

وتمتع أوائل المستخدمين للبيتون المسلح بحرية لا حدود لها في استخدام هذه المادة وتحققت مشاريع جريئة كما رافق ذلك نتائج فاشلة كثيرة. ولفت العديد من العلماء النظر إلى المسائل النظرية والعملية المتعلقة بحسابات البيتون المسلح وظهرت الطرائق الرياضة في حساب وتصميم العناصر البيتونية المسلحة وتدخلت السلطات في سن القوانين واللوائح لتنظيم استعمال البيتون كمادة انشائية، ووضعت لذلك مواصفات خاصة وكودات في كل بلد وأسهمت مراحل التقدم في دراسة المواد وطرائق الإنشاء والتصميم بإرساء أسس ثابتة لاستخدام البيتون المسلح في المجالات كافة. واكتسب البيتون الاعتراف الرسمي به وأصبح مادة معتمدة من مواد الإنشاء الرئيسية.

وظهرت أساليب إنشاء جديدة باستخدام القطف مسبقة الصنع التي يجري تحضيرها في المصانع ثم نقلها وتركيبها في مكان الإنشاء وتشمل عناصر متنوعة من العمدة والجوائز والبلاطات والقواعد. كما ظهر أسلوب الإنشاء بالعناصر مسبقة الإجهاد والتي يتم فيها تعريض التسليح إلى إجهادات شد مسبق قبل بدء تشغيل العناصر تحت الحمولات الخارجية واستخدام في إنشاء الجسور في المجازات الكبيرة من 30-35 مترا. كما

ظهرت أساليب مختلفة تجمع بين مسبق الصنع ومسبق الإجهاد وعم استخدام الأساليب المختلة للإنشاء بالبيتون المسلح في مختل أنواع المنشآت.

2-1. البيتون وخصائصه

1-2-1. تعريف البيتون وسبب استخدامه

البيتون هو الحجر الصناعي الناتج من تصلب الخلطة المنتقاة بنسب معينة من المادة الرابطة والماء والمواد الحصوية (الرمل والحبص أو الزلط) ويسمى مزيج هذه المواد قبل التصلب بالخلطة البيتونية.

وتشكل حبات الرمل والبحص هيكلاً حجرياً في البيتون. والعجينة الاسمنتية المتشكلة بعد صب الماء في الخلطة البيتونية تغلف حبات الرمل والبحص وتملأ الفراغات بينها وتلعب دور المادة المزيتة للحصويات فتعطي الخلطة البيتونية الطراوة. ويتصلب العجينة الاسمنتية تربط المادة الحصوية مشكلة الحجر الصنعي – البيتون. ويمكن الحصول على خليطة بيتونية جيدة وبيتون جيد فقط بالمعرفة العميقة لتكنولوجيا تحضيرها والتمكن من اختيار المواد المؤلفة ذات الجودة المناسبة ومن تعيين النسب المثلى بينها والبحث عن طريق تحضير الخلطة البيتونية وطرق صبها ورصها وشروط تصلبها بحيث تسمح بالحصول على منشآت بيتونية عالية المتانة والديمومة وقليلة التكاليف.

يعد البيتون من أهم مواد البناء في كل مجالات البناء في هذا العصر وذلك بسبب:

1- تنوع خواص البيتون والتي يحصل عليها باستعمال المواد الرابطة والمواد الحجرية ذات الجودة المناسبة واستعمال الطرق الخاصة في المعاملة الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية.
2- سهولة المعاملة الميكانيكية للخليطة البيتونية المتصفة باللدونة والتي تسمح دون صرف جهد كبير بالحصول على منشآت بيتونية مختلفة الأشكال والمقاييس ذات ديمومة عالية.
3- إمكانية المكننة الكاملة في الأعمال البيتونية.
4- اقتصادية البيتون حيث أن $(90\% - 80)$ من حجمه عبارة عن مواد حصوية من الأحجار المحلية.

2-2-1. تصنيف البيتون:

يصنف البيتون حسب الوزن الحجمي ونوع المادة الرابطة والمتانة ومقاومة الصقيع ومجال الاستعمال.

1-2-2-1. حسب الوزن الحجمي

هي الوزن الحجمي حيث يقسم بالنسبة إليه إلى:

1- البيتون الثقيل جداً: وزنه الحجمي أكبر من $2500\ Kg/m^3$.
2- البيتون الثقيل: وزنه الحجمي بين $(1800 - 2500)\ \mathrm{Kg/m^3}$.
3- البيتون الخفيف: وزنه الحجمي بين $(500 - 1800)\ \mathrm{Kg/m^3}$.
4- البيتون الخفيف جداً: وزنه الحجمي أقل من $500\ \mathrm{Kg/m^3}$.

يصنف البيتون حسب الوزن الحجمي ونوع المادة الرابطة والمتانة ومقاومة الصقيع ومجال الاستعمال.

1-2-2-2. تصنيف البيتون بحسب خشونة المادة الحصوية المستعملة:

1- البيتون ذو الحبيبات الناعمة بمادة حصوية بأقطار حتى $10\ mm$ (بيتون خشن).
2- البيتون ذو الحبيبات الخشنة بمادة حصوية بأقطار تتراوح بين $(10 - 150\ mm)$ (بيتون خشن).

والقرائن المهمة المعبرة عن جودة البيتون هي المتانة والديمومة.

1-2-2-3. تصنيف البيتون بحسب حد المتانة على الضغط:

يقسم البيتون إلى ماركات وللبيتون الثقيل ماركات بين $(100 - 600)$. وللبيتون الخفيف بين $(25 - 300)$ والبيتون الثقيل جداً $(100 - 200)$.

وتميز الديمومة بدرجة مقاومة الصقيع. ويقسم البيتون الثقيل بحسب مقاومته للصقيع إلى الماركات $(50 - 300)$ والبيتون الخفيف $(10 - 200)$.

1-2-2-4. تصنيف البيتون بحسب المادة الرابطة:

1- البيتون الاسمنتي: المادة الرابطة الاسمنت وأنواعه.
2- الاسمنت السيليكاتي: باستعمال المادة الرابطة الكلسية مع مواد سيليكاتية.
3- البيتون الجبصي: باستعمال المادة الرابطة الجصية أو الانهدريتية.
4- البيتون بالمواد العضوية الرابطة.

في هذا الفصل سنبحث في البيتون بالمواد الرابطة المعدنية.

يحضر البيتون الثقيل باستعمال الاسمنت والمواد الحصوية الكثيفة، أما الخفيف فباستعمال الاسمنت والمواد الحصوية المسامية الصناعية أوالطبيعية.

ويحصلى على البيتون السليكاتي من مزيج الكلس والرمل الكوارتزي المتصلب في الأوتوكلاف تحت ضغط $(8 - 12)$ ضغط جوي وحرارة $(170 - 200)$ درجة مئوية.

1-2-2-5. تصنيف البيتون بحسب مجال استعمال البيتون:

1- البيتون العادي: للعناصر البيتونية والبيتونية الحاملة والمباني والمنشآت (الأعمدة – الجوائز- البلاطات).
2- بيتون المنشآت المائية: للسدود وبوابات السدود وتلبيس القنوات.
3- بيتون للأرضيات وتغطية الطرق.
4- البيتون الخاص: المقاوم للحموض، المقاوم للحرارة، الثقيل جداً للحماية البيولوجية ويحضر البيتون الثقيل جداً باستعمال الاسمنت ومواد حصوية خاصة بوزن حجمي كبير.

1-2-3. مكونات البيتون:

- الأسمنت. Cement
- الركام (الحصويات) Aggregate
- الرمل Sand
- الماء. Water
- حديد التسليح (في البيتون المسلح فقط). Reinforcement Steel
- الإضافات (إن لزم الأمر). Admixtures

الأسمنت:- Cement

هو مادة تصنع في المصانع حيث أساس تكوّينها مواد جيرية وطينية تطحن معاً وتخلط ثم تعرّض في أفران مصانع الأسمنت لدرجة حرارة عالية لفترة زمنية محددة، فينتج بذلك مادة تسمى (الكلنكر) يطحن بعد ذلك (الكلنكر) لدرجة نعومة عالية جداً، ويضاف إليه الجبس وبعض المواد الأخرى لإكسابه مواصفات خاصة ثم يتم تعبئته في أكياس، وهو الشكل الذي يطرح به الأسمنت في الأسواق.

ويأخذ الأسمنت قوته المبدئية (الشك الابتدائي) بعد حوالي ٤٥ دقيقة من وضعه في القوالب ، ويصل إلى الشك النهائي بعد حوالي ١٠ ساعات، ويصل الأسمنت إلى معظم قوته بعد ٢٨ يوماً، مع العلم أن قوّته تتزايد من الزمن بمعدل بطيء إذا كانت الظروف المحيطة به من ناحية درجة الحرارة ونسبة الرطوبة مناسبة.

أنواع الأسمنت:- Types of Cement

هناك أنواع عديدة من الأسمنت أكثرها شيوعاً الأنواع الآتية:

١) الأسمنت البورتلاندي العادي.
٢) الأسمنت البورتلاندي مبكر المقاومة العالية.
٣) الأسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة.
٤) الأسمنت البورتلاندي الأبيض.
٥) الأسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.

الأمور التي يجب مراعاتها أثناء توريد أي نوع من الأسمنت إلى الموقع:-

١) يتم إحضار الأسمنت إلى الموقع بأكياس ورقية سعة (٥٠ كجم) .
٢) يخزن الأسمنت بمستودعات مهواة بشكل جيد بعيداً عن الرطوبة وترفع الأكياس عن الأرض بما لا يقل عن (١٠سم)، حيث يوضع تحتها مورينات وألواح من الخشب.
٣) يجب التأكد من صلاحية الأسمنت المورد وعدم انتهاء فترة صلاحيته المحددة عادة بثلاثة أشهر.

٤) يجب الانتباه إلى عدم توريد كمية من الأسمنت تزيد عن الكمية التي يستهلكها الموقع خلال الفترة الباقية لانتهاء صلاحيته.
٥) ألا تزيد مدة التخزين عن ٦ شهور من تاريخ إنتاجه.
٦) يجب أن يحقق الأسمنت المواصفات الواردة **بدفتر** الشروط الفنيّة الخاصة بالمشروع.

الركام (الحصويات) ـ Aggregate

هناك نوعين من الركام يمكن أن نصادفهما في الموقع :

* النوع الأول : الركام الفولي (الحصويات الفولية) .
* النوع الثاني : الركام العدسي (الحصويات العدسية) .

شروط صحة الموافقة على استلامه داخل الموقع :ـ

١) أن يكون مطابقته للمواصفات من حيث القساواة والتدرج الحبيبي ويكون المصدر المتبع في هذا الأمر هو دفتر الشروط الفنيّة الخاصة أو العامة للمشروع ـ
٢) أن يكون خالي من الأوساخ والمواد العضوية ومغسول من الغبار.
٣) أن تكون حبيباته قريبة للتكور والتكعيب ونسبة الحبيبات الرقيقة منخفضة.
٤) أن تكون الكميات مطابقة لما هو متعاقد عليه.

الرمل:ـ Sand

الرمل المتواجد في المواقع غالباً يكون ثلاثة أنواع:ـ

- رمل صب.
- رمل الطينة الأبيض.
- الرمل البحري.

الماء:ـ Water

للماء في الموقع استعمالات عديدة، هذا بالإضافة إلى كونه يعتبر من المكوّنات الرئيسية لخلطات الخرسانة، فهو ضروري جداً لأعمال السقاية والشرب والغسيل.

... والشروط التي يجب أن يحققها الماء المستعمل في الموقع :

١) خلوه من الأملاح والمركبات الضارة بالخرسانة وحديد التسليح .
٢) أن يكون متوفراً بالكمية المطلوبة أثناء الحاجة إليه ، وخاصة أثناء عملية الصب، لذا فمن الضروري تحضير خزّانات المياه مسبقاً في حال عدم وجود تمديدات مياه يمكنها توفير الماء بالكمية المطلوبة، وتجهز هذه الخزّانات بالمضخات والتمديدات التي تكفل إيصال المياه إلى المكان المطلوب في الزمن المطلوب.

حديد التسليح:- Reinforcement Steel

يستخدم حديد التسليح في الخرسانة المسلحة فقط، ولا يستخدم في الخرسانة العادية.

... وينقسم حديد التسليح إلى:

- حديد طري عادي (صلب ٣٧) ويرمز له بالرمز ⌀
- حديد عالي المقاومة (صلب ٤٤، صلب ٥٢) ويرمز له بالرمز ⌀ .

... ويتوفر الحديد بأقطار (من ٦ إلى ٣٢مم) لإستخدامه في الأجزاء المختلفة من المنشآت.

... و قد يكون الحديد ذو سطح أملس أو ذو نتوءات، والأخير أفضل من حيث تماسكه مع الخرسانة.

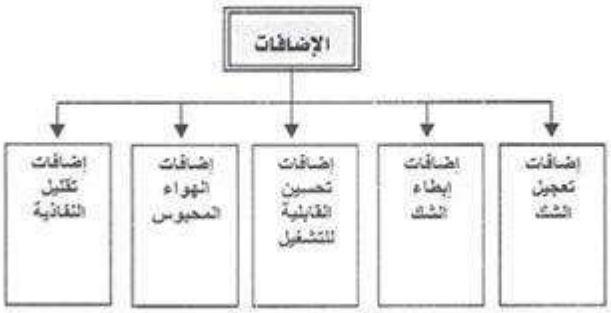
الإضافات:- Admixtures

هي مواد كيميائية تضاف للخرسانة سواء أثناء الخلط ،أو تعالج بها بعد تصلدها بغرض إكسابها خواص معينة.

الشروط الواجب مراعاتها عند استخدام الإضافات:

- ألا تتجاوز نسبة استخدام الإضافات في الخلطة النسبة المحددة من قبل المصنع حتى لا تؤثر على مقاومة الخرسانة.
- أن يكون هناك تناسب بين تكلفة إستخدام الإضافات والفائدة التي ستعود منها.
- ألا تقل مقاومة الخرسانة وتماسكها مع حديد التسليح عن ٨٥% من القيم الأساسية لها في حالة عدم استخدام إضافات.

أنواع الإضافات:- Types of Admixtures



4-2-1. ميزات ومساوئ البيتون:

يتمتع البيتون **بميزات عديدة** جعلت منه مادة بناء أساسية منها:

- المقاومة الجيدة لإجهادات الضغط وفعالية جيدة لمقاومة الشد بوجود فولاذ التسليح.

- مقاومة العوامل الجوية من تغيرات حرارية ورطوبة.
- غير قابل للاحتراق ومقاوم لدرجات الحرارة العالية.
- سهولة التشكيل بالقوالب والمرونة المعمارية في تشكيل السطوح والفراغات.
- اقتصادي وقليل الكلفة بالمواد الأخرى لتوفر مكوناته في أي بلد ولا يحتاج إلى صيانة.
- قوة ارتباط عناصر المنشأة وعملها كوحدة متكاملة.

من مساوئ البيتون:

- ضخامة الوزن الذاتي.
- النفوذية وعدم مقاومة رشح المياه إلا بمعالجة خاصة وتعرضه للتشققات.
- فترة تنفيذ طويلة لبقائه مدعما حتى يتصلد ويصبح قادرا على مقاومة الإجهادات.
- صعوبة التعديلات بعد تنفيذه وإمكان استخدام نواتج الهدم حديثا عند إزالة المنشأة.

إن هذه المساوئ لم تشكل عائقا في سرعة انتشاره في بلدان العالم كافة خاصة وأنه بتطور طرائق الانشاء وتقنية إنتاج المواد وتحسين خواصها أمكن التغلب على معظم هذه المساوئ واضافة ميزات جديدة للبيتون. فأصبح بالإمكان الحد من التشققات باستخدام البيتون مسبق الاجهاد وتسريع عمليات التنفيذ بإنتاج القطع مسبقة الصنع بإضافة ميزات سهولة الوصل والتركيب بأساليب فنية مختلفة والتخفيف من الوزن الذاتي بإنتاج قطع مفرغة بكلفة قليلة نظرا لأنها تنتج في خطوط انتاج تستخدم القوالب نفسها مئات المرات. وبذلك فإن البيتون من أهم المواد الإنشائية في هذا العصر بخواصه المتميزة لتغطية أساليب ومتطلبات الإنشاء الحديثة باختبار الحلول الإنشائية الأفضل من حيث التشكيلات المعمارية والمظهر الجمالي وقلة النفقة وبشكل لم يسبق أن حققته أي من مواد الإنشاء الأخرى.

3-1. الأنواع المختلفة من البيتون

يوجد العديد من أنواع البيتون ويمكن تصنيف أهم هذه الأنواع كما يلي:

1. البيتون العادي — *Plain Concrete*
2. البيتون المسلح — *Reinforced Concrete*
3. البيتون مسبق الإجهاد — *Prestressed Concrete*

4. البيتون الجاهز (مسبق الصب) $Precast\ Concrete$

5. البيتون عالي المقاومة $High\ Strength\ Concrete$

6. البيتون الليفي $Fibrous\ Concrete$

7. البيتون ذاتي الخلط $Self-Compacting\ Concrete$

8. البيتون البوليميري $Polymer\ Concrete$

9. البيتون المقذوف (بيتون الرش) $Shotcrete$

10. البيتون الخفيف $Light-weight\ Concrete$

11. البيتون الثقيل $Heavy-Weight\ Concrete$

12. البيتون الكتلي $Mass\ Concrete$

13. البيتون المعبأ $Prepacked\ Concrete$

14. بيتون الحصويات ناقصة التدرج $GapS\ Concrete$

15. البيتون المعماري $Architectural\ Concrete$

16. بيتون التسيير $Nailing\ Concrete$

17. البيتون الكبريتي $Sulfur\ Concrete$

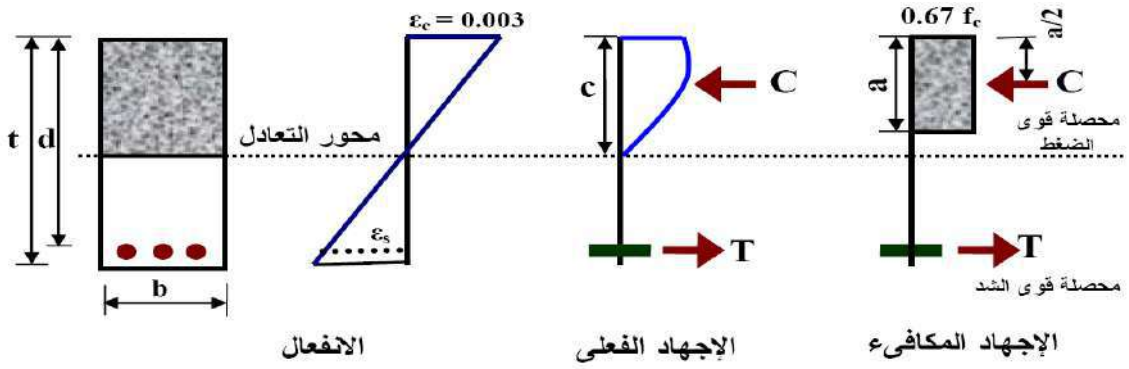
فيما يلي نبذة مختصرة عن أهم هذه الأنواع:

1-3-1. البيتون العادي $plain\ Concrete$

وهو بيتون بدون أي حديد تسليح ويستخدم في أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية الغير معرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود، ومقاومتها تتراوح في المجال. ويمكن تحسين بعض الخواص فيها لكي تناسب غرض الاستخدام، مثلاً أن تكون مقاومة للكبريتات أو مقاومة لعوامل التعرية والتآكل كما في حال المصدات البحرية.

2-3-1. البيتون المسلح *Reinforced Concrete*

وهو بيتون عادي يشترك معه حديد التسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من البيتون هو الأكثر شيوعاً في العالم، وذلك لسهولة تنفيذه ورخص تصنيعه. ويمكن أن يصب في الموقع مباشرة أو يصب في المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة. وينبغي تحقيق التوازن والتوافق بين الإجهادات في كل البيتون والحديد. ومعظم كودات التصميم تهمل تماماً مقاومة الخرسانة للشد وبالتالي فإن الحديد يتحمل كل قوى الشد المؤثرة، أما البيتون فيتحمل قوى الضغط. يوضح الشكل (3 – 1) توزع الإجهادات على مقطع مستطيل من البيتون المسلح.



3-3-1. البيتون مسبق الإجهاد

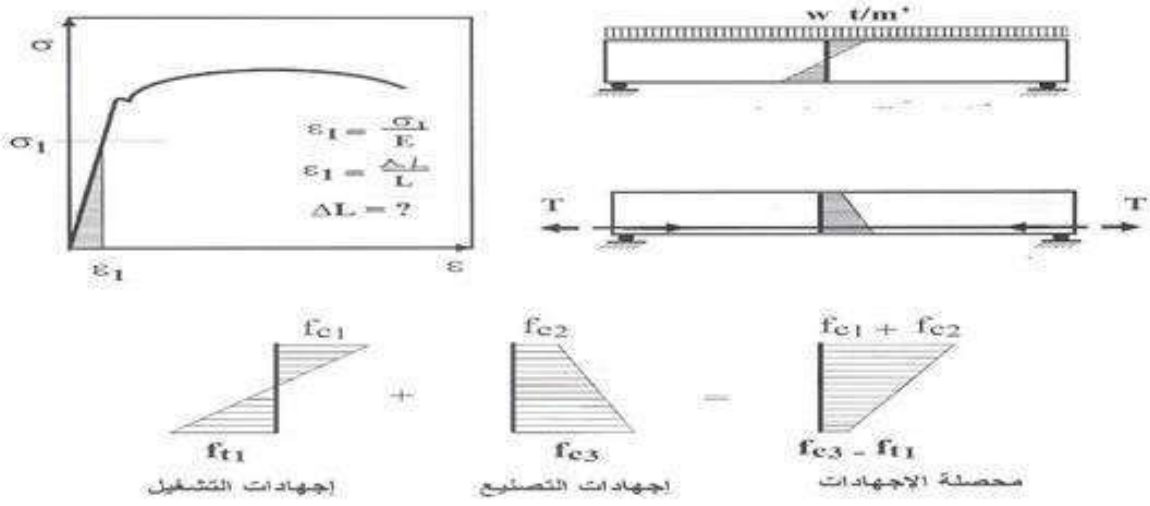
وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة **بإلغاء** إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال وبالتالى لا نحتاج إلى حديد تسليح حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول **المقطع** الخرسانى بعد التحميل (التشغيل) هى غالباً إجهادات ضغط وبالتالى تكون الخرسانة كفيلة بتحملها. وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من ٣٥٠ إلى ٦٠٠ كج/سم^2 وذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع وإجهادات ضغط التشغيل. وأسياخ الصلب المستخدمة فى الخرسانة سابقة الإجهاد تسمى كابلات Tendons وهى عبارة عن أسلاك Wires أو حبال مجدولة من مجموعة أسلاك Strands أو قضبان من الصلب Bars. وتمتاز الخرسانة سابقة الإجهاد بقلة الشروخ السطحية مع مقاومة عالية للأحمال. وهى مناسبة للاستخدام فى **الجسور** والمستودعات المائية والوحدات الجاهزة مثل **عوارض** السكك الحديدية وأعمدة **الهاتف** وعموماً يوجد طريقتان لإكساب الخرسانة لإجهادات الضغط:

أ- طريقة الشد السابق Pre-tension

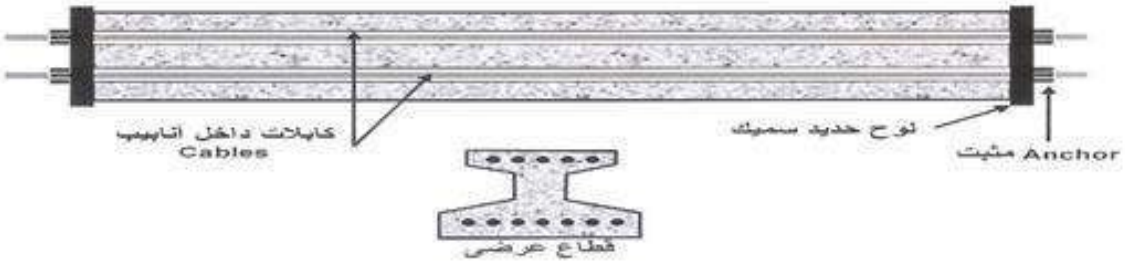
وفيها يتم شد كابلات الصلب قبل صب الخرسانة وقبل تصلدها. وتترك هذه الكابلات مشدودة (فى حدود المرونة) حتى تتصلد الخرسانة وتكتسب مقاومتها القصوى ثم بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب الذى يحاول أن ينكمش داخل الخرسانة المتصلدة مما يؤدى إلى حدوث إجهادات ضغط فى الخرسانة عن طريق قوى التماسك بين الحديد و الخرسانة كما بشكل (٣-٢). وتستخدم طريقة الشد السابق فى إنتاج الوحدات سابقة الصب سابقة الإجهاد حيث تسمح المعالجة بالبخار واستخدام خرسانة عالية المقاومة المبكرة فى الإزالة المبكرة لتلك الوحدات والاستغلال اليومي للقوالب.

ب- طريقة الشد اللاحق Post-tension

وفيها يتم عمل أنابيب مفرغة (مواسير أتوماتيكي) داخل الخرسانة وتوضع كابلات الصلب حرة الحركة بداخلها بدون شد حتى تتصلد الخرسانة تماماً (شكل ٣-٣). يتم شد الكابلات بعد تصلد الخرسانة حيث لا يكون هناك أى قوى تماسك بين الصلب و الخرسانة. بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب حيث يسبب إجهادات ضغط على ألواح الصلب المثبتة فى طرفى العنصر الخرسانى والتى تنتقل بدورها إلى الخرسانة بالتحميل. بعد ذلك تملأ الفراغات بين كابلات الصلب والمواسير بمونة أسمنتية التى تتصلد وتقلل من فرصة صدأ صلب الكابلات.



شكل (٣-٢) توضيح لطريقة الشد السابق.



شكل (٣–٣) توضيح لطريقة الشد اللاحق.

4-3-1. البيتون الجاهز (مسبق الصب) *Precast Concrete*

يصب البيتون ويعالج حتى تمام تصلده في المصنع ثم ينقل بعد ذلك إلى المنشأ وممكن أن يكون بيتون عادي أو مسلح أو مسبق الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والجدران والبلوكات البيتونية ووحدات الأسوار والأدراج وفيها يتم التحكم في عملية جودة الخرسانة والتصنيع مثل:

1- استخدام ركام جيد متدرج
2- تقليل الماء
3- إجراء الدمك والخلط ميكانيكيا
4- معالجة بالبخار.
5- استخدام إضافات للتلوين.
6- استخدام المواد العازلة المطلوبة.

يوضح الشكل (3 – 4) بعض التطبيقات التي يستخدم فيها البيتون مسبق الصب بنجاح وعند تصنيع العناصر المختلفة من الخرسانة الجاهزة فيجب الأخذ في الاعتبار كافة الأحمال الخارجية المؤثرة على العنصر في مراحل التصنيع والتخزين والنقل والتركيب والتنفيذ والاستخدام.

سور من الخرسانة سابقة الصب بمدينة السادس من أكتوبر

مجارى خرسانية لتصريف مياه الأمطار
(نفق الأزهر)

حلقات خرسانية ذات تجويف بقطر ٨,٣٥ متر
(مترو أنفاق القاهرة)

سلالم خرسانية سابقة الصب (فندق الميريديان)

1-3-5. البيتون عالي المقاومة:

وهي خرسانة ذات مقاومة تزيد عن ٦٠٠كج/سم٢ وقد تصل أو تزيد عن ١٤٠٠كج/سم٢ ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتي تستخدم في صناعة الخرسانة التقليدية (٢٥٠كج/سم٢) من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوي على مادة إضافية أخرى وهي الملدنات Superplasticizers وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على المقاومة العالية

أما المواد البوزولانية مثل مادة غبار السيليكا Silica fume فقد توجد أولا توجد في كلٍ من نوعيّ الخرسانة. إن أهم شيء يجب أخذه في الاعتبار عند إنتاج خرسانة عالية المقاومة هو اختيار مجموعة المواد التي تتجانس مع بعضها لتعطى خرسانة جيدة لها المقاومة و المتانة وكذلك القابلية للتشغيل المطلوبة.

الخصائص المطلوب توافرها في المكونات:

أ- الركام الكبير يجب أن يكون قوى ومتين لأنه يعمل كعامل يحدد مقاومة الخرسانة القصوى حيث أن الخلطة في حالة الخرسانة عالية المقاومة تمر خلال حبيبات الركام الكبيرة وليس حولها كما في حالة الخرسانة التقليدية. وقد وجد أن الخرسانة المصنوعة من الصخر (مثل الجرانيت أو الدولوميت) تعطى مقاومة أكبر بحوالى ١٠ إلى ٢٠% من تلك المصنوعة من الزلط.

ب- الركام الصغير أو الرمل يجب أن يكون خشن نوعاً ما حيث يكون معاير النعومة له من ٢,٨ إلى ٣,٠ وذلك لأن الخلطة تكون غنية بالمواد الناعمة مثل الأسمنت وغبار السيليكا إن وجدت.

ج- الأسمنت يجب أن يكون عالي الجودة وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة. ولقد وجد أن النسبة المثلى التى تعطى أكبر مقاومة للخرسانة تقع بين ٤٥٠ إلى ٥٠٠كج/م^{٣}
ويعتمد ذلك على خصائص وكميات ونسب باقي المكونات وعما إذا كانت الخلطة تحتوى على مادة غبار السيليكا أم لا.

د- غبار السيليكا Silica fume وهى مادة بوزولانية تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالى زيادة المقاومة وتحسين النفاذية. وعموماً فإن الزيادة فى مقاومة الضغط بتأثير مادة غبار السيليكا قد لا تتجاوز ٢٠%. وتجدر الإشارة أن النسبة المثلى من غبار السيليكا تتراوح من ١٠ إلى ١٥% من وزن الأسمنت.

هـ- الملدنات Superplasticizers وهى أهم مكون للحصول على خرسانة عالية المقاومة حيث بواسطتها نستطيع خفض نسبة ماء الخلط إلى ٠.٢٥ من وزن الأسمنت فقط وبالتالى يمكننا الحصول على أعلى مقاومة. ويجب عمل تحقيق وتأكد من مدى توافق هذه المادة مع الأسمنت المستخدم.

تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة

ظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً فى عدة تطبيقـــــات تقليـدية Classical Applications هدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية فى الحصول على أقل مساحةللمقاطعوأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ. ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة فى ثلاثة أشياء رئيسية هى:

* المباني عالية الارتفاع High Rise Buildings
* الجسور Bridges
* المنشات البحرية Offshore Structures

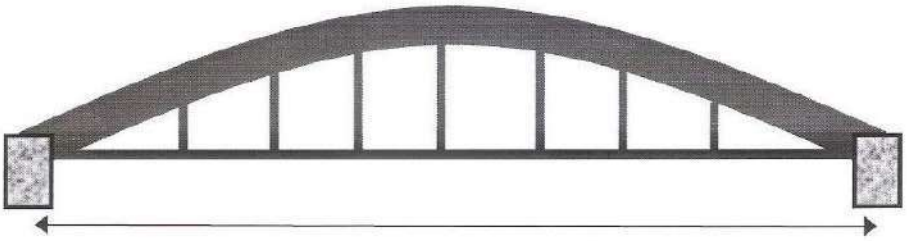
وحديثاً تم استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى تطبيقات أخرى متنوعة (شكل ٣-٦) للاستفادة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من مميزاتها العديدة. وهذه التطبيقات قد تأخذ اسم "تطبيقات غير تقليدية" Non-Classical Applications ومن هذه التطبيقات:

* الحصول على مقاومة مبكرة عالية High Early Strength
* إعادة إحياء العناصر الإنشائية القديمة مثل الأقواس Arch Girder

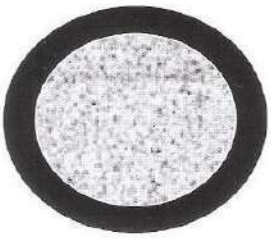
* استخدامها مع مقاطع الحديد لزيادة جساءة المنشأ	Improving Stiffness
* عمل الاوتاد لولبية لتنفيذها بدون إهتزازت أو ضوضاء	Screwing Piles
* محطات الطاقة النووية	Nuclear Power Plants
* الأنابيب الخرسانية تحت الأرض	Underground Concrete Pipes
* الأرصفة الطرق	Pavements

ملحوظة :

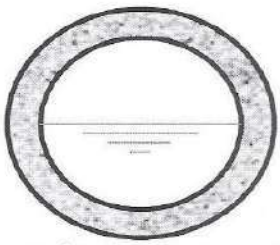
ينبغي أن نفرق بين الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete فالخرسانة عالية الأداء هى الخرسانة التى لها صفات وخصائص معينة تسمح لها بالعمل فى وسط محدد وفى ظروف معينة. والخصائص التى تميز الخرسانة عالية الأداء عن الخرسانات الأخرى قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة الطازجة مثل القابلية للتشغيل أو القوام أو قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى) والخدش أو المقاومة للصقيع أو المقاومة للانكماش. وهذه الخصائص قد تكون منفصلة أو مجتمعة بحيث تعطى خرسانة لها أداء مختلف عن أداء الخرسانة التقليدية المعتادة. والخرسانة عالية الأداء لا يشترط فيها أن تكون عالية المقاومة.



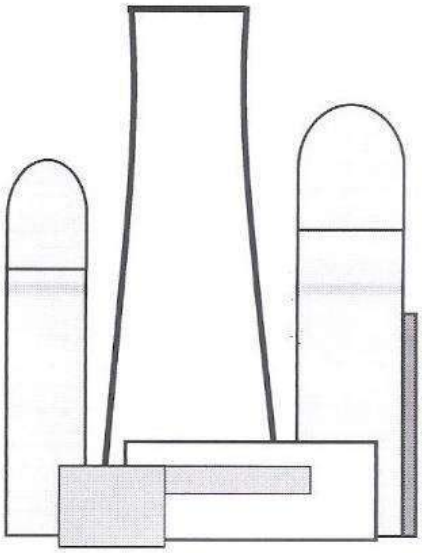
Arch Girder



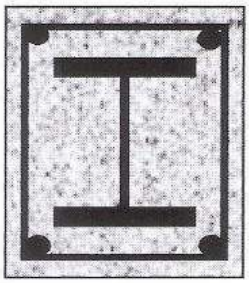
الأنابيب المعدنية المملوءة بالخرسانة



أنابيب المياه تحت الأرض



محطات الطاقة النووية



الأعضاء المركبة

شكل (٣-٦) بعضاً من التطبيقات غير التقليدية للخرسانة عالية المقاومة.

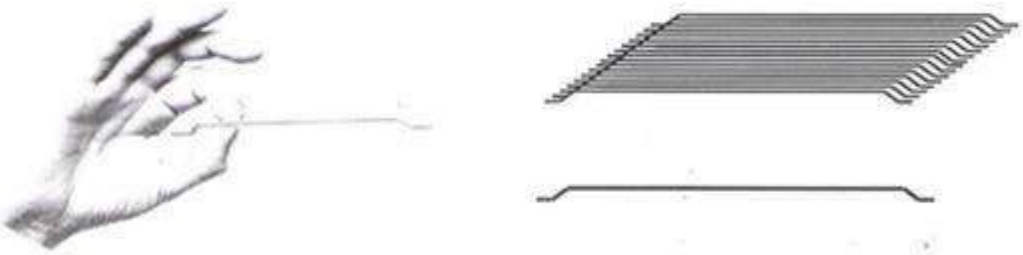
الجدوى من استخدام البيتون عالي المقاومة:

إن الخرسانة عالية المقاومة تحتاج إلى تكلفة أكثر نتيجة استخدام مواد ذات جودة عالية كذلك ثمناً للإضافات المستخدمة وأيضا لضبط الجودة العالية وبالرغم من ذلك فقد ثبت علميا أن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يكون له عائد اقتصادي أو عائد فني كبير مقارنة بالخرسانات التقليدية الأخرى ولقد تم دراسة هذه النقطة في عدة أبحاث تختص بدراسة الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة في الاعمدة والجسور كذلك تحت الظروف والاسعار الموجودة.

1-3-6. البيتون الليفي:

وهوالبيتون المصنوع من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة و موزعة توزيعا عشوائيا فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع:

- ألياف الصلب وهى قطع من الصلب بطول ٣ إلى ٨سم وقطر من ٠.٥ إلى ٠.٨ مم كما بالشكل (٣-١٤).
- والألياف الصناعية مثل ألياف البولى بروبلين والبوليستر والبوليثيلين والأكريلك وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب ولكنها مصنعة من مواد صناعية.

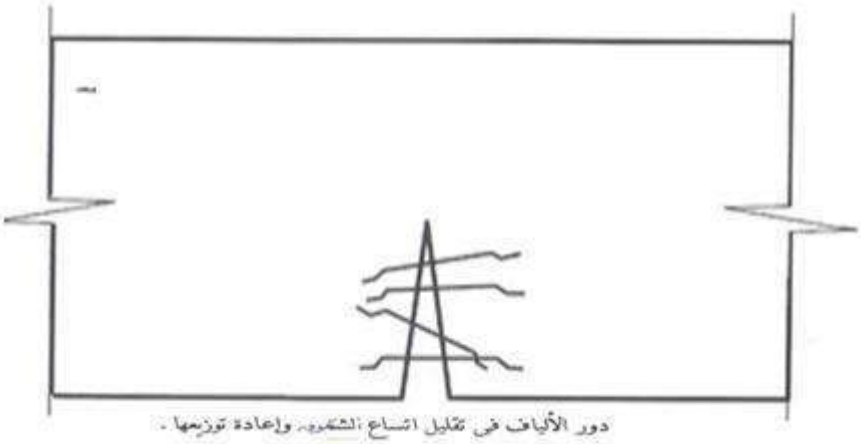


ألياف صلب غير مستقيمة الأطراف.

والألياف لها القدرة على تحسين مقاومة الخرسانة فى القص والشد والانحناء والصدم والانكماش. كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشقوق وإعادة توزيعها كما يتضح ذلك من الرسم الكروكى بشكل (٣-١٥)، ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط.

وبالتالى فهي تحول ميكانيكية الكسر فى الخرسانة من كسر قصف مفاجئ وخطر Dangerous Sudden Failure إلى كسر غير قصف وتدريجي Ductile Failure. شكل (٣-١٧) يوضح مقارنة بين جائزين متشابهتين من الخرسانة المسلحة (بدون أى) أحدهما بدون ألياف والأخرى تحتوى على ألياف. ويتضح التأثير الكبير والفعال للألياف فى مقاومة قوى القص وزيادة معاير المتانة Toughness. وتستخدم الخرسانة الليفية على نطاق واسع فى الطرق والمطارات والمنشآت العسكرية وقواعد الماكينات. كما تستخدم فى الأسقف القشرية ومناطق

الاتصال بين الجائز والعمود فى الإطارات. وتستخدم الألياف أيضاً فى المواسير الخرسانية والوحدات سابقة الصب و فى العناصر الخرسانية المعرضة لقوى القص والصدم. وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد فى الجيزان إلا أن هذه الزيادة غير جديرة بالاعتبار وبالتالى فإنه ليس من الحكمة أن تستخدم الألياف كبديل كلى أو إستعواضى لأسياخ صلب التسليح.



دور الألياف فى تقليل اتساع الشقوق وإعادة توزيعها.

تأثير الألياف الفعال في مقاومة قوى القص وزيادة المتانة.

1-3-7. البيتون ذاتي الخلط

1-3-8. البيتون البوليميري

البوليمر أو الراتنج هو إسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئي المرتفع والجزئ الواحد من هذه الجزيئات يسمى مونومر.

أما الخرسانة الراتنجية فهي خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التي تعمل كمواد لاحمة أومالئة للفراغات بين حبيبات الركام. وتمثل المواد البوليمرية حوالي ٦ إلى ١٥% من وزن الخرسانة ومن أمثلتها مواد أو مركبات البوليستر Polyester و الأيبوكسي Epoxy وقد تصل تكاليف خرسانة البوليمرز حوالي من ٢ - ٣ مرات تكاليف الخرسانة العادية وتمتاز بالآتي:

- مقاومة عالية للعوامل الخارجية مثل مقاومة التآكل ونفاذ الماء والمقاومة للكبريتات.
- مقاومة عالية جداً للإنكماش.
- مقاومة ضغط عالية قد تصل إلى ١٢٠٠ كغ/سم^2
- مقاومة شد تصل إلى ١٠٠ كغ/سم^2

وعموماً يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الخرسانة المحتوية على راتنجات:

١- الخرسانة البلاستيكية	(PC)	Plastic Concrete
٢- الخرسانة البوليمرية الأسمنتية	(PCC)	Polymer Cement Concrete
٣- الخرسانةالأسمنتية المحقونة بالبوليمرات	(PIC)	Polymer Impregnated Concrete

1-3-8-1. البيتون البلاستيكي

وفيها تحل الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطه لجزيئات الركام. أى أنها عبارة عن ركام متماسك مع بعضه بواسطة مادة رابطة من البوليمرات. والخرسانة البلاستيكية لها خواص ميكانيكية عالية وزمن معالجتها قصير ولها إنكماش متناهى فى الصغر ومقاومة عالية للكيماويات وتتوقف الخواص على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة ومن أهم الأنواع المستخدمة:

- الأيبوكسى
- البولى إستر
- الفينول فورمالدهيد
- فورفورال أستيون

وهذه الخرسانة لها مقاومة تزيد بدرجة كبيرة عن الخرسانة الأسمنتية وتتوقف الزيادة على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة

أهم تطبيقات الخرسانة البلاستيكية

١- طبقة حماية سطحية لأسطح الجسور والمصانع وأماكن الخدمات والسلالم والخرسانة المسلحة و سابقة الإجهاد.
٢- ترميم الخرسانات التى حدث بها شروخ نتيجة الحرارة أو الإنكماش أو الأهتزازات.
٣- لصق الخرسانة الحديثة والقديمة أو الوحدات سابقة الصب.
٤- لصق الخرسانة على المعادن كطريقة للتقوية والتسليح الخارجى.

1-3-8-2. البيتون البوليميري الاسمنتي

وهو الذي بخلط الأسمنت والركام ويضاف اليها ماء الخلط المضاف إلية الراتنج. أى أنها خرسانة تقليدية مع إحلال جزء من ماء الخلط بواسطة مواد راتنجية. والراتنج المضاف يكون فى عبوتين: إحداهما تحتوى على المونومر والأخرى تحتوى على المصلد اللازم للتفاعل الكيميائى وإتمام عملية البلمرة (إتحاد الجزيئات) وتتم عملية البلمرة أثناء عملية التصلد للخرسانة. ومن ثم تتكون شبكة مستمرة من البوليمرات تملء أغلب فراغات الخرسانة. ويجب لذلك الحذر بأن لاتعطل عملية البلمرة طور الإماهة للأسمنت. ومن أهم المونومرات الشائعة الإستخدام كإضافة للخرسانة:

١- فينيل اسيتات
٢- الإكريلات
٣- فينيل كلوريد
٤- مستحلبات البيتومين
٥- المطاط
٦- الإيبوكسيات

وتجدر الإشارة إلى أن العلماء الروس قد توصلوا إلى خرسانة أسمنتية بوليمرية ذات خواص عالية وذلك بإدماج فورفريل الكحول "Furfryl Alcohol" وهيدروكلوريد الإيثيلين فى خليط الخرسانة مما نتج عنه خرسانة كثيفة ومعدومة الإنكماش تقريباً وذات مقاومة عالية للصدأ وذات مسامية منخفضه ومقاومة للإهتزازات. وعموما فإن النتائج التى تم الحصول عليها نتيجة إستخدام المونومرات كإضافات للخرسانة العادية أثناء الخلط قد أعطت تأثيرا محدودا على خواصها الميكانيكية وإن كان التأثير أكثر وضوحا على القوام والقابلية للتشغيل.

3-8-3-1. الخرسانة الاسمنتية المحقونة بالبوليميرات:

وهى الخرسانة الأسمنتية المتصلدة والتى سبق صبها ويتم حقنها أو غلغلتها بواسطة مونومرات ذات لزوجة منخفضة ثم تتم البلمرة لهذه المونومرات بعد ذلك وهى داخل الخرسانة وتنقسم إلى ثلاثة أنواع:

أ - الخرسانة المغلغلة كليا :

وتستخدم لمقاومة درجات الحرارة العالية أو عند التعرض إلى المياه المالحة. وفيها يتم بدء تنشيط عملية البلمرة وذلك أما بالإشعاع Radiation أو بالحرارة Thermal method وأهم المونومرات التى تستخدم فى هذه الطريقة هى:

- المثيل ميثا كريلات Methyl methacrylate
- الستيرين Styrene
- الكلوروستيرين Chlorostyrene

وقد أوضحت التجارب أن الخرسانة المغلغلة بالمثيل ميثاكريلات والتى تتم بلمرتها بالإشعاع لها مقاومة ضغط تصل إلى حوالى ٣٠٠ % عند درجة تشبع بالبولميرات مقدارها ٦.٦ %. وأوضحت النتائج أيضا أن هناك زيادة وتحسينات مناظرة لكل من مقاومة الشد ومعاير المرونة ومقاومة التجمد والذوبان ومقاومة البرى والتفاذية ومقاومة الكيماويات.

ب - الخرسانة المغلغلة جزئيا:

وقد تم عمل هذه الخرسانة كأسلوب لتبسيط عملية الغلغلة وتقليل التكاليف وذلك لإستيفاء التطبيقات التى تتطلب المتانة أكثر من القوة وأهم المواد المستخدمة فى هذه الطريقة هى البولى إسترسترين و الميثيل ميثاكريلات وتتأثر خواص الخرسانة الناتجة بدرجة كبيرة بعمق الغلغلة بالبوليمر وبالتالى مقدار التشبع به. وبصفة عامة فإن الخرسانة المغلغلة جزئيا تعطى نتائج عالية جداً وإن كانت أقل نسبيا من الخرسانة المغلغلة كليا.

ج - الخرسانة المغلغلة سطحيا:

وهى شبيهة بالخرسانةالمغلغلة جزئيا وإن كانت المونومرات المستخدمة فى هذه الطريقة لها لزوجة منخفضه وبالتالى فهى أكثر تطاير ولها معدلات بطيئة فى الإختراق داخل الخرسانة وهذه الطريقة من الغلغلة مناسبة لبعض الطرق السريعة.

١- خرسانة محطات تنقيه المياه المالحة (مقاومة الحرارة + المواد الكيماوية)
٢- أرضيات المصانع السابقة الإجهاد
٣- الدعامات الخرسانية لأسقف مناجم الفحم
٤- الأنفاق والمنشآت تحت الماء
٥- قواعد المضخات والمنشآت البحرية والخرسانات الخفيفة
٦- مواسير المجارى والضغط

1-3-9. البيتون المقذوف (بيتون الرش)

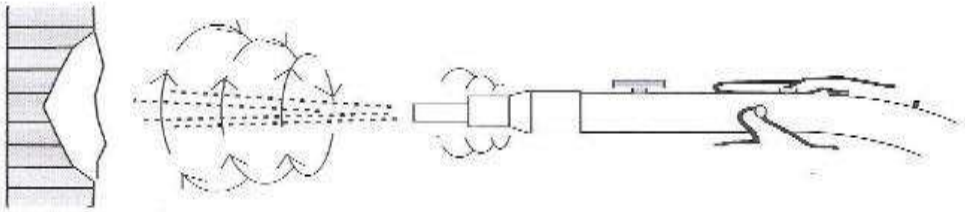
هو بيتون (أو مونة) تقذف بضغط الهواء من فوهة القاذف بسرعة عالية إلى السطح المراد تغطيته بالخرسانة. وتستخدم غالبا فى أعمال الإصلاحات والترميم Repair وتبطين الأنفاق Tunnels وتبطين الترع وفى كثير من الأحوال التى يصعب فيها إستخدام الطرق التقليدية فى الصب فمثلاً عندما يكون مطلوب صب طبقات غير سميكة أو متغيرة السمك أو عندما يصعب الوصول إلى منطقة العمل أو عندما يكون إستخدام**القوالب** صعباً أو مكلفاً. كما تستخدم الخرسانة المقذوفة فى إصلاح الخرسانة المتداعية فى **الاعمدة والجوائز والبلاطات**والمنشآت المواجهة للمياه وكذلك مبانى الطوب المتآكلة. كما تستخدم فى تبطين الأفران بكافة أنواعها.

ويوجد نوعين رئيسيين لطريقة تنفيذ الخلطة ، أسلوب الخلط الجاف وأسلوب الخلط المبتل. ففى الطريقة الجافة يتم خلط الركام و الأسمنت وأى مكونات أخرى على الجاف أولاً وتدفع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف ثم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى السطح المراد صبه. أما فى الطريقة الرطبة فيتم خلط جميع المكونات بما فيها الماء خلطاً جيداً أولاً (ماعدا معجلات الشك إن وجدت) ويدفع الجميع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف إلى السطح المراد قذفه. وفى جميع الأحوال يلزم إعداد السطح المقذوف عليه الخرسانة لضمان جودة ترابطها معه. ويمكن القول أن خواص وسلوك الخرسانة المقذوفة يعتمد كثيراً على صفات المعدات المستخدمة وعلى مهارة القائمين بها كما يعتمد على الظروف التى يتم بها الصب.

و تتميز خلطة الخرسانة المقذوفة بإحتوائها على محتوى أسمنت أعلى لتعويض نسبة الفقد منه عند الإرتداد من السطح. كذلك فإن ركامها يتميز بصغر المقاس حيث يفضل أن لايزيد عن ١٢ مم. كما أنها قد تحتوى على إضافات معينة (ماعدا المؤجلات Retarders) لتحسين بعض الخواص المرغوبة وغالباً فإن الخرسانة المقذوفة تحتوى على المعجلات Accelerators وذلك لتسريع عملية الشك للخرسانة المقذوفة. ويفضل أن تكون فوهة القاذف عمودية على السطح المقذوف ولا تتعدى زاوية ميل القاذف على السطح ٤٥ درجة وذلك لضمان التوزيع المنتظم للخرسانة ولتجنب حدوث تكور و دحرجة للخرسانة على السطح مما يؤدى إلى سطح متعرج غير منتظم. كما يفضل أن تكون المسافة بين فوهة القاذف والسطح فى حدود ٠,٦ إلى ١,٨ متر. شكل (٣-٢٠) ، شكل (٣-٢١) يوضحان إستخدام الخرسانة المقذوفة و التحكم فى القاذف.

ويعيب هذه الخرسانة تعرضها للإنكماش بقيمة كبيرة نتيجة لكثرة كمية الماء بها وكذلك زيادة محتوى الأسمنت مع نقص الركام الكبير. كما يعيب هذه الخرسانة أيضاً إحتمال عدم الإلتصاق والتماسك التام بمادة السطح الذى ترش فوقة وللتغلب على مشكلة الإنكماش يمكن إستخدام الألياف مع هذه الخرسانة والتى أثبتت نجاحاً كبيراً فى الوقت الحال.

شكل (٣-٢٠) صورة توضح إستخدام الخرسانة المقذوفة فى أحد الأنفاق.



حركة دوران خفيفة فى فوهة الدفع لإنتاج خرسانة مقذوفة جيدة

شكل (٣-٢١) كروكى يوضح طريقة قذف الخرسانة والتحكم فى فوهة الدفع.

10-3-1. البيتون الخفيف

من أهم عيوب الخرسانة التقليدية (٢٢٠٠ إلى ٢٥٠٠ كج/م^3) كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد أن الخرسانة التقليدية ثقيلة الوزن نسبياً حيث تكون نسبة الوزن الذاتى لأجزاء المبنى Own weight بالمقارنة مع الأحمال المؤثرة هى نسبة عالية فى جميع الأحوال. ولذلك تم التفكير فى إنتاج وإستخدام خرسانة خفيفة وزنها أقل من ٢٠٠٠ كج/م^3. ولذلك فقد أمكن تصنيع خرسانة إنشائية تزن ١٤٠٠ إلى ١٩٠٠ كغ/م^3 بزيادة بسيطة فى التكاليف وكذلك إنتاج خرسانة نصف انشائية للبلوكات الداخلية تزن ٩٠٠ كغ/م^3 وتستعمل بكفاءة لتقاطع الداخلية. وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هى تلك التى يقل وزنها عن ٢٠٠٠ كغ/م^3. والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالى تقليل تكاليف الأساسات وكذلك لأغراض العزل الحرارى والصوتى.

أنواع الخرسانة الخفيفة

يمكننا تخفيض وزن الخرسانة عن طريق واحد أو أكثر من الطرق الآتية:

١- إيجاد فراغات بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete)

٢- إيجاد فراغات داخل الركام (خرسانة ذات ركام خفيف Lightweight Aggregate Concrete)

٣- إيجاد فراغات داخل العجينة الأسمنتية (الخرسانة المهواة أو الخلوية Cellular Concrete)

1- خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete

تتكون من الأسمنت والركام الكبير فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو باستعمال تدرجات خاصة من الركام. والركام الكبير يمكن أن يكون زلط أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف. وينحصر تدرج الركام بين ١٠ مم ، ٢٠ مم ولا تتعدى نسبة المار من المنخل الصغير عن ٥% وهذا النوع من الخرسانة ذو كثافة تتراوح من ٣/٢ إلى ٤/٣ كثافة الخرسانة التقليدية المصنوعة من نفس الركام. وهذا النوع يحتاج إلى تصميم دقيق وخصوصاً بالنسبة لمحتوى الماء.

2- خرسانة الركام الخفيف Lightweight Aggregate Concrete

خرسانة الركام خفيف الوزن هى أكثر أنواع الخرسانات الخفيفة شيوعاً وإستخداما إذ يمكن إستعمالها كخرسانة إنشائية. والركام المستخدم فى الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو فى أغلب الأحوال ركام صناعى. وصناعة الركام تعتبر أحد أجزاء التصنيع للخرسانة الخفيفة ومن أمثلة الركام الخفيف:

- الطين الممدد (الليكا) - الفيرموكليت - الفوم (بوليسترين)

شكل (٣- ٢٣) يوضح بعض أنواع الركام خفيف الوزن.

الصفات الواجب توافرها فى الركام الخفيف

١- يجب أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب والصفات.
٢- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات وزن نوعى منخفض.
٣- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات مقاومة مناسبة (عامل مؤثر على مقاومة الخرسانة).
٤- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الأسمنت.
٥- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات مقاومة جيدة للعوامل الجوية.
٦- يجب أن تحتوى الحبيبات على أكبر عدد ممكن من الفراغات الداخلية الصغيرة المنفصلة وعلى أقل عدد ممكن من الفراغات الكبيرة المتصلة.

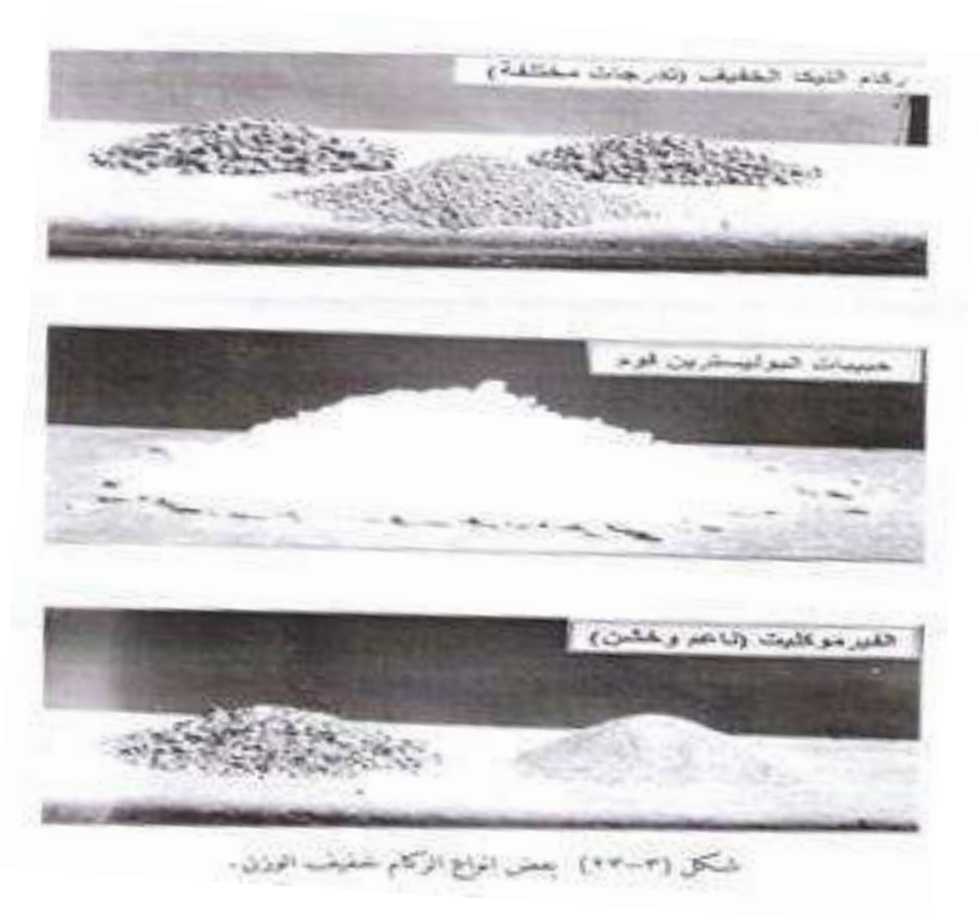
3- الخرسانة المسواة (ذات الخلايا) Cellular Concrete

وفى هذا النوع تتكون فقاعات من الغازات والهواء فى وسط الخرسانة وهى فى الحالة الطازجة ويظل التركيب مسامى بعد أن تشك الخرسانة. والطريقتين الرئيسيتين لإنتاج هذا النوع هما:

أ - انتاج غازات فى الخلطة بتفاعلات كيميائية

ب- إضافة مواد رغوية للخلطة.

ومن المواد الشائعة المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك (٠.٢% من وزن الأسمنت) وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة ذات تركيب خلوى. وتجدر الإشارةإلى أن هناك علاقة طردية بين وزن الخرسانة ومقاومتها للضغط.



شكل (٣-٢٣) بعض انواع الركام خفيف الوزن.

11-3-1. البيتون الثقيل

وهو خاص بالوقاية من الإشعاع الذرى والنووى حيث تتناسب قدرة الخرسانة لإمتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها وبالتالى تكون حوائط وبلاطات الأرضيات والأسقف من الخرسانة الثقيلة. وتصنع الخرسانة الثقيلة من ركام من مواد ثقيلة من خامات الحديد أو خام الرصاص. وتجدر الإشارة أن خام الحديد يعطى خرسانة وزنها من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ كج/م^{٣} ، وقد تستخدم قطع من الحديد كركام وتصل كثافة خرسانتة الى ٥٦٠٠ كج/م^{٣}. ومن الممكن أيضا إستخدام النواتج الثانوية للفرن العالى مثل جلخ المحولات الأكسجينية وخردة سى لإنتاج خرسانة

ذات كثافة حوالى ٢٨٠٠ كج/م٣. ويستخدم فى بعض الأحيان ركام من صخر السربنتين (سليكات الماغنسيوم المماهة) وبصفة عامة فلابد لركام الخرسانة ثقيلة الوزن أن يوفى بمتطلبات الكثافة والتركيب وذلك للوقاية من الإشعاع . ويستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى ولكن يفضل الأسمنت منخفض الحرارة فى حالة الخرسانة الكتلية ثقيلة الوزن كما لا يستخدم الأسمنت سريع التصلد. أيضاً لا تستخدم إضافات المعجلات أو إضافات الهواء المحبوس وإنما يمكن إستخدام الملدنات و الموجلات.

ونظراً لأن الركام المكون من قطع الحديد يميل دائماً إلى الإنفصال عند خلطه أو صبه بالطرق التقليدية فإنه يفضل إستخدام الخرسانة الثقيلة سابقة الرص Prepacked Concrete والتى تعتبر أكثر مناسبة فى هذه الحالة. وتصنع الخرسانة سابقة الرص من دفع وضخ المونة خلال فراغات ركام نظيف ومرصوص و مدموك جيداً و مشبع بالماء. وعندما تضخ المونة خلال القوالب أو الفورم فتزيح ما بها من ماء وهواء وتملأ الفراغات وبذلك تنتج خرسانة ذات كثافة عالية بها نسبة عالية من الركام. ويميز هذه الخرسانة سهولة صبها فى بعض المناطق أو الأحوال التى يصعب فيها صب الخرسانة التقليدية.

- **المواد الداخلة في تركيب البيتون الثقيل**

إن البيتون الثقيل المستعمل في تنفيذ القواعد والأعمدة والجوائز والجسور وغيرها من العناصر الحاملة للمباني الصناعية والسكنية والمنشآت الهندسية يجب ان يكتسب متانة معينة في الوقت المحدد من اتصلب كما يجب أن تتصف الخلطة البيتونية بالطراوة في الصب والاقتصاد في الكلفة. والبيتون المستعمل في الأمكنة المكشوفة للوسط الخارجي يجب أن يتصف بدرجة تراص ومقاومة للصقيع والتآكل عالية. وبحسب مجال الاستعمال وشروط استثمار البيتون في المنشآت يتطلب مواصفات مناسبة للمواد المؤلفة للبيتون.

1. الاسمنت:

يستعمل في تحضير البيتون الثقيل الاسمنت البورتلاندي والاسمنت الملدن وبقية أنواع الاسمنت.

2. الماء:

يستعمل في تحضير الخلطة البيتونية وفي رش البيتون بالماء الذي لا يحوي على الشوائب الضارة والتي تمنع من التصلب الطبيعي للبيتون.

ومن هذه الشوائب الضارة تعتبر الحموض والسولفات والدهون والزيوت النباتية والسكر وغيرها. لايسمح باستعمال مياه المستنقعات والمجاري المياه الملوثة بالشوائب الضارة والتي قرينتها الهيدروجينية (PH) تقل عن 4 والحاوية على الكبريتات بنسبة تزيد عن 0.27% (بحساب So_3).

يمكن استعمال ماء البحر وغيره من المياه الحاوية على أملاح معدنية فيما إذا كانت النسبة الكلية للأملاح فيه لا تزيد عن 2%. وتحدد إمكانية استعمال الماء للبيتون بالتحليل الكيميائي وباختبار عينات من البيتون محضرة بالماء المستخدم وبالماء النقي والمختبرة بعمر 28 يوماً تحفظ خلالها بالشروط الطبيعية. ويعتبر الماء المستخدم ممكن الاستعمال فيما إذا كانت متانة العينات المحضرة بهذا الماء لا تقل عن متانة العينات المحضرة بالماء النقي.

ويستعمل الرمل الطبيعي للبيتون الثقيل ويقسم بحسب التركيب المينوالي إلى الرمل الكوارتزي والسبات الحقلي والكلسي والدولوميتي ومن هذه الرمال يستعمل أكثر من غيره الرمل الكوارتزي.

ويحصل على الرمل المكسر من الصخور الاندفاعية أو الاستحالية الكاربوناتية المتراصة بجد المتانة على الضغط لا يقل عن $(400)Kg/cm^2$.

يجب أن يكون شكل الرمل المطحون قريباً من المكعب. يؤثر على جودة الرمل التركيب الحبي ونسبة الشوائب الموجودة فيه مثل الشوائب الغبارية والغضارية والعضوية. ويجب ألا تزيد نسبة هذه الشوائب عن 0.03% للرمل الطبيعي و 0.05% للرمل المكسر. وأكثر الشوائب ضرراً في الرمل هو الغضار الذي يغلف حبات الرمل ويمنع من التصاق العجينة الاسمنتية على سطوح الحبات.

والشوائب الغضارية والغبارية تزيد من نسبة الماء اللازمة للخليطة البيتونية وتخفض متانة البيتون ويمكن غسل الرمل بالماء للتخلص من الشوائب الغضارية والغبارية.

يمكن أن توجد في الرمل الطبيعي الشوائب العضوية بنسبة كبيرة وهي تتفاعل مع الاسمنت فتخفض من متانة البيتون.

4. المواد الحصوية الخشنة:

يستعمل للبيتون الزلط والبحص الناتج عن الصخور الطبيعية أو من الخبث أو الطوب.

ـ الزلط:

وهو عبارة عن حبات مدورة بقطر $(5 - 70 - 150)mm$ تشكلت نتيجة الانكسار الطبيعي للصخور الطبيعية. وحبات الزلط مدورة وسطوحها ملساء وللبيتون يستحسن استعمال الزلط المدور قليلاً (كالبحص) وأما الزلط المدور كالبيض فهو رديء للبيتون.

- البحص:

يحصل عليه بطحن الصخور الطبيعية أو الزلط أو خبث الأفران العالية والأحجار الصناعية إلى قطع بأبعاد ($5 - 70\ mm$). ويكون الطحن بواسطة مطاحن الأحجار. وينتج البحص وحبات ناعمة (الرمل و الغبار) وشكل البحص الناتج ليس صحيحاً ويفضل الشكل الأقرب إلى المكعب أو المثمن. وبسبب خشونة سطوح حبات البحص فإنها تلتصق مع الحجر الاسمنتي في البيتون بشكل أفضل من سطوح حبات الزلط، إلا أن الخلطة البيتونية باستعمال البحص تكون أقل طراوة.

12-3-1. البيتون الكتلي

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أى خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الإحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من إماهة الأسمنت وما يتبع ذلك من إنكماش وتصدعى للخرسانة. ويستخدم فى الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالى ١٥ سم. ونظرا لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغى أخذ بعض الإحتياطات الضرورية مثل:

- إستخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة Low heat.
- إستخدام محتوى قليل من الأسمنت خلطة فقيرة Lean mix.
- إحلال نسبة من ١٠ إلى ٢٠% من الأسمنت بمادة بوزولانية مثل غبار السلسكا أو الرماد المتطاير.
- إستخدام الثلج المجروش بدلاً من جزء من ماء الخلط و تسمى هذه العملية بالتبريد السابق.
- وجود مواسير رفيعة من الصلب رقيق الجدران داخل الكتلة الخرسانية تمرخلالها دورات من الماء البارد لخفض الحرارة و تسمى هذه العملية بالتبريد اللاحق.
- الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد أقصى واحد متر.
- العزل السطحى للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة (وليس خفض الحرارة) بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها.

الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجية GRC

في إطار تطوير صناعة الخرسانة تم إنتاج خرسانة مسلحة بالالياف الزجاجيةGRC في القرن العشرين لتكون البديل عن مواد الإكساء الكلاسيكية والطبيعية كالحجر والرخام وغيره وليساهم بشكل عام في الإنشاء العصري اقتصادياً وتقنياً وجمالياً في جميع أنحاء العالم منذ أكثر من ٣٠ عاما وهو في تطور دائم .والـ GRC هي عبارة عن مجموعة متكاملة من المركبات المعتمدة على الأسمنت عالي الأداء المسلح بالالياف الزجاجية ذات القدرة الخاصة لمقاومة القلويات مما يجعله قابلا للتطويع ليناسب مجالا واسعا من التطبيقات .

مميزات الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجيةGRC :

- إنها إحدى مواد البناء الأكثر طواعية المتوفرة للمهندسين والمعماريين.
- كما أنها عملية لإعادة الإنتاج والترميم وذات جمالية عالية و صديقة للبيئة.
- تخفف الحمولات على الأبنية بعوامل أمان كبيرة للهياكل الضخمة والأساسات.
- يمكن تلوينها بالصبغات و الدهانات كما تعالج سطوح الطينة الإسمنتية.
- الإكساء بواسطتها يمكن أن يحل محل البيتون المسبق الصنع غير الإنشائي عندما تكون هناك مشكلة في الوزن و الشكل .
- يمكن تشكيل منتجات GRC بمقاطع رقيقة بسماكة١٢.٦مم ليكون وزنها أقل بكثير من وزن منتجات البيتون المسبق الصنع التقليدية المماثلة بالحجم .
- إن الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجي سهلة التصنيع والقولبة لإنتاج الأشكال والتفاصيل الدقيقة ويعطي الملمس المطلوب للسطوح النهائية بأفضل نوعية .
- تتسم الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجية GRC بمقاومتها للتآكل وللظروف الجوية الخارجية من حرارة ورطوبة وبخاصة للأجواء البحرية.
- عازلة للحرارة والصوت وتتسم بمقاومة عالية للحريق وتسرب الماء.
- صلبة ومقاومة للكسر والضغط.

1-4. صفات الخلطة البيتونية:

يجب أن تكون متانة البيتون بعمر معين مساوية للمتانة المطلوبة وأن تكون خواصه الأخرى موافقة لمجال استعمال العنصر المحضر (كالمقاومة ضد الماء والصقيع والكثافة) وعدا عن ذلك تتطلب درجة معينة لطراوة الخلطة البيتونية الموافقة للطرق المستعملة في صبها.

1-4-1. متانة البيتون:

يتعرض البيتون في عناصر البناء والمنشآت لشروط العمل مختلفة من الضغط والشد والانعطاف والقص، ويعتبر ماركة البيتون حد المتانة على الضغط لمكعبات بضلع $20\ cm$ أو أسطوانات بقطر $15\ cm$ وارتفاع $30\ cm$ في شروط الحرارة والرطوبة النظامية.

لا يسمح أن تكون ماركة البيتون أقل من الماركة المطلوبة بينما يسمح أن تكون أكبر ولكن ليس بأثر من 15%.

تتعلق متانة البيتون بفعالية الاسمنت والنسبة المائية وبجودة المادة الحصوية ودرجة رص الخلطة البيتونية وشروط تصلبها.

1-4-2. طراوة الخلطة البيتونية:

يمكن الحصول على بيتون ذو متانة عالية وديمومة كبيرة فقط بالرص الجيد للخلطة البيتونية عند صبها في القوالب (مع استعمال المواد ذات الجودة العالية) وتتحدد إمكانية رص الخلطة البيتونية بقرينتين اثنتين وهما الطراوة واللدونة.

واللدونة عبارة عن الترابط الداخلي للخليطة البيتونية وإمكانيتها التشوه وأخذ شكل القالب دون انقطاعات أو انفصال إلى طبقات وتقاس الطراوة بإمكانية الخلطة البيتونية من التشوه تحت تأثير الوزن الذاتي أو الهزازة.

تؤثر على طراوة البيتون عدة عوامل مثل نوع الاسمنت ومصروف الماء ومصروف العجينة الاسمنتية وكبر حبات المادة الحصوية وشكل هذه الحبات ومصروف الرمل.

بتغيير نوع الاسمنت مع الإبقاء على بقية العوامل ثابتة تتغير طراوة الخلطة البيتونية وهذا يعود إلى أن متطلب الاسمنت للماء يتعلق بنوع الاسمنت. فكلما كان متطلب الاسمنت للماء أعلى كلما كانت الطراوة أقل أو القساوة أعلى.

وبزيادة الماء مع الاحتفاظ بمصروف ثابت من الاسمنت فإن الطراوة تزداد ولكن المتانة تنخفض. وبزيادة كمية العجينة الاسمنتية فإن الطراوة تزداد والمتانة تبقى على ماهي عليها.

باستعمال مادة حصوية ذات حبات أكبر فإن السطح النوعي للمادة الحصوية ينقص وبالتالي فإن القشرة العجينة الاسمنتية تكون أسمك ولذا ترتفع الطراوة. وإن زيادة مصروف الرمل عن النسبة المثلى تزيد من السطح النوعي للمادة الحصوية وبالتالي تنخفض من طراوة الخليطة البيتونية.

عندما تكون حبات المادة الحصوية كروية الشكل وملسا فإن السطح النوعي لها يكون أقل من تلك الحبات الخشنة السطوح والمسننة وكذلك فإن الاحتكاك يكون قليل.

1-5. المنتجات البيتونية المسلحة

1-5-1. معلومات عامة عن منتجات البيتون المسلح

البيتون المسلح عبارة عن مادة بناء تجمع بين عمل البيتون والفولاذ.

إن مبدأ الجمع بين مادتين تختلفان اختلافاً بينا في صفاتها الميكانيكية يرجع إلى أن البيتون كمادة حجرية تقاوم بشكل جيد القوى الضاغطة بينما لا تقاوم القوى الشادة إلا قليلاً، إذ أن مقاومة الشد للبيتون أقل تقريباً بـ $(10 - 15)$ مرة من مقاومته للضغط.

ولهذا فإنه ليس ممكناً استعمال البيتون في تحضير العناصر الحاملة على الشد. والفولاذ الذي يقاوم بشكل جيد القوى الضاغطة والقوى الشادة يستطيع أن يأخذ على نفسه القوى الشادة الناتجة في العناصر البيتونية المسلحة.

وإن إمكانية عمل مادتين مختلفتين بصفاتهما كمادة بناء واحدة البيتون المسلح تتحدد بالعوامل التالية:

1- الالتصاق الجيد بين الفولاذ والبيتون وبفضل ذلك تعمل المادتان سوية عند نشوء الاجهادات في البيتون المسلح.
2- إن معامل التمدد الحراري للبيتون تقريباً يساوي معامل التمدد الحراري للفولاذ.
3- إن البيتون يحافظ على الفولاذ من الصدأ.

وبحسب طريقة التسليح وحالة قضبان التسليح تقسم المنتجات البيتونية المسلحة إلى منتجات بيتونية مسلحة بتسليح عادي ومنتجات بيتونية مسلحة بقضبان تسليح مسبقة الإجهاد.

والبيتون المسلح هو الذي ترفع مقاومته بتسليحه بضبان وشبكات فولاذية. إلا أن هذه الطريقة في التسليح لا تحمي المنتجات العاملة على الانعطاف من التشققات التي تنشأ في منطقة الشد وذلك لأن تمدد البيتون صغير $(1 - 2)\text{mm}$ لكل 1 m بينما تمدد الفولاذ أكبر بـ $6 - 5$ مرات. ويوفر ظهور التشققات بشكل سلبي على العناصر البيتونية المسلحة فيزداد سهم الانعطاف كما أن الرطوبة والغازات تصل إلى قضبان التسليح عبر التشققات مما يسبب تآكل الفولاذ.

ويمكن الحيلولة دون ظهور التشققات في المنشآت البيتونية المسلحة بضغط البيتون مسبقاً في المناطق المعرضة إلى قوى الشد. ولا تظهر التشققات في هذه المناطق إلا عندما تزيد قوى الشد عن قوى الضغط المسبق. ويمكن ضغط البيتون بالشد المسبق للفولاذ.

ويوجد نوعان من البيتون المسلح المسبق الإجهاد، في النوع الأول يشد الفولاذ قبل تصلب البيتون. ولهذا فإن قضبان التسليح تشد وتوثق في هذه الحالة المشدودة مع القالب. بعد ملء القالب بالخلطة البيتونية وتصلب البيتون تحرر القضبان من الشد فتتقلص وتضغط على البيتون.

وفي النوع الثاني يشد الفولاذ بعد تصلب البيتون وبلوغه مقاومة معينة.

ولهذا فإن يترك قناة خاصة في البيتون تمد فيها قضبان التسليح وبعد تصلب البيتون تشد القضبان وتثبت على أطراف العنصر بوسائل خاصة. ثم تملأ القناة بمونة اسمنتية، وبعد تصلبها تلتصق مع الفولاذ والبيتون.

وإن استعمال الإجهاد المسبق يمنع ظهور التشققات ويسمح بتخفيض وزن المنشآت البيتونية المسلحة وبزيادة صلابتها وديمومتها وبتخفيض مصروف الفولاذ.

1-5-2. تصنيف منتجات البيتون المسلح

تصنف المنتجات البيتونية المسلحة بحسب القرائن التالية:

(نوع التسليح، الوزن الحجمي ونوع البيتون، البيئة الداخلية ومجال الاستعمال).

بحسب نوع التسليح تقسم المنتجات البيتونية المسلحة إلى بيتون مسلح وإلى بيتون مسبق الإجهاد.

1-2-5-1. بحسب الوزن الحجمي للبيتون المستعمل في المنتجات:

1) منتجات البيتون الثقيل جداً بوزن حجمي أكبر من $2500\ Kg/m^3$.
2) من البيتون الثقيل بوزن حجمي بين $(1800 - 2500)\mathrm{Kg/m^3}$.
3) من البيتون الخفيف بوزن حجمي بين $(1500 - 1800)\mathrm{Kg/m^3}$.
4) منتجات البيتون الخفيف جداً (العازل للحرارة) بوزن حجمي أقل من $2500\ \mathrm{Kg}/m^3$.

2-2-5-1. بحسب نوع البيتون:

1) البيتون الاسمنتي بأنواعه: البيتون الاسمنتي الثقيل والثقيل جداً والخفيف.
2) البيتون السليكاتي الثقيل أو الخفيف.
3) البيتون المسامي من الاسمنت أو الكلس أو المادة الرابطة المختلفة.
4) البيتون الخاص مثل البيتون المقاوم للحموض أو الحرارة أو البيتون التزييني.

3-2-5-1. بحسب البنية الداخلية للبيتون:

يمكن أن تكون المنتجات مستمرة (بدون انقطاعات أو فراغات) ومنتجات مفرغة. أو منتجات بطبقة واحدة (مجهزة من نوع واحد من البيتون) أو منتجات بطبقتين أو ثلاثة (مجهزة من أنواع مختلفة من البيتون أو باستعمال أنواع مختلفة من المواد مثلاً العازلة للحرارة).

4-2-5-1. بحسب مجال الاستعمال:

تقسم المنتجات البيتونية المسلحة إلى أربعة مجموعات رئيسية (للأبنية السكنية، للأبنية العامة، للأبنية الصناعية، وللمنشآت العامة).

يجب أن تطابق المنتجات البيتونية المسلحة المواصفات الحكومية النافذة وأن تطابق متطلبات المخططات التنفيذية والشروط التكتيكية.

3-5-1. أنواع المنتجات البيتونية المسلحة: المنتجات البيتونية السكنية والمدنية:

1-3-5-1. القواعد والأجزاء تحت الأرض والأبنية

للقواعد تستعمل البلاطات وبلوكات للجدران تحت الأرض تستعمل البلوكات كما تستعمل الأوتاد المغروزة داخل الأرض. وتجهز من البيتون الاسمنتي الثقيل بماركة لا تقل عن 150.

الخرسانة والخرسانة المسلحة في المباني والمنشآت الهندسية:

2-3-5-1. منتجات لعناصر المباني:

كالأعمدة للمباني من طابق واحد وللمباني من عدة طوابق. وجوائز السقوف المجهزة من البيتون الثقيل بماركة لا تقل عن 200 والجوائز الشبكية وأعمدة ثنائية وجوائز تحت سكة الورافع من البيتون بماركة لا تقل عن 300.

الجدران والبلوكات الجاهزة:

والجدران إما أن تكون خارجية أو داخلية وتنفذ من البيتون الثقيل والخفيف للخارجية والبيتون الخفيف للداخلية. وماركة البيتون يجب ألا تقل عن 200 للخارجية و 150 للداخلية. وإن سماكة هذه الجداران الجاهزة يمكن أن تتراوح بين cm (40 – 15) بحسب نوع البيتون أو والشروط المناخية ومساحة هذه الجدران الجاهزة وتبلغ $mm^2(12)$ وعادة تكون بفتحات للنوافذ أو لأبواب البلكون. إن وزن هذه الجدران يبلغ حتى 5 ton.

1-5-3-3. عناصر السقوف والأسطح:

إما أن تكون من قطع صغيرة تستند على جوائز أو أن تكون بشكل بلاطة تغطي غرفة كاملة أو جزء بين الجدران الحاملة. عادة تكون مفرغة لإنقاص وزنها ومصروف البيتون.

1-5-3-4. عناصر الدرج:

وتتألف من ميدات ودرجات لنصف طابق أو قطع مؤلفة من ميدتين ودرجات لنصف الطابق.

1-5-3-5. عناصر حجمية:

عادة تتألف من غرفة واحدة أو من غرفتين كما يمكن أن تتألف من التواليت والحمام والمطبخ.

كما توجد منتجات للمباني الصناعية وللطرق والإنشاءات المائية.

1-6. الخرسانة والخرسانة المسلحة في المباني والمنشآت الهندسية

الخرسانة اوحدها مادة احادية المقاومة ولكنها تصبح مادة ثنائية المقاومة عند استخدام حديد التسليح معها إن جميع الجمل الإنشائية (عدى المعلقة) تكون مناسبة لاستخدام البيتون المسلح ولكن يفضل الابتعاد قدر الامكان عن العناصر المعرضة للشد فقط إذ سيحمل التسليح كل شيء وتكون مهمة الخرسانة هي تغطية التسليح فقط.

تم تنفيذ مباني من البيتون المسلح وصلت بالارتفاع حتى ثمانين طابقا ولكن لا يفضل في بلدنا الوصول لارتفاع يزيد عن ثلث هذا الارتفاع وقد أشار الكود العربي السوري إلى أن ارتفاع الأبنية حتى 48 متر.

1-6-1. المجازات المناسبة لاستخدام البيتون المسلح في المنشآت الهندسية:

جملة المنشأ	المجازات المستخدمة	العنصر الإنشائي	
المنشآت الخطية	10 -15 30 – 40 15 – 25 25 – 50	- جائز بيتون مسلح. - جائز بيتون مسبق الصنع مسبق الإجهاد. - الإطارات. - الأقواس.	

الرقم	التسمية	المقاومة كغ/سم2	المواصفات	الاستخدام
1	البيتون العادي	250 – 150	لا يعمل على الشد	أرضيات – حواجز – طبقة نظافة
2	البيتون المسلح	400 – 250	حديد التسليح المقاوم الشد	-----
3	مسبق الإجهاد	600 – 350	اكساب البيتون قوى ضغط	في الجسور والخزانات والعناصر الرشيقة
4	البيتون مسبق الصنع	500 – 350	تجهز في المصانع بقوالب خاصة	في العناصر الإنشائية جائز، بلاطة، عمود
5	البيتون عالي المقاومة	1400 – 600	يستخدم لتحليل الماء	في العناصر الخاصة في الأبراج الخرسانية والجسور
6	البيتون عالي الأداء	متغيرة	العمل في ظروف معينة – قابلية التشكيل – عالية المقاومة للحث، الخدش، الصقيع	في الأدراج والبلاط
7	البيتون المقوى بالألياف		تزداد مقاومة البيتون للتشقق	في الصبغة في الأرضيات
8	البيتون المقذوف	اسمنت ورمل بنسبة 4/1	------	ترميم وتبطين المنحدرات والأنفاق

المنشآت السطحية المستوية	3 – 5 6*6 5 – 8 من 6*6 الى 10*10 من 8*8 الى 15*15	- بلاطة باتجاه واحد. - بلاطة باتجاهين. - بلاطة هوردي باتجاه واحد. -بلاطة هوردي باتجاهين. -بلاطة معصبه بالاتجاهين.	
البلاطات القشرية ولمنثنيه	12 -40 15 – 50 2 – 60 من 15*15الى 50*50 من قطر 12 وحتى قطر 40 م	-بلاطات مثنية جائزيه قشريات أسطوانات جائزيه. -بلاطات مثنية إطارية قشريات اسطوانية إطارية. -بلاطات مثنية قوسية قشريات اسطوانية قوسية. قشريات انتقالية (مجسم مكافئ – زائدي أو ناقص) قشريات دورانية.	البلاطات المثنية تناسب المجازات أقل من القشريات الأسطوانية المشتركة معها في التسمية (جائزيه – اطارية- قوسية)

1-6-2. أنواع البيتون: مقاومتها ومواصفاتها واستخداماتها:

الفصل الثاني
صناعة البيتون
Manufacture of Concrete

2-1. مراحل صناعة البيتون
2-1-1. مرحلة ما قبل الصب
2-1-1-1. اختيار المكونات
2-1-1-2. التخزين
2-1-1-3. إعداد القوالب وبيتون النظافة
2-1-1-4. تحضير الكميات
2-1-2. مرحلة الصب
2-1-2-1. خلط الخرسانة
2-1-2-2. النقل والمناولة
2-1-2-3. الدمك $Compaction$
2-1-2-4. الإنهاء $Finishing$
2-1-2-5. الشروط الواجب مراعاتها أثناء عملية الصب
2-1-3. مرحلة ما بعد الصب (إصلاح العيوب بعد الصب)
2-1-3-1. معالجة الخرسانة $Curing$
2-1-3-2. إزالة القوالب
2-1-3-3. الترميم والبياض
2-2. كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة $Expressing\ Proportions$

1-2. مراحل صناعة البيتون

يمكن تقسيم المراحل التي تمر بها صناعة البيتون إلى ثلاثة مراحل رئيسية:

مرحلة ما قبل الصب (الإعداد) $Preparation$

أ. اختيار المكونات وتصميم الخلطات **ب.** تخزين المواد

ج. إعداد القوالب **د.** تحضير الكميات

1. مرحلة الصب $Fresh\ Concrete$

أ. الخلط **ب.** النقل **ج.** الصب

د. الدمك **ه.** التشطيب

2. مرحلة ما بعد الصب $Green\ Concrete$

أ. المعالجة **ب.** إزالة القوالب **ج.** الترميم والبياض

1-1-2. مرحلة ما قبل الصب

1-1-1-2. اختيار المكونات

- يتم تحديد وإختيار النوع المناسب من كل مادة فمثلاً نوع الأسمنت المناسب للعملية (بورتلاندى عادى أو مقاوم للكبريتات أو منخفض الحرارة أو .....)، وكذلك نوع الرمل المناسب (ناعم أو خشن....الخ)، وليس المقصود بكلمة المناسب هنا الناحية الفنية فقط وإنما جميع النواحى الأخرى مثل الناحية الإقتصادية مثلاً.
- المقاس المناسب للركام الكبير طبقاً لنوعية ومقاس مقاطع البيتون التي ستُصب (قواعد أو أعمدة).
- إمكانية استخدام بعض الإضافات أم لا، وفي أي مرحلة من الصب.
- عمل تصميم للخلطة المطلوبة وتحديد الكميات اللازمة من كل مادة بالوزن والحجم.

2-1-1-2. التخزين

- يراعى التأكد من توافر كل المواد اللازمة للصبة البيتونية قبل البدء بالصب.
- يتم تخزين المواد في الأماكن المناسبة وبالترتيب المناسب والذي يسهل نقلها إلى مكان الصب.
- يكون التخزين لكل مادة بالطريقة المنصوص عليها في المواصفات فمثلاً:

1. الإسمنت: يخزن على أرضيات خشبية مهواة بحيث تتم حمايته من رطوبة الجو والأرض والمطر، ويجب أن لا يستخدم في أعمال البيتون المسلح أي اسمنت يحتوي على حبيبات متصلدة أو كتل أو مضى على تخزينه أكثر من ثلاثة شهور. وطبقاً للكود السوري فإنه يمكن استخدام الإسمنت لغاية ستة أشهر بعد التأكد من سلامته.
2. الرمل: يكون على أرضيات صلبة نظيفة وبعيداً عن المطر أو أي مواد ملدنة.
3. الزلط: يغسل لإزالة الشوائب منه ويخزن على أرضيات بيتونية أو خشبية.
4. الماء: يجب عدم الاعتماد على ماء الصنبور خشية حدوث أي عطل وإنما ينبغي تخزين الماء مسبقاً في موقع الصب في أوعية لا تصدأ.
5. الإضافات: تحفظ في مكان آمن في درجة حرارة الغرفة وبعيداً عن الرطوبة وأشعة الشمس المباشرة وتراعى جميع التعليمات الخاصة بكل مادة على حدة.

3-1-1-2. إعداد القوالب وبيتون النظافة

- يتم اختيار نوع الشدات المناسب للعملية (شدات عادية- شدات منزلقة- شدات صلب).
- تكون الشدات قوية لتتحمل وزن البيتون والأحمال الحية أثناء الصب.
- يجب أن ترتكز قوائم الشدات على قواعد ثابتة.
- يجب أن تكون القوالب محكمة لمنع تسرب المونة من البيتون.
- يجب تربيط الركائز بحيث لا تؤثر عليها الصدمات الأفقية الناتجة عن حركة العمال أو المعدات الصغيرة وكذلك ضغط الرياح والارتجاجات الناتجة عن المعدات المستخدمة في العمل.

- فرش أسطح القوالب الخشبية بالماء قبل الصب مباشرة لمنع امتصاص الأخشاب لماء الخلط.
- يجب إعداد مسارات للعمل بحيث لا تؤثر حركتها على أبعاد وأشكال حديد التسليح.
- يفضل وضع سماكات تفصل بين سطح القوالب والقضبان.
- يجب أن تنظف القوالب من الداخل بعناية قبل رص قضبان التسليح وقبل صب البيتون مباشرةً وذلك بإزالة الأتربة والفضلات ويمكن أن يتم ذلك باستخدام الماء أو الهواء المضغوط.

2-1-1-4. تحضير الكميات

الإسمنت: يفضل أن تحتوى عبوة البيتون على عدد صحيح من شكاير الأسمنت ولايسمح بمعايرة الإسمنت بالحجم وفى حالة إستعمال الإسمنت السائب يجب قياس الأسمنت بالوزن.
الركام (الحصويات): يقاس بالحجم بصناديق قياس ويجب ملء الصناديق بدون دمك. ويراعى الزيادة فى حجم الرمل نتيجة الرطوبة أو البلل وفى الأعمال الإنشائية الهامة يفضل قياس الركام بالوزن.
الماء: يقاس باللتر أو بالكيلوغرام، ويجب أن يؤخذ فى الإعتبار كمية الماء المحتمل وجودها فى الركام.
الإضافات: تحدد فى أغلب الأحيان بالوزن كنسبة من الأسمنت.

2-1-2. مرحلة الصب

2-1-2-1. خلط الخرسانة

عملية الخلط عبارة عن دوران و تحريك مواد الخرسانة (الركام، والإسمنت، والماء) و الهدف منها تغطية كل حبيبات الركام بعجينة الإسمنت و الحصول على خليط متجانس و يجب المحافظة على هذا التجانس أثناء تفريغ الخرسانة من الخلاط.

ويجب تنظيف مواد الخرسانة (الرمل، والركام الكبير) قبل خلطها من المواد الضارة مثل المواد الناعمة و المواد العضوية و الأملاح لأن ذلك قد يسبب تشقق الخرسانة بسبب أملاح الكبريتات ومن ثم تآكل الحديد بسبب أملاح الكلوريدات.

بعد ذلك تصب المواد الجافة (الرمل، والركام الكبير، والإسمنت) بعد وزنها في الخلاطة و تخلط عدة مرات ثم يضاف الماء بنسب معينة و يجب الأخذ بعين الاعتبار الماء الموجود على سطح الركام (خاصة في فصل الشتاء) أو إن كان الركام جافا جدا (الأجواء الحارة).

تحدد نسبة الماء إلى الإسمنت (water/cement ratio) حسب نوع الخرسانة المطلوبة (جدول رقم ١- ١).

جدول رقم العلاقة بين معدل مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم و نسبة الماء إلى الإسمنت طبقا للمواصفات الأمريكية.

معدل مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c ratio)
٣٠	٠,٧٠
٢٥	٠,٦٢
٢٠	٠,٥٥
١٥	٠,٤٨
١٠	٠,٤٢
٥	٠,٢٨

يلزم خلط البيتون ميكانيكياً إما في الموقع أو في عربة خلط أو من خلال محطة خلط مركزية كما هو موضح بالشكل (2 – 1). أما في الشكل (2 – 2) يتم توضيح عربة سعة $10\ m^3$ لخلط ونقل البيتون. بينما تظهر

في الشكل (2 – 3) صورة لخلاطة موقع سعة $0.75\ m^3$. وإذا دعت الضرورة القصوى لخلط البيتون يدوياً فيتم ذلك بعد موافقة المهندس الاستشاري للمشروع، وفي هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليباً جيداً بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية صماء بواسطة الجاروف ذي الشداد ويلزم خلط الإسمنت مع الركام قبل وضع الماء ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجياً بالقدر المطلوب للخلطة ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لوناً وقواماً.

خلط في الموقع		خلط أثناء النقل	خلط في محطة مركزية بعيد عن الموقع
يدوي	ميكانيكي	ميكانيكي (عربة الخلط)	ميكانيكي

يلزم خلط البيتون ميكانيكياً إما في الموقع أو في عربة خلط أو من خلال محطة خلط مركزية كما هو موضح بالشكل (2 – 1). أما في الشكل (2 – 2) يتم توضيح عربة سعة $10\ m^3$ لخلط ونقل البيتون. بينما تظهر في الشكل (2 – 3) صورة لخلاطة موقع سعة $0.75\ m^3$. وإذا دعت الضرورة القصوى لخلط البيتون يدوياً فيتم ذلك بعد موافقة المهندس الاستشاري للمشروع، وفي هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليباً جيداً بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية صماء بواسطة الجاروف ذي الشداد ويلزم خلط الإسمنت مع الركام قبل وضع الماء ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجياً بالقدر المطلوب للخلطة ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لوناً وقواماً.

خلط في الموقع		خلط أثناء النقل	خلط في محطة مركزية بعيد عن الموقع
يدوي	ميكانيكي	ميكانيكي (عربة الخلط)	ميكانيكي

توجد ثلاثة أنواع من الخلاطات الخرسانية:

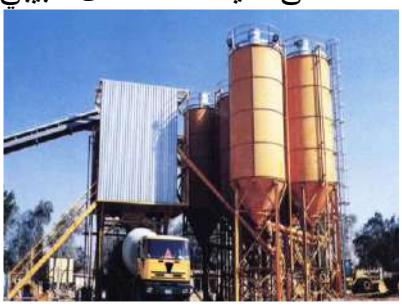
- خلاطات العبوة الواحدة: هذا النوع هو الأكثر استعمالا حيث تعبأ الخلاطة بمواد الخرسانة و تخلط ويتم التفريغ قبل البدء في الخلطة الثانية.
- الخلاطات المستمرة: يستعمل هذا النوع لإنتاج الخرسانة باستمرار (دون توقف) و هذه الطريقة يصعب الحصول فيها على خرسانة متجانسة.
- الخلط في العربة: يتم خلط المواد الناشفة في الخلاطات المركزية و بعد ذلك يضاف الماء و يخلط المزيج في العربة أثناء النقل أو مباشرة قبل صب الخرسانة.

تصل سعة الخلاطات إلى ١٣ متراً مكعباً أما سعة الخلاطات الموجودة في المعمل (شكل رقم ١- ١) هي ٠,٠٠٤ متر مكعب. يجب الإشارة أن حجم الخرسانة قبل الخلط (الإسمنت + الركام + الماء) يختلف عن

حجم الخرسانة بعد الخلط و الدمك. و يزيد الحجم في حالتها الأولى عن حجم الخرسانة المكثفة بحوالي ٥٠ %.

شكل رقم ١- ١: يبين إحدى الخلاطات المعملية.

زمن الخلط: يجب أن لا يقل زمن الخلط عن دقيقتين بعد وضع الإسمنت والركام، أو لا يقل عن دقيقة واحدة بعد إضافة الماء. وذلك حتى يصبح الخليط متجانس في اللون والقوام مع مراعاة عدم زيادة سرعة الخلاط عن السرعة المحددة له حتى لا يحدث انفصال حبيبي كذلك لا يجب زيادة زمن الخلط عن 5 دقائق لنفس السبب.



الشكل (2 – 1)- محطة خلط مركزية لإنتاج البيتون

الشكل (2 – 2)- عربة خلط بيتون سعة $10\ m^3$

الشكل (2 – 3)- خلاطة موقع سعة $0.75\ m^3$

الشكل (2 – 4)- مضخة بيتون $42\ m$

الشكل (2 – 5) - استخدام عربات خلط ونقل البيتون والمضخة في صب أحد مراكز عقدة 6 أكتوبر

العوامل التي تؤثر على زمن الخلط هي:

- نوع الخلطة
- سرعة دوران الخلاطة
- حجم الخرسانة داخل الخلاطة.
- طبيعة مواد الخرسانة.

يكون زمن الخلط في الخلاط في حدود دقيقة واحدة للمتر المكعب الواحد للخرسانة و تضاف ربع دقيقة لكل متر مكعب للخرسانة المضافة. وجدول رقم ١- ٢ يعطي قيم زمن الخلط لعدة أحجام مختلفة للخرسانة. وفي حال زيادة أو نقص زمن الخلط تنتج خرسانة غير متجانسة و مقاومتها ضعيفة.

جدول ١: توصيات زمن الخلط طبقا للمواصفات الأمريكية

حجم الخلاط (م³)	زمن الخلط (دقيقة)
٠.٨	١
١.٥	١.٢٥
٢.٣	١.٥
٣.١	١.٧٥
٣.٨	٢
٤.٦	٢.٢٥
٧.٦	٣.٢٥

2-2-1-2. النقل والمناولة

يلزم صب البيتون بعد تمام خلطها مباشرةً مع مراعاة تجنب انفصال مكوناتها على أن لا تزيد المدة ما بين إضافة ماء الخلط وصب البيتون على 30 دقيقة في الجو العادي و 20 دقيقة في الجو الحار وأن يتم دمكها قبل مضي 40 دقيقة في الجو العادي و 30 دقيقة في الجو الحار، أما إذا استلزم الأمر زيادة الفترات السابقة فإنه يلزم إضافة مؤجلات للشك عند الخلط بعد موافقة المهندس الاستشاري للمشروع وذلك حتى لا يجف البيتون أو يحدث له شك ابتدائي وخاصة في الأماكن الحارة وحتى لا يحدث وصلات أو فواصل في البيتون المصبوب.

يجب عدم حدوث أي اهتزازات للبيتون أثناء النقل.

ويكون النقل على حسب درجة المشروع وحجمه كما يلي:

نقل البيتون على سطح الأرض باستخدام القواديس- عربات اليد- العربة القلابة.

نقل البيتون على مستويات عالية وذلك برفع القواديس باستخدام الونش.

نقل البيتون على مستويات تحت الأرض وذلك بالجاذبية باستخدام مجاري مائلة أو في أنابيب.

حديثاً يوجد مضخات للبيتون $Concrete\ Pump$ بمعدلات مختلفة تتناسب مع حجم المشروع، حيث يوضح الشكل (2 – 4) أحد المضخات ذات زراع بطول $42\ m$، بينما يوضح الشكل (2 – 5) استخدام المضخات في صب بيتون أحد الجسور.

يجوز تفريغ البيتون على طبلية صماء تمهيداً لنقلها يدوياً مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على الطبلية إلا بعد تمام نقل الخلطة السابقة.

يجب مراعاة الاحتياطات الآتية:

- في حالة صب الجدران والأعمدة التي يتجاوز ارتفاعها $2.5\ m$، فلا يجوز صبها بكامل الارتفاع ويجب عمل شباك في أحد جوانب القالب على ارتفاعات لا تزيد عن $2.5\ m$ ويتم الصب من هذه الفتحات حيث يتم تقفيلها مع مراعاة دمك الخرسانة ميكانيكياً.
- في حالة صب بلاطة بارتفاع كبير، يراعى أن تصب على طبقات سمكها يتراوح في المجال $(40 - 50)cm$.
- يلزم مراعاة تحديد أماكن إيقاف الصب وسطح نهاية الصب (بلاطات وجوائز وأعمدة) مسبقاً قبل الصب. وينبغي أن يكون إيقاف الصب في الأماكن التي يكون عندها عزم الانحناء يساوي صفر أو بأقل قيمة ممكنة. ويراعى ترك سطح الخرسانة عند نهاية الصب مائلاً خشناً في البلاطات والجوائز، وأفقياً خشناً في الأعمدة، ولا يفضل وقف الصب عن المقاطع التي يوجد عندها قوى قص عالية.
- يجب في كا منطقة من مناطق الصب، أن تتم البداية بصب الجوائز الرئيسية ثم الجوائز الثانوية ثم الأسقف.

. نقل الخرسانة :

يوجد عدة طرق لنقل الخرسانة من الخلاطة إلى أماكن الصب واختيار الطريقة يعتمد على كمية الخرسانة ونوع وحجم المنشأ الخرساني.

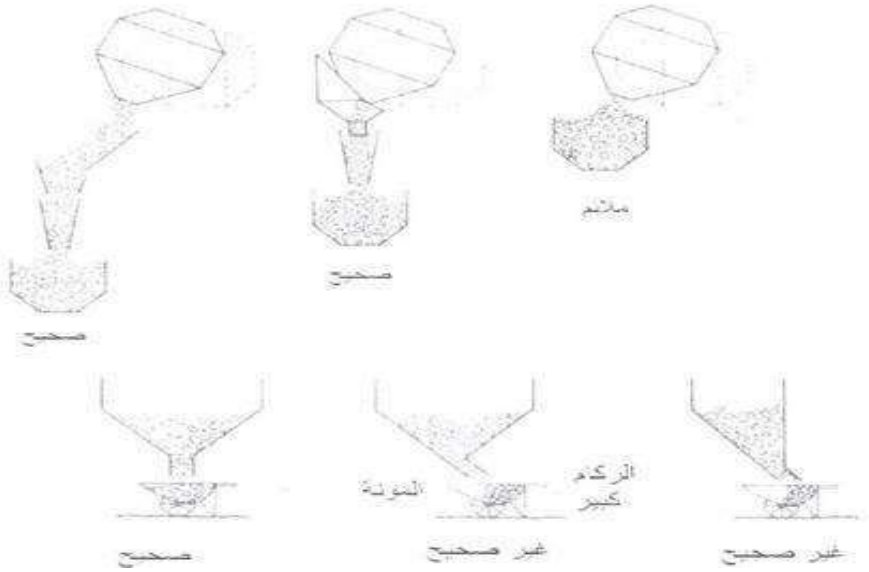
يوجد عدة اقتراحات لنقل الخرسانة:

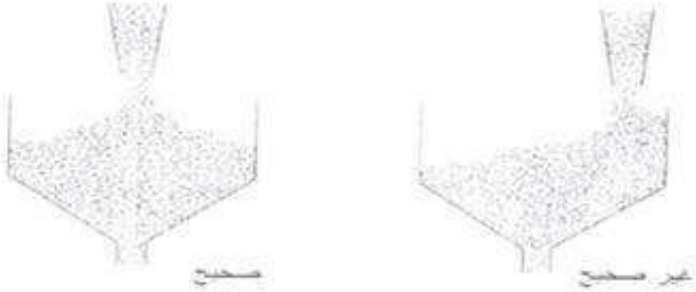
- العربة
- الدلو
- الأوعية
- السيور الناقلة
- مضخات
- العربات الخاصة

وتستعمل كذلك الرواقع لنقل الخرسانة. ويجب حفظ الخرسانة أثناء النقل من أشعة الشمس والرياح وخاصة في المناطق الحارة. ويجب الأخذ بعين الاعتبار أثناء نقل الخرسانة على أن تحافظ الخرسانة على تماسكها (cohesion) واجتناب انفصال حبيباتها (segregation).

ويمكن تعريف انفصال حبيبات الخرسانة بهبوط الركام إلى الأسفل و بقاء الحبيبات الصغيرة والماء في الأعلى و ذلك يؤدي إلى ضعف مقاومة الخرسانة.

ويوضح شكل رقم ٢- ١ بعض الطرق السلبية والإيجابية في نقل الخرسانة من مكان إلى مكان آخر لتفادي انفصال حبيبات الخرسانة.





شكل رقم : بعض الطرق السلبية والإيجابية في نقل الخرسانة.

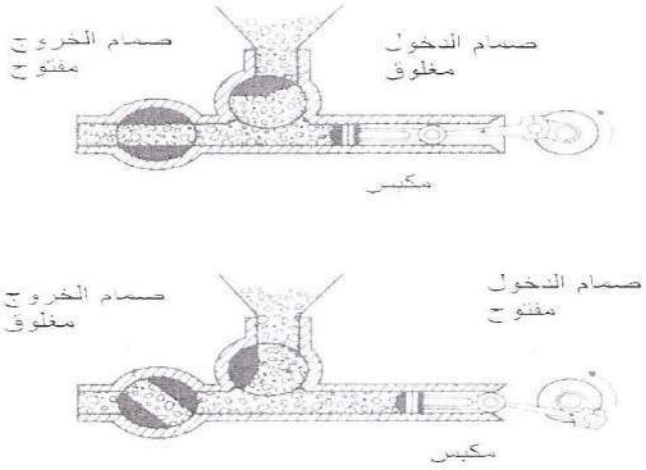
ضخ الخرسانة :

أصبحت الآن كميات كبيرة من الخرسانة يتم نقلها بواسطة ضخها عن طريق مواسير لمسافات طويلة إلى مكان الصب (شكل رقم ٢٠). وتستعمل هذه الطريقة عند استحالة نقل الخرسانة بالطرق الأخرى. ويمكن ضخ الخرسانة بنجاح على مسافات طويلة مثلا أكثر من ٤٢٠ م أفقيا و ٤٠ م عموديا وهذه المسافات في ازدياد مع تطور تكنولوجية الأجهزة. شكل رقم ٢١ : يبين جهاز ضخ الخرسانة.

شكل رقم ٢١ : صب الخرسانة من خلال أنبوب بواسطة الضخ.

طريقة عمل الجهاز: بعد دخول الخرسانة في المضخة يفتح صمام الخروج ويغلق صمام الدخول وعند تحرك المكبس عموديا و بعد عدة سلسلات من قوة الدفع تخرج الخرسانة خلال الأنابيب إلى مكان صب الخرسانة.

ويمكن ضخ كمية ٦٠ م^3 من الخرسانة في الساعة من خلال أنابيب قطرها ٢٢٠ مم.



شكل رقم ٤: جهاز ضخ الخرسانة.

وتعتمد هذه المسافات على عدة عوامل:

١) قدرة المضخة.

٢) قطر الأنابيب.

٣) عدد إعاقات الجريان المنتظم للخرسانة.

٤) سرعة الضخ.

٥) خواص الخرسانة المستعملة.

يجب أن يكون القطر الداخلي للأنابيب على الأقل ثلاث مرات أكبر من مقاس الركام الأكبر المستعمل. مثلا عند استعمال ركام ٢٥ مم يجب أن يكون قطر الأنابيب أكبر من ٧٥ مم.

والخلطات المناسبة للضخ هي التي لا تكون جافة جدا أو مبللة جدا وتكون قابلية تشغيل الخرسانة محددة باختبار الهبوط بين ٤٠ و ١٠٠ مم أو معامل الدمك بين ٠,٩٠ و ٠,٩٥. فعملية الضخ تسبب عادة دمكاً جزئياً للخرسانة و بذلك تقل نتائج اختبار الهبوط من ١٥ إلى ٣٥ مم. والالتزام بقابلية تشغيل معينة ضروري لتفادي الاحتكاك الزائد داخل الأنبوب بالنسبة للخلطات الجافة جدا أو حدوث انفصال حبيبات الركام بالنسبة للخلاطات المبللة جدا.

وفي حالة الخرسانة غير المتماسكة مع بعضها، يحدث في بعض الأحيان إنسداد للأنابيب كليا أو جزئيا. و بالتالي يستدعي تنظيف الأنبوب أو تغييره في أسرع وقت قبل أن تجف الخرسانة. لذلك يجب استخدام العدد الكافي من العمال في حالة صب الخرسانة بواسطة الضخ.

صب الخرسانة:

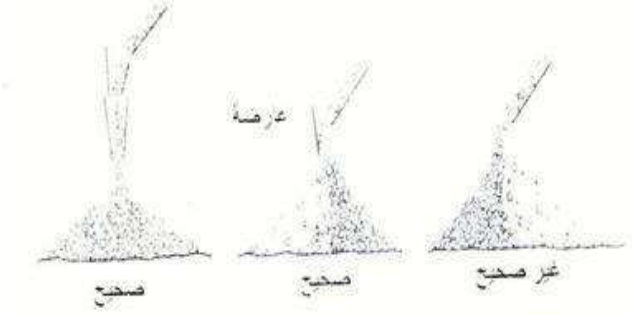
تعتبر عملية صب و دمك الخرسانة عمليتين مترابطتين مع بعضهما . ويتم عادة تنفيذهما في نفس الوقت. فصب الخرسانة ودمكها مهم جدا للحصول على مقاومة عالية للخرسانة والتقليل من نفاذية الخرسانة و بالتالي ديمومة عالية للخرسانة الصلبة في المنشأ. فمن بين العوامل المؤثرة على نفاذية الخرسانة هي طريقة خلط و صب و دمك الخرسانة.

يجب أخذ بعض الاحتياطات قبل صب الخرسانة :

- عند صب الخرسانة في الشدات الخشبية يراعى دهانها بالزيت لتقليل امتصاصها للماء وتحسين وجه الخرسانة الناتج وكذلك يراعى رشها بالماء قبل الصب.
- رش سطح الأرض بالماء للتقليل من امتصاص الرطوبة من الخرسانة وخاصة في الأجواء الحارة.
- عند الصب فوق خرسانة قديمة يجب التأكد من السطح العلوي للخرسانة أن يكون خشناً ونظيفاً و مبللاً بالماء لضمان ربط جيد بين الطبقتين ويستحسن استخدام مادة رابطة مثل الإيبوكسي.
- التأكد من ربط الشدات حسب المواصفات لتتحمل الضغط الناتج عن صب الخرسانة وخاصة في حالة صب الخرسانة في الجدران الرفيعة. كما هو معروف أن الضغط يزيد بازدياد عمق الخرسانة.
- التأكد من أن حديد التسليح نظيف لضمان ترابط جيد للخرسانة مع حديد التسليح.

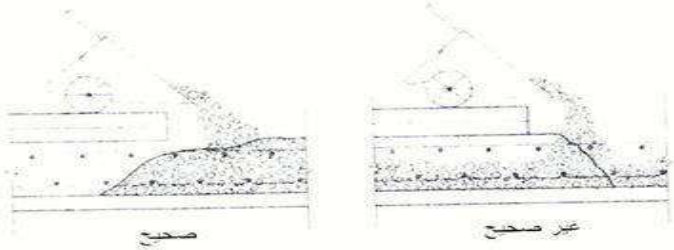
ويجب صب الخرسانة من أقرب مكان (شكل رقم ١) لتفادي حدوث انفصال حبيبات الركام والحصول على الدمك الكامل لذلك يجب أخذ بعض الاحتياطات في عملية صب الخرسانة. ويجب صب الخرسانة رأسيا مباشرة فوق الخرسانة التي سبق صبها وليس بالجانب (شكل رقم ١).

شكل رقم ٥: صب الخرسانة من أقرب مكان (العربة)

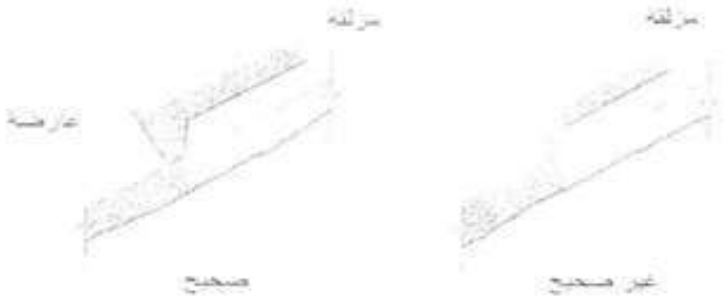


شكل رقم ٦: طريقة صب الخرسانة لتفادي انفصال حبيبات الركام

عند صب البلاطات الأفقية أو المائلة، يجب تفريغ الخرسانة في وجه التي سبق وضعها من قبل (شكل رقم ٧ و ٨).



شكل رقم ٧: طريقة صب الخرسانة (من العربة) لتفادي انفصال حبيبات الركام.



شكل رقم ١- ٨: صب الخرسانة على أسطح مائلة.

صب الخرسانة في الأعمدة والجدران:

في حالة صب الخرسانة في الأعمدة والجدران متوسطة الارتفاع يتم إسقاط الخرسانة مباشرة من الأعلى ويجب تجنب استخدام الخرسانة بجوانب الشدة (شكل رقم ١- ٩). بينما في حالة صب الخرسانة في الأعمدة و الجدران العميقة، ينصح بعدم رمي الخرسانة من الأعلى إلى الأسفل لأنه ينتج عن ذلك نوع من انفصال حبيبات الركام وبالتالي يقع الركام في أسفل الأعمدة فتترك العجينة الإسمنتية وكمية من الماء في الأعلى. و بالتالي تكون مقاومة الخرسانة في الأعلى ضعيفة جدا وحتى مقاومة التماسك مع حديد التسليح ضعيفة لذلك ينصح باستعمال أنبوب طويل يصل إلى الأسفل (شكل رقم ١- ١٠). ففي هذه الحالة تنتج دقة في وضع الخرسانة مع تفادي انفصال حبيبات الركام.

وتكون عادة سرعة صب الخرسانة أكبر من ٢ متر في الساعة لتفادي تكوين فواصل الصب. وتصب الخرسانة على طبقات ويكون سمك الطبقات مطابقاً لطريقة الدمك حتى يسمح بطرد الفراغات الهوائية. ويكون عادة سمك كل طبقة حوالي ٥٠ سم على الأكثر. ويتم دمك كل طبقة كليا قبل صب الطبقة التالية. فعند صب الطبقة اللاحقة يجب أن تكون الخرسانة الموجودة سابقا مازالت لدنة حتى يحدث ترابط جيد بينهما ولتفادي حدوث فواصل الصب.

ويمكن صب الخرسانة من خلال فتحات جانبية لتجنب سقوط الخرسانة من مسافات عالية في حالة الأعمدة و الجدران الرفيعة.

يجب مراعاة الاحتياطات الآتية:

- في حالة صب الجدران والأعمدة التي يتجاوز ارتفاعها $2.5\ m$، فلا يجوز صبها بكامل الارتفاع ويجب عمل شباك في أحد جوانب القالب على ارتفاعات لا تزيد عن $2.5\ m$ ويتم الصب من هذه الفتحات حيث يتم تقفيلها مع مراعاة دمك الخرسانة ميكانيكياً.
- في حالة صب بلاطة بارتفاع كبير، يراعى أن تصب على طبقات سمكها يتراوح في المجال $(40 - 50)cm$.
- يلزم مراعاة تحديد أماكن إيقاف الصب وسطح نهاية الصب (بلاطات وجوائز وأعمدة) مسبقاً قبل الصب. وينبغي أن يكون إيقاف الصب في الأماكن التي يكون عندها عزم الانحناء يساوي صفر أو بأقل قيمة ممكنة. ويراعى ترك سطح الخرسانة عند نهاية الصب مائلاً خشناً في البلاطات والجوائز، وأفقياً خشناً في الأعمدة، ولا يفضل وقف الصب عن المقاطع التي يوجد عندها قوى قص عالية.
- يجب في كل منطقة من مناطق الصب، أن تتم البداية بصب الجوائز الرئيسية ثم الجوائز الثانوية ثم الأسقف.

3-2-1-2. الدمك *Compaction*

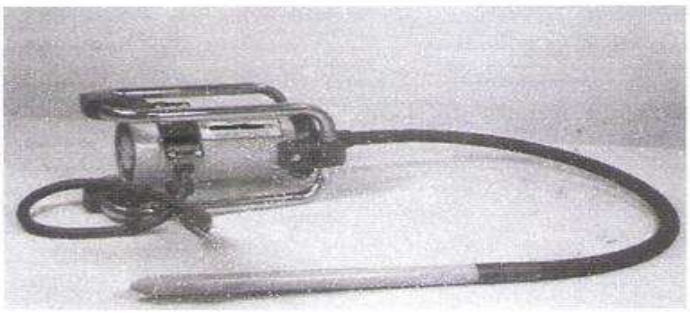
الغرض الوحيد من عملية الدمك هو تقليل الفراغات والفجوات داخل البيتون والتأكد من تمام انسياب الخلطة البيتونية حول حديد التسليح وملء القالب تماماً إلى المنسوب المطلوب. وطرق الدمك هي:

دمك يدوي	دمك ميكانيكي		
قضيب الدمك	هزازات داخلية	هزازات الفلام	هزازات سطحية

Surface Vibrators	Formwork Vibrators	Internal Vibrators	Tamping Rod

ويوضح الشكل (2 – 7) صورة هزاز ميكانيكي داخلي يعمل بالكهرباء، بينما يوضح الشكل (2 – 8) استخدام الهزاز في دمك البيتون. ويجوز الدمك يدوياً إذا لم يتص على استعمال الوسائل الميكانيكية. وينبغي أن يقوم بالدمك شخص متخصص وله خبرة في الدمك. يجب الاستمرار في الدمك حتى ينتهي خروج فقاعات الهواء أو تظهر طبقة رقيقة من العجينة الإسمنتية ، ولا يسمح بالدمك بعد ذلك لأنه يسبب النضح *Bleeding*. كما ينبغي عدم لمس الهزاز الداخلي لحديد التسليح أثناء الدمك. ويراعى أن لا يتسبب الدمك بأي حال من الأحوال عن قلقة البيتون السابق صبه أو زحزحة قضبان التسليح من مكانها. الشكل (2 – 8) والشكل (2 – 9) يوضحان نوعين من البيتون أثناء الصب حيث نجد البيتون في الصورة الأولى جاف نسبياً. بينما نجد أن البيتون في الصورة الثانية لها من السيولة والانسيابية ما يجعلها ربما لا تحتاج إلى استخدام الهزاز.

- من الممكن عمل رسومات هندسية مثل الداونر أو أوراق الشجر على طول ممرات الحدائق.
- يمكن أيضاً تمشيط الخرسانة أو إظهار الركام الكبير بها ويتم ذلك غالباً في المرحلة الخضراء من الخرسانة.



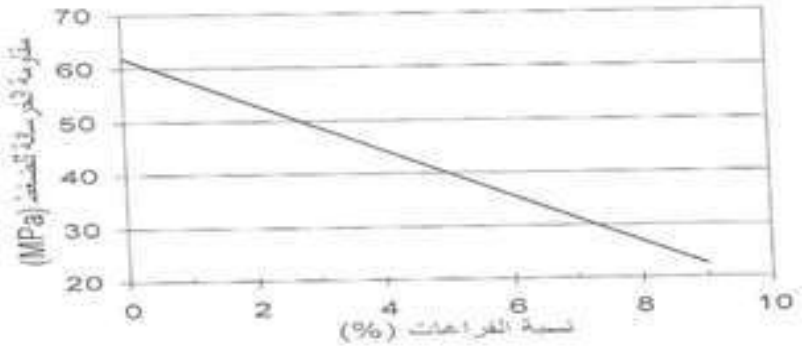
شكل (٤–٧) هزاز خرسانة يحرك [illegible] يعمل بالكهرباء.

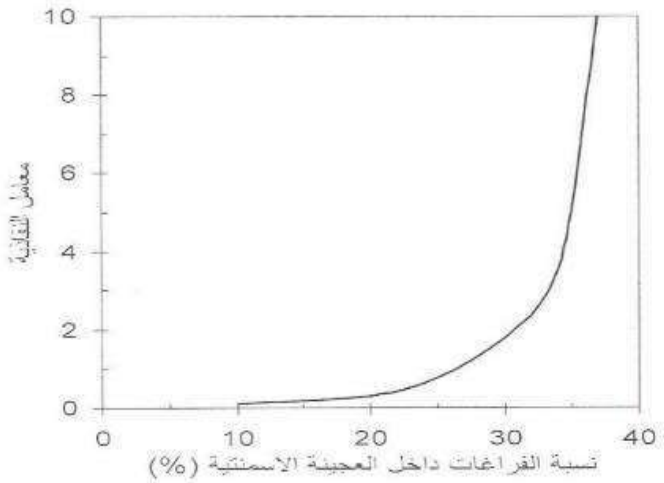
شكل (٤–٩) صب خرسانة عالية السيولة والإنسيابية لاتحتاج إستخدام الهزاز

شكل (٤–٨) صب خرسانة جافة نسبياً تحتاج إستخدام الهزاز وقت أكبر.

الهدف الرئيس من دمك الخرسانة هو إزالة الفراغات الهوائية داخل الخرسانة الطازجة وكذلك زيادة في تماسكها مع حديد التسليح. وذلك للحصول على خرسانة متصلبة بأقل حجم من الفراغات وبالتالي مقاومة عالية وانخفاض في خاصية نفاذية الخرسانة وزيادة في تحمل الخرسانة (durability) للظروف المعرضة لها في الطبيعة. يبين شكل رقم ١١ تأثير الزيادة في نسبة الفراغات داخل الخرسانة على مقاومة الخرسانة للضغط. فالزيادة في حجم الفراغات بقيمة ٥ % تؤدي إلى انخفاض في مقاومة الخرسانة بحوالي ٣٠ %. ويبين شكل رقم ١٢ العلاقة بين نسبة الفراغات و عامل نفاذية الخرسانة. فالزيادة في الفراغات من ٣٠ % إلى ٣٥ % يؤدي إلى زيادة في نفاذية الخرسانة (permeability) بحوالي أربع مرات.

ومن خلال النتائج المبينة في الشكلين رقم ١١ و ١٢ يظهر مدى أهمية إزالة كل الفراغات الهوائية من داخل الخرسانة الطرية و بالتالي يجب تكثيفها من أجل الحصول على مقاومة عالية للخرسانة الصلبة.





شكل رقم ١٢: العلاقة بين نسبة الفراغات و عامل النفاذية للخرسانة.

تكثيف الخرسانة

هو عملية دمكها وهي طرية تملئ الشدات بشكل تام وتلف حول الأجزاء الداخلية وحديد التسليح ولإزالة الجيوب الهوائية.

- طرق تكثيف الخرسانة تعتمد على:

١- قوام الخلطة. ٢- ظروف الصب. ٣- مدى تعقيد الشدة. ٤- كمية التسليح.

أهمية تكثيف الخرسانة:

- عدم دمك الخرسانة يؤدي إلى وجود الفراغات الهوائية بها مما يسبب انخفاض مقاومتها:
  - حيث حجم فراغات مقداره ٨ ٪ من حجم الخرسانة يؤدي إلى انخفاض المقاومة بحوالي ٥٠٪ من قيمتها الأصلية.
  - بينما فراغات قدرها ١ ٪ من حجم الخرسانة يؤدي إلى انخفاض المقاومة بحوالي ١٠ ٪ من القيمة الأصلية.
- الخرسانة الناشفة والمتوسطة القوام تزداد مقاومتها بالدمك.
- أما الخرسانة ذات القوام السائل تزداد مقاومتها ازدياد طفيفاً وقد يكون الدمك عكسي حيث قد يؤدي إلى الإنفصال الحبيبي لذا قد يكفيها الوخز أو الطرق البسيط.
- يؤثر الهز تأثير كبيراً في زيادة مقاومة الخرسانة بعكس الدك وذلك بالإعتماد على زيادة مدة الهز.
- يساعد الدمك الالي على تكثيف الخلطات الناشفة ذات النسب المنخفضة للماء إلى الإسمنت. مع ملاحظة عند استخدام الهز كطريقة لدمك الخرسانة فلابد من وجود هزاز احتياطي جاهز للاستخدام عند الحاجة.

طرائق دمك (تكثيف) الخرسانة:

توجد طريقتان لدمك وتكثيف الخرسانة: لدمك اليدوي أو الدمك الميكانيكي ومن المفروض أن يمكن للطريقتين إعطاء نتائج عالية في خرسانة ذات جودة عالية.

1-تكثيف الخرسانة بالوسائل اليدوية:

- ويتم بالوخز والدك والطرق.
- يتم الدمك على طبقات بسمك يناسب الوسيلة المستخدمة.
- لا بد من وصول الدامك إلى قاع الشدة ويكون رفيعا بحيث يمر بين حديد التسليح.
- طرق الشدات لتحسين مظهر الواجهات المشكلة وذلك بتكرار الطرق في مناطق متعددة من الشدة.
- دمك الخلطات التي يسهل دمكها بالوسائل اليدوية يجب تجنب دمكها بالوسائل الميكانيكية حتى لا يكون هناك انفصال حبيبي.

تستخدم في عملية الدمك اليدوي قضبان من الخشب أو الحديد وتكون طويلة بحيث تصل إلى قاع الخرسانة و تكون بسمك بحيث يسمح بمرورها خلال حديد التسليح و بالتالي توزيع الخرسانة بين حديد التسليح. و تستمر عملية دمك الخرسانة يدويا لحين خروج فقاعات الهواء من داخل الخرسانة.

تكثيف الخرسانة بالدمك الميكانيكي:

على العموم نوع خلاطات الخرسانة هي التي تحدد طريقة دمك الخرسانة. مثلا لا يفضل استعمال الطرق الميكانيكية عندما يمكن تكثيف الخرسانة يدويا (مثلا في حالة الخرسانة السائلة). مع أن في بعض الأحيان يجب استعمال التكثيف الميكانيكي مثلا في الخرسانة الجافة جدا أي يستحيل دمكها يدويا.

ويستعمل في هذه الطريقة أجهزة هزازة (vibrators) و تنقسم إلى ثلاثة أقسام:

تكثيف الخرسانة بالهزازات الداخلية:

يتكون الهزاز من رأس هزاز متصل بمحرك مناسب وداخل الرأس يوجد ثقل غير متوازن يلف بسرعة عالية تجعل الرأس يهتز في حركة دائرية.

- تستخدم في دمك الأعمدة والحوائط والجسور (الكمرات) والبلاطات.
- يتأثر أداء الهزاز بأبعاد الرأس (الأسطوانة) كما يتأثر بالذبذبة ومداها.
- لا بد من الاستخدام الصحيح للهزازات الغاطسة بحيث يكون إنزال الهزاز رأسياً وعلى مسافة منتظمة.
- يجب الإمساك بالهزاز بشكل ثابت لمدة ١٥ ثانية على الأقل ثم يسحب الهزاز ببطء وأن يمتلئ مكانه بالخرسانة وإلا يتم دمك الخرسانة في موضع قريب من الأول.

الظواهر التي يجب ملاحظتها للحكم على كفاءة الدمك:

١- إنطمار الركام الكبير إلى الداخل.

٢- استواء السطح العلوي.

٣- ظهور طبقة ملاط مائية رقيقة.

٤- توقف خروج الفقاعات الهوائية.

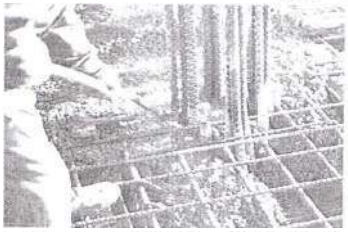
- تعتمد المدة اللازمة لبقاء الهزاز داخل الخرسانة على:

١- نوع القوام. ٢- قوة الهزاز. ٣- طبيعة الجزء الذي يتم دمكه.

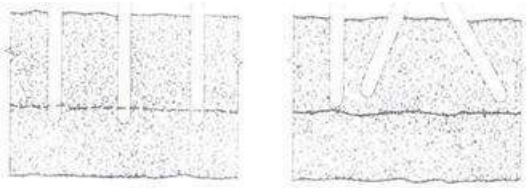
- **لا يتم استخدام الهزازات لتحريك الخرسانة أفقياً حتى لا يحدث الإنفصال الحبيبي.**

و الهزازات الداخلية هي الأكثر استعمالا و تستعمل في جميع أنواع المنشآت (شكل رقم ١- ١٣). و تحتوي على رأس هزاز و محرك. وتتراوح عادة ذبذبات الهزاز بين ٧٠ و ٢٠٠ Hz. ويجب تحريك الهزازات بسهولة من مكان إلى مكان آخر (المسافة تتراوح بين ٠٥ إلى ١ م) حتى يتحقق دمك الخرسانة بالكامل. ومن أجل الحصول على نتائج جيدة من عملية إخراج الفراغات الهوائية من داخل الخرسانة يجب غطس الهزاز عموديا و بسرعة خلال عمق الخرسانة المصبوبة حديثا و كذلك داخل طبقة الخرسانة التي تحتها (على الأقل بعمق ١٥٠ مم) إذ مازالت لدنة للحصول على ربط جيد بين الطبقتين (شكل رقم ١- ١٤). و يجب الإشارة أنه يصعب إخراج الفقاعات الهوائية من أسفل طبقة الخرسانة إذا كان عمقها يزيد عن ٠,٥م.

ومدة التكثيف بالهزاز تتراوح بين ١٠ و ٣٠ ثانية ثم يرفع الهزاز ببطء. و يتحقق الدمك الكامل حتى تظهر طبقة رقيقة من عجينة الإسمنت فوق السطح و بالتالي يتوقف الدمك. ولا يجب استعمال الهزاز لمدة أطول من اللازم (over-vibration) لأن ذلك يسبب انفصال حبيبات الركام (segregation). يجب تجنب تحريك الخرسانة أفقيا باستعمال الهزاز.



شكل رقم ١- ١٣: استعمال هزاز داخلي لتكثيف الخرسانة داخل عمود يحتوي على حديد تسليح مكثف



غير صحيح صحيح

شكل رقم ١- ١٤:الوضعية الصحيحة للهزاز الداخلي لتكثيف الخرسانة.

٤-٦-٢. الهزازات الخارجية: (external vibrators)

يثبت هذا النوع من الهزازات على الشدة من الخارج و بالتالي تهتز الهزازات و الشدة معا. و بتحريك الهزاز حول الشدة يتم دمك جميع أنحاء الخرسانة و يجب تجنب الاهتزازات الزائدة حتى لا تتلف الشدة. لذلك يجب أن تكون الشدة صلبة و قوية و متماسكة حتى لا يخرج الماء من الخرسانة و ينصح باستخدام الشدات الحديدية في حالة استعمال الهزازات الخارجية. و تستعمل عادة الهزازات الخارجية في مقاطع المنشآت الرقيقة و تحتوي على حديد تسليح مكثف و بالتالي يصعب إدخال الهزاز الداخلي و تحريكه في قلب الخرسانة. وتتراوح ذبذبات الهزات من ٥٠ إلى ١٥٠ Hz.

وفي حالة صب الخرسانة على طبقات يجب أن لا تكون الطبقات عميقة جدا حتى يسهل إخراج الفراغات الهوائية من داخلها. ويفضل تغيير مكان الهزاز مع الصب المستمر. و تعد عادة الهزازات الخارجية أقل تأثير من الهزازات الداخلية.

٥-٦-٢. (مناضد) الهز: (vibrator tables)

مناضد الهز تعطي نتائج جيدة في دك الخرسانة سابقة الصب (precast concrete) و تحقيق تكثيف موزع بانتضام. ويثبت الهزاز في أسفل المنضدة و باستعمال محرك يعطي حركة رأسية فقط للمنضدة و بالتالي تنتقل الهزات إلى القوالب و الخرسانة الموضوعة فوق المنضدة. ويستعمل عادة هذا النوع من الهزازات في المختبر. وتتراوح ذبذبات الهزات بين ٢٥ و ١٢٠ Hz.

عملية إعادة الهز: (revibration)

تعاد عملية الهز بعد ساعة إلى ساعتين بعد صب الخرسانة مما يزيد في مقاومة الخرسانة بحوالي ١٥ %. و لكن القيمة الحقيقية تعتمد على الدرجة التشغيلية للخرسانة.

عملية إعادة الهز تؤدي إلى طرد الماء الصاعد إلى سطح الخرسانة (bleeding) بعد عملية الدك و في غالب الأحيان هذا الماء الصاعد يبقى مباشرة تحت حديد التسليح أو تحت الركام الكبير مما يؤدي إلى ضعف تماسك الخرسانة مع حديد التسليح. لذلك عملية إعادة الهز مفيدة في زيادة مقاومة ربط الخرسانة مع الحديد.

و هذه العملية مفيدة كذلك لتماسك الطبقة العليا من الخرسانة المصبوبة حديثا بالطبقة السفلى. لأنها تزيل الماء الصاعد من الطبقة السفلى. كما هو معروف بأن صعود الماء إلى سطح الخرسانة يؤدي إلى ارتفاع نسبة الماء إلى الإسمنت و بالتالي تنخفض مقاومة الخرسانة.

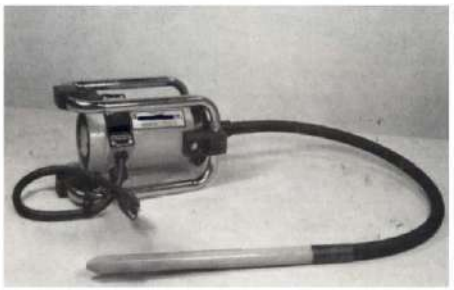
4-2-1-2. الإنهاء *Finishing*

معاملة السطح طبيعياً للحصول على سطح معماري ناعم وذلك باستخدام أسطح مستوية وملساء لعمل القوالب الخاصة.

يمكن تجهيز القوالب بفواصل معينة للحصول على سطح يوحي أنه مبنى من الحجر.

من الممكن عمل رسومات هندسية مثل الداوئر أو أوراق الشجر على طول ممرات الحدائق.

يمكن أيضاً تمشيط الخرسانة أو إظهار الركام الكبير بها ويتم ذلك غالباً في المرحلة الخضراء من الخرسانة.



شكل (٤-٧) مزاز خرسانة يحرك زمبة يعمل بالكهرباء.

شكل (٤-٨) صب خرسانة جافة نسبياً تحتاج إستخدام الهزاز وقت أكبر.

شكل (٤-٩) صب خرسانة عالية السيولة والانسيابية لاتحتاج إستخدام الهزاز

5-2-1-2. الشروط الواجب مراعاتها أثناء عملية الصب

١) يجب رش الفورمات بالماء قبل الصب حتى لا تتشرب جزء من ماء الخلطة الخرسانية، فيتأثر تفاعل الأسمنت وتضعف الخرسانة.

٢) يجب أن يتم الصب في أقصر وقت ممكن بعد خلط الخرسانة ، لأن إطالة زمن نقل الخرسانة يؤدي إلى تبخر جزء من ماء الخلط ، وبالتالي يقلل من مقاومة الخرسانة.

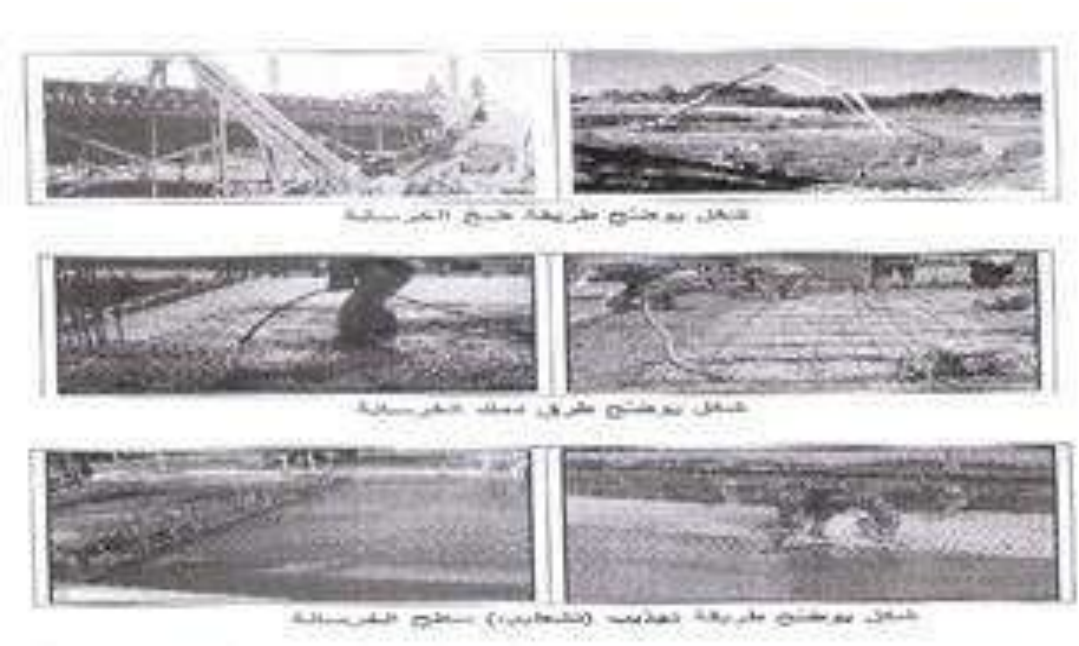
٣) يجب عدم صب الخرسانة من ارتفاع أكبر من ١متر، حتى لا يحدث انفصال حبيبي لها (أي تنفصل الحبيبات الكبيرة من الركام عن الخلطة الخرسانية وتهبط إلى أسفل).

٤) يجب دمك الخرسانة أثناء الصب وذلك لطرد الهواء من داخل الخرسانة .

٥) في حالة الصب باستخدام المضخات يجب عدم زيادة ماء الخلط بغرض الحصول على خرسانة طرية تسهل حركتها داخل مواسير المضخة ،لأن إضافة الماء الكثير يضر بقوة الخرسانة ، وإنما يمكن الحصول على خرسانة طرية بتزويدها إضافات أثناء خلطها تعطيها اللدونة المطلوبة دون التأثير على قوتها، كذلك يجب العناية بنظافة المضخات بعد كل عملية صب، وذلك لسهولة العمل في المرات المقبلة.

٦) عند الصب على خرسانات قديمة لابد من أن يكون سطح الخرسانة القديمة نظيفاً وخشناً، ويرطب بالماء قبل صب الخرسانة الجديدة عليه، ويمكن الإستعانة بمواد كيميائية مثل المواد الإيبوكسية للمساعدة في ربط الخرسانة الجديدة بالقديمة.

٧) يجب اختيار أماكن وقف الصب بعناية حتى لا تتأثر الأجزاء الخرسانية للمنشآت ، ولكي نضمن سلامتها ، يجب ألا نقف مثلاً في منتصف الأسقف الخرسانية أو منتصف الكمرات، بل نقف عند ١/٥ البحر وهذا أصح من الناحية التصميمية.



2-1-3. مرحلة ما بعد الصب (إصلاح العيوب بعد الصب)

2-1-3-1. معالجة الخرسانة *Curing*

إن مقاومة البيتون للضغط وقوة احتماله لنفاذية الماء وثبات حجمه، يزداد بمرور الوقت، الشكل – 10) (2، بشرط أن تكون الظروف مهيئة لاستمرار التفاعل الكيماوي بين الماء والإسمنت وذلك بحفظ درجة معينة ومناسبة من الرطوبة أو منع الماء من التبخر والمعالجة باختصار تتم عن طريق:

1. منع تبخر ماء البيتون بتغطيته أو قفل مسامه بعمل غشاء أو طبقة مانعة للتبخر.
2. إضافة الماء باستمرار للتعويض عن الماء الذي تبخر.

ومن المواد المستعملة في المعالجة:

1. الماء.
2. الخيش المرطب.
3. الأغشية المانعة للتسرب مثل: لفائف البلاستيك والورق المانع لتسرب الماء.
4. مواد أخرى مثل الرمل الطبيعي، والتبن والقش ونشارة الخشب والركام الناعم.

وطرق المعالجة كثيرة تذكر منها:

5. الغمر بالماء على شكل برك (في الأسطح الأفقية والأرضيات).
6. الرش بالماء (حفظ السطح رطباً بين مواعيد الرش مع عدم السماح له بالجفاف).
7. التغطية بالخيش الرطب.
8. التغطية باللفائف المانعة للتسرب.
9. المعالجة باستعمال المركبات الكيماوية (العازلة للرطوبة).
10. المعالجة بالبخار *Steam Curing*.

2-1-3-2. إزالة القوالب

إن المدة الواجب انقضاؤها بين صب البيتون وفك الشدات تتوقف على درجة الحرارة وطول البحر ونوع الإسمنت وأسلوب المعالجة والحمل الذي سيتعرض له المنشأ بعد الفك.

ويشترط أن لا ينتج عن الفك حدوث أي تشققات أو تشوهات غير مسموح بها. ويجب مراعاة أن لا يتعرض البيتون للاهتزازات أو الصدمات أثناء الفك. وفي حالة استعمال اسمنت بورتلاندي عادي فيمكن إزالة القوالب والشدات الخشبية بعد مدة معينة.

2-1-3-3. الترميم والبياض

يتضمن الترميم إزالة الزوائد وأماكن التعشيش وتنظيف السطح الخارجي للبيتون.

- طريقة ملىء الفجوات

- يتم تنظيف أماكن العيوب وإزالة المونة والركام الضعيف.
- تبلل الفجوات بالماء ثم تفرش بمونة الإسمنت والرمل بنسبة 1:1 بالوزن.
- تصب مونة الترميم والمكونة من إسمنت و رمل بنسبة 1:3 بالوزن بحيث تكون بارزة قليلاً عن سطح الخرسانة وتتك لمدة ساعتين تقريباً، ثم يسوى السطح على السطح المحيط به.

- أما معالجة السطح الخارجي فتتم بطرق عديدة منها:

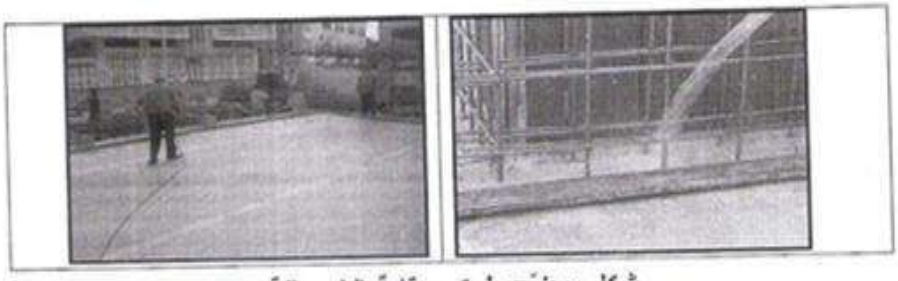
- تنظيف السطح الخارجي باستخدام الخيش والمونة الغنية بالإسمنت وذلك لملىء الثقوب الصغيرة أو إعطاء سطح البيتون لون متجانس.
- الغسيل بالإسمنت.
- الطرطشة: وذلك برش طبقة من مونة الإسمنت والرمل الناعم على سطح البيتون.
- البياض بالمحارة: وذلك بعمل طبقة من مونة الإسمنت والرمل بسمك 0.5 cm ثم تمشط أو تنعم.

2-1-3-4. أعمال العناية بالخرسانة بعد عملية الصب

أولاً/ السقاية:- Watering

من الضروري إبقاء الخرسانة في حالة من الرطوبة بعد الصب لإعطاء عملية تصلب الخرسانة الشروط المناسبة، ولأجل ذلك نقوم بسقاية الخرسانة مباشرة بعد فترة (١٢) ساعة من انتهاء الصب ، وتكون السقاية بصورة مستمرة خلال أول يومين بعد الصب ، وخاصة في الأوقات الحارة بحيث تبقى الخرسانة رطبةخلال هذه الفترة.

... بعد ذلك تتم عملية السقاية مرتين يومياً صباحاً ومساءً ، أي حين يكون الجو في ألطف أحواله ويجب استثناء أوقات الصقيع شتاءً.



شكل يوضّح طرق سقاية الخرسانة

ثانياً/ أعمال حماية العناصر المصبوبة حديثاً من الاهتزاز والأحمال المفاجئة:-

هذه الأحمال والإهتزازات يمكن أن تنشأ عن العمل فوق سطوح الأسقف وعن عملية تركيب القالب الخشبي للأسقف على أعمدة مصبوبة حديثاً ، ولأجل تجنيب الخرسانة الأضرار الناتجة عن ذلك يؤجل عمل الخرسانة المصبوبة حديثاً إلى فترة تزيد عن سبعة أيام ، وحتى بعد ذلك يتم العمل بهدوء وبدون اللجوء إلى الاهتزازات والحركات العنيفة وخاصة عند صب الجسور المقلوبة والتي تتطلب عدم التأخر في صبها بعد صب الأسقف، وفي مثل هذه الحالات لا يسمح إطلاقاً باستعمال طريقة الصب بواسطة العربة أو بأي وسيلة أخرى تسبب حركة ديناميكية قوية على الخرسانة المصبوبة ويتم تفريغ الخرسانة فوق الأسقف المصبوبة على دفعات صغيرة وبعناية بالغة.

ثالثاً/ أعمال عزل الخرسانة المردومة لحمايتها من التأثيرات الضارة:-

لا بد من عزل جميع العناصر الخرسانية المردومة (جدران استنادية – أساسات...)، وذلك لحمايتها من التأثيرات الضارة الموجودة في التربة مثل: (الرطوبة وتسرب المياه)،و يستعمل لهذه الغاية مادة النايلون، الإسفلت(الزفتة الساخنة) .

شكل يوضّح طرق تنفيذ العزل للعناصر الخرسانية

رابعاً/ أعمال فك القوالب:- Form-Work Dismantling

إن الفترة الزمنية التي يسمح بعدها بفك القوالب تختلف حسب نوع المنشأ المكفرج وأسلوب عمله والظروف الجويّة السائدة، وتتمثّل المدة لفك القوالب في:

١) الأعمدة وجوانب الجسور والحزامات والحوائط "العناصر الشاقولية" ٤أيام.
٢) قوالب الأسقف "شريطة إبقاء الأعمدة الحاملة" ٨ أيام.
٣) قوالب الجسور شريطة إبقاء الأعمدة الحاملة "أسقف الهوردي" ١٠ أيام.
٤) الأعمدة الحاملة للأسقف والجسور الثانوية ١٤ يوماً.
٥) الأعمدة الحاملة للجسور الرئيسية ٢١ يوماً.

... وتضاف إلى هذه الفترة عدد أيام الصقيع التي مرت خلال هذه الفترات إن وجدت.

خامساً: تشققات وتشوّهات الخرسانة:-

هناك نوعين من التشققات والتشوّهات التي تظهر في الخرسانة:

- الأول : شقوق وتشوّهات ناتجة عن سوء في التنفيذ والظروف السائدة أثناء وبعد الصب.
- الثاني: شقوق وتشوهات إنشائية.

... بالنسبة للنوع الأول فهو أقل خطراً من الثاني والذي يعني خطأ في التصميم أو في تنفيذ التصميم، وتتطلب معالجة مثل هذا النوع من العيوب أعمال تدعيمية مكلّفة جداً.

سادساً / ملاحظات عامة حول عملية صب العناصر الخرسانية:

١) إن إدارة عملية الصب تحتاج إلى جهد كبير وخاصة إذا كان حجم العمل كبيراً أو أن الوسائل المستعملة وسائل بدائية، لذا فيفضل أن يتم التحضير لهذا اليوم – يوم الصب – قبل فترة كافية وتتخذ الاحتياطيات المناسبة لتجنب أي طارئ قد يحدث أثناء الصب، إذ أن أي توقف مفاجئ قد يؤدي إلى أضرار كبيرة للخرسانة وللعمل بشكل عام.

٢) يكلّف أحد العمال بالبقاء تحت الكوفراج الخشبي للسقف لمراقبة أي طارئ قد يحدث للكوفراج، حيث يتم إيقاف العمل في منطقة حدوث الطارئ ويعاد تدعيمه لإزالة التشوّه حتى لو اضطررنا لإفراغ الخرسانة المصبوبة في هذه المنطقة، ويفضّل لكي لا نصل إلى هذا الموقف اتخاذ جميع التدابير الوقائية قبل الصب كتدعيم الكوفراج بشكل جيد وتجنيب الكوفراج الحركات العنيفة أثناء الصب.

٣) حين تكون كمية الخرسانة المصبوبة كبيرة بحيث يستمر العمل حتى ساعة متأخرة من الليل يجهّز مكان العمل مسبقاً بالأضواء الكاشفة وتوزع بحيث تنير المكان بشكل جيد.

٤) إن وجود المهندس أثناء عملية الصب أمر ضروري لمراقبة العمل والخلطات المستعملة ولمعالجة التطورات، أي لإدارة عملية الصب بشكل عام، لذلك عندما تكون فترة العمل طويلة يفضل أن يتناوب أكثر من مهندس على عملية الإشراف على الصب، كما ويفضل أن يتم تقسيم زمن الصب في هذه الحالات إلى ورديات كل منها لا تتجاوز الـ(٨) ساعات.

٥) إن ابتداء عملية الصب صيفاً في ساعة مبكرة من الصباح (عند الفجر) أمر شائع جداً وخاصة في أعمال القطاع الخاص ، ولهذا الأمر فوائده الكثيرة منها:-

- ✓ ابتداء الصب في ساعة مبكرة قد يتيح لنا إنهاءه قبل حلول الظلام.
- ✓ جو الصباح وخاصة في الصيف ألطف بكثير من جو النهار.

... وبالرغم من ذلك فهذا الأسلوب نادر الحصول في أعمال الشركات الكبيرة كونه يتعارض مع أسلوب الدوام فيها.

٦) من المفضّل وجود ميكانيكي خبير بالأجهزة والمعدّات المستخدمة في عملية الصب لمعالجة أي طارئ ويفضّل في حال توفر الإمكانيّات تجهيز معدّات إضافية من كافة الأنواع لإمكانية استخدامها في حال تعطل إحدى المعدّات أثناء العمل.

2-2. كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة *Expressing Proportions*

إن تصميم الخلطات الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية لمكوناتها، بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين. ويكون ذلك باستخدام نسب أثبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الموضعية *Empirical Proportioning*، وقد يكون بطرق حسابية مبنية على أساس فني تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة في البيتون المتصلب (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للحت)، والاشتراطات التي تتطلبها صناعة البيتون مثل السهولة المناسبة للصب *Placing* والتسوية النهائية (التشطيب *Finishing*) لسطح البيتون. وذلك مع مراعاة التكاليف الاقتصادية حسب نوع العمل الإنشائي المطلوب. وهذه الطرق الحسابية تهدف إلى استخدام المواد الموجودة لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطازجة والمتصلبة وذلك بأقل التكاليف. ويمكن اعتبار أن مقاومة البيتون للضغط يبين مدى جودة البيتون المتصلب، كما تعبر قيمة الهبوط عن مدى جودة الخرسانة الطازجة.

ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التي تؤثر على جودة البيتون وعلى اقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على بيتونات متباينة في جودتها ومتانتها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس

المواد. ويعتمد الاقتصاد النسبي للخلطات البيتونية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات. ويعتبر الإسمنت أحد المكونات الأساسية للبيتون والذي تؤثر نسبة وجوده في الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لارتفاع ثمنه بالنسبة لباقي المكونات.
تعطى نسبة المواد الحبيبية (الإسمنت والركام الصغير والركام الكبير) عادةً على شكل نسب $Ratios$ بالوزن أو الحجم، فمثلاً عندما يقال خلطة 1 :2 :4 ، معناها: الإسمنت (1)، الرمل (2)، الزلط (4). أي تحتوي على جزء واحد من الإسمنت وجزئين من الرمل وأربعة أجزاء من الزلط. ويفضل أن تكون تلك النسب بالوزن لعدم إمكانية التحديد الدقيق لكمية الإسمنت بالحجم وأيضاً الركام نتيجة تغير الكمية التي يستوعبها حجم معين بتغير مدى الدمك المستخدم.

الفصل الثالث
أسس تصميم عناصر البيتون المسلح

3-1. أسس تصميم عناصر البيتون المسلح
3-2. مبادئ التصميم بالطريقة الكلاسيكية
3-2-1. تحديد الحمولات الخارجية
1. الحمولات الدائمة
2. الحمولات المؤقتة
3-2-2. الإجهادات في المقطع بتأثير الحمولات
1. فرضية (برنولي – نافييه)
2. فرضية مرونة البيتون
3-2-3. إهمال عمل البيتون في منطقة الشد
3-2-4. تساوي التشوهات في البيتون وحديد التسليح
3-2-5. الإجهادات المسموح بها وعامل الأمان
3-3. معادلات التصميم
3-3-1. علاقات تصميم مقاطع الأعمدة المربعة والمستطيلة
3-3-1-1. مسائل في حساب مقاطع الأعمدة المستطيلة والمربعة
3-3-2. علاقات تصميم الجوائز
3-3-2-1. مسائل في تصميم الجوائز أحادية التسليح
3-3-2-2. التصميم باستخدام الجداول
- مسائل في تصميم الجوائز باستخدام الجداول
3-3-2-3. مسائل في تصميم الجوائز الظفرية

3 - 1 أسس تصميم عناصر البيتون المسلح:

إن الغرض من عملية تصميم العناصر من البيتون المسلح، هو تحديد أبعاد العناصر المكونة للمنشأ بشكل إقتصادي، يضمن تحقيق الأمان، والديمومة في إمكانية إستثمار المنشأ، وتعتمد طرائق الحساب على تحديد الإجهادات الناتجة في مقطع العنصر بتأثير الحمولات المطبقة، بحيث لا تزيد على إمكانية تحمل المقطع، مع الأخذ بالحسبان ظروف تشغيل العنصر، و الخواص الأساسية للبيتون والفولاذ، وتنحصر طرائق الحساب في علم البيتون المسلح بثلاث طرائق رئيسية وهي:

١ـ الطريقة الكلاسيكية.

٢ـ الحساب على الإنكسار.

٣ـ الحساب بالوضعية الحدية.

وهذه الطرائق هي نتائج تطورات كبيرة في نظرية مقاومة البيتون المسلح خلال فترة طويلة من الزمن، إعتمدت على دراسات وأبحاث تجريبية، على عناصر ومنشآت من البيتون المسلح، لمعرفة حقيقة عمل البيتون والفولاذ، ومطابقة نتائج التجارب مع الدراسات النظرية في قوانين مقاومة المواد ونظرية المرونة.

والطريقة الكلاسيكية هي أقدم الطرائق المعروفة في حساب إنشاءات البيتون المسلح، وتعتمد بصورة أساسية على قوانين مقاومة المواد، والخواص الأساسية للبيتون والفولاذ، وإعتماد فرضيات خاصة لتسهيل الحسابات، ذلك لعدم معرفة حقيقة عمل المقطع بشكل واضح.

وإن إستمرار البحوث التجريبية، وربط نتائجها بالقوانين النظرية، أدى إلى تطور كبير في نظريات الحساب ووضعت طريقة الحساب على الإنكسار، ومن ثم طريقة الحساب بالوضعية الحدية، وهما أكثر دقة من الطريقة الكلاسيكية وتنطبق نتائجهما بشكل سليم وواضح مع حقيقة عمل العناصر الإنشائية تحت تأثير الحمولات، إضافة إلى تحقيق الإقتصاد في إستخدام المواد، وإمكانات إقامة منشآت ذات أشكال مختلفة تلائم التطور الهندسي ومتطلبات العمارة الحديثة.

3 - 2 مبادئ التصميم بالطريقة الكلاسيكية:

3 - 2 - 1 تحديد الحمولات الخارجية:

تقسم الحمولات المؤثرة على أي عنصر إنشائي إلى قسمين رئيسين وهي:

١ـ الحمولات الدائمة: وهي الحمولات التي تؤثر في العنصر بشكل دائم، وتدعى بالحمولات الميتة، وتتضمن الوزن الذاتي للعنصر، ووزن القطع والعناصر المستندة عليه، ووزن طبقات الردم أو التغطية الدائمة، كوزن التربة فوق الأساس، أو ضغط التربة على الجدران الإستنادية، ووزن طبقة الرمل والمونة والبلاط على بلاطة السقف، ووزن جدران البلوك فوق الجائز. إلخ ويبين الجدول (٢ـ١) الوزن النوعي لمواد مختلفة تستخدم في الإنشاء، ويستخدم الجدول في تحديد الحمولات الميتة على العناصر الإنشائية.

٢ـ الحمولات المؤقتة: وهي الحمولات التي قد تؤثر في العنصر في فترات مختلفة أثناء إستثمار العنصر، وتدعى بالحمولات الحية، ويختلف تأثير هذه الحمولات

في العنصر حسب طبيعتها، فإما أن تكون:

أ ـ حمولات ستاتيكية: وتؤثر في العناصر بسرعة بطيئة، بحيث يمكن عدها ثابتة لا تؤدي إلى إهتزازات في العنصر، وتتضمن وزن الأشخاص والأثاث في الأبنية السكنية العامة، والأجهزة الثابتة والمعدات في المباني الصناعية، والبضائع والمواد في المستودعات والمخازن، وحمولة الرياح في الأبنية العالية، ووزن الثلج على بلاطة السطح الأخير، وزن الماء وضغط الماء في الخزانات ... إلخ. وقد تكون:

ب ـ حمولات ديناميكية: وتؤثر في العناصر بسرعة كبيرة، بحيث تؤدي إلى إهتزازات في العنصر، مما يستوجب الأخذ بالحسبان التأثير الديناميكي لهذه الحمولات، وتتضمن وزن عجلات السيارات على الجسور، أو وزن الرافعات المتحركة في المباني الصناعية، أو الآلات الدائرة في المصانع ... إلخ.

وغالباً ما تكون الحمولات الميتة والحمولات الحية الستاتيكية حمولات موزعة على العناصر، أما الحمولات الحية الديناميكية فغالباً ما تكون حمولات مركزة، ينحصر تأثيرها في نقطة تطبيقها.

لا يمكن تحديد الحمولات الحية بشكل دقيق عن طريق حساب إمكانية وجود الأشخاص والأثاث في مبنى معين، إذ تختلف قيم هذه الحمولات حسب الغاية التي يستخدم من أجلها المنشأ، ونبين في الجدول (٢-٢) ـــ قيم الحمولات الحية على بلاطات الأبنية المعتمدة بالمواصفات.

الوزن الحجمي لمواد البناء

المـــــادة	الوزن الحجمي كغ/م٣
بيتون مسلح	٢٥٠٠
بيتون عادي	٢٢٠٠
بيتون عادي مرصوص	٢٣٠٠
مونة إسمنتية	١٨٠٠
ردميات من الرمل الجاف	١٦٠٠
ردميات من التربة	١٧٠٠
قرميد	١٨٠٠
حجر غرانيت	٢٧٠٠
فولاذ	٧٨٥٠
نحاس	٨٨٠٠
رصاص	١١٤٠٠
إسفلت	١٨٠٠
زجاج	٢٦٠٠
ثلج	٢٠٠
ثلج مرصوص	٤٠٠
جليد	٩٠٠
خشب صنوبر	٦٠٠-٥٠٠
خشب بلوط	٨٠٠

الجدول (٢-١): الوزن الحجمي لمواد الإنشاء.

الحمولات الحية على البلاطات

نوع البناء واستخدامه	الحمولة الحية kg/m^2
بلاطات السقوف النهائية غير المستخدمة – مائلة	٥٠ كغ
بلاطات السقوف النهائية غير المستخدمة – مستوية	١٠٠
بلاطة السقوف النهائية مستخدمة بدون تجمعات	٢٠٠
بلاطات الغرف في المباني السكنية	٢٠٠
بلاطات غرف المكاتب والمستشفيات	٣٠٠
الممرات والأدراج في المباني السكنية	٣٥٠
الممرات والأدراج في المباني العامة	٥٠٠
بلاطات غرف التدريس في المدارس وقاعات السينما والمسرح والمباني العامة.	٤٠٠–٥٠٠
بلاطات غرف التخزين – المكتبات والمتحاف – والمعارض	الحمولات الحقيقية على أن لا تقل عن ٥٠٠ كغ/م٢.

الجدول (٢-٢): الحمولات الحية على البلاطات.

3 - 2 - 2 الإجهادات في المقطع بتأثير الحمولات:

ويعتمد حساب الإجهادات على قوانين مقاومة المواد، ويدرس توازن العنصر بتأثير الحمولات المطبقة بجميع إحتمالات تراكب الحمولات، أو أشكال التحميل المختلفة وبالتالي تجمع التأثيرات التي تعطي أكبر قيمة ممكنة للإجهادات، وتوضع مخططات عزوم الإنعطاف وقوى القص والقوى الناظمية النهائية. وتحسب إجهادات الضغط والشد في المقطع بالعلاقات المعروفة في مقاومة المواد.

– من المعادلة العامة: $$\sigma_{max} = \frac{N}{B} \mp \frac{Mx}{Ix} Y \mp \frac{My}{Iy} X$$

وحتى يمكن تطبيق هذه العلاقة في مقاطع البيتون المسلح، والمكونة من مادة البيتون غير المتجانسة وحديد التسليح، تعتمد الطريقة الكلاسيكية لحساب مقاطع البيتون المسلح على الفرضيات التالية:

١- فرضية (برنولي – نافييه):

وتنص على أن المقاطع المستوية في الجوائز، تبقى مستوية بعد الإنحناء الناتج عن عزم الإنعطاف، وذلك يعني أن الإجهادات في البيتون، تتناسب مع بعدها عن المحور المحايد، وبالتالي فإن العلاقة: $\sigma = \frac{M}{I} Y$ لحساب الإجهادات الناتجة عن عزم

الإنعطاف، تعد صحيحة في مقاطع البيتون المسلح، وأن مخطط توزع الإجهادات في المقطع يكون بشكل مثلثي – هو توزع منحني بند ٢ـ٢ فقرة ٣.

٢ـ فرضية مرونة البيتون:

إن عدَّ البيتون مادة مرنة تخضع لقانون هوك، وتتناسب التشوهات خطياً مع الإجهادات، لا ينطبق مع الواقع العملي لعمل البيتون، ووجود التشوهات اللدنة في عناصر البيتون، وإن إعتماد هذه الفرضية لتسهيل الحسابات يؤدي إلى عدّ قيمة ثابتة لعامل مرونة البيتون، وتحديد قيمة ثابتة (n التي تمثل نسبة عامل مرونة الفولاذ إلى عامل مرونة البيتون، وتؤخذ بقيمة ثابتة في الحسابات $n = 15$.

3 - 2 - 3 إهمال عمل البيتون في منطقة الشد:

تعتمد هذه الفرضية على أن ضعف البيتون في تحمل الشد، والإختلاف الكبير بين قيم الإجهادات في حديد تسليح الشد وبين البيتون في منطقة الشد، يؤدي إلى تشقق البيتون. وبالتالي يمكن إهمال عمل بيتون منطقة الشد، وعدّ إجهادات الشد مطبقة على فولاذ التسليح فقط، في المقاطع المعرضة لعزم الإنعطاف.

إذ إن الإجهادات الناتجة في العناصر المعرضة للإنعطاف هي أجهاد شد وإجهادات ضغط تحدد ضغط تحدد بالعلاقة:

$$\sigma = \mp \frac{M}{I} Y$$

والتي تعطي مقدار الإجهاد في أي نقطة من المقطع.

حيث: M عزم الإنعطاف.

I عزم عطالة المقطع.

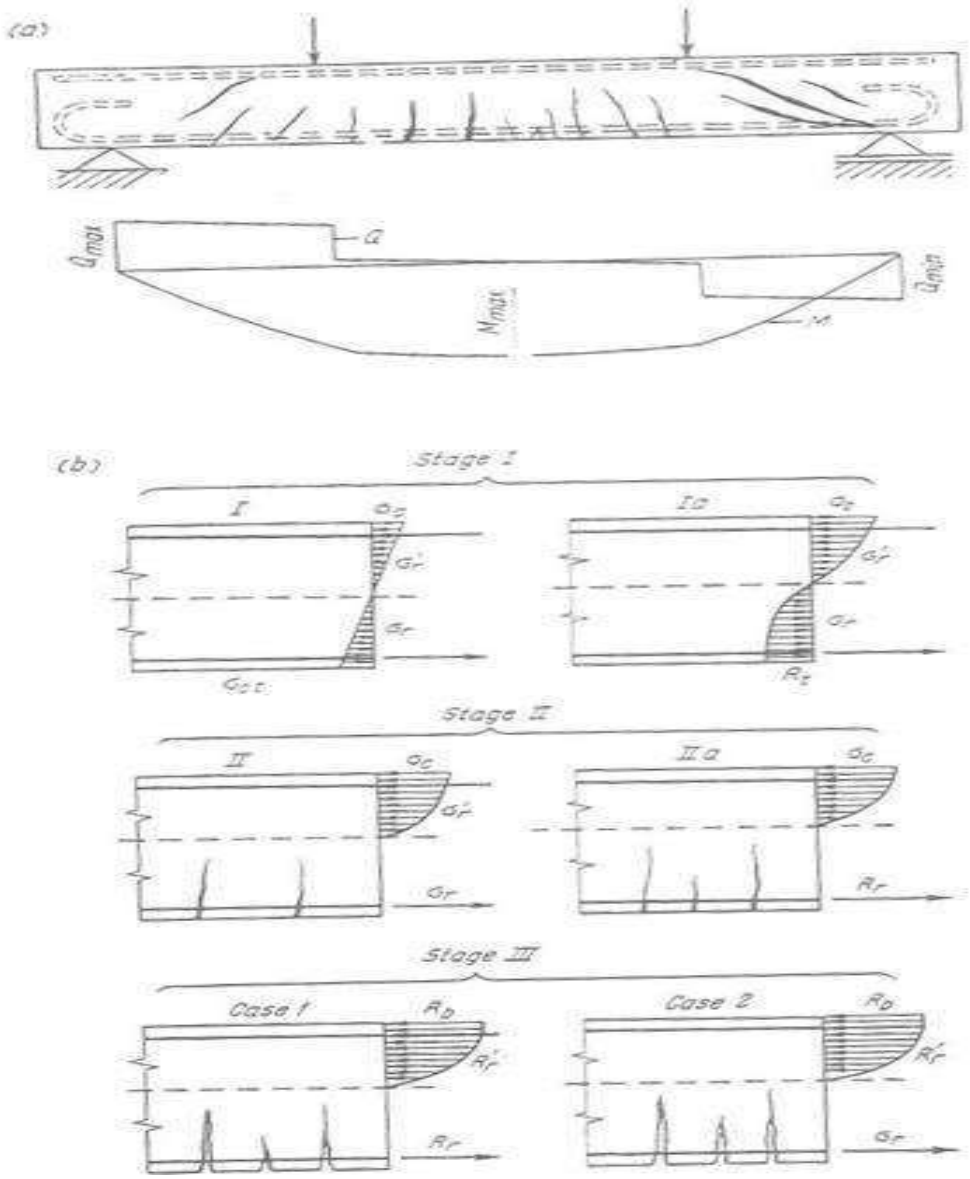
Y البعد عن مركز ثقل المقطع.

تكون إجهادات الشد والضغط في المواد المرنة متناظره في المقطع، فتكون قيمة إجهادات الضغط أعظمية في الألياف العليا وتتناقص بالتدريج إلى أن تنعدم عند المحور المحايد، وتنقلب بعدها إلى إجهادات شد تتزايد بالتدريج حتى تصل إلى قيمتها الأعظمية في الألياف السفلية البعيدة الشكل (٢-١) المرحلة I.

ويؤدي التوزيع المثلثي للإجهادات إلى إمكانات زيادة الحمولات على العنصر قبل حدوث الإنكسار، إذ تساعد الألياف القريبة من المحور المحايد الألياف البعيدة في تحمل الإجهادات الناجمة عن الأحمال الإضافية وتتزايد الإجهادات في هذه الألياف إلى أن تصل إلى الإجهاد الأعظمي قبل حدوث الانكسار.

ونظراً لأن البيتون مادة تختلف مقاومتها للشد عن مقاومة الضغط فتتصرف مقاطع البيتون بشكل يختلف عن المواد المرنة. الشكل (٢-١) المرحلتين:

II , III. إذ تبدأ التشققات بالظهور في منطقة الشد عند تجاوز تحمل البيتون للشد ولذلك يتطلب وضع فولاذ التسليح في مناطق الشد لمقاومة إجهادات الشد بدلاً من البيتون مع إحتياطات تساهم في عمل المقطع كوحدة متكاملة بتأمين التلاصق اللازم كما ورد في الفصل الأول البند (١-٣).



الشكل (٢-١):

المرحلة I: مخططات الإجهادات في المواد المرنة وتزايد الإجهادات حتى مرحلة الإنكسار.

المرحلة II: مخططات الإجهادات في البيتون المسلح وبدأ ظهور التشققات في منطقة الشد.

المرحلة III: تزايد الإجهاد وإمتداد التشققات والوصول إلى مرحلة الإنكسار.

3-2-4 تساوي التشوهات في البيتون وحديد التسليح:

عند تأمين التلاصق بين البيتون وحديد التسليح، فإن هذا التلاصق موجود في جميع مراحل التحميل، ولذا فإن تشوه حديد التسليح يساوي إلى تشوه البيتون بتأثير قوى الضغط. فإذا رمزنا للإجهاد في حديد التسليح بـ σ_a ، والإجهاد في البيتون بـ σ_b، فإن التشوهات الناتجة في كل من البيتون وحديد التسليح حسب قانون هوك بفرض فرضية مرونة البيتون:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a} \quad \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_a}$$

حيث ε_b تشوه البيتون.

ε_a تشوه حديد التسليح.

E_b عامل مرونة حديد التسليح.

E_b عامل مرونة البيتون.

وبإعتبار تساوي التشوهات في البيتون وحديد التسليح فإن:

$$\frac{\sigma_b}{E_a} = \frac{\sigma_a}{E_a}$$

وتبديل $\frac{E_a}{E_b} = n$ وينتج $\sigma_a = n\,\sigma_b$

أي أن الإجهاد في حديد التسليح، يساوي إلى n مرة الإجهاد في البيتون، كما يمكن التعبير عن هذه النتيجة بأنه يمكن تحويل مقطع حديد التسليح في الحسابات، إلى مقطع مكافئ من البيتون، بفرض أن وحدة السطح من حديد التسليح تكافئ n مرة وحدة السطح من البيتون، فإذا فرضنا أن A سطح مقطع التسليح و B سطح مقطع البيتون، فإن السطح المكافئ لمقطع البيتون المسلح: $B_E = (B + nA)$

وهذه الفرضية تؤدي إلى تسهيل حسابات العزم الساكن وعزم العطالة لمقاطع البيتون المسلح.

3 - 2 - 5 الإجهادات المسموح بها وعامل الأمان:

تفترض الطريقة الكلاسيكية لتصميم عناصر البيتون المسلح، بأن الإجهادات الناتجة في المقطع بتأثير الحمولات، يجب أن لاتزيد على قيم محددة مسبقاً، تدعى بالإجهادات المسموح بها، ولذا تعرف الطريقة الكلاسيكية، بطريقة الإجهادات المسموح بها، وإن قيم الإجهادات المسموح بها في البيتون، أقل بكثير من المقاومة المكعبية، وقيمة الإجهادات المسموح بها في حديد التسليح، أقل بكثير من حد

المرونة، وتحدد قيم الإجهادات المسموح بها، إعتماداً على نتائج الدراسات التجريبية للعناصر المختلفة، ولذا فإن قيم الاجهادات المسموح بها تختلف باختلاف طريقة عمل العنصر.

و إن الهدف من تحديد قيم الإجهادات المسموح بها، ادخال عامل أمان في تشغيل عناصر البيتون المسلح، تأخذ بالحسبان، عدم إنطباق الواقع الحقيقي لعمل البيتون مع الفرضيات المعتمدة لتسهيل الحسابات، والإحتمالات غير المتوقعة لزيادة الحمولات على المنشأ بسبب ظروف طارئة لا يمكن حصرها بدقة، وعدم التجانس في تركيب البيتون، وإحتمال وجود عيوب في فولاذ حديد التسليح، وعدم الدقة في التنفيذ.

وبالواقع فإن عامل الأمان في عناصر البيتون المسلح المصممة بطريقة الإجهادات المسموح بها (الطريقة الكلاسيكية لا يمكن تحديده بدقة، ذلك لأن الإجهادات الفعلية في البيتون وحديد التسليح غالباً ما تكون أقل من قيم الإجهادات المسموح بها.

ويبين الجدولان (٢-٣) (٢-٤) قيم الإجهادات المسموح بها للبيتون وحديد التسليح.

ماركة البيتون	١٢٠	١٦٠	١٨٠	٢٠٠	٢٢٥	٢٥٠	٢٧٥	٣٠٠
الإجهاد المسموح لعزم الانعطاف	٣٠	٤٥	٥٠	٥٥	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥
بلاطات ٨-١٠سم	٣٠-٢٥	٤٥-٤٠	٥٠-٤٥	٥٥-٥٠	٦٠-٥٥	٦٥-٦٠	٧٠-٦٥	٧٥-٧٠
١٠-١٢سم	٣٥-٣٠	٥٠-٤٥	٥٥-٥٠	٦٠-٥٥	٦٥-٦٠	٧٠-٦٥	٧٥-٧٠	٨٠-٧٥
١٢-٢٠سم	٤٠-٣٥	٦٠-٥٠	٦٠-٥٥	٧٠-٦٠	٧٥-٦٥	٨٠-٧٠	٨٥-٧٥	٩٠-٨٠
جوائز وبلاطات t > ٢٠سم	٤٠	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥	٨٠	٨٥	٩٠
إجهادات القص أو الفتل								
بلاطات	٦	٧	٨	٨	٩	٩	١٠	١٠
جوائز	٤	٥	٦	٦	٧	٧	٨	٨
إجهادات القص والفتل معاً في جميع العناصر	٥	٧	٨	٨	٩	٩	١٠	١٠

جدول (٢-٣) – الإجهادات المسموحة للبيتون: kg/cm^2

	ماركة البيتون أقل من ١٣٠	ماركة البيتون أعلى من ١٥٠
حديد التسليح العادي	١٢٠٠	١٤٠٠
حديد تسليح قاسي محلزن		
إجهاد التسليح في البلاطات	–	٢٠٠٠
إجهاد التسليح في الجوائز	–	١٨٠٠

جدول (٢-٤) – الإجهاد المسموح به لحديد التسليح للشد والضغط kg/cm^2.

3 - 3 معادلات التصميم:

تتيح معادلات التصميم للعناصر المختلفة بطريقة الإجهادات المسموح بها، بدراسة توازن مقاطع البيتون المسلح حسب المبادئ الأساسية لعلم مقاومة المواد، بعد تحديد القوى المطبقة على العنصر، والإجهادات الناتجة في المقطع، واعتماد جميع

الفرضيات السابقة، وبالتالي يمكن وضع مخطط توزع الإجهادات في المقطع، ومن شرط مساواة الإجهادات الأعظمية في البيتون وحديد التسليح، للإجهادات المسموحة في البيتون وحديد التسليح، يمكن الوصول إلى علاقات رياضية للتصميم، ومن المهم الإشارة إلى أن هذه المعادلات لاتنطبق في غالب الأحيان مع النواحي التطبيقية العملية للإستثمار، ولذا يجب إدخال عوامل تصحيح إضافية على هذه العلاقات، وتحدد عوامل التصحيح بنتائج الدراسات التجريبية على كل هذه العناصر، إما في منشآت قائمة ومنفذة فعلاً، أو بإجراء التجارب على نماذج مخبرية.

3 - 3 - 1 علاقات تصميم مقاطع الأعمدة المربعة والمستطيلة:

تتحدد علاقات التصميم حسب مبادئ التوازن الأساسية وفرضيات الطريقة الكلاسيكية، فإذا فرضنا مقطعاً لعمود مسلح معرض لقوة مركزية N.

وسطح مقطع البيتون B.

وسطح مقطع التسليح A.

وكان الإجهاد الناتج في حديد التسليح مساوياً F_a والإجهاد الناتج في البيتون F_b فإن فرضية تساوي التشوهات تدل على أن:

$$F_a = n.F_b$$

وبالتالي فإن جزء القوة التي يتحملها البيتون تساوي $B.F_b$

وجزء القوة التي يتحملها حديد التسليح تساوي $A.F_a = n.A.F_b$

وبوضع معادلة التوازن بين القوة الخارجية N والقوى الداخلية في البيتون وحديد التسليح:

$$N = B.F_b + n.A.F_b$$

وبفرض أن الإجهاد في البيتون يجب أن لا يزيد على الإجهاد المسموح به:

$$F_b \le \sigma_b .$$

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل:

$$N \le B.\sigma_b + nA\sigma_b$$

وعند تساوي طرفي المتراجحة يكون المقطع الناتج أكثر إقتصادا لإستثمار البيتون والحديد إلى أقصى حد حسب قيمة الإجهاد المسموح به:

$$N = B.\sigma_b + n.A\sigma_b \quad \ldots\ldots (1)$$

وحتى يمكن إستخدام هذه العلاقة لتحديد سطح مقطع البيتون، بتقسيم طرفي العلاقة على B:

$$\frac{N}{B} = \sigma_b + n.\frac{A}{B}.\sigma_b$$

وبتبديل A/B بنسبة التسليح μ

$$N / B = \sigma_b (1 + n\mu)$$

$$B = \frac{N}{\sigma_b (1 + n\mu)} \qquad (2)$$

وبإستخدام العلاقة (2) يمكن تحديد مقطع البيتون بعد معرفة الحمولة N الناتجة عن مجموع ردود الأفعال في الجوائز المستندة على العمود إضافة إلى الوزن الذاتي للعمود.

وتفرض نسبة التسليح مسبقاً ضمن الحدود المسموح بها، كما يحدد الإجهاد المسموح به في البيتون حسب ماركة البيتون. ومن الجدول ـ٢ـ٣ـ وتجدر الملاحظة بأنه يجب تخفيض قيمة الإجهاد المسموح به للضغط في الأعمدة الواقعة على الزوايا بمقدار ١٥٪ وفي الأعمدة الواقعة على الزوايا بمقدار ٢٠٪ أما تحديد سطح مقطع التسليح فيتم بالعلاقة (2).

$$\frac{A}{B} = \mu$$

$$A = \mu.B \qquad (3)$$

بأنه يجب تخفيض قيمة الإجهاد المسموح به للضغط في الأعمدة الواقعة على الزوايا بمقدار ١٥٪ وفي الأعمدة الواقعة على الزوايا بمقدار ٢٠٪ أما تحديد سطح مقطع التسليح فيتم بالعلاقة (2).

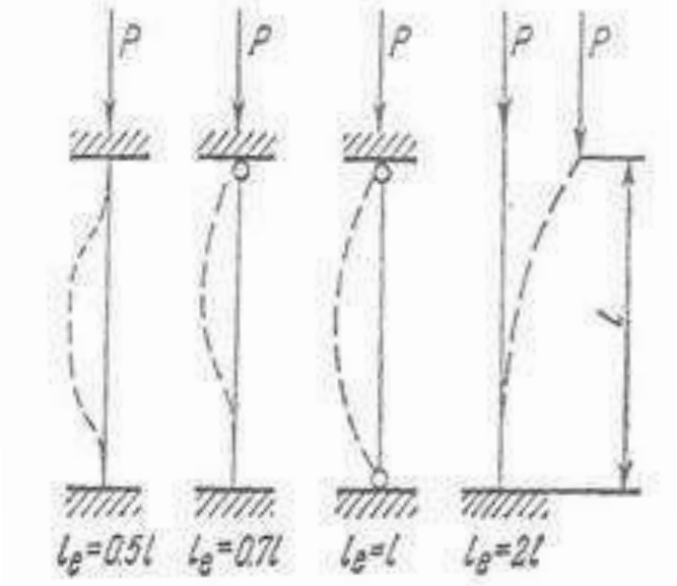
$$\frac{A}{B} = \mu$$

$$A = \mu . B \qquad (3)$$

وتطبق علاقات التصميم (2) و (3)، من أجل حساب الأعمدة القصيرة وهي الأعمدة غير المعرضة للتحنيب وعندما تدون النسبة بين طول العمود ℓ إلى البعد الأضعرى في المقطع a أصغر من 15.

$$\ell / a \leq 15$$

ويزداد التحنيب في الأعمدة بزيادة النسبة ℓ / a مما يؤدي إلى الإختلاف بين مركز ثقل المقطع ونقطة تطبيق الحمولة وظهور لا مركزية في تطبيق القوة وبالتالي زيادة في الإجهادات الناتجة في البيتون وحديد التسليح كما يتأثر التحنيب بشكل إستناد العمود في الطرفين ويؤخذ شكل الإستناد بالحسبان بإستبدال الطول ℓ بالطول الحسابي ℓo حسب شكل الإستناد المبين بالشكل (٢-٢).



الشكل (٢-٢): طول التحنيب

وتعد الأعمدة في الأبنية العادية والمتعددة الطوابق متمفصلة الطرفين ويؤخذ ℓo مساوياً لإرتفاع العمود، و إن العمود المعرض للتحنيب أقل قدرة على التحمل من عمود بالمقطع والتسليح نفسيهما وغير معرض لأثر التحنيب. وبمعنى آخر أنه يجب إستبدال القوة N المطبقة على العمود بقوة أكبر N' حيث $N' = N / \varphi$ وقيمة φ عامل التحنيب أقل من الواحد وتتعلق بمقدار التحنيب أي بالنسبة $\ell_{o/a}$ وحسب الجدول (٢ـ٥) ـ. وبإدخال N' عوضاً عن N في معادلات التصميم يعني الأخذ بالحسبان الإجهادات الإضافية الناتجة عن أثر التحنيب وبالتالي تصبح العلاقات (2) و (3) وبالشكل جـ:

$$B' = \frac{N}{\varphi.\sigma_b(1+n\mu)} \quad (4)$$

$$A' = \mu.B' \quad (5)$$

حيث B' سطح مقطع البيتون و A' سطح مقطع التسليح بفرض أثر التحنيب.

ومن الواضح أنه من أجل قيم $\frac{\ell_o}{a} \le 15$ فإن الإجهادات الإضافية الناتجة من أثر التجنيب تكون مهملة وبالتالي فإن قيمة φ تساوي الواحد.

٪	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠
	١	٠,٩٨٦	٠,٩٧٢	٠,٩٥٨	٠,٩٤٤	٠,٩٣٠	٠,٨٩٦	٠,٨٦٢	٠,٨٢٨	٠,٧٩٤	٠,٧٦٠	٠,٧٢٤	٠,٦٨٨	٠,٦٥٢	٠,٦١٦	٠,٥٨٠

الجدول (٢ـ٥): قيم عامل التجنب للأعمدة المربعة والمستطيلة.

وتستخدم العلاقات (1) و (2) أو العلاقات (3) و (4) لتصميم المقاطع أو للتحقق من الإجهادات في المقاطع المحددة الأبعاد والتسليح كما تبين ذلك الأمثلة التالية:

3 - 3 - 1 - 1 مسائل في حساب مقاطع الأعمدة المستطيلة والمربعة:

مثال ـ١ـ: المطلوب تصميم مقطع مربع أو مستطيل لعمود من البيتون المسلح مع العلم أن الحمولة الناظمية: N=80 وماركة البيتون R=250، ونسبة التسليح $\mu = 1\%$.

من الجدول (٢ـ٣) نجد أن الإجهاد المسموح به $\sigma_b = 65kg/cm^2$

سطح مقطع البيتون $B = \frac{80.10^3}{65(1+15.\frac{1}{100})} = 1070.23cm^2$

$$B = \frac{80.10^3}{65(1+15.\frac{1}{100})} = 1070.23cm^2$$

سطح مقطع التسليح: $A = 1070.23\frac{1}{100} = 10.70cm^2$

لتحديد ابعاد المقطع وعدد قضبان التسليح وقطرهـا، فإذا إفترضنا أن المقطع المطلوب بشكل مربع فيكون طول ضلع المقطع $a \geq \sqrt{B}$

$$a \geq \sqrt{1070.23} = 32.17cm$$

ويؤخذ المقطع بأبعاد 35 × 35 cm مساحة المقطع $1225\ cm^2$

و إذا فرضنا أن المقطع المطلوب بشكل مستطيل فيمكن تحديد أحد أبعاد المقطع وحساب البعد الآخر بفرض أن عرض المقطع $a = 25cm$

يكون طول المقطع $b \geq \frac{B}{25}$

$$b \geq \frac{1070.23}{25} = 42.8cm$$

وتؤخذ $b = 45\ cm$ وتكون أبعاد المقطع المستطيل 45× 25 ومساحة المقطع $1125\ cm^2$.

كما يمكن إعتماد طريقة أخرى على الشكل التالي، بما أن المواصفات تنص على أن: $\frac{b}{a} \leq 3$.

فإذا فرضنا أن: $b/a = 2.5$ نجد:

$$b.a = B$$
$$2.5.a^2 = B$$
$$a = \sqrt{\frac{B}{2.5}} = 20.69\,cm$$

ونحصل قيمة لـ $a = 20cm$ وبالتالي يمكن حساب b

$$a \geq \frac{B}{a} = \frac{1070.23}{20} = 53.51cm$$

$b = 55cm$

ونحصل على مقطع بأبعاد $20 \times 55 = 1100cm^2$

وللتحقق من نسبة b/a

$$\frac{b}{a} = \frac{55}{20} = 2.75 < 3$$

ونلاحظ أن هناك عدداً من الحلول لإختيار أبعاد المقطع المستطيل بحيث تبقى $b/a \le 3$ وفي الواقع تحدد الشروط المعمارية عرض المقطع المطلوب أو يمكن إختياره بما يتناسب والشكل المعماري.

ولتحديد عدد القضبان وأقطارها وبما يتناسب وأبعاد المقطع والشروط المحددة بالمواصفات. ومن الجدول (-٢-٦-) حيث يبين سطح مقطع عدد من القضبان بدلالة القطر.

فالتسليح اللازم للمقطع المربع $A = 4\phi\ 20 (12.57cm^2)$

أما التسليح اللازم للمقطع المستطيل: $A = 4\phi\ 20 + 2\phi 12$

و إن القضبان $2\phi 12$ هي قضبان إنشائية توضع في منتصف طول المقطع حتى لا تزيد المسافة بين القضبان عن 35 cm.

ويجب التحقق من نسبة التسليح في المقطع الفعلي بحيث لا تقل عن 0,5%.

فمن أجل المقطع المربع $\mu = \frac{12.57}{1225} \approx 1\% > 0.5\%$

ومن الواضح ان نسبة التسليح في المقطع المستطيل أكبر من 1%.

مثال ـ٢ـ:

المطلوب إعادة تصميم مقطع العمود المربع المحدد في المثال (1) مع الأخذ بالحسبان أثر التحنيب مع العلم أن طول العمود $\ell = 6.5m$

وجدنا في المثال (١) أن المقطع المربع للعمود بدون أثر التحنيب:

وحساب φ عامل التجنيب. حيث $\ell = \ell_0$

$$\frac{\ell_0}{a} = \frac{650}{35} = 18.57$$

ومن الجدول (-٢-٥) بفرض $\frac{\ell_0}{a} = 19$ $\qquad \varphi = 0.944$

القطر d	سطح المقطع حسب عدد القضبان										محيط قضيب u	قضيب ١متر
mm	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	cm	kg
٦	٠,٢٨	٠,٥٧	٠,٨٥	١,١٣	١,٤١	١,٧٠	١,٩٨	٢,٢٦	٢,٥٤	٢,٨٣	١,٨٧	٠,٢٢٢
٨	٠,٥٠	١,٠١	١,٥١	٢,٠١	٢,٥١	٣,٠٢	٣,٥٢	٤,٠٢	٤,٥٢	٥,٠٣	٢,٥١	٠,٣٩٥
١٠	٠,٧٩	١,٥٧	٢,٣٦	٣,١٤	٣,٩٣	٤,٧١	٥,٥٠	٦,٢٨	٧,٠٧	٧,٨٥	٣,١٤	٠,٦١٧
١٢	١,١٣	٢,٢٦	٣,٣٩	٤,٥٣	٥,٦٥	٦,٧٩	٧,٩٢	٩,٠٥	١٠,١٨	١١,٣١	٣,٧٢	٠,٨٨٨
١٤	١,٥٤	٣,٠٨	٤,٦٢	٦,١٦	٧,٧٠	٩,٢٤	١٠,٧٨	١٢,٣٢	١٣,٨٥	١٥,٣٩	٤,٤٠	١,٢٠٨
١٦	٢,٠١	٤,٠٢	٦,٠٣	٨,٠٤	١٠,٠٥	١٢,٠٦	١٤,٠٧	١٦,٠٨	١٨,٠٩	٢٠,١٠	٥,٠٣	١,٥٧٨
١٨	٢,٥٤	٥,٠٩	٧,٦٣	١٠,١٨	١٢,٧٢	١٥,٢٧	١٧,٨١	٢٠,٣٦	٢٣,٩٠	٢٥,٤٥	٥,٦٥	١,٩٩٨
٢٠	٣,١٤	٦,٢٨	٩,٤٢	١٢,٥٧	١٥,٧٢	١٨,٨٥	٢١,٩٩	٢٥,١٣	٢٨,٢٧	٣١,٤٢	٦,٢٨	٢,٤٦٦
٢٢	٣,٨٠	٧,٦٠	١١,٤٠	١٥,٢٠	١٩,٠٠	٢٢,٨٠	٢٦,٦١	٣٠,٤١	٣٤,٢١	٣٨,٠١	٦,٩١	٢,٩٨٤
٢٤	٤,٥٢	٩,٠٥	١٣,٥٧	١٨,١٠	٢٢,٦٢	٢٧,١٤	٣١,٦٧	٣٦,١٩	٤٠,٧٢	٤٥,٢٤	٧,٥٤	٣,٥٥١
٢٦	٥,٣١	١٠,٦٢	١٥,٩٣	٢١,٢٤	٢٦,٥٣	٣١,٨٦	٣٧,١٧	٤٢,٤٧	٤٧,٧٨	٥٣,٠٩	٨,١٧	٤,١٦٨
٢٨	٦,١٦	١٢,٣٢	١٨,٤٧	٢٤,٦٣	٣٠,٧٩	٣٦,٩٤	٤٣,١٠	٤٩,٢٦	٥٥,٤٢	٦١,٥٨	٨,٨٠	٤,٨٣٤
٣٠	٧,٠٧	١٤,١٤	٢١,٢١	٢٨,٢٨	٣٥,٣٤	٤٢,٤١	٤٩,٤٨	٥٦,٥٥	٦٣,٦٢	٧٠,٦٩	٩,٤٢	٥,٥٤٩
٣٢	٨,٠٤	١٦,٠٨	٢٤,١٣	٣٢,١٧	٤٠,٢١	٤٨,٢٦	٥٦,٣٠	٦٤,٣٤	٧٢,٣٨	٨٠,٤٣	١٠,٠٦	٦,٣١٣
٣٤	٩,٠٨	١٨,١٦	٢٧,٢٤	٣٦,٣٢	٤٥,٤٨	٥٤,٤٨	٦٣,٥٦	٧٢,٦٣	٨١,٧١	٩٠,٧٩	١٠,٦٨	٧,١٣٠
٣٦	١٠,١٨	٢٠,٣٦	٣٠,٥٤	٤٠,٧٢	٥٠,٠٠	٦١,٠٧	٧١,٢٦	٨١,٤٣	٩١,٦١	١٠١,٨	١١,٣١	٧,٩٩٠
٣٨	١١,٣٤	٢٢,٦٢	٣٤,٠٢	٤٥,٣٦	٥٦,٧٠	٦٨,٠٤	٧٩,٣٨	٩٠,٧٢	١٠٢,٠٦	١١٣,٤	١١,٩٤	٨,٩٠٠
٤٠	١٢,٥٦	٢٥,١٢	٣٧,٧٠	٥٠,٢٦	٦٢,٨٣	٧٥,٤٠	٨٧,٩٦	١٠٠,٥	١١٣,١	١٢٥,٧	١٢,٥٣	٩,٨٧٠

الجدول (٢-٦): مساحة مقاطع حديد التسليح.

وبتطبيق العلاقة (4):

$$B' = \frac{80.10^3}{0.944.65(1+15.1/100)} = \frac{B}{\varphi}$$

$$B' = \frac{1070.23}{0.944} = 1133.71cm^2$$

وطول ضلع المقطع:

$$a \geq \sqrt{1133.71} = 33.67\,cm$$

وبالتالي يمكن المحافظة على المقطع السابق نفسه 35 x 35.

أما مقطع التسليح فمن العلاقة (5):

$$A' = 1133.71.\frac{1}{100} = 11.34cm^2$$

$$A' = 4\phi 20(12.57)$$

ونلاحظ أيضاً الإحتفاظ بمقطع التسليح السابق نفسه وذلك أننا في إختيار كل من أبعاد مقطع البيتون وحديد التسليح فرضنا قيماً أكبر من القيم المطلوبة في الحساب.

مثال ــ٣ــ:

المطلوب إعادة تصميم مقطع العمود المستطيل المحسوب في المثال (١) بأبعاد 25 x 45 مع الأخذ بالحسبان أثر التحنيب في أن طول العمود $\ell = 6.5m$

لحساب φ عامل التحنيب $\frac{\ell_o}{a} = \frac{650}{25} = 26$ $\varphi = 0.724$

في المرحلة الأولى يمكن التحقق من إمكانية الإحتفاظ بالمقطع نفسه مع زيادة نسبة التسليح، وتحسب نسبة التسليح من العلاقة (4) بوضعها بالشكل:

$$\mu = (\frac{N}{\varphi . B' . \sigma_b} - 1)\frac{1}{n} \qquad (6)$$

وبفرض B' سطح المقطع المحدد $B'=45\times25=1125$

$$\mu = (\frac{80.10^3}{0.724.1125.65} - 1)\frac{1}{15}$$

$$\mu = 3.4\% > 3\%$$

ونلاحظ أن نسبة التسليح أكبر من 3% ولذا يجب زيادة سطح المقطع، فإذا فرضنا عرض المقطع 30cm (أي بزيادة ٥سم) نجد:

$$\frac{\ell_o}{a} = \frac{650}{30} = 21.66 \qquad \varphi = 0.862$$

$$B' = 30\times45 = 1350\ cm^2$$

$$\mu = (\frac{80.10^3}{0.862.1350.65} - 1)\frac{1}{15} = 0.384\% < 5\%$$

وبالتالي نجد أن نسبة التسليح أصغر من 0,5% ولذا نفرض أن μ =0,5% ونحصل على سطح مقطع التسليح:

$$A = 1350.\frac{s}{1000} = 6.75cm^2 \qquad 6\phi 12$$

مثال ـ٤ـ:

المطلوب التحقق من الإجهادات في مقطع عمـود مـن البيتـون المسـلح بمقطـع مستطيل 50 x 30 ومسلح بـ 6ϕ18 ومعرض لحمولة مركزية N=100 t علماً أن الإجهاد المسموح به في البيتون $50kg/cm^2$

$$B=1500\ cm^2$$

$$A=15.27cm^2$$

$$\mu=\frac{15.27}{1500}\chi 1\%$$

لحساب الإجهادات في البيتون ومن العلاقة (2) بكتابتها على الشكل:

$$\sigma_b=\frac{N}{B(1+n\mu)} \qquad (7)$$

$$\sigma_b=\frac{100.10^3}{1500(1+15.\frac{1}{100})}=57.97 > 50kg/cm^2$$

ونلاحظ أن الإجهاد الناتج في البيتون أكبر من الإجهاد المسموح به وبالتالي لا يمكن للعمود تحمل القوة المطبقة ويجب زيادة ماركة البيتون للحصول على إجهاد مسموح به في البيتون أكبر أو يساوي $58\ kg/cm^2$

أو يمكن تعديل نسبة التسليح ومقطعة من المحافظة على أبعاد المقطع نفسها 30 x 50 قيمة الإجهاد نفسها المسموح في البيتون $b=50\ kg/cm^2$

ونجد من العلاقة (2) بكتابتها بالشكل:

$$\mu=(\frac{N}{B.\sigma_b}-)\frac{1}{n} \qquad (8)$$

$$\mu=(\frac{100.10^3}{1500.50}-1)\frac{1}{15}=2.22\%<3\%$$

وبالتالي نجد مقطع التسليح اللازم:

$$A=\frac{2.22}{100}.1500=33.33cm^2$$

$$A=(4\phi 28+2\phi 24)=24.63+9.05=33.68 > 33.33cm^2$$

نلاحظ أن مقطع التسليح قد إزداد بما يزيد عن ضعف المقطع المفروض سابقاً.

أما تعديل مقطع البيتون مع المحافظة على مقطع التسليح نفسه $A = 15.27cm^2$ وقيمة الإجهاد نفسه المسموح به في البيتون $\sigma_b = 50kg/cm^2$ فنجد:

من العلاقة(١): $N = B.\sigma_b + \sigma_b.nA$

$$B = \frac{N - \sigma_b.n.A}{\sigma_b} \qquad (9)$$

وحيث أن سطح مقطع التسليح محدد فيمكن حساب مقطع البيتون

$$B = \frac{100.10^3 - 50.15.15,27}{50} = 1770.95cm^2$$

وبفرض عرض المقطع: a = 30 cm

$$b \geq \frac{1770.9}{30} = 59.03cm$$

$$b = 60cm$$

ونجد أن مقطع البيتون اللازم $30 \times 60 = 1800cm^2$ ونسبة التسليح الفعلي.

$$\mu = \frac{15.27}{1800} = 0.848\% > 0.5\%$$

ومن الملاحظ أن تعديل سطح مقطع البيتون أكثر إقتصاداً من تعديل سطح مقطع التسليح.

مثال ـ٥ـ:

المطلوب التحقق من الإجهادات في عمود من البيتون المسلح بمقطع 30 x 50 ومسلح بـ $6\phi 18$

ومعرض لحمولة مركزية N=100 t مع العلم أن الإجهاد المسموح به في البيتون 50 kg/cm^2 ويؤخذ أثر التجنيب علماً أن طول العمود $\ell = 600cm$.

لحساب عامل النجنيب: $\frac{\ell_0}{a} = \frac{600}{30} = 20$

$$\varphi = 0.93$$

$$B = 1500cm^2 \qquad A = 15{,}27cm^2 \qquad \mu = 1\%$$

ومن العلاقة (7) بإدخال عامل التجنيب:

$$\sigma_b = \frac{N}{\varphi . B(1+n\mu)} \qquad (10)$$

$$\sigma_b = \frac{100.10^3}{0.93.1500(1+15\frac{1}{100})} = 62.33kg/cm^2 > 50$$

وبالمقارنة مع المثال (4) نلاحظ زيادة الإجهاد في البيتون نتيجة التحنيب، وحتى يمكن للعمود مقاومة الحمولة، فإما أن تعدل ماركة البيتون لتعطي إجهاداً مسموحاً به أكبر أو يساوي $63\ gk/cm^2$ أو يتم تعديل سطح مقطع التسليح، أو مقطع البيتون، أو تعديل كل من مقطع البيتون والتسليح.

بتعديل نسبة التسليح، نجد من العلاقة (6)

$$\mu = (\frac{N}{\varphi . B' . \sigma_b} - 1)\frac{1}{n}$$

$$\mu = (\frac{100.10^3}{0.93.1500.50} - 1)\frac{1}{15}$$

$$\mu = 2.89\% < 3\%$$

$$A = \frac{2.89}{100}.1500 = 43.47$$

$$A = (6\phi 28 + 2\phi 22)$$

أما بتعديل مقطع البيتون وبفرض $a = 35\ cm$

$$\varphi = 0.972\ \frac{\ell_o}{a} = \frac{600}{35} = 17.14$$

من العلاقة (1) وبإدخالها عامل التجنيب φ.

$$N/\varphi = B' . \sigma_b + n . A . \sigma_b \qquad (11)$$

$$B' = \frac{N/\varphi - n . A\sigma_b}{\sigma_b}$$

$$B' = \frac{100.10^3 / 0.972 - 15.15.27.50}{50} = 1828.56cm^2$$

$$b' \geq \frac{1828.56}{35} = 52.24cm$$

$$b' = 55cm.$$

وسطح مقطع البيتون:

$$= 35 \times 55 = 1925cm^2$$

ونسبة التسليح الفعلي:

$$\frac{15.27}{1925} = 0.793\% > 0.5\%$$

ويمكن إعادة التحقق من الإجهاد في البيتون فنجد:

$$\sigma_b = \frac{100.10^3}{0.972.1925(1+15.\frac{0.793}{100})} = 47.76kg/cm^2$$

$$< 50kg/cm^2$$

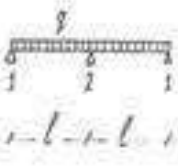
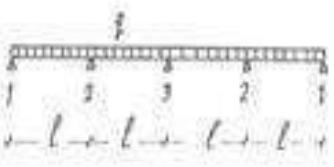
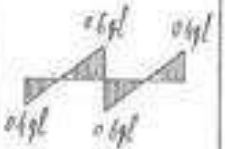
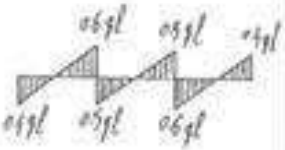
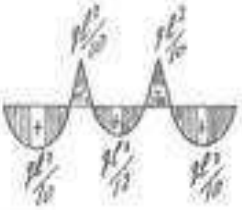
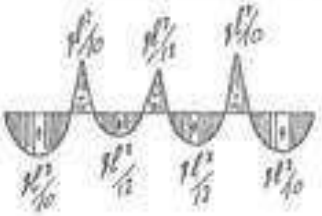
أما إذا أردنا تعديل مقطع من البيتون وحديد التسليح فيجب إعادة التصميم من جديد وفرض نسبة التسليح مناسبة.

3 - 3 - 2 علاقات تصميم الجوائز:

ونكتفي بدراسة العناصر ذات المقطع المستطيل وتكون هذه المقاطع إما بتسليح أحادي في منطقة الشد أو بتسليح ثنائي في كل من منطقتي الشد والضغط حيث يقوم التسليح في منطقة الضغط بمساعدة البيتون في تحمل الإجهادات.

ويتم حساب عزوم الإنعطاف وقوى القص في الجوائز بتطبيق معادلات التوازن الأساسية في مقاومة المواد، ومن أجل الجوائز المستمرة بحمولات موزعة بإنتظام وبمجازات متساوية أو بإختلاف بين أبعاد المجازات لا يتجاوز ٢٠٪ يمكن إعتماد القيم التقريبية لعزوم الإنعطاف وقوى القص المبنية في الجدول (٢-٧).

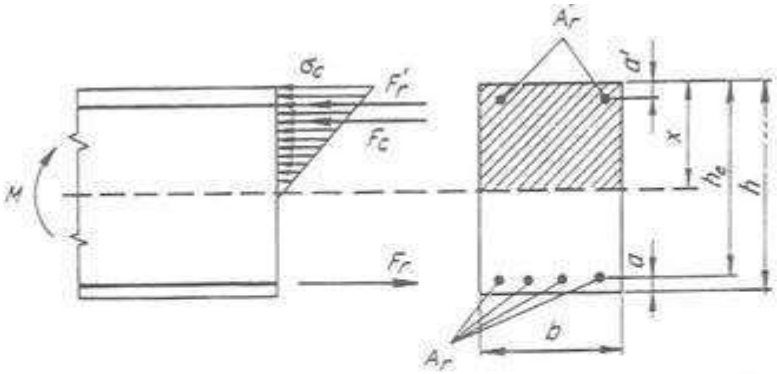
الجدول (٧-٢): عزوم الانحناء وقوى القص في الجوائز ذات المجازات المتساوية

	مجاز واحد	مجازين	ثلاث مجازات	أربع مجازات
الجوائز				
مخطط قوى القص				
مخطط عزوم الانحناء				
ردود الأفعال	$R_1 = 0.5\,gl$	$R_1 = 0.4\,gl$ $R_2 = 1.2\,gl$	$R_1 = 0.4\,gl$ $R_2 = 1.1\,gl$	$R_1 = 0.4\,gl$ $R_2 = 1.1\,gl$ $R_3 = 1\,gl$

ولتصميم المقاطع المستطيلة أحادية التسليح:

بفرض المقطع المستطيل بأبعاد b x h ومعرض لعزم إنعطاف M ومقطع التسليح في منطقة الشد A.

وحسب فرضيات الطريقة الكلاسيكية بفرض التوزيع المثلثي لإجهادات في بيتون منطقة الضغط وإلغاء عمل البيتون في منطقة الشد، وبفرض أن الإجهاد المسموح به للبيتون σ_b والإجهاد المسموح به في التسليح σ_a فإن مخطط توزيع الإجهادات كما في الشكل:



ولدراسة توازن المقطع، فإن مجموع قوى الضغط في البيتون، الموزعة على عرض المقطعb وبإرتفاع x :

$$F_b = \sigma_b \cdot \frac{x}{2} . b$$

ومجموع قوى الشد في حديد التسليح: $F_a = A.\sigma_a$

والمعادلة الأولى للتوازن هي تساوي قوى الشد وقوى الضغط:

$$F_b = F_a$$

$$\sigma_b \cdot \frac{x}{2} . b = A.\sigma_a$$

$$x = \frac{2A}{b} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_b} \qquad (24)$$

وتحدد العلاقة (24) البعد x إرتفاع منطقة الضغط في البيتون وبتقسيم طرفي العلاقة على h_o ونرمز لـ $\frac{x}{h_o} = \wp_x$

$$\frac{x}{h_o} = \frac{2A}{b.h_o} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_b}$$

$$\wp_x = \frac{2A}{b.h_o} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_b} \qquad (25)$$

ونلاحظ إن المقدار $\wp_x$ يتعلق بالإجهادات المسموح بها في البيتون وحديد التسليح وبنسبة التسليح في المقطع μ حيث $\mu = \frac{A}{b.h_o}$. وبالتالي:

$$\wp_x = 2\mu . \frac{\sigma_a}{\sigma_b} \qquad (26)$$

ومن العلاقة ـ 26 ـــ يمكن تحديد نسبة التسليح العظمى بمعرفة الإجهاد المسموح به في البيتون والإجهاد الأصغري في حديد التسليح وبفرض أن $\wp_x \leq 0.55$ أي أن إرتفاع الأعظمي لمنطقة الضغط يجب أن لا يزيد على 55% من إرتفاع المقطع الفعال h_o.

ويمكن تحديد النسبة $\frac{\sigma_b}{\sigma_a}$ بدلالة أبعاد المقطع وذلك بفرض فرضية تناسب التشوهات في المقطع مع بعدها عن المحور المحايد.

فإذا فرضنا أن التشوه الأعظمي للألياف العليا من البيتون ε_b حيث الإجهاد في البيتون σ_b والتشوه في التسليح ε_a حيث الإجهاد في التسليح σ_a وبكتابة تناسب التشوهات حسب بعدها عن المحور المحايد نحصل على المعادلة:

وتحدد العلاقة (24) البعد x إرتفاع منطقة الضغط في البيتون وبتقسيم طرفي العلاقة على h_o ونرمز لـ $\frac{x}{h_o} = \wp_x$

$$\frac{x}{h_o} = \frac{2A}{b.h_o}.\frac{\sigma_a}{\sigma_b}$$

$$\wp_x = \frac{2A}{b.h_o}.\frac{\sigma_a}{\sigma_b} \qquad (25)$$

ونلاحظ إن المقدار $\wp_x$ يتعلق بالإجهادات المسموح بها في البيتون وحديد التسليح وبنسبة التسليح في المقطع μ حيث $\mu = \frac{A}{b.h_o}$. وبالتالي:

$$\wp_x = 2\mu.\frac{\sigma_a}{\sigma_b} \qquad (26)$$

ومن العلاقة ـ 26 ـــ يمكن تحديد نسبة التسليح العظمى بمعرفة الإجهاد المسموح به في البيتون والإجهاد الأصغري في حديد التسليح وبفرض أن $\wp_x \leq 0.55$ أي أن إرتفاع الأعظمي لمنطقة الضغط يجب أن لا يزيد على 55% من إرتفاع المقطع الفعال h_o.

ويمكن تحديد النسبة $\frac{\sigma_b}{\sigma_a}$ بدلالة أبعاد المقطع وذلك بفرض فرضية تناسب التشوهات في المقطع مع بعدها عن المحور المحايد.

فإذا فرضنا أن التشوه الأعظمي للألياف العليا من البيتون ε_b حيث الإجهاد في البيتون σ_b والتشوه في التسليح ε_a حيث الإجهاد في التسليح σ_a وبكتابة تناسب التشوهات حسب بعدها عن المحور المحايد نحصل على المعادلة:

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{x}{(h_0 - x)}$$

وبفرض مرونة البيتون وحديد التسليح فحسب قانون هوك:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a}$$

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

وبالتالي فإن:

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{\sigma_b}{\sigma_a} \cdot \frac{E_a}{E_b} = \frac{x}{(h_0 - x)}$$

وحيث إن الطريقة الكلاسيكية تفترض أن:

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = n$$

$$n \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{x}{(h_0 - x)}$$

ونرمز للمقدار: $\frac{x}{h_0 - x}$ بالرمز ω_0 فنجد:

$$n \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \omega_0 \qquad (27)$$

$$\frac{x}{h_0 - x} = \omega_0 \qquad (28)$$

وبتقسيم الصورة والمخرج على ho :

$$\frac{\omega_x}{1 - \omega_x} = \omega_0 \qquad (29)$$

وهي علاقة بين ω_0 و ω_x يمكن كتابتها بالشكل:

$$\omega_x = (1 - \omega_x)\omega_0$$

$$\wp_x (1 + \wp_o) = \wp_o$$

$$\wp_x = \frac{\wp_o}{1 + \wp_o} \qquad (30)$$

وهذه العلاقة تستخدم لتحديد $\wp_x$ بعد تحديد $\wp_o$ من العلاقة (27) وبتبديل قيمة $\frac{\sigma_a}{\sigma_b}$ الناتجة من العلاقة (27) في العلاقة (26):

$$\wp_x = 2\mu . \frac{n}{\wp_o}$$

$$\mu = \frac{\wp_x . \wp_o}{2n} \qquad (31)$$

وتستخدم العلاقة (31) لتحديد نسبة التسليح μ بدلالة $\wp_o$ و $\wp_x$.

إن المعادلات السابقة تحدد إرتفاع منطقة الضغط ونسبة التسليح من شروط عمل المقطع إعتماداً على فرضيات الطريقة الكلاسيكية ومعادلة التوازن $\Sigma_x = o$.

أما علاقات تحديد أبعاد المقطع ومقطع حديد التسليح فيمكن وضعها إعتماداً على معادلة التوازن $\Sigma_M = o$ وذلك بمساواة العزم الخارجي في المقطع M مع العزم الناتج من القوة الداخلية.

وحيث إن $F_a = F_b$ فإن تشكل مزدوجة وبذراع يساوي Z حيث $Z = h_o - \frac{x}{3}$ حيث ن حاصلة قوى الضغط في البيتون تقع على بعد $\frac{x}{3}$ من الضلع العلوي للمقطع، وبتقسيم طرفي العلاقة على ho بفرض

$$\frac{z}{h_o} = \wp_z$$

$$\wp_z = 1 - \frac{\wp_x}{3} \qquad (32)$$

والعلاقة (32) تستخدم لتحديد $\wp_z$ بدلالة $\wp_x$

وبكتابة معادلة تساوي عزوم القوى الداخلية والعزم الخارجي.

$$M = F_b . Z = F_a . Z$$

وبتبديل قيم Z و Fa و Fb

$$M = \sigma_b . b . \frac{x}{2} . \wp_z . h_o = A . \sigma_a . \wp_z . h_o$$

ومن الطرف الأول للمعادلة:

$$M = \sigma_b . b \frac{x}{2} \wp_z . h_o$$

بتبديل x بـ $\wp_x . h_o$.

$$M = \sigma_b b \frac{\wp_x . \wp_z}{2} . h^2_o$$

نفرض:

$$\frac{\wp_x \wp_z}{2} = W_b \qquad (33)$$

$$h^2_o = \frac{M}{w_b . b . \sigma_b} \qquad (34)$$

$$h_o = \sqrt{\frac{1}{W_b}} . \sqrt{\frac{M}{b . \sigma_b}}$$

ونفرض

$$\wp_h = \sqrt{\frac{1}{W_b}} \qquad (35)$$

$$h_o = \wp_h \sqrt{\frac{M}{b . \sigma_b}} \qquad (36)$$

والعلاقة – ٣٦ – تستخدم لتحديد الارتفاع الفعال للمقطع h_0، ومن الطرف الثاني لمعادلة العزوم

$$M = A_a \cdot \sigma_a \cdot \wp_z \cdot h_0$$

$$A = \frac{M}{\wp_z . h_0 . \sigma_a} \quad \ldots\ldots\ldots (٣٧)$$

والعلاقة – ٣٧– تستخدم لتحديد سطح مقطع التسليح،

وتبين الأمثلة التالية كيفية استخدام العلاقات السابقة

3 - 2 - 3 - 1 مسائل في تصميم الجوائز أحادية التسليح:

مثال –٦– المطلوب تصميم مقطع مستطيل لجائز من البيتون المسلح معرض لعزم انعطاف $M = 10t.m$ مع العلم أن الإجهاد المسموح به في البيتون $\sigma_b 70kg/a$ والإجهاد المسموح به في التسليح

$$\sigma_b = 1400kg/cm^2$$

يبدأ الحل بتحديد قيمة $\wp_0$ ومن ثم ثوابت التصميم $\wp_x$ ، $\wp_z$ ، W_b ، r_0.

$$\wp_0 = \frac{\sigma_b}{\sigma_a} = 15.\frac{70}{1400} = 0.75$$

$$\wp_x = \frac{\wp_0}{1+\wp_0} = \frac{0.75}{1.75} = 0.428$$

$$\wp_z = 1 - \frac{\wp_x}{3} = 1 - \frac{0.428}{3} = 0.857$$

$$w_b = \frac{\omega_s \cdot \omega_b}{2} = \frac{0.428.0.857}{2} = 0.183$$

$$\omega_b = \sqrt{\frac{1}{W_b}} = 2.34$$

والارتفاع الفعال للمقطع:

$$h_0 = \omega_b \sqrt{\frac{M}{b.\sigma_b}}$$

ونفترض b=30 cm

$$h_0 = 2.34\sqrt{\frac{10.10^5}{30.70}} = 51.6cm$$

وبالتالي الارتفاع الكلي للمقطع: h=55 cm

حساب مقطع التسليح:

$$A = \frac{M}{\omega_s h_0 \sigma_u}$$

$$A = \frac{10.10^5}{0.857.50.1400} = 16.67cm \approx 7\phi 18$$

3 - 3 - 2 - 2 التصميم باستخدام الجداول:

تسهيلاً لحساب ثوابت التصميم فلقد وضعت جداول لقيم هذه الثوابت بدلالة القيمة $n\mu$.

وضمن الحدود المسموح بها لنسبة التسليح μ، ويبين الجدول (٢-٨) قيم ثوابت التصميم.

ونلاحظ أن الحد الأصغري لنسبد التسليح $M_{min} = \frac{n\mu}{n} = \frac{0.01}{15} = 0.07\%$

والحد الأعظمي لنسبة التسليح:

$$\mu_{max} \frac{0.4}{15} = 2.67\%$$

ويكفي لاستخدام الجداول معرفة أحد الثوابت فقط ويمكن الحصول على بقية الثوابت من الجداول.

$n\mu$	$\wp_o$	$\wp_h$	W_b	W_a	$\wp_x$	$\wp_z$
٠,١٠٠	,٥٥٨	٢,٥٢	٠,١٥٨	٠,٠٨٨١	٠,٣٥٨	٠,٨٨١
١٠٤	٥٧١	٥٠	١٦٠	٩١٤	٣٦٤	٨٧٩
١٠٨	٥٨٥	٤٨	١٦٢	٩٤٦	٣٦٩	٨٧٧
١١٢	٥٩٧	٤٧	١٦٤	٩٨٠	٣٧٤	٨٧٥
١١٦	٦١٠	٤٦	١٦٦	١٠١٣	٣٧٩	٨٧٤
٠,١٢٠	٠,٦٢٤	٢ ,٤٥	٠,١٦٨	٠,١٠٤٧	٠,٣٨٤	٠,٨٧٢
١٢٤	٦٣٧	٤٣	١٦٩	١٠٨٩	٣٨٩	٨٧٠
١٢٨	٦٥٠	٤٢	١٧١	١١١٢	٣٩٤	٨٦٩
١٣٢	٦٦٤	٤٠	١٧٣	١١٤٣	٣٩٩	٨٦٧
١٣٦	٦٧٨	٣٩	١٧٥	١١٧٧	٤٠٤	٨٦٥
٠,١٤٠	٠,٦٩١	٢ ,٣٨	٠,١٧٧	٠,١٢١٠	٠,٤٠٩	٠,٨٦٤
١٤٦	٧١٠	٣٧	١٧٩	١٢٦٠	٤١٥	٨٦٢
١٥٢	٧٢٨	٣٦	١٨١	١٣٠٨	٤٢١	٨٦٠
١٥٨	٧٤٤	٣٤	١٨٣	١٣٥٦	٤٢٧	٨٥٣
١٦٤	٧٦٥	٣٣	١٨٦	١٤٠٥	٤٣٣	٨٥٦
٠,١٧٠	٠,٧٨١	٢,٣٢	٠,١٨٨	٠,١٤٥٥	٠,٤٣٩	٠,٨٥٤
١٧٦	٧٩٧	٣٠	١٨٩	١٥٠٠	٤٤٤	٨٥٢
١٨٢	٨١٤	٢٩	١٩١	١٥٤٨	٤٤٩	٨٥٠
١٨٩	٨٣٣	٢٨	١٩٣	١٥٩٤	٤٥٤	٨٤٩
١٩٤	٨٤٣	٢٧	١٩٥	١٦٤١	٤٥٩	٨٤٧
٠,٢٠٠	٠,٨٦٢	٢,٢٦	٠,١٩٦	٠,١٦٩٠	٠,٤٦٣	٠,٨٤٥
٢١٠	٨٩٠	٢٥	١٩٩	١٧٧٠	٤٧١	٨٤٣
٢٢٠	٩١٩	٢٣	٢٠٢	١٨٥٠	٤٧٩	٨٤١
٢٣٠	٩٤٦	٢٢	٢٠٤	١٩٣٠	٤٨٦	٨٣٨
٢٤٠	٩٧٠	٢٠	٢٠٦	٢٠١٠	٤٩٣	٨٣٦
٠,٢٥٠	١,٠٠٠	٢,١٩	٠,٢٠٨	٠,٢٠٨٠	٠,٥٠٠	٠,٨٣٣
٢٦٠	٠٢٨	١٨	٢١١	٢١٦١	٥٠٧	٨٣١
٢٧٠	٠٥٦	١٧	٢١٣	٢٢٤٠	٥١٤	٨٢٩
٢٨٠	٠٨٤	١٦	٢١٥	٢٣٢٠	٥٢٠	٨٢٧
٢٩٠	١٠٨	١٥	٢١٦	٢٣٩٠	٥٢٥	٨٢٥
٠,٣٠٠	١,١٣٠	٢,١٤	٠,٢١٨	٠,٢٤٧٠	٠,٥٣٠	٠,٨٢٣
٣٣٠	١٧٣	١٢	٢٢١	٢٦٢٠	٥٤٠	٨٢٠
٣٤٠	٢٢٠	١١	٢٢٤	٢٧٨٠	٥٥٠	٨١٧
٣٦٠	٢٧١	٠٩	٢٢٨	٢٩٢٠	٥٦٠	٨١٣
٣٨٠	٣٢٥	٠٨	٢٣١	٣٠٨٠	٥٧٠	٨١٠
٠,٤٠٠	١,٣٨٠	٢,٠٧	٠,٢٣٤	٠,٣٢٣٠	٠,٥٨٠	٠,٨٠٧

$$\wp_o = n\frac{\sigma_b}{\sigma_a}$$

$$\wp_x = \frac{\wp_o}{1+\wp_o}$$

$$\wp_z = 1-\frac{\wp_x}{3}$$

$$W_b = \frac{\wp_x \cdot \wp_z}{2}$$

$$\wp_h = \frac{1}{\sqrt{W_b}}$$

$$h_o = \wp_h \sqrt{\frac{M}{b.\sigma_b}}$$

$$A = \frac{M}{\wp_z . h_o . \sigma_a}$$

$$\sigma_a = \frac{nM}{W_a . b . h^2{}_o}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_b . b . h_o{}^2}$$

$$W_a = \wp_o W_b$$

جدول (٢–٨) – ثوابت معادلات التصميم.

$n\mu$	β_6	β_8	π_3	π_4	β_2	β_1
٠,٠١٠	٠,١٥٢	٣,٩٨	٠,٠٦٥	٠,٠٠٩٦	٠,١٣٢	٠,٩٥٦
١١	١٥٩	٩٠	٦٦	١٠٥	١٣٣	٩٥٤
١٢	١٦٧	٨٣	٦٨	١١٤	١٤٤	٩٥٢
١٣	١٧٥	٧٨	٧١	١٢٣	١٤٩	٩٥٠
١٤	١٨٢	٧٠	٧٣	١٣٣	١٥٤	٩٤٨
٠,٠١٥	٠,١٨٩	٣,٦٤	٠,٠٧٥	٠,٠١٤٠	٠,١٥٩	٠,٩٤٧
١٦	١٩٥	٥٨	٧٨	١٥١	١٦٤	٩٤٥
١٧	٢٠٣	٥٥	٨٠	١٦١	١٦٩	٩٤٤
١٨	٢٠٩	٥١	٨٢	١٧٠	١٧٣	٩٤٢
١٩	٢١٦	٤٧	٨٣	١٧٩	١٧٧	٩٤٢
٠,٠٢٠	٠,٢٣١	٣,٤٢	٠,٠٨٥	٠,٠١٨٨	٠,١٨١	٠,٩٤٠
٢١	٢٢٧	٣٨	٨٧	١٩٧	١٨٥	٩٣٨
٢٢	٢٣٢	٣٦	٨٩	٢٠٦	١٨٩	٩٣٧
٢٣	٢٣٨	٣٢	٩٠	٢١٥	١٩٣	٩٣٦
٢٤	٢٤٤	٣٠	٩٢	٢٢٤	١٩٦	٩٣٥
٠,٠٢٥	٠,٢٥٠	٣,٢٧	٠,٠٩٣	٠,٠٢٣٣	٠,٢٠٠	٠,٩٣٣
٢٦	٢٥٥	٢٤	٩٥	٢٤٣	٢٠٤	٩٣٢
٢٧	٢٦٠	٢٢	٩٧	٢٥٢	٢٠٨	٩٣١
٢٨	٢٦٦	١٩	٩٨	٢٦٠	٢١١	٩٣٠
٢٩	٢٧٢	١٧	٩٩	٢٦٩	٢١٤	٩٢٩
٠,٠٣٠	٠,٢٧٧	٣,١٥	٠,١٠١	٠,٠٢٧٨	٠,٢١٧	٠,٩٢٨
٣٢	٢٨٧	١١	١٠٣	٢٩٦	٢٢٣	٩٢٦
٣٤	٢٩٧	٠٧	١٠٦	٣١٤	٢٢٥	٩٢٤
٣٦	٣٠٦	٠٤	١٠٨	٣٣٢	٢٣٥	٩٢٢
٣٨	٣١٦	٠١	١١١	٣٥٠	٢٤١	٩٢٠
٠,٠٤٠	٠,٣٢٦	٢,٩٨	٠,١١٣	٠,٠٣٧٧	٠,٢٤٦	٠,٩١٨
٤٢	٣٣٦	٩٥	١١٥	٣٨٥	٢٥١	٩١٦
٤٤	٣٤٥	٩٢	١١٧	٤٠٣	٢٥٦	٩١٥
٤٦	٣٥٥	٩٠	١١٩	٤٢٠	٢٦١	٩١٣
٤٨	٣٦٢	٨٧	١٢١	٤٣٧	٢٦٦	٩١١
٠,٠٥٠	٠,٣٧٠	٢,٨٥	٠,١٢٣	٠,٠٤٥٥	٠,٢٧١	٠,٩١٠
٥٢	٣٧٨	٨٣	١٢٥	٤٧٢	٢٧٥	٩٠٨
٥٤	٣٨٧	٨١	١٢٧	٤٩٠	٢٧٩	٩٠٧
٥٦	٣٩٥	٧٩	١٢٩	٥٠٧	٢٨٣	٩٠٦
٥٨	٤٠٦	٧٥	١٣١	٥٢٥	٢٨٩	٩٠٥
٠,٠٦٠	٠,٤١١	٢,٧٦	٠,١٣٢	٠,٠٥٤٣	٠,٢٩١	٠,٩٠٤
٦٢	٤١٩	٧٤	١٣٣	٥٦٠	٢٩٥	٩٠٢
٦٤	٤٢٦	٧٢	١٣٤	٥٧٦	٢٩٩	٩٠٠
٦٦	٤٣٥	٧١	١٣٦	٥٩٣	٣٠٣	٨٩٩
٦٨	٤٤٣	٦٩	١٣٨	٦١١	٣٠٧	٨٩٨
٠,٠٧٠	٠,٤٥١	٢,٦٨	٠,١٤٠	٠,٠٦٢٨	٠,٣١١	٠,٨٩٦
٧٣	٤٦٢	٦٦	١٤١	٦٥٤	٣١٦	٨٩٥
٧٦	٤٧٣	٦٤	١٤٣	٦٧٩	٣٢١	٨٩٣
٧٩	٤٨٤	٦٢	١٤٥	٧٠٤	٣٢٦	٨٩١
٨٢	٤٨٥	٦٠	١٤٧	٧٣٠	٣٣١	٨٩٠
٠,٠٨٥	٠,٥٠٦	٢,٥٨	٠,١٤٩	٠,٠٧٥٤	٠,٣٣٦	٠,٨٨٨
٨٨	٥١٨	٥٧	١٥١	٧٨٠	٣٤١	٨٨٦
٩١	٥٢٩	٥٦	١٥٣	٨٠٦	٣٤٦	٨٨٥
٩٤	٥٣٨	٦٥	١٥٥	٨٣٠	٣٥٠	٨٨٣
٩٧	٥٤٧	٥٤	١٥٦	٨٥٥	٣٥٤	٨٨٢

جدول (٢-٨) – ثوابت معادلات التصميم

3 - 3 - 2 - 2 مسائل في تصميم الجوائز باستخدام الجداول:

مثال –٧–

المطلوب حساب التسليح والتحقق من الإجهادات في البيتون لمقطع جائز معرض لعزم انعطاف M= 8 t.m علماً بأن أبعاد المقطع 30×50 والإجهاد المسموح به في حديد التسليح $\sigma_a = 1400kg/cm^2$ والإجهاد المسموح به في البيتون:

$$\sigma_b \le 60kg/cm^2$$

$$h_0 = 45cm$$

ومن العلاقة

$$w_a = \frac{n.M}{\sigma_a b.h_0^2}$$

$$w_a = \frac{15.8.10^5}{1400.30(45)^2} = 0.141$$

ومن الجدول: $w_b = 0.186$ و $\varphi_2 = 0.856$

ولحساب التسليح من العلاقة (٣٧)

$$A = \frac{M}{\varphi_2 \; h_0 \; \sigma_a}$$

$$A = \frac{8.10^5}{0.856.45.1400} = 14.83\ cm^2 \qquad 6\phi 18(15.27)$$

وللتحقق من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma_b = \frac{M}{w_b \; b. \; h_0^2}$$ من العلاقة (٣٩)

$$\sigma_b = \frac{8.10^5}{0.186.30\ (45)^2} = 70.9\ kg/cm^2 \; > 60\ kg/cm^2$$

مثال –٨–

المطلوب حساب العزم المقاوم M لمقطع جائز من البيتون المسلح بأبعاد 30×70 علماً أن الإجهاد المسموح به في البيتون $\sigma_b = 70\ kg/cm^2$ والإجهاد المسموح به في التسليح $\sigma_a = 1400\ kg/cm^2$ واحسب التسليح اللازم.

$$\wp_o = n\frac{\sigma_a}{\sigma_b} = 15.\frac{70}{1400} = 0.75$$

ومن الجدول $\wp_x = 0.427 \quad w_a = 011356 \quad w_b = O.183 \quad \wp_z = 0.858$

العزم المقاوم للمقطع: $M = \sigma_b . w_b . b.h_o^2$

$$M = 70.0.183.30(65)^2 = 16.24.10^5\ kg.cm$$

$$= 16.24\ t.m$$

$$A = \frac{16.24.10^5}{0.858.65.1400} = 20.80\ cm^2$$

$$7\phi 20\ (21.99)$$

المطلوب حساب التسليح وعرض المقطع b لجائز من البيتون المسلح بارتفاع h = 70 cm ومعرض لعزم انعطاف $M = 21.5\ t.m$ والإجهادات المسموح بها كما في المثال السابق:

$$A = \frac{21.5.10^5}{0.858\ .\ 65\ .1400} = 27.53\ cm^2 \quad 9\phi 18$$

من العلاقة: $M = \sigma_b .\ w_b .\ b.\ h_o^2$

$$b = \frac{M}{\sigma_b . W_b\ b.h_o^2}$$

$$b = \frac{21.5.\ 10^5}{70.\ 0.183.\ (65)^2} = 39.72\ cm \qquad b = 40\ cm$$

3 - 3 - 3 - 2 مسائل في تصميم الجوائز الظفرية:

مثال –١٠–

المطلوب تصميم الجائز الظفري المبين بالشكل –٢–٣ علماً أن الحمولة 3.5 t/m وتتضمن الوزن الذاتي، والإجهاد المسموح به في البيتون $\sigma_a = 1200\ kg/cm^2$

$M_B = -3{,}5.\ 2\ .\ 1 = 7t\ .\ m$ العزم فوق المسند B

العزم في وسط المجاز C $M_c = \frac{q\ 1^2}{8} - \frac{|MB|}{1}$

$$M_c = \frac{3{,}5.\ 25}{8} - \frac{7}{2} = 7.437\ t.m$$

$$Y_A = \frac{q\ 1}{2} - \frac{|MB|}{1}$$

$$Y_A = \frac{3.5.5}{2} - \frac{7}{5} = 7.35\ t$$

لحساب البعد X لنقطة العزم الأعظمي عن المسند A.

$$Q = 0$$

$$Q = 7.35 - 3.5\ \ x = o$$

$$x = 2.1\ m$$

العزم الأعظمي الموجب في المجاز:

$$M_c = 7.35\ .2.1\ -\ 3.5.\ 2.1\ \frac{2.1}{2} = 7.72\ t.m$$

ثوابت التصميم:

$$\wp_o = \frac{15.65}{1200} = 0.8125$$

$\wp_z = 0.849$ $\wp_. = 0.831$ $\wp_h = 2.2\ 8$ $w_a = 0.1594$ $w_b = 0.193$

نحدد الارتفاع الفعال بفرض العزم الأعظمي بالقيمة المطلقة وهو:

$$M_{a_1} = 7.72\ t.m$$

وبفرض

$$b = 25\ cm$$

$$h_u = 2.28\sqrt{\frac{7.72.10^4}{25.65}} = 49.69\ cm$$

$$h = 55\ cm,$$

$$A_s = \frac{7.72.10^4}{0.849.50.1200} = 15.16\ cm^2$$

$$A_s = 5\phi 20 \qquad (15.72)$$

لحساب تسليح العزم السالب فوق المسند B:

نعيد حساب ثوابت التصميم بفرض $h_u = 50cm$. $M = 7t.m$

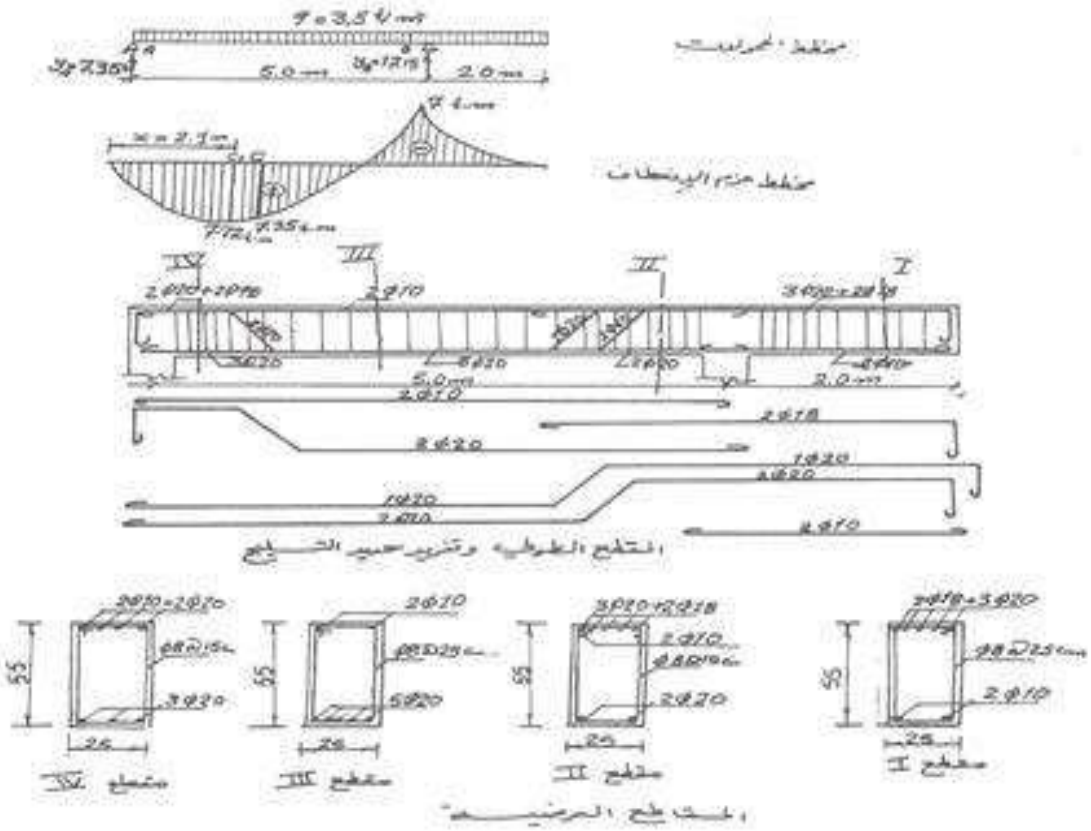
$$W_u = \frac{15.17.10^4}{1200.25\ (50)^2} = 0.14$$

ونجد: $\varphi_2 = 0.826$. $W_R = 0.186$

$$A_R = \frac{7.10^4}{0.856.50.1200} = 13.63\ cm^2\ (3\phi 20 + 2\phi 18)$$

كما يمكن حساب التسليح في المسند B بفرض الثوابت المحسوبة في المرحلة الأولى نظراً لتقارب قيمتي العزوم.

ويبين الشكل (٢-٣) تفاصيل تسليح الجائز.



الشكل (٢-٣) تفاصيل تسليح الجائز المثال (١٠)

مثال -١١-

المطلوب تصميم الجائز الظفري المبين بالشكل -٢-٤- علماً أن الإجهاد المسموح به في البيتون $\sigma_b = 70\ \ kg/cm^2$ والإجهاد المسموح به في حديد التسليح $\sigma_a = 1400\ \ kg/cm^2$، والحمولة $q = 3.5t/m$ تتضمن الحمولة الميته والحية مع الوزن الذاتي للجائز.

حساب ردود الأفعال: $\sum M_A = o$

$$\sum M_A = -3{,}5.\ 3.\ \frac{3}{2} + 3{,}5.7.\ \frac{7}{2} + 3{,}5.\ 2.\ (7+1) - 7RB = o$$

$$RB = \frac{-15.75 + 85.75 + 56}{7} = \frac{126}{7} = 18t$$

$$\sum Y = o$$

$$\sum Y = 12.\ 3{,}5 - 18\ \ RA = o$$

$$RA = 24\ t$$

العزوم:

$$M_A = -3{,}5.\ 3.\ 3/2 = -15{,}75\ t.m\ .$$

$$M_C = -3{,}5.\ 6{,}5\ \frac{6.5}{2} + 24.\ 3{,}5 = +10\ t.m$$

$$M_B = -3{,}5.\ 2\ .\ 1 \qquad = -7\ t.\ m$$

بعد نقطة العزم الأعظمي الموجب عن المسند A :

$$Q = 0$$

$$Q = 3{,}5\ .3 + 3{,}5\ .x - 24 = 0$$

$$X = \frac{24 - 10.5}{3{,}5} = 3{,}857 \quad m.$$

العزم الأعظمي الموجب:

$$Mc_1 = -3{,}5.\ 6{,}857.\ \frac{6{,}857}{2} + 24.\ 3{,}857$$

$$M_{c_1} = 10{,}029\ t.m$$

ثوابت التصميم:

$$\omega_a = \frac{n.\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{15.70}{1400} = 0.75$$

ومن الجدول $\omega_s = 0.858 \quad w_a = 0.1356\ w_b = 0.18$

$$\omega_h = 2.34$$

نصمم الارتفاع الفعال على العزم الأعظمي بالقيمة المطلقة

$A = |15.75\ t.m|$ ونفرض $b = 30\ cm$

$$h_u = 2.34\ \sqrt{\frac{15.75.\ 10^5}{30.\ 70}} = 64.08\ cm$$

$h = 70cm$

تسليح العزم السالب فوق المستند A:

$$A_A = \frac{15,75\ 10^4}{0,858\ .\ 56\ .1400} = 20,17\ cm^2\ (3\phi 20 + 3\phi 22)$$

تسليح العزم الأعظمي الموجب في النقطة C1

بما أن الارتفاع محدد: $h_0 = 65$ ، نعيد حساب ثوابت التصميم:

$$W_a = \frac{n.\ M}{\sigma_a\ b.\ h_0^2}$$

$$W_a = \frac{15.10,\ 29.\ 10^4}{1400.\ 30\ (65)^2} = 0.0869$$

ومن الجدول $\varphi_2 = 0.881 \quad w_a = 0.081\ w_b = 0.158$

من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma_b = \frac{10,29\ 10^4}{0,158.30\ (65)^2} = 51.38\ Kg/cm^2$$

التسليح الموجب في C_1:

$$A_{C_1} = \frac{10,29\ .\ 10^4}{0.881\ .\ 65.\ \ 1400} = 12,84\ cm^2\ (3\phi\ 20 + 2\phi / 6)$$

تسليح العزم السالب فوق المستند B:

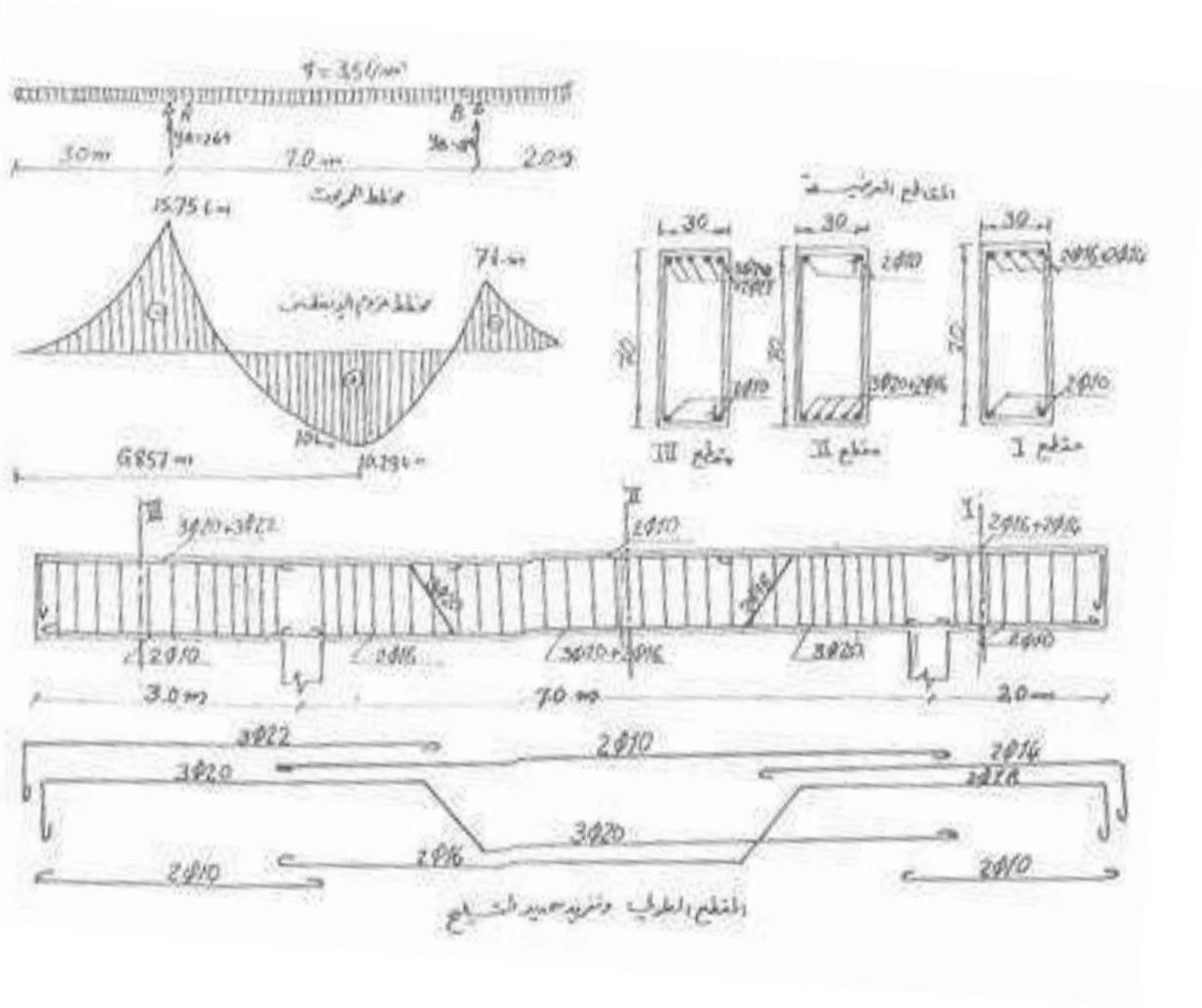
$$W_a = \frac{15.\ 7.\ 10^4}{1400.\ \ 30(6s)^2} = 0.0591$$

$w_b = 0,136$ ومن الجدول $\quad w_a = 0,0593 \quad \varphi_2 = 0,899$

التسليح السالب في B:

$$A_B = \frac{7.10^4}{0,899.\ 65.\ 1400} = 8.56\ cm^2.(2\phi 16 + 2\phi 14)$$

ويبين الشكل (٢-٤) تفاصيل تسليح الجائز



الشكل (٢-٤) – تفاصيل تسليح الجائز

الفصل الرابع
تصميم المنشآت البيتونية المسلحة

Design of Reinforced Concrete Structures

4-1. مقدمة

4-2. خواص البيتون العادي.

4-2-1. المقاومة المميزة للبيتون
4-2-2. مقاومة البيتون للشد.
4-2-3. معامل مرونة البيتون.

4-3. خواص حديد التسليح.

4-3-1. اجهاد السيلان.
4-3-2. اجهاد الانقطاع.
4-3-3. معامل مرونة الحديد.

4-4. ما سبب اختيار الحديد الصلب كمعدن لتسليح البيتون.

4-5. اماكن التسليح الرئيسية في الجيزان.

4-6. تصنيف قضبان التسليح.

4-7. الخواص الميكانيكية لحديد التسليح.

4-7-1. حد المرونة ومعامل المرونة للفولاذ
4-7-2. .....
4-7-3. العكفات النظامية
4-7-4. طبقة التغطية
4-7-5. التباعد بين قضبان التسليح
4-7-6. التفاوت المسموح به في وضع قضبان التسليح

4-8. أشكال التسليح في عناصر البيتون المسلح

1. التسليح الرئيسي
2. التسليح الثانوي
3. تسليح القص
4. قضبان التعليق وتسليح القص

4-9. أثر التسليح على تشوهات البيتون

4-9-1. أثر التسليح في تقلص وسيلان البيتون
4-9-2. أثر التسليح على التشوهات الحرارية للبيتون
4-10. اهتراء فولاذ التسليح

4-11. اشتراطات عامة لوضع التسليح

4-11-1. التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح
4-11-2. وصل القضبان

1-4. مقدمة:

لبناء أي منشأ (مبنى)، يجب أن ندرس كلاً من:

- المواد المستخدمة في بناء هذا المنشأ. (بيتون+ حديد تسليح).
- الأحمال الواقعة على هذا المنشأ. (وزن البيتون ووزن الناس ووزن الأثاث...الخ).
- تأثير الأفعال $(Straining\ Actions)$ الواقعة على عناصر المنشأ، مثل عزوم الانحناء $(Bending\ Moment)$ والقوى الناظمية $(Normal\ Force)$ وقوى القص $(Shear\ Force)$.

تتكون المباني البيتونية بشكل عام من أربعة عناصر إنشائية هي:

1. البلاطات (الأسقف) $(Slabs)$
2. الجوائز $(Beams)$
3. الأعمدة $(Columns)$
4. الأساسات $(Footing\ or\ Foundation)$

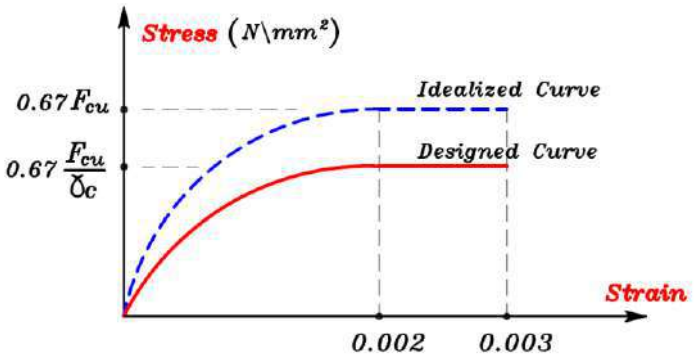
ومادة البيتون المسلح التي سيتم دراستها، هي في الحقيقة مادة تصميم، أي تصميم العناصر الإنشائية الأربع (البلاطة والجوائز والأعمدة والأساسات).

حيث أن البيتون المسلح عبارة عن مادة غير متجانسة (بحص- رمل – إسمنت – ماء – إضافات)، مدعمة بقضبان من الحديد الصلب. لذا سيتم دراسة خواص البيتون والحديد الصلب كل على حدى، ثم ندرس خواص البيتون المسلح (البيتون والحديد الصلب معاً).

2-4. خواص البيتون العادي

1-2-4. المقاومة المميزة للبيتون (F_{cu}) $Characteristic\ Strength$

هي قيمة إجهاد الكسر للمكعب البيتوني القياسي ذو الأبعاد $(150 * 150 * 150)mm^3$ بعد 28 يوماً من الصب، بحيث لا تزيد نسبة إجهادات الكسر الأقل منه عن 5% وتعرف أيضاً بـ رتبة الخرسانة. أي أنه إذا كان هناك 100 مكعب بيتوني لنفس البيتون فإن المقاومة المميزة لهذا البيتون هي إجهاد الكسر للمكعب الذي يوجد فقط 5 إجهادات كسر أقل منه من الـ 100 المكعب.



Idealized Stress–Strain Curve For Concrete.
المنحنى الاعتباري للاجهاد و الانفعال للخرسانه

2-2-4. مقاومة الخرسانة للشد F_{ctr} $Cracking\ Tensile\ Stress$

$$(N/mm^2)F_{ctr} = 0.6\sqrt{F_{cu}}$$

وهي أكبر مقاومة للبيتون في الشد، وإذا زاد إجهاد الشد في البيتون عن هذه القيمة تحدث شقوق في البيتون.

3-2-4. معامل مرونة الخرسانة F_c *Modules of Elasticity Concrete*

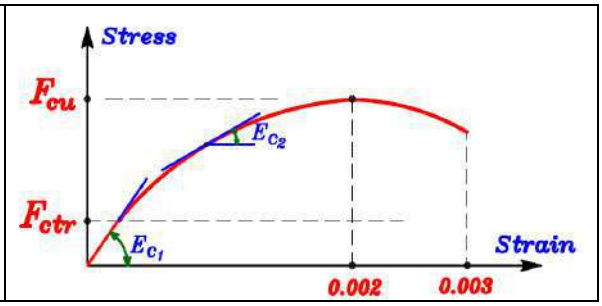
$$E = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{التشوه}}$$

$$N/mm^2 E_{c1} = 4400\sqrt{F_{cu}}$$

E_{c1}: معامل مرونة البيتون قبل التشقق

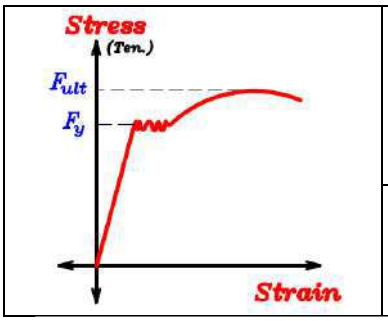
E_{c2}: معامل مرونة البيتون بعد التشقق

$$E_{c1} > E_{c2}$$



3-4. خواص حديد التسليح *Properties of Steel*

حديد التسليح عبارة عن سبيكة من الحديد الصلب، له القدرة على تحمل كل من الشد والضغط، وقوة تحمله للشد أعلى بكثير من البيتون لذا يوضع حديد التسليح في أماكن الشد لتحمل الشد.



3-4-1. إجهاد السيلان F_y *yield Stress*

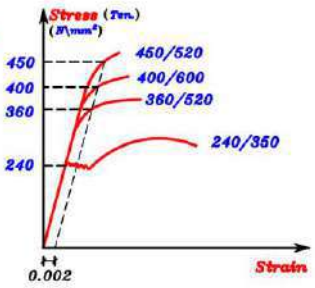
هو إجهاد الشد الذي تصبح عنده استطالة الحديد غير طبيعية (أي تحدث له استطالة كبيرة ومفاجئة عند هذا الإجهاد).

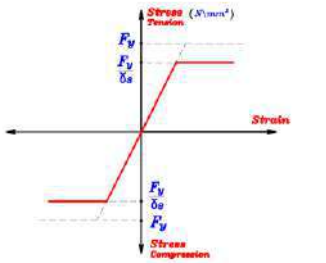
3-4-2. إجهاد الانقطاع F_{ult} *Ultimate Stress*

هو إجهاد الكسر (القطع) الذي يقطع عنده الحديد.

Type of Steel	F_y ($N\backslash mm^2$)	F_{ult} ($N\backslash mm^2$)	Surface	Fay
1_Mild Steel(plain bars)				
240\350	240	350	Smooth	ϕ
280\450	280	450	Smooth	ϕ
2_High strength Steel.				
360\520 (Hot rolled Formed bars)	360	520	deformed	$\#\phi$
400\600 (Cold-worked Formed bars)	400	600	deformed	Φ
3_Hard wire steel welded wire Fabric.				
450\520 (welded wire mesh.)	450	520	Smooth	#

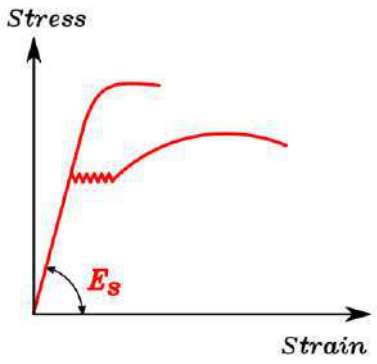
Actual Stress–Strain Curve For Steel





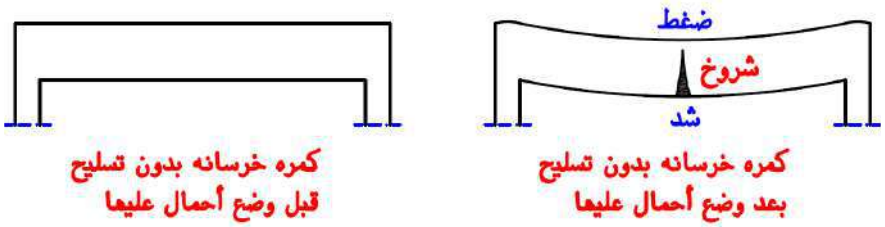
Idealized Stress–Strain Curve For Steel
المنحنى الاعتباري للإجهاد و الانفعال للحديد.

4-3-3. معامل مرونة الحديد $Modules\ of\ Elasticity\ of\ Steel\ F_s$

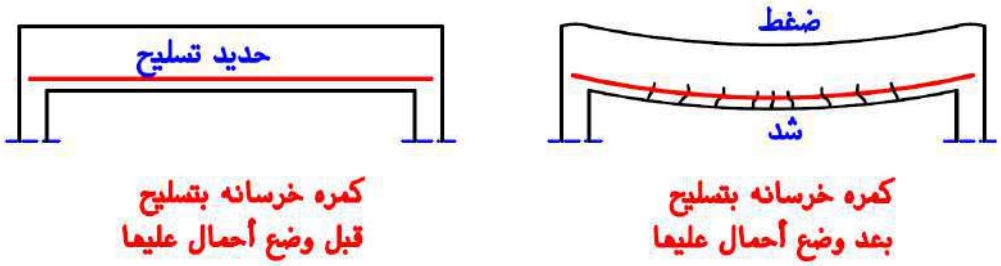
$E_s = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{التشوه}}$ $E_s = 2 * 10^5\ N/mm^2$ وذلك لجميع أنواع الحديد	

4-4. ما سبب اختيار الحديد الصلب كمعدن لتسليح البيتون ؟

عند حدوث شد في البيتون، كما في حالة الجوائز التي تتعرض لعزوم انحناء، يكون في الجائز منطقة عليها ضغط ومنطقة أخرى عليها شد. ولأن الخرسانة ضعيفة في الشد، تبدأ في حدوث تشققات من جهة الشد وتبدأ جزيئات البيتون في البعد عن بعضها البعض، ويبدأ التشقق في الزيادة في الطول والعرض إلى أن ينهار الجائز.



لكن إذا تم وضع قضبان حديد التسليح في منطقة الشد، يحدث تشقق في الخرسانة أيضاً في منطقة الشد، ومع بدء أول تشقق يحدث شد على الحديد أيضاً، ولكن بما أن حديد الصلب يتحمل قوى الشد ولأن قوة التماسك كبيرة بين الحديد والبيتون (أي لا يحدث انزلاق للخرسانة) فلا يزيد عرض أو طول التشقق. ولكن يتكون عدد أكبر من التشققات الصغيرة فقط وهذا أفضل.



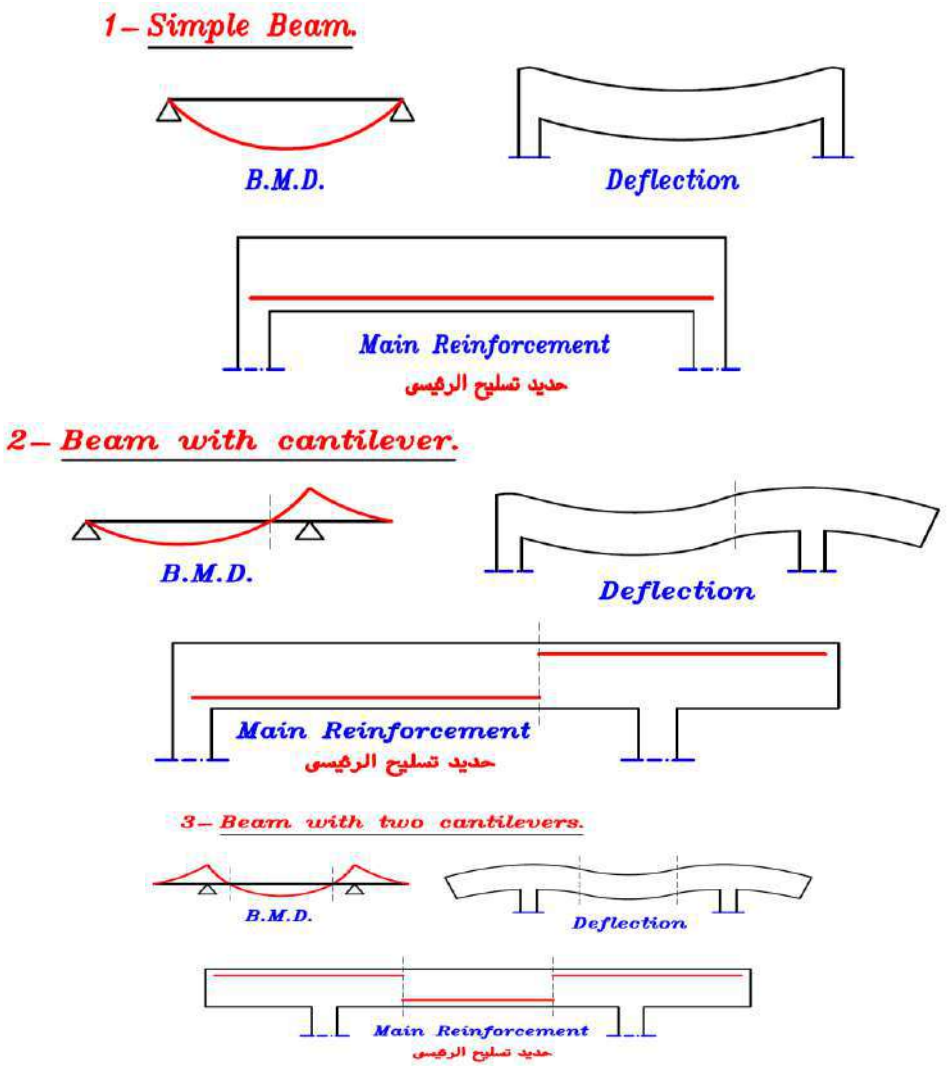
لذا يمكن القول أنه يتم اختيار حديد التسليح كمعدن لتسليح البيتون للأسباب التالية:

- لقوة مقاومة الشد للحديد.
- لقوة التماسك بين الحديد والخرسانة.
- لقرب معامل التمدد الحراري لكل من الحديد والبيتون فلا يحدث انفصال بينهم عند تغير درجة الحرارة.

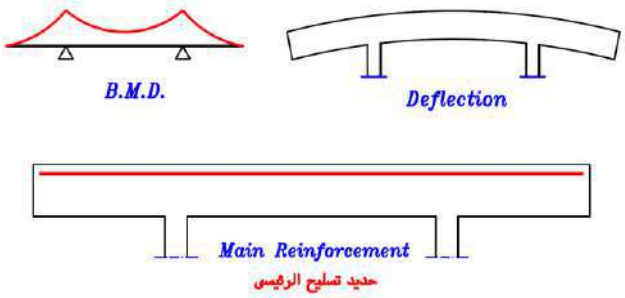
4-5. أماكن التسليح الرئيسي في الجوائز

عند تطبيق الحمولات على الجائز، يحدث له انحناء وينتج عنه عزم انعطاف (انحناء)، ويتكون في الجائز مناطق يوجد عليها شد وأخرى يوجد عليها ضغط. وتكون جهة الشد دائماً من جهة العزم.

ويتم وضع حديد التسليح في مناطق الشد. ويوضح الشكل أدناه بعض الأمثلة.



حالة خاصة: إذا كان طول المجاز بين مسندين كبير نسبياً فمن الممكن أن يكون العزم على الجائز في المنطقة العلوية.



4 - 6 تصنيف قضبان التسليح:

تصنع قضبان التسليح بسحب الفولاذ على الساخن، لانتاج قضبان دائرية ملساء، أو ذات نتوءات، ويحتوي هذا النوع من الفولاذ على نسبة منخفضة من الكربون، ويصل حد المرونة لهذه القضبان من 300 -240 MPa وتتميز هذه القضبان بليونتها، ولذا تدعى القضبان اللينة. ويمكن تحسين مواصفات الفولاذ وزيادة مقاومته بزيادة نسبة الكربون أو بإضافة نسب معينة من المنغنيز والسيليكون والكروم، للحصول على قضبان من فولاذ قاسي يصل حد مرونته من 600 -400 MPa. ويمكن زيادة قساوة الفولاذ بتشغيله على البارد أو بالمعالجة الحرارية:

بتعريض القضبان المسحوبة على الساخن لاجهادات شد على البارد، حيث تكون هذا الاجهادات أعلى من حد المرونة، فتودي إلى تغيير بنيان الذرات الداخلية في الفولاذ. فتزداد متانة الفولاذ، وعند اعادة تطبيق اجهادات الشد مرة أخرى، يلاحظ ارتفاع حد المرونة ويصل حتى 450 MPa. كما أنه بتعريض القضبان الفولاذية اللينة لاجهادات فتل والتواء على البارد، ويتم بفتل القضبان أو بصنع حدائل من قضبان متماثلة، يودي إلى زيادة مقاومة الفولاذ للشد ويصل حد المرونة إلى 500 MPa. أما المعالجة الحرارية للقضبان المسحوبة على الساخن، بطرائق السقاية أو التقسية، والتي تتم برفع درجة حرارة الفولاذ إلى درجة الاحمرار، ثم تبريده بشكل مفاجئ باستخدام الزيت أو الماء، فترتفع مقاومته للانقطاع بشكل ملحوظ، ويصل حد مرونته إلى 600 MPa.

وتتراوح أقطار القضبان اللينة والقاسية من 40 mm -6، كما تصنع أسلاك للتسليح: من القضبان العادية المسحوبة على الساخن بإعادة سحبها على البارد للحصول على قضبان أرفع وهكذا بالتتالي، ويسبب ازدياد طول القضيب في كل عملية سحب على البارد ازدياد مقاومته للانقطاع، ويرتفع حد المرونة للاسلاك حتى: 450- 550 MPa.

كما تصنع أسلاك تسليح عالية المقاومة جداً من الفولاذ عالي الكربون وبالسحب على البارد، وتكون اما قضبان بأقطار صغيرة من 8 mm -3 أو بشكل حدائل أو كابلات من أسلاك رفيعة جداً، وتكون أقطار الحدائل من 5 mm -1,5، ويصل حد مرونة الأسلاك عالية المقاومة جداً من: 1400- 2000 MPa.

وتستخدم القضبان الفولاذية اللينة أو عالية المقاومة المصنعة بالسحب على الساخن أو على البارد في أعمال البيتون المسلح على شكل قضبان منعزلة أو شبكات ملحومة. والقضبان اللينة ذات سطح أملس أما القضبان عالية المقاومة فتكون محلزنة وتحتوي على نتوءات. أما الأسلاك عالية المقاومة جداً فتستخدم في أعمال البيتون مسبق الاجهاد، وهي إما أسلاك بقطر من 8 mm -3 أو أسلاك مجدولة على شكل ضفائر من مجموعة أسلاك، أو كابلات على شكل حزم من مجموعة ضفائر.

4 - 7 الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح:

يتم دراسة الخواص الميكانيكية للفولاذ بإجراء تجربة الشد البسيط على عينات من القضبان الفولاذية للحصول على الرسم البياني للعلاقة بين الاجهاد والتشوه. وتظهر التجربة الخواص الجوهرية للفولاذ، وقياس حد المرونة (الاجهاد الخضوع)، والتشوهات اللدنة والمرنة، والخواص التي تطرأ على المادة أثناء تطبيق الحمولات.

ويلاحظ على المنحني البياني الشكل (٤-١) أربع مراحل أساسية:

- المرحلة الأولى: وتمثل بالجزء المستقيم، ويدل على أن التشوهات الناتجة في النموذج في هذه المرحلة هي تشوهات مرنة متناسبة خطياً مع الاجهادات، ويكون الفولاذ في مرحلة المرونة.

- المرحلة الثانية: وهي انحناء بسيط وعتبة مستقيمة تدل على أن التشوهات الناتجة في هذه المرحلة هي تشوهات لدنة غير قابلة للزوال برفع الحمولات، وتدعى هذه المرحلة بعتبة السيلان.

المرحلة الثالثة: ويلاحظ تزايد الاجهادات مرة أخرى، ويرافقها تزايد في التشوهات ممثلة بجزء منحن، أي أن العلاقة بين الاجهاد والتشوه هي علاقة غير خطية، وتدعى هذه المرحلة بمرحلة السيلان المرن.

المرحلة الرابعة: ويلاحظ تزايد التشوهات بشكل كبير دون حدوث تزايد كبير بالاجهادات، حيث يتجه المنحن بسرعة نحو الأسفل، ويدل ذلك على أن الفولاذ قد أصبح في مرحلة اللدونة أو المطاوعة وينتهي بالانقطاع.

وخلال مرور النموذج بهذه المراحل يلاحظ على العينة في المرحلة الثانية خطوط مائلة بزاوية 45° وتشققات سطحية ، وفي مرحلة السيلان المرن يبدأ النموذج بالتشقق وتناثر قشور سطحية من المعدن، وفي مرحلة اللدونة يلاحظ ظهور اختناق خفيف في النموذج يتزايد بسرعة حيث يقل سطح المقطع عند الاختناق مما يضعف المقطع ويؤدي إلى انقطاعه.

باجراء تجربة الشد على الفولاذ عالي المقاومة، يلاحظ بأن الفولاذ عالي المقاومة يمر بالمرحلة الأولى وهي مرحلة المرونة، ويليها مباشرة مرحلة اللدونة والانقطاع الشكل (٤-٢).

4 - 7 - 1 حد المرونة ومعامل المرونة للفولاذ:

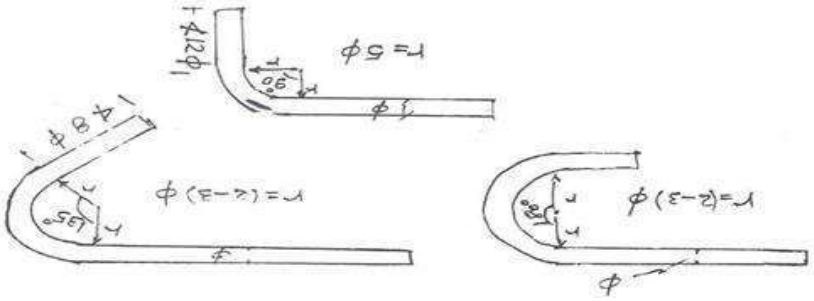
يتعين حد المرونة (اجهاد الخضوع) للفولاذ من منحني الرسم البياني للاجهاد والتشوه. واجهاد الخضوع صفة مميزة للفولاذ، اذ تختلف قيمته باختلاف نوع

في حالات الضرورة يمكن وصل القضبان بوسائل ميكانيكية، بقلوظة نهاياتها وتثبيتها بوساطة عزقات وصفائح خاصة، وبأبعاد كافية لتأمين انتقال الاجهادات بشكل كامل، ويجب اجراء اختبار المقاومة لاثبات صلاحية الوصل.

4 - 7 - 3 العكفات النظامية:

تنفذ العكفات في نهايات القضبان لزيادة طول التثبيت، عندما يتعذر تأمين الامتداد المستقيم للقضيب. وتقوم العكفات بمقاومة انسحاب القضبان باستنادها إلى كتلة البيتون ضمن مجال انحناء العكفة.

وتحدد زوايا العكفات النظامية بـ 90° ، 135° ، 180° ويبين الشكل (٤-٦) العكفات النظامية للحالات الثلاث.



الشكل (٤-٦) أشكال العكفات النظامية

وتستخدم العكفة النظامية 180° الزامياً في القضبان الملساء في نهايات القضبان كافة، ولا تحسب في طول التثبيت اللازم. كما أنها لزامية في الأساور مهما كانت نوعية التسليح المستخدم.

أما العكفات النظامية 90° و 135° فتستخدم في القضبان المحلزنة، ويؤخذ طول هذه العكفة بالحسبان في تحديد طول التثبيت اللازم على ألا يزيد على 24 مرة

كانت نوعية التسليح المستخدم.

أما العكفات النظامية 90° و 135° فتستخدم في القضبان المحلزنة، ويؤخذ طول هذه العكفة بالحسبان في تحديد طول التثبيت اللازم على ألا يزيد على 24 مرة قطر القضيب. ويكون طول التثبيت المكافئ للعكفة مساوياً 4 مرات نصف قطر الانحناء. ويحدد نصف قطر الانحناء للعكفات من 2 إلى 3 مرات قطر القضيب، ويمكن أن يصل إلى 5 مرات قطر القضيب، في القضبان المحلزنة عالية المقاومة.

4 - 7 - 4 طبقة التغطية:

يجب تأمين طبقة تغطية لقضبان التسليح المجاورة للسطح الخارجي للمقطع. بما يسمح تغليفها بشكل كامل بالبيتون لضمان التماسك، وحماية فولاذ التسليح من التعرض للصدأ بفعل العوامل الجوية والرطوبة، أو التآكل بتأثير المواد الكيميائية، أو تعرضه للتمدد بتأثير درجات الحرارة العالية في حالة الحريق.

لا تقل سماكة طبقة التغطية عن 15 mm للبلاطات والجدران التي لا تتعرض مباشرة لتأثيرات جوية خارجية، و25 mm للجوائز والأعمدة. أما المنشآت الخارجية المعرضة مباشرة لتأثيرات جوية فيجب ألا تقل السماكة عن 20 mm للبلاطات والجدران، و30 mm للجوائز والأعمدة. ويجب ألا تقل سماكة طبقة التغطية للعناصر التي على تماس مباشر مع التربة عن 50 mm.

في الحالات الخاصة، وعند تعرض العناصر لمياه مالحة أو مياه كبريتية، فيجب زيادة سماكة طبقة التغطية حسب الحالة، على ألا تقل عن 75 mm وتوخذ احتياطات لحماية طبقة التغطية من التشقق، بإضافة شبكة تسليح خفيفة لا تدخل في الحسابات.

4 - 7 - 5 التباعد بين قضبان التسليح:

يجب أن يكون التباعد بين قضبان التسليح كافياً لتغليفها بالبيتون، ويسمح برص البيتون بشكل جيد. ولذلك يجب أن يكون الفراغ بين قضيبين متجاورين أكبر من القياس الأعظمي للحصويات المستعملة في صنع البيتون. وبما لا يقل عن 20 mm للقضبان الشاقولية، و30 mm للقضبان الأفقية، أو مرة ونصف القياس الأعظمي للحصويات. ويمكن السماح باستخدام رزم القضبان بوضع قضيبين متلاصقين، شرط وجود مكان كاف حول القضبان لتأمين عملية الرص. وعلى أن يؤخذ بالحسبان انخفاض مقاومة التماسك لهذه القضبان، لعدم وجود الاحتكاك بينها وبين البيتون على سطح التماس بين القضبان.

4 - 7 - 6 التفاوت المسموح به في وضع قضبان التسليح:

١ – التفاوت المسموح به بين قضبان التسليح والوجوه الخارجية للبيتون:

– يحدد التفاوت بين القضيب والوجه السفلي للقالب بعشر المسافة الدنيـــا المطلوبة، ويجب استخدام سنادات ذات أبعاد دقيقة لتحقيق ذلك.

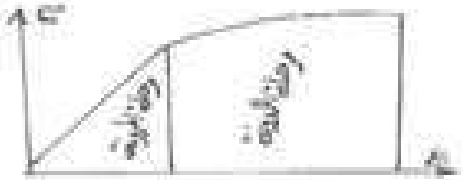
– يحدد التفاوت بين القضيب والوجه الجانبي للقالب بخمس المسافة الدنيـــا المطلوبة.

– يحدد التفاوت بين القضيب والسطح العلوي للبيتون بربع المسافة الدنيـــا المطلوبة.

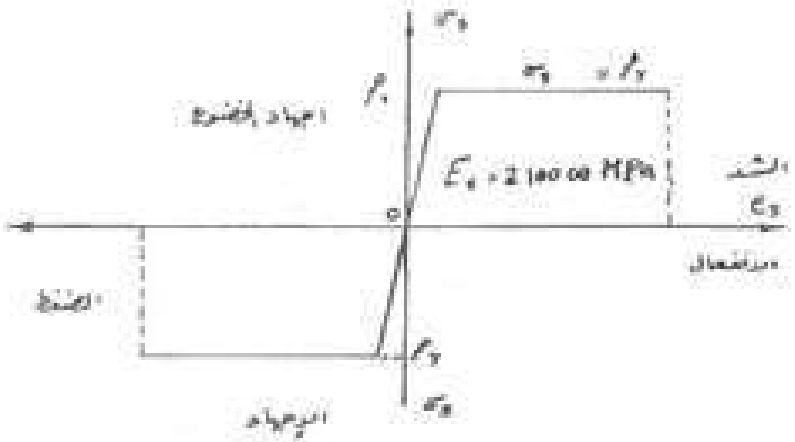
٢ – التفاوت المسموح به في وضع القضبان الرئيسة:

– في الاتجاه الذي يكون فيه لتحرك القضبان اسوأ الأثر على مقاومة العنصر، يكون التفاوت المسموح به عشر سماكة البيتون الكلي بالنسبة للوضـــــع الموقـــع في الرسومات التنفيذية، ويحد أقصى 10 mm في الجوائز و5 mm في البلاطات.

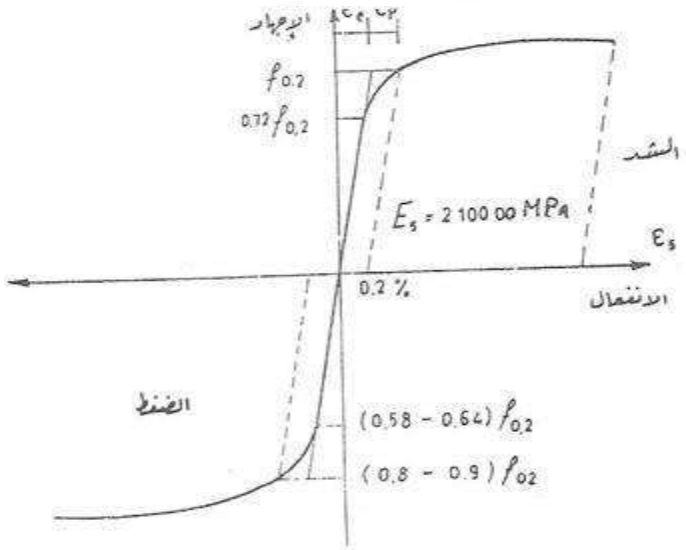
الشكل (٣) : (أ) منحنى الإجهاد – التشوه لقوالب جاهزة



الشكل (٣) – (ب) منحنى الإجهاد – التشوه لقوالب عالي المقاومة



الشكل (ف-٣) المنحنى الاعتباري لعلاقة الاجهاد بالتشوه للفولاذ الطري أو عالي المقاومة الطبيعي



الشكل (ف-٤) المنحني الاعتباري لعلاقة الاجهاد بالتشوه للفولاذ المعالج على البارد (عالي المقاومة)

نوع القضبان	نوع الفولاذ والرمز	مقاومة الشد القصوى MPa	اجهاد الخضوع أو 0,2٪ اجهاد الضمان MPa	النسبة المئوية الدنيا للاستطالة القصوى
ملساء	فولاذ طري ϕ	370	240	22
ذات نتوءات	فولاذ طري أو متوسط المقاومة H	440	300	18
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ طبيعي Y	500	400	12
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ معالج على البارد T	500	400	10

الجدول (ف-١) الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح

ان اجهاد الخضوع fy هو المقاومة الميكانيكية المميزة للفولاذ والتي يبنى التصميم على أساسها، ويجب أن يكون حده الأدنى مكفولاً من البائع أو المنتج، والا وجب تحديده على أساس تجارب مخبرية معترف بها واعتماداً على علم الاحصاء الرياضي، بحيث لا يقل اجهاد خضوعه عن اجهاد الخضوع المميز (الاصطلاحي) بأكثر من 5٪ من العينات المختبرة.

4 - 8 أشكال التسليح في عناصر البيتون المسلح:

يتم وضع التسليح في عناصر البيتون المسلح لتحقيق الأغراض التالية:

١ – **التسليح الرئيسي:** لمقاومة اجهادات الشد في الجوائز والبلاطات، أو للمساهمة في عمل البيتون لمقاومة اجهادات الضغط في الأعمدة والعناصر الأخرى. ويتم تحديد عدد وأقطار القضبان الرئيسة في مقطع البيتون بموجب أسس تصميم البيتون المسلح، وبموجب حسابات تحليل الاجهادات في المقطع.

٢ – **التسليح الثانوي:** وهو تسليح توزيع يشكل مع قضبان التسليح الرئيسية في البلاطات العاملة باتجاه واحد شبكة متكاملة. ويؤمن تثبيت القضبان العاملة في أماكنها دون تعرضها للانزياح أثناء عمليات صب البيتون، ويساعد هذا التسليح على تقليل التقلص والتمدد الناتج عن انكماش البيتون أو تغيرات درجة الحرارة، ويمنع ظهور التشققات. ويتم تحديد عدد وأقطار هذا التسليح اعتماداً على اعتبارت انشائية وتنفيذية، ويدعى غالباً بالتسليح الانشائي.

٣ – **تسليح القص:** ويقاوم بالمساهمة مع البيتون اجهادات القص في المقطع، وهو إما على شكل أساور مغلقة في الجوائز، أو على شكل قضبان مرفوعة (مكسحة) بزاوية 45° أو 60°. ويقوم الجزء المائل بمقاومة اجهادات القص. وتحقق عملية تكسيح القضبان أيضاً نقل موقع القضيب من الأسفل إلى الأعلى في نقاط انقلاب العزوم، وتقوم الأجزاء الأفقية فيه بمقاومة الاجهادات الناتجة عن الانعطاف. كما تحقق الأساور مهمة اتمام هيكل التسليح وتثبيت القضبان، كما تخفف من تشقق البيتون نتيجة الاجهادات الناتجة عن التقلص. وتحدد عدد وأقطار القضبان والتباعد بين الأساور بموجب حسابات اجهادات القص. أما في الأعمدة فتستخدم الأساور لتثبيت القضبان الطولية، وتساهم في تحسين سلوك البيتون على الضغط ومنع تحنيب القضبان المضغوطة.

٤ – **قضبان التعليق وتسليح التقلص:** تستخدم قضبان التعليق في الجوائز في المناطق غير المعرضة لاجهادات الشد ولا يستوجب وجود تسليح فيها بموجب الحسابات، الا أن قضبان التعليق ضرورية لاتمام هيكل التسليح، ومقاومة اجهادات التقلص. أما قضبان التقلص فتضاف في المناطق التي يزيد التباعد فيها بين القضبان على 60 cm، وتضاف لذلك على جوانب الجوائز التي يزيد عمقها على 65 cm، لمقاومة اجهادات التقلص ومنع التشققات. وتوضع قضبان التعليق والتقلص بدون حسابات باعتبارات انشائية تحددها المواصفات.

4 - 9 أثر التسليح على تشوهات البيتون:

4 - 9-1 أثر التسليح في تقلص وسيلان البيتون:

إن وجود قضبان التسليح في البيتون تعيق الحركة الحرة لتقلص البيتون بتأثير الالتصاق والتماسك بين القضبان والبيتون واختلاف معامل المرونة للمادتين. وبالتالي يشكل التسليح رباطاً داخلياً يمنع تقلص البيتون. وقد بينت التجارب أن التقلص في البيتون المسلح يحدود نصف قيمة التقلص في البيتون العادي بدون تسليح.

إن قيام التسليح بمنع تقلص البيتون يؤدي إلى اجهادات داخلية متعاكسة،

ويتعرض التسليح لاجهادات ضغط بينما يتعرض البيتون لاجهادات شد. وترتبط شدة الاجهادات بمقدار التقلص الحر للبيتون، وتبعاً لماركة البيتون، ونسبة التسليح. ويمكن أن تظهر تشققات في المقاطع ذات نسبة التسليح العالية، أو عند ترتيب التسليح في المقطع بشكل غير متناظر. حيث ينعكس تأثير التقلص في شكل اجهادات ضغط في التسليح وعزوم انعطاف في المقطع. وتؤدي اجهادات الشد الأولية في البيتون إلى سرعة ظهور التشققات في المناطق المعرضة للشد عند الاستثمار بعد تطبيق الحمولات. الا أن هذه التشققات لا تؤثر في طاقة تحمل المقطع.

في العناصر مقيدة الحركة تمنع القيود الفائضة تقلص البيتون، وتزداد بالتالي الاجهادات الداخلية في البيتون والتسليح بشكل يماثل الاجهادات الناتجة عن التقلص بتأثير انخفاض درجة الحرارة. ولذلك يلحظ عندتنفيذ المنشآت البيتونية ذات الأشكال المسطحة وضع فواصل انكماش على مسافات محددة لتخفيض الاجهادات في البيتون ومنع ظهور التشققات. كما تنفذ في المنشآت البيتونية المسلحة ذات الأبعاد الكبيرة نسبياً فواصل تمدد للسماح لهذه العناصر بالحركة نتيجة اختلاف درجة الحرارة، ودون أن يسبب ذلك بظهور التشققات وتكون فواصل التمدد بمثابة فواصل انكماش أيضاً.

ويقوم التسليح بممانعة التشوهات اللدنة الناتجة عن سيلان البيتون بتأثير الحمولات طويلة الأمد، ويؤدي ذلك إلى اعادة توزيع الاجهادات الناتجة عن التحميل بين البيتون والتسليح، وتتم هذه العملية خلال فترة طويلة تستغرق عدة سنوات، اذ تكون سريعة في الأشهر الأولى ويتناقص معدل توزع الاجهادات تدريجياً مع الزمن. ويكون لإعادة توزع الاجهادات في المقطع بين البيتون والتسليح أثر ايجابي في الأعمدة المعرضة للضغط، اذ تزداد الاجهادات في التسليح وتنخفض

في العناصر مقيدة الحركة تمنع القيود الفائضة تقلص البيتون، وتزداد بالتالي الاجهادات الداخلية في البيتون والتسليح بشكل مماثل الاجهادات الناتجة عن التقلص بتأثير انخفاض درجة الحرارة. ولذلك يلحظ عندتنفيذ المنشآت البيتونية ذات الأشكال المسطحة وضع فواصل انكماش على مسافات محددة لتخفيض الاجهادات في البيتون ومنع ظهور التشققات. كما تنفذ في المنشآت البيتونية المسلحة ذات الأبعاد الكبيرة نسبياً فواصل ممدد للسماح لهذه العناصر بالحركة نتيجة اختلاف درجة الحرارة، ودون أن يسبب ذلك بظهور التشققات وتكون فواصل التمدد بمثابة فواصل انكماش أيضاً.

ويقوم التسليح بممانعة التشوهات اللدنة الناتجة عن سيلان البيتون بتأثير الحمولات طويلة الأمد، ويؤدي ذلك إلى اعادة توزيع الاجهادات الناتجة عن التحميل بين البيتون والتسليح، وتتم هذه العملية خلال فترة طويلة تستغرق عدة سنوات، اذ تكون سريعة في الأشهر الأولى وبتناقص معدل توزع الاجهادات تدريجياً مع الزمن. ويكون لإعادة توزع الاجهادات في المقطع بين البيتون والتسليح أثر ايجابي في الأعمدة المعرضة للضغط، اذ تزداد الاجهادات في التسليح وتنخفض

في البيتون. أما في العناصر المعرضة للانعطاف فإن لتوزع الاجهادات أثراً سلبياً، إذ تزداد اجهادات الضغط في بيتون منطقة الضغط كما تزداد اجهادات الشد في فولاذ التسليح، ويؤدي ذلك إلى تزايد سهم الهبوط مع الزمن.

4 - 9 - 2 أثر التسليح على التشوهات الحرارية للبيتون:

نظراً لتقارب عاملي التمدد الحراري للبيتون وفولاذ التسليح، حيث يتراوح عامل التمدد الحراري للبيتون تبعاً لتركيبه بين $10^{-5} \times 1.7 - 10^{-5} \times 0.7$، وعامل التمدد الحراري للفولاذ $10^{-5} \times 1.2$، لذلك فان التغير الناتج عن درجة الحرارة في المادة المركبة ليس له تأثير كبير، ولا يسبب اجهادات داخلية ذات قيمة. وحيث أن البيتون سيء النقل للحرارة ويقوم بحماية التسليح من التغيرات الكبيرة في درجة الحرارة، شرط تأمين سماكة كافية لطبقة الوقاية، لحمايته أثناء الحريق، أو في المنشآت الخاصة المعرضة لدرجات حرارة عالية أثناء فترة الاستثمار، كالمداخن في المصانع وأرضيات الأفران.

4 - 10 اهتراء فولاذ التسليح:

يتعرض فولاذ التسليح ضمن البيتون للاهتراء عند وجود عناصر البيتون في ظروف قاسية. فيتعرض التسليح للصدأ بفعل تسرب الماء في البيتون النفوذ قليل الكثافة، بخاصة المياه الحاوية على الحموض التي تؤدي إلى تخرب البيتون أولاً، فتزداد الفراغات ضمن البيتون ويصبح وصول الماء سهلاً إلى فولاذ التسليح. لذلك يتوجب اتخاذ الاحتياطات لحماية فولاذ التسليح بمنع وصول التأثيرات المخربة إلى البيتون، بزيادة درجة تراص البيتون واستعمال الأنواع الخاصة من الاسمنت لمقاومة الكبريتات، أو تغطية سطح البيتون بأنواع من الدهانات المقاومة للحموض، وعزله بشكل جيد لمنع تسرب الماء باستخدام أنواع الاسفلت الخاصة في الجدران الاستنادية المطمورة وفي الأساسات. وتأمين طبقة تغطية مناسبة كما سيرد لاحقاً.

4 - 11 اشتراطات عامة لوضع التسليح:

ان ضمان عمل قضبان التسليح ضمن البيتون كوحدة متكاملة يتطلب تأمين تماسك جيد بين القضبان والبيتون، يتم تحقيقه بالعكفات في نهايات القضبان الملساء، أو بوجود الخلزنة على سطح القضبان. ومن الضروري تغطية القضبان بشكل كامل بالبيتون لحمايتها من العوامل الجوية بتأمين حد أدنى من طبقة الوقاية.

4 - 11 - 1 التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح:

يضمن التماسك الجيد بين قضبان التسليح والبيتون العمل المشترك بينهما ضمن مقطع البيتون، ويتم هذا التماسك أثناء عملية تصلد البيتون بشكل طبيعي، عندما تغلف المونة الاسمنتية الرابطة القضبان كافة بشكل جيد. الا أن الالتصاق الناجم عن هذا التماسك قد لا يكون كافياً لمنع انسحاب القضبان من البيتون أثناء تعرضها لاجهادات الشد. وتساعد قوة الاحتكاك بين سطح القضبان والبيتون جزئياً على منع انسحاب القضبان. لذلك لابد من حساب الطول اللازم فعلاً لمقاومة الانسحاب بفعل الاحتكاك، ويسمى هذا الطول بطول التماسك. ويزداد الاحتكاك بين القضبان والبيتون عند استخدام قضبان محلزنة ذات نتوءات بنتيجة خشونة سطح القضبان، وبالتالي فإن طول التماسك للقضبان الملساء أطول من طول التماسك للقضبان المحلزنة. ويتعلق التماسك بين البيتون والفولاذ بعدة عوامل أهمها:

– شكل القضيب: إذا كان مستقيماً أو معكوفاً، كما تمتاز قضبان التسليح الدائرية بمقاومة أكبر للتماسك من القضبان المربعة أو المستطيلة.

– سطح القضيب ودرجة خشونة: فتزداد مقاومة التماسك في السطوح المخلزنة والخشنة، وتقل مقاومة التماسك بتلوث سطح القضيب بالشحوم والزيوت.

– قطر القضيب: اذ تقل مقاومة التماسك كلما ازداد قطر القضيب.

– التسليح العرضي ونسبته: اذ يساعد التسليح العرضي على ربط القضبان وزيادة مقاومتها للتماسك.

– نوعية البيتون ودرجة مقاومته: اذ يزداد التماسك بازدياد عيار الاسمنت في البيتون، ومع ازدياد عمر البيتون.

– موقع التسليح بالنسبة لسماكة البيتون من حوله: اذ يزداد التماسك عند وجود القضيب في منتصف المقطع، ويقل عند وجود القضيب على الأطراف.

ولذلك فإن زيادة طبقة التغطية يزيد في مقاومة التماسك.

إن هذه العوامل مجتمعة تحدد طول التثبيب لقضيب التسليح، وإذا تأمن الطول اللازم تأمنت معه المقاومة اللازمة ضد الافلات مع كل متطلبات التماسك والالتحام التام بين الفولاذ والبيتون.

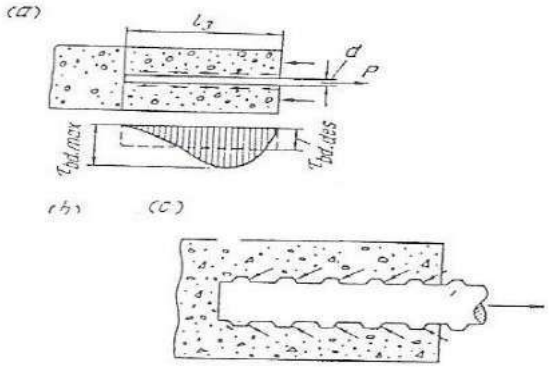
إن قوة الالتصاق بين قضبان التسليح والبيتون تتعلق بصورة أساسية بثلاثة عوامل هي:

– ظاهرة التغرية: التي تحصل بين العجينة الاسمنتية وقضبان التسليح، وأثبتت التجارب أن قوة التماسك بين القضبان والبيتون تصل إلى 10٪ من قوة التماسك الكلية.

– ظاهرة التعشيق: وهي التي تنتج عن مقاومة البيتون للانزلاق بفعل النتوءات الموجودة على سطح القضبان، بخاصة في القضبان المخلزنة. وتصل قوة التماسك بفعل ظاهرة التعشيق إلى 70٪ من قوة التماسك الكلية.

– قوة الاحتكاك: وهي التي تظهر على سطح القضبان عند تعرض القضبان للانزلاق بفعل قوى الشد المطبقة.

ويلاحظ بأن اجهاد الالتصاق على طول القضيب غير ثابت، وبين الشكل (٥-٤) مخطط اجهاد الالتصاق.



الشكل (٥-٤) اجهاد الاحتكاك بين الفولاذ والبيتون

ولتحديد الطول اللازم لمنع الانسحاب، نكتب معادلة التوازن بحيث تكون حاصلة قوى الاحتكاك على محيط القضيب أكبر من قوة الشد المطبقة على القضيب وبالتالي:

$$\sigma_a \cdot \pi \frac{d^2}{4} \le \tau_c \phi \pi \cdot l \qquad (5-1)$$

أو:

$$l \ge \frac{\sigma_a \cdot \phi}{4\ \tau_c} \qquad (5-2)$$

حيث:

σ_a : الاجهاد المطبق على القضيب.

ϕ : قطر القضيب.

τ_c : اجهاد الالتصاق الحسابي بين القضيب والبيتون ويتراوح بين (2,5- 4 MPa).

l : الحد الأدنى لطول القضيب لمنع الانسحاب.

ويحدد الطول الأدنى للتماسك في الكود العربي السوري كما يلي:

أ- القضبان عالية التماسك ذات النتوءات:

$$l_a = 0{,}016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2 \ge 0{,}075\ \phi f_y \qquad (5-3)$$

أو 300 mm أيها أكبر.

حيث:

fy: اجهاد الخضوع للفولاذ بالـــ MPa.

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون (الاسطوانية) بالـــ MPa.

ϕ: قطر قضيب التسليح بالـــ mm.

l_b: الطول الأدنى للتماسك بالـــ mm.

ب- القضبان الملساء:

$$l_b = 0{,}79 \frac{fy}{\sqrt{f'_c}} \phi \geq 0{,}15\, \phi\, fy \qquad (5-4)$$

أو 300 mm أيهما أكبر.

وعلى ألا يزيد قطر القضيب على 25 mm وأن ينتهي طرفه بعكفة.

ويقاس طول التماسك بدءاً من النقاط التي تشكل خطورة أكثر من غيرهـــا على اختيار التماسك، وهي نقاط اجهادات الضغط أو الشد القصوى. والنقاط التي تقطع أو تحنى فيها قضبان أخرى مجاورة، ونقاط انعدام العزم، والنقاط التي تنتـــهي فيها القضبان عند المساند.

ويجب الا يقل طول القضيب بدءاً من نقطة العزم الأعظمي حـــتى نقطـــة الايقاف عن $l_b + 12\,\phi$، وألا يقل طول القضبان الأخرى المستمرة ما بـــين نقطـــة الايقاف النظرية وطرفها الحر عن $l_b + 12\,\phi$ أيضاً. وعلى أن تنتهي قضبان التسليح الداخلة في المسند بعكفة نظامية، وان تمدد ضمن المسند بما لا يقل عـــن 25 مـــرة قطرها بدءاً من وجه المسند في حالة المساند غير المستمرة.

وعملياً يكون طول التثبيت الأساسي بحدود 50 مرة قطر القضيب في حالـــة الشد، أما في حالة الضغط فيخفض طول التثبيت الأساسي إلى 2/3 الطول اللازم في حالة الشد.

4 - 11 - 2 وصل القضبان:

يمكن وصل القضبان في مناطق الضغط بتأمين طول تراكب لا يقل عن طول التماسك أو 20 ϕ + 100 mm أيها أكبر.

وذلك للقضبان التي يقل قطرها عن 32 mm. ويجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة في المقطع على نصف عدد القضبان.

أما في المناطق المعرضة للشد بتأثير عزم الانعطاف، فيجب تأمين طول تراكب لا يقل عن مرة ونصف طول التماسك أو 20 ϕ + 100 mm أيهما أكبر. ويجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة على ثلث عدد القضبان.

ويسمح بعمل وصلات ملحومة في الفولاذ المسحوب على السخن، ولا يسمح بلحام قضبان الفولاذ المعالج على البارد إلا إذا أخذ في الحسبان انخفاض المقاومة. ويجب أن ينفذ اللحام حسب المواصفات، واجراء اختبار للمقاومة لعينات من القضبان الملحومة لاثبات صلاحيتها.

– في الاتجاه العمودي على الاتجاه السابق، فيحدد التفاوت المسموح به بنصف المسافة حتى أقرب قضيب تسليح إذا وجد، وبحد أقصى 10 mm في كل الحالات.

٣– التفاوت المسموح به في وضع التسليح العرضي:

إن التفاوت المسموح به في وضع الأساور في الاتجاه الطولي بالنسبة للوضع الموقع في الرسومات التنفيذية يحدد بعشر المسافة بين قضبان التسليح العرضي المتتالية، بحد أقصى 20 mm.

الفصل الخامس

منشآت البيتون المسلح وعناصرها

5-1. البيتون المسلح
5-1-1. طبقة التغطية
5-1-2. التلاصق بين قضبان التسليح والبيتون
5-1-3. هياكل حديد التسليح
5-2. البيتون مسبق الصنع
5-2-1. العناصر البيتونية مسبقة الصنع
5-2-2. إنتاج العناصر مسبقة الصنع
5-3. البيتون المسلح مسبق الإجهاد
5-4. تصنيف منشآت البيتون المسح
5-5. عناصر منشآت البيتون المسلح
5-5-1. الأساسات
- أولاً: الأساسات المنفردة
- ثانياً الأساسات المستمرة

5-5-2. الأعمدة
- أولاً: الأعمدة المربعة والمستطيلة
- ثانياً: الأعمدة الدائرية والمضلعة

5-5-3. الجوائز
5-5-4. الإطارات
5-5-5. الأقواس
5-5-6. البلاطات
أ. البلاطات الجائزية والبلاطات باتجاهين
ب. بلاطات الهوردي
ج. البلاطات المعصبة
د. البلاطات الفطرية
ه. البلاطة المسننة أو المتكسرة
و. البلاطات القشرية
5-5-7. الأدراج

1

1-5. البيتون المسلح

البيتون المسلح مادة إنشائية جيدة المقاومة للشد والضغط، وتتكون عناصر البيتون المسلح من قضبان فولاذية موزعة ضمن كتلة البيتون، بحيث يقوم البيتون بتحمل اجهادات الضغط، ويقوم حديد التسليح بتحمل إجهادات الشد.

ولذلك فإن توزيع قضبان التسليح ضمن كتلة البيتون، يعتمد على شكل توزع الإجهادات في العناصر حسب طبيعة عملها تحت تأثير الحمولات، وإن استخدام حديد التسليح لتقوية العناصر البيتونية، يضمن اشتراك كل من الفولاذ والبيتون في مقاومة إجهادات الشد والضغط في العنصر، على أن يتم وضع حديد التسليح ضمن البيتون بالشكل والمكان الملائمين، الذي يضمن التلاصق الكامل بين البيتون والفولاذ من جهة، ويحقق من جهة أخرى توزيع إجهادات الضغط في البيتون، وإجهادات الشد في حديد التسليح، بحيث يصبح العنصر وحدة متماسكة، تستثمر فيها خواص المادة إلى أقصى حد ممكن، ويجعل من البيتون المسلح مادة إنشاء اقتصادية تفوق بميزاتها الأخرى مختلف مواد الإنشاء المعروفة.

ويحتفظ البيتون المسلح بميزات كل من البيتون وحديد التسليح، ويشكل البيتون طبقة حماية وتغطية تحفظ حديد التسليح من المؤثرات الخارجية، كالرطوبة والعوامل الجوية، أو تأثير الأملاح والمواد الكيميائية، ودرجات الحرارة العالية، مما يضمن استمرار عمل فولاذ التسليح بشكل جيد.

وإن وجود حديد التسليح ضمن البيتون، يقلل من انكماش البيتون وتقلصه خلال فترة التماسك والتصلب، كما يمنع إلى حد ما، ظهور التشوهات اللدنة في البيتون بسبب ظاهرة السيلان عند تطبيق الحمولات لفترة طويلة.

يتميز البيتون المسلح، بالمرونة وقابلية التشكيل، وقدرته على تحمل إجهادات الضغط والشد معاً، مما يجعل استخدامه ممكناً في المنشآت كافة، بشكل يضمن استثمار المادة والمنشأ إلى أقصى حد، ويفوق البيتون المسلح بميزاته مواد الإنشاء الأخرى، ليس في اقتصادية البيتون فحسب، وإنما في المتطلبات اللازمة في إمكانات التنفيذ، والتجهيزات، واليد العاملة، ومدة التنفيذ.

5 - 1 - 1 طبقة التغطية:

إن ضرورة حماية حديد التسليح من التعرض للصدأ بفعل العوامل الجوية والرطوبة أو التآكل بتأثير المواد الكيميائية أو تأثير درجات الحرارة العالية يتطلب تغطية حديد التسليح بطبقة من البيتون كافية لحمايته من هذه المؤثرات. وتحدد سماكة طبقة التغطية حسب مواصفات معينة تأخذ بالحسبان الظروف الخارجية، وفي الأحوال العادية تحدد سماكة طبقة التغطية حسب الجدول (١-١).

جدول (١-١) سماكة طبقة التغطية

العنصر	سماكة التغطية
العناصر الرقيقة أقل من ١٠سم	١-١,٥سم
العناصر بسماكة من ١٠-٢٥سم	١,٥-٢سم
العناصر بسماكة أكبر من ٢٥سم	٢-٢,٥سم

وعندما يزيد قطر قضبان التسليح عن ٣٠ ملم بفضل زيادة سماكة طبقة التغطية حتى ٣سم. أو عند تعرض العناصر للمياه الجوفية أو لمياه البحار أو درجات الحرارة العالية فيجب عند ذلك زيادة سماكة التغطية بحيث تتراوح من ٥-٧سم.

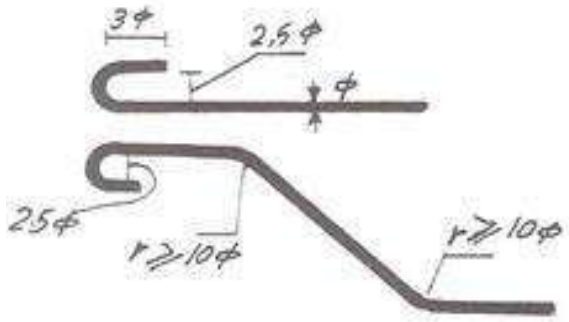
5 - 1 - 2 التلاصق بين قضبان التسليح والبيتون:

إن ضمان تماسك قضبان التسليح والبيتون يجعل من العنصر وحدة متكاملة تمنع انسحاب القضبان بتأثير الإجهادات، وينشأ هذا التماسك بشكل طبيعي عندما تغلف المونة الإسمنتية الرابطة قضبان التسليح، ويتم التلاصق بين قضبان التسليح والبيتون بعد تصلب البيتون مما يؤدي إلى ظهور قوى احتكاك بين قضبان التسليح

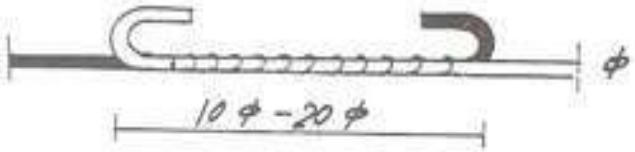
والبيتون تمنع انسحاب القضبان ضمن البيتون. ولضمان تثبيت القضبان بشكل جيد يتوجب تزويد نهاياتها بعكفات مثنية تزيد من مقاومة الانسحاب، وتكون ضرورية عند استخدام القضبان الملساء. الشكل (١-١).

وعندما استخدام القضبان المحززة السطح فإن التنوءات في قضبان التسليح تزيد من قوى التلاصق وتثبيت القضبان وبالتالي لا توجد ضرورة لتزويد القضبان المحززة بعكفات.

عند وصل القضبان في هياكل التسليح تصبح القضبان في منطقة الوصلة معرضة للانسحاب ولذا فإن طول الوصلة يجب أن يكون كافياً لمنع انسحاب القضبان، وتحدد المواصفات طول الوصلة بما لا يقل عن ١٥ مرة قطر القضيب في منطقة الضغط و ٢٠ مرة قطر القضيب في منطقة الشد، الشكل (١-٢)، ولا تتأثر فعالية التلاصق بين القضبان والبيتون باختلاف درجات الحرارة نظراً لتقارب عامل التمدد الحراري لكل من البيتون والفولاذ إذ أن عامل التمدد الحراري للبيتون ٠,٠٠٠٠١٢ ويتراوح عامل التمدد الحراري للفولاذ بين ٠,٠٠٠٠١٥ - ٠,٠٠٠٠١١.



الشكل (١-١): العكفات في نهايات القضبان



الشكل (١-٢): وصل القضبان

5 - 1 - 3 هياكل حديد التسليح:

يستخدم لتسليح عناصر البيتون المسلح، قضبان دائرية ملساء أو محلزنة تتراوح أقطارها من ٦ملم حتى ٤٠ملم، ويتم تثبيت قضبان التسليح ضمن البيتون، بالشكل الملائم، لتقوم بعملها بمقاومة إجهادات الشد، وذلك بتصنيع هياكل تتضمن قضبان التسليح الرئيسية، وتمنعها من الحركة والانزياح أثناء عملية صب البيتون، وتتألف هذه الهياكل، إضافة إلى القضبان العاملة، من قضبان إنشائية تساعد على إتمام شكل الهيكل، بحيث يصبح قابلاً للنقل والتثبيت ضمن القالب، بالشكل المطلوب، وتمنع ظهور التشققات الناتجة عن انكماش البيتون خلال فترة التصلب.

وتثبت القضبان العاملة والقضبان الإنشائية ضمن أساور عرضية مربعة او مستطيلة، وموزعة على كامل الهيكل، وتحدد الأساور المحيط الخارجي للهيكل، وتضمن ثباته وتماسكه، كما أنها تقوم بمقاومة جزء من إجهادات القص، ويجب أن يكون الهيكل ملائماً لشكل القالب، لتأمين سماكة التغطية الضرورية لحماية حديد التسليح عند تثبيت الهيكل ضمن القالب، يتم تأمين ابتعاد الهيكل عن جوانب القالب، باستخدام مساند ذات سماكة صغيرة، إما من البيتون، أو قطع بلاستيكية، أو قطع من الفولاذ.

ويتم ربط عناصر الهيكل المختلفة مع بعضها، بأسلاك تربيط رفيعة، بشكل يضمن تثبيتها، كما يمكن استخدام اللحام الكهربائي، عند تصنيع الهياكل في المعامل الخاصة، المجهزة بالإمكانات اللازمة كافة. ويبين الشكل (١-٣) هياكل مختلفة لحديد التسليح.

ويستخدم التسليح بشكل شبكات وذلك في العناصر البيتونية الرقيقة، وتتكون الشبكات من قضبان طولية وقضبان عرضية متعامدة، وتربط القضبان مع بعضها في نقاط تقاطعها، إما بوساطة الأسلاك الرفيعة أو باللحام الكهربائي.

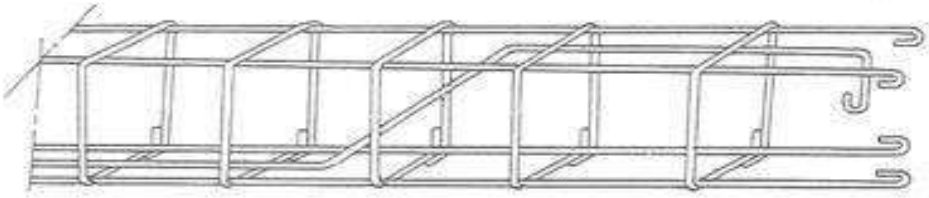
ووفقاً لطبيعة عمل العناصر، فيمكن أن تكون القضبان المؤلفة للشبكة قضبان عاملة في كلا الاتجاهين، أو قضبان عاملة في الاتجاه الأول، وقضبان توزيع بالاتجاه الثاني، وتضمن قضبان التوزيع تثبيت القضبان العاملة في أماكنها المطلوبة، وتمنعها من الانزياح أثناء عملية الصب، كما تمنع ظهور التشققات في البيتون بسبب التقلص والتمدد الناتجين عن انكماش البيتون أو تغيرات درجة الحرارة.

ويحدد عدد القضبان الرئيسية وأقطارها في الهياكل والشبكات، حسب متطلبات عمل العنصر، وقيمة الإجهادات الناتجة في العنصر، ويتم حسابها بمعادلات التصميم الخاصة، وتتراوح أقطار القضبان الرئيسية المستخدمة في الهياكل من ١٠ملم حتى ٤٠ملم، أما في الشبكات فيتراوح أقطار القضبان الرئيسية المستخدمة من ٨ملم حتى ١٦ملم.

وتوضع القضبان الإنشائية في الهياكل أو قضبان التوزيع في الشبكات، بدون حساب، وبالشكل الذي يضمن إتمام الهيكل، ويستخدم لذلك قضبان تتراوح أقطارها

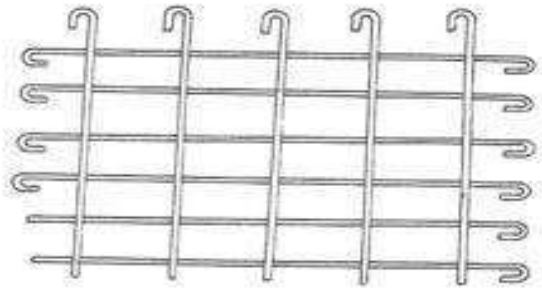
من ٨ حتى ١٠ ملم.

وتستخدم للأساور قضبان بقطر ٦ ملم أو ٨ ملم وتحدد المسافات بين الأساور بعلاقات خاصة في حساب إجهادات القص، ويجب أن لا تزيد المسافة بين الأساور على ٣٠ سم.



أ ـ جزء من هيكل تسليح جائز

ب ـ جزء من هيكل تسليح عمود



جـ ـ جزء من شبكة تسليح بلاطة

الشكل (١-٣) هياكل التسليح

5 - 2 البيتون مسبق الصنع:

إن الجهود المبذولة لتخفيض كلفة القوالب والزمن اللازم لفكها. عن طريق تطوير طرائق الإنشاء، واستخدام العناصر الجاهزة مسبقة الصنع، التي يتم تجميعها في الموقع، أدى إلى تحقيق مزايا اقتصادية عديدة. فلقد تحقق التوفير في الوقت والجهد اللازمين لإنشاء القوالب، إضافة إلى سرعة تنفيذ الأعمال، نظراً لإمكانية تجهيز العناصر المختلفة في وقت واحد، والقيام بعمليات الإكمال، كالتمديدات الصحية والكهربائية، والتجهيزات المختلفة، مباشرة بعد تركيب العناصر لعدم وجود عوائق ناتجة عن القوالب والدعائم، والقضاء على مصاعب التنفيذ بسبب سوء الأحوال الجوية، وحماية البيتون من الصقيع والمطر.

ويحقق التجهيز في المصنع، استخدام مواد حصوية نظيفة ومغسولة، وتتميز بمواصفات جيدة، إذ يمكن فصل المواد ذات الأبعاد المتماثلة بمهزات آلية، ومن ثم إعادة خلطها، بنسب محددة بدقة فائقة للحصول على أفضل شكل للتدرج الحبي. وتتم عمليات خلط البيتون بآلات ميكانيكية تقوم بتنسيب المواد وتعطي خلطات متجانسة ومتماثلة، ويصب البيتون في القوالب المعدنية، المجهزة بهياكل التسليح المصنعة والملحومة آلياً. وتستخدم وسائل الرص ذات الكفاءة العالية، التي تتلاءم مع شكل العنصر، ويتم التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة خلال فترة التصلب، وتسريع

عملية التصلب باستخدام بخار الماء الساخن، وباستخدام الوسائل الميكانيكية في تصنيع العناصر المسبقة الصنع، والإشراف الدقيق على عمليات الصنع، ويمكن الحصول على بيتون بمواصفات ومزايا عالية، من حيث الجودة والمقاومة. ويتحقق التوفير في كلفة البيتون، والمواد واليد العاملة، عن طريق إنتاج العناصر بوحدات متكررة وعلى نطاق واسع، كما يمكن تخفيف أوزان العناصر، بتفريغ الأجزاء

العاطلة، دون التخفيض من مقاومتها وميزاتها الإنشائية، بل على العكس يمكن زيادة قدرة تحمل العنصر، نظراً للتخفيف من وزنه الذاتي، مما يؤدي إلى الاقتصاد في استخدام المادة واستثمارها بأفضل شكل ممكن.

وعن طريق تصنيع العناصر البيتونية، أمكن تطوير إنتاج البيتون مسبق الإجهاد ومسبق الصنع، نظراً لتوفر الوسائل والمعدات اللازمة لتنفيذ الإجهاد المسبق في المصنع،

والاستفادة من الفوائد الاقتصادية، والإنشائية، التي تتميز بها العناصر مسبقة الصنع والإجهاد، وأصبح من الممكن إنتاج عناصر بمجازات كبيرة، وبأشكال مختلفة، خفيفة الوزن نسبياً، وسهلة النقل والتركيب.

5 - 2 - 1 العناصر البيتونية مسبقة الصنع:

يمكن تصنيع جميع العناصر الحاملة في المنشآت، وإنتاجها بشكل قطع مسبقة الصنع، وهي لا تختلف في عملها ومقاومتها للحمولات بعد التركيب، عن العناصر المصبوبة في المكان، إلا أنها تتعرض لتأثير حمولات مختلفة قبل تركيبها، خلال عمليات الصنع والنقل والتركيب، ولذا تتم دراسة هذه الحمولات، وأخذها بالحسبان عند

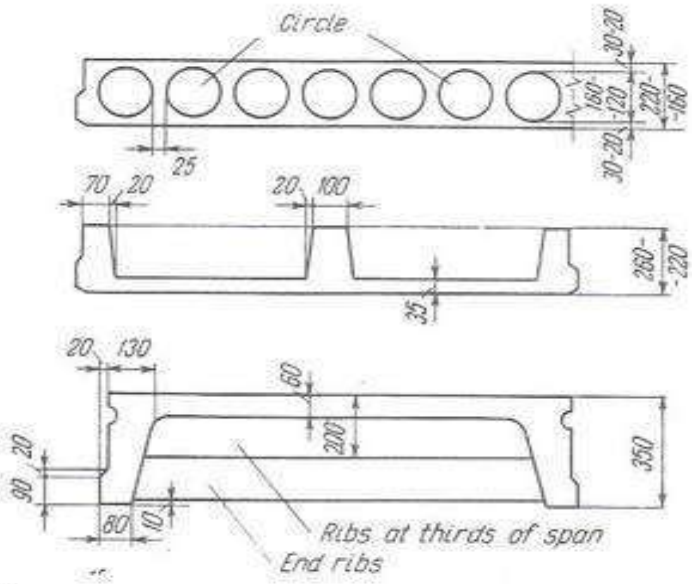
التصميم، إضافة إلى فرضيات أخرى تتعلق بإمكانية التصنيع، والنقل والتركيب، وتزود القطع البيتونية مسبقة الصنع، بعرى فولاذية مثبتة بهيكل حديد التسليح، تستخدم في تعليق القطع بكابلات الروافع عند نقلها وتركيبها، ويتم تحديد أماكن نقاط التعليق حسابياً حسب الحمولات الناتجة عن عملية الرفع، وبحيث يكون حديد التسليح الرئيسي في العنصر، من أجل مقاومة الإجهادات بعد التركيب، كافياً لضمان مقاومة الإجهادات الناتجة خلال عملية الرفع، دون الحاجة إلى تسليح إضافي.

وتشمل العناصر مسبقة الصنع، الأعمدة والجوائز والأقواس والبلاطات والجدران.

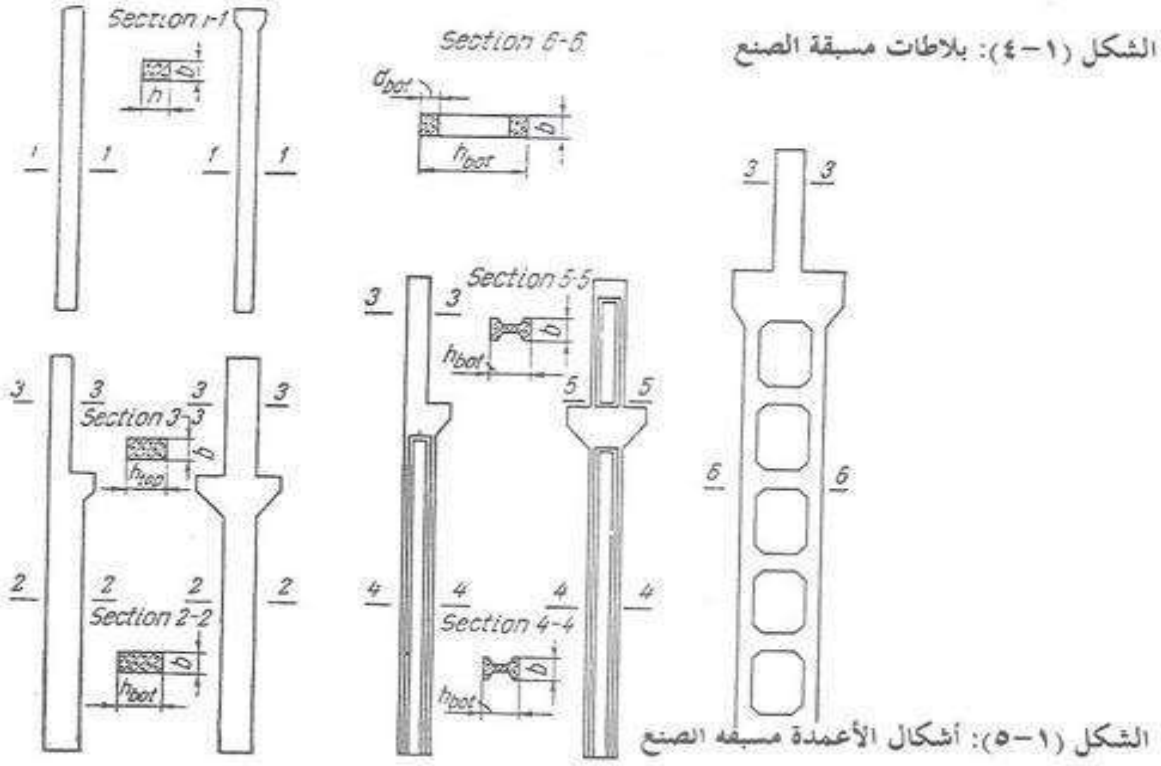
وتتكون عناصر الجدران، من بلاطات مستوية رقيقة، تستخدم كجدران حاملة. أما البلاطات، فيمكن أن تكون مستوية، أو على شكل صندوق مفرغ من الداخل، الشكل (١-٤) أو أشكال أخرى مختلفة، كما تم تصنيع بلاطات رقيقة منحنية وإنتاجها لتشكيل السقوف القشرية.

وتتكون الأقواس، من عناصر قوسية بمجازات تزيد عن ٣٠م، بمقاطع مستطيلة أو بشكل I، أو بشكل T، وغالباً ما تزود بشدادات من البيتون مسبق الإجهاد.

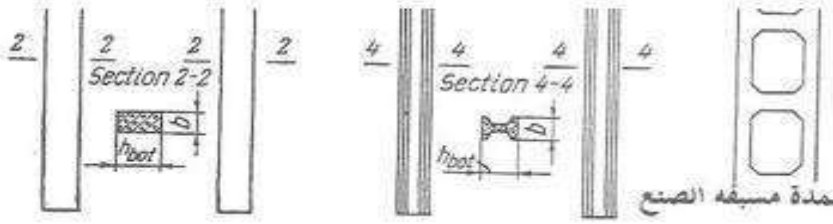
وتتكون عناصر الأعمدة، من مقاطع مستطيلة أو بشكل I ، أو تكون مفرغة باحتوائها فتحات متكررة. شكل (١-٥) وشكل (١-٦). أما الجوائز فعالباً ما تكون بشكل I الشكل (١-٧)، أو جوائز شبكية، بأضلاع شاقولية وافقية ومائلة الشكل (١-٨)، وتشكل فيما بينها فتحات مثلثية، وتتميز الجوائز الشبكية عن الجوائز العادية، باختلاف طبيعة عملها في مقاومة الإجهادات. إذ تتعرض أضلاع الجائز الشبكي، لإجهادات الشد أو الضغط فقط. إذا تم تأمين وصلات مفصلية بين العناصر في نقاط العقد، وأمكن تطبيق الحمولات في العقد المفصلية، ويسمح انعدام عزوم الانعطاف في الجوائز الشبكية بزيادة مجازاتها حتى ٣٠م، كما يمكن الحصول على مجازات متماثلة في الجوائز العادية باستخدام العناصر مسبقة الإجهاد.



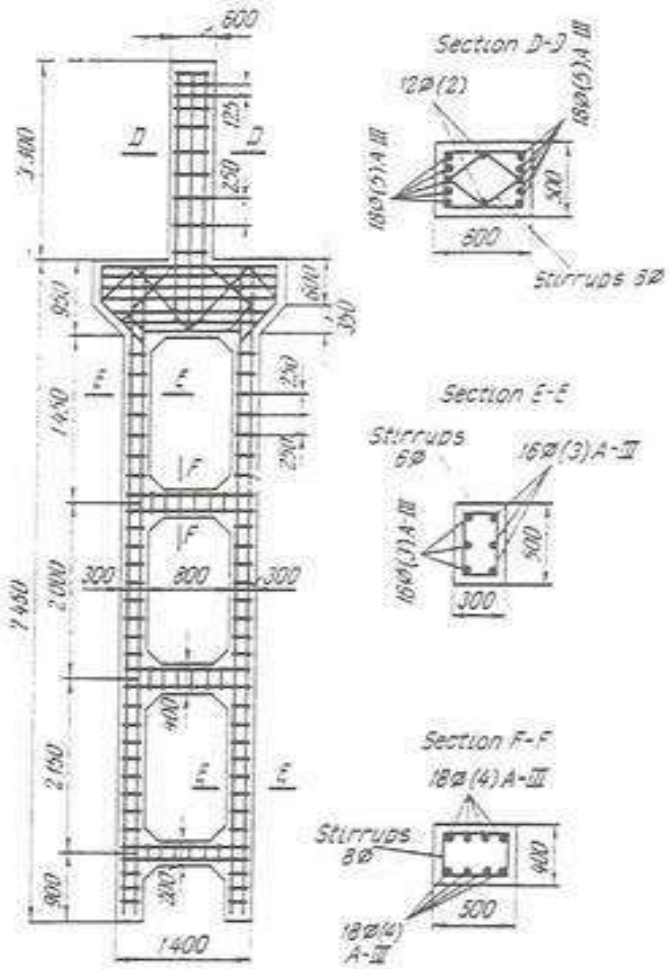
الشكل (١-٤): بلاطات مسبقة الصنع



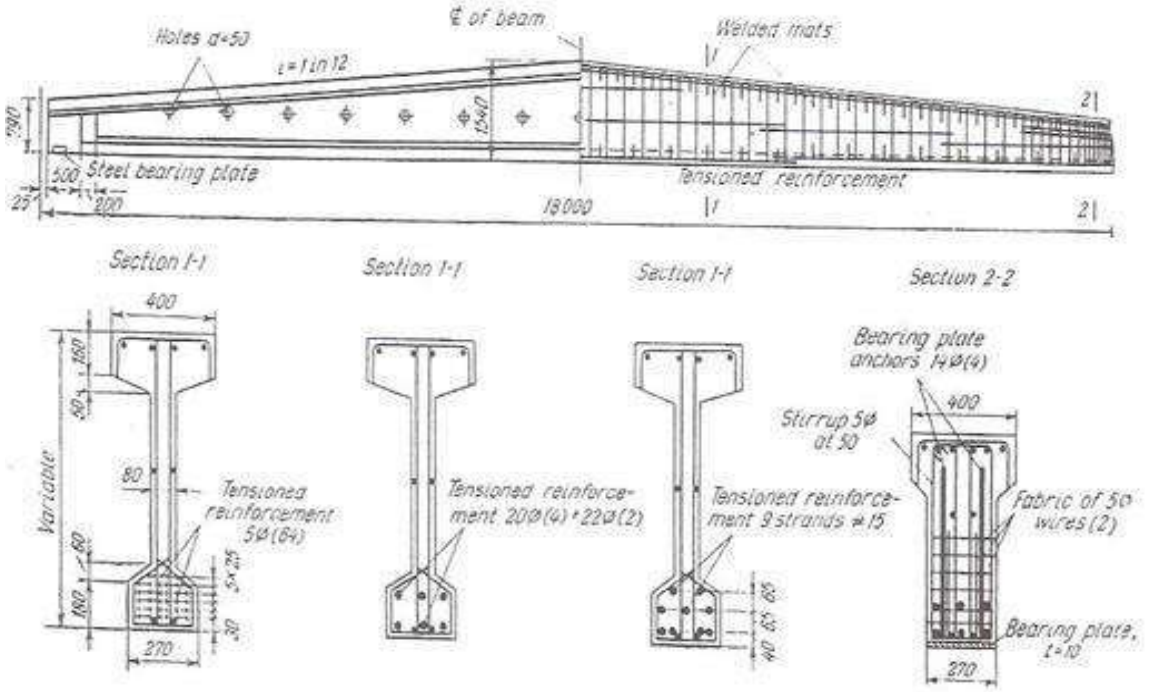
الشكل (١-٥): أشكال الأعمدة مسبقه الصنع



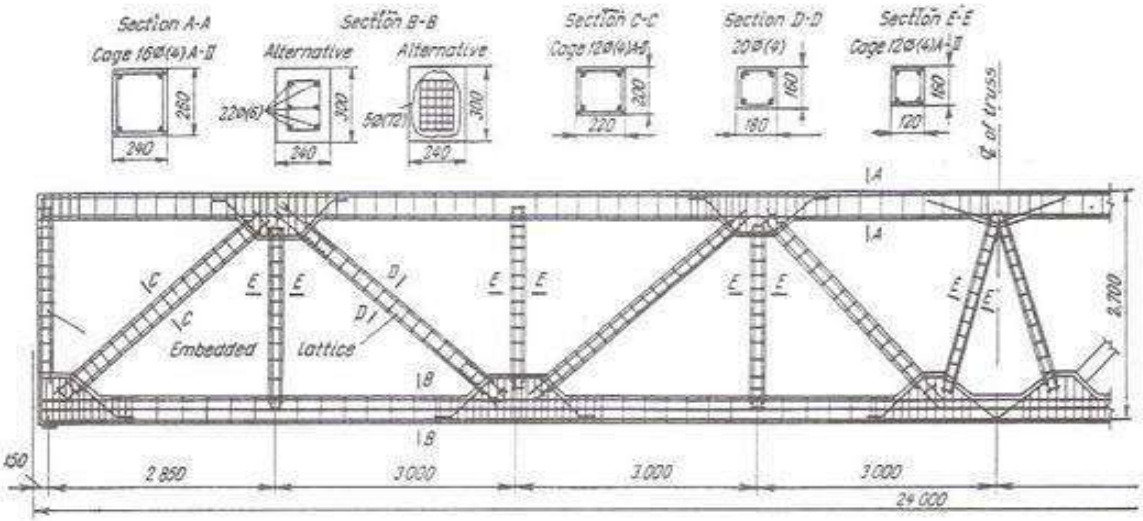
الشكل (١-٥): أشكال الأعمدة مسبقه الصنع



الشكل (١-٦) تفاصيل عمود مسبق الصنع



الشكل (١-٧) تفاصيل جائز مسبق الصنع



الشكل (١-٨): تفاصيل جائز شبكي مسبق الصنع

5 - 2 - 2 إنتاج العناصر مسبقة الصنع:

يعتمد اختيار أشكال العناصر مسبقة الصنع وأبعادها، على دراسة اقتصادية وإنشائية، بحيث تجمع هذه العناصر، بين الميزات الاقتصادية، بالتوفير من كمية المواد المستهلكة، والجهد المبذول لعملية الصنع، وميزات الإنشاء، لاستخدامها كعناصر حاملة، دون صعوبات في النقل والتركيب. ولذا فإن هذه الدراسة، تحدد أشكال العناصر وأبعادها، ليتم إنتاجها بتكرار استعمال القوالب نفسها بمقاييس ومواصفات موحدة، مما يقلل من كلفة الإنتاج.

وبالرغم من إمكانية الحصول على عناصر متماثلة في الشكل والمقطع، ومختلفة في قدرتها على تحمل الإجهادات، عن طريق تغير مقطع حديد التسليح، ومع ذلك لا بد من التقيد بأبعاد معينة للمنشآت، كتحديد البعد بين محاور الأعمدة، وارتفاع الطوابق، بما يتناسب مع مواصفات إنتاج العناصر المسبقة الصنع، وأبعادها القياسية، حتى يمكن استخدامها لتنفيذ هذه المنشآت، والاستفادة من عملية التصنيع بشكل كامل.

ويؤدي هذا التحديد لأبعاد المنشآت، الحصول على عدة تصاميم اقتصادية، ونموذجية، تستخدم لتنفيذ مجموعات متماثلة من المنشآت، وعلى نطاق واسع.

ويتم تصنيع العناصر في المصانع، حسب مخطط إنتاج تكنولوجي محدد، يضمن سهولة الإنتاج، باستخدام الأجهزة الميكانيكية والآليات. وتختلف طريقة الصنع ومخطط الإنتاج، حسب أبعاد القطع وطريقة عملها وتصميمها، فإما أن تستخدم النواقل المتحركة، المكونة من عربات تسير على خطوط حديدية. أو من شريط ناقل مستمر الحركة، لنقل القوالب إلى مجموعة المكنات، التي تقوم بالتتابع، تنظيف القوالب وتشحيمها، ووضع هياكل حديد التسليح، وشد القضبان في حالة العناصر مسبقة الصنع، وكذلك وضع الأجزاء المكونة للفراغات والفتحات، وصب البيتون، ورصه، ونزع الأجزاء المكونة للفتحات، ومن ثم نقل القوالب إلى غرف المعالجة الحرارية، بدرجة حرارة ثابتة ورطوبة معينة، باستخدام بخار الماء الساخن، لتسريع عملية التصلب، حتى انتهاء العملية عند أجهزة نزع القوالب، وتوصيل العناصر المنتجة إلى أماكن التخزين.

وقد تستخدم الروافع بدلاً من النواقل المتحركة، لنقل القوالب بالتتابع من مكان إلى آخر، لتقوم المكنات الآلية، بعمليات الصنع حسب مخطط إنتاج محدد.

كما تستخدم طريقة تثبيت القوالب في مكانها أثناء عملية الصنع، بينما يتم مرور المكنات بالتتابع، بمحاذاة القوالب لنقوم بالأعمال اللازمة، حسب التسلسل المطلوب.

ونظراً لتنوع عناصر المنشآت، واختلاف طريقة عملها، فإنه لا يمكن تحديد مخطط إنتاج، وطريقة تصنيع معينة، في مصنع ينتج أنواعاً مختلفة من العناصر، وغالباً ما تستخدم أكثر من طريقة في مثل هذه المصانع.

5 - 3 البيتون المسلح مسبق الإجهاد:

إن الجهود المبذولة لاستثمار المادة إلى أقصى حد ممكن، أدى إلى تطورات عظيمة في صناعة الإسمنت والفولاذ، وأمكن الحصول على مواد عالية المقاومة، يمكن استخدامها في إنشاء عناصر البيتون المسلح، لمقاومة حمولات كبيرة تزيد عن الحمولات التي يمكن تطبيقها على العناصر المسلحة من المواد ذات المقاومة العادية،

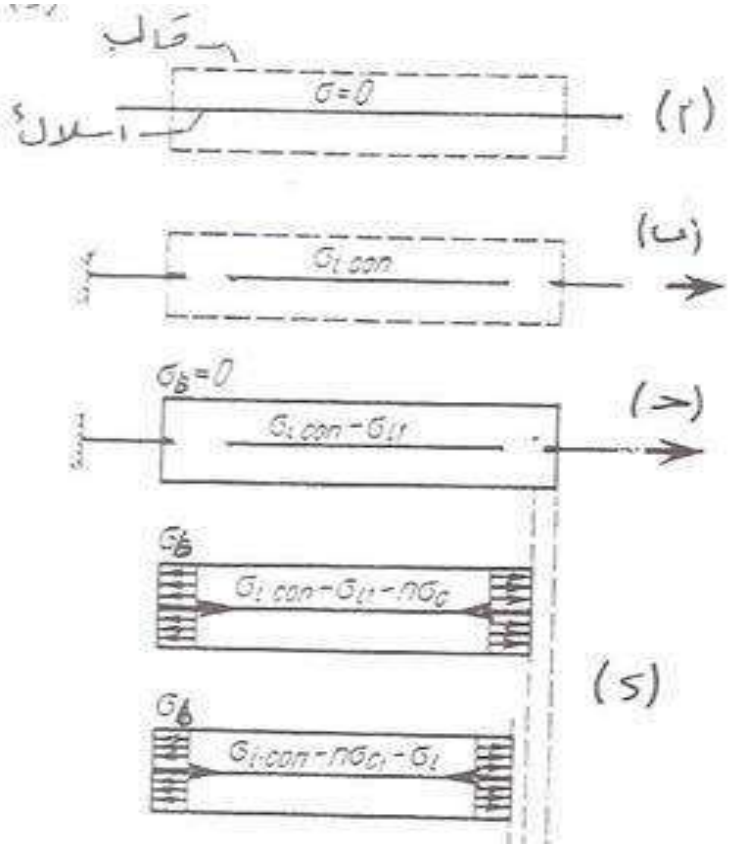
إلا أن هذا الاستخدام للمواد عالية المقاومة لم يمكن من استثمارها بشكل جيد، ويرجع ذلك، إلى ظهور تشققات في البتيون، ناتجة عن التشوهات المرنة في قضبان حديد التسليح عالي المقاومة، ونظراً لأن هذه التشوهات تصبح ذات قيمة كبيرة عند تطبيق إجهادات عالية تناسب إمكانية تحمل حديد التسليح عالي المقاومة، وإن أجزاء البيتون المحيطة بقضبان التسليح، تتعرض للتشقق بسبب مقاومتها الضعيفة للشد، ويؤدي ظهور التشققات في البيتون، إلى تعرض حديد التسليح للعوامل الجوية والرطوبة، مما يقلل من ديمومة المنشأ بمرور الزمن.

إن الحرص لاستثمار المادة بشكل جيد، مع المحافظة على ميزات البيتون المسلح باستخدام المواد عالية المقاومة، أدى إلى تطوير طرائق الإنشاء، وظهور البيتون المسلح مسبق الإجهاد.

وتعتمد فكرة البيتون مسبق الإجهاد على إيجاد قوى ضغط في البيتون تسبق تحميل العنصر. ويتم ذلك بوضع أسلاك التسليح في القالب، وتثبيت أحد طرفيها حتى يمكن تطبق إجهادات شد على الطرف الآخر بوساطة أجهزة خاصة، وتبقى أسلاك التسليح مشدودة إلى أن يتم صب البيتون في القالب، ومن ثم تماسك البيتون وتصلبه مما يؤدي إلى تلاصق البيتون مع أسلاك التسليح، وعندما تصل مقاومة البيتون إلى الحد المقبول، تحرر أسلاك التسليح من المساند فتحاول التقلص، لتعود إلى طولها الأصلي قبل ظهور التشوهات المرنة، وبسبب التلاصق بين أسلاك التسليح والبيتون، فإن تقلص أسلاك حديد التسليح، يؤدي إلى انضغاط البيتون، ويقابل ذلك انخفاض قيمة إجهادات الشد في حديد التسليح وظهور إجهادات ضغط في البيتون.

وعند تحميل العنصر المسبق الإجهاد، فإن التشققات في البيتون لا يمكن أن تظهر، إلا إذا تجاوزت إجهادات الشد في البيتون المحيط بقضبان التسليح، مجموع إجهادات الضغط المسبقة في البيتون، مضافاً إليها إجهادات الشد المؤدية لظهور التشققات في عنصر مماثل غير مسبق الإجهاد الشكل (١-٩).

وهناك طريقة أخرى لإحداث الإجهاد المسبق بعد صب البيتون ويتم تجهيز القطعة البيتونية بقناة خاصة بقطر ٥-١٥ملم باستخدام أنابيب فولاذية أو مطاطية يتم سحبها من البيتون قبل تصلبه.



شكل (١-٩) مراحل تطبيق الإجهاد المسبق (بطريقة الشد على المساند)

أ ـ تثبيت وشد أسلاك التسليح حتى تصبح إجهادات الشد في حديد التسليح مساوية لـ σ_i

ب ـ أسلاك التسليح مشدودة ويتم صب البيتون.

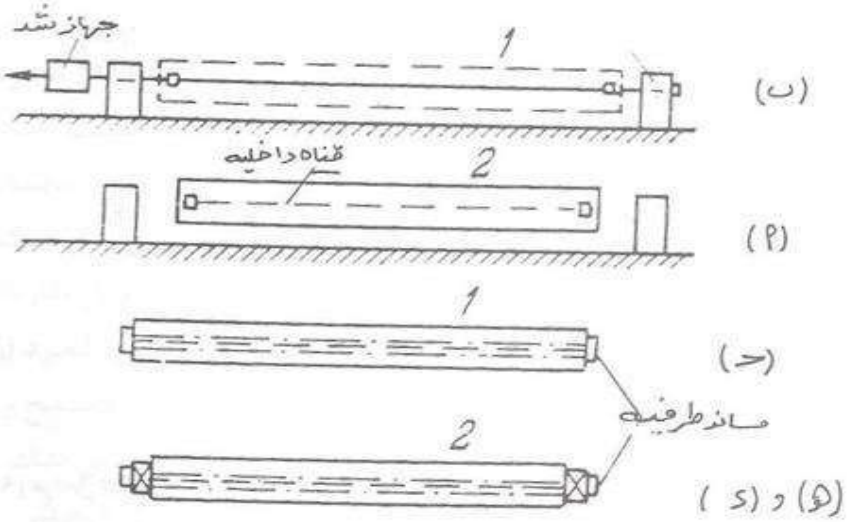
جـ ـ تحرير الأسلاك من المساند بعد تصلب البيتون.

د ـ انضغاط البيتون وظهور إجهادات ضغط في البيتون مساوية لـ σ_b

وانخفاض إجهاد الشد في أسلاك التسليح حيث $\sigma'_i < \sigma_i$

وبعد تصلب البيتون تمرر أسلاك التسليح ضمن القناة وتثبت إحدى نهايتيها بأداة تثبيت خاصة تستند على طرف القطعة البيتونية. ويمسك الطرف الآخر لأسلاك التسليح بوساطة جهاز الشد ويتم تطبيق إجهادات الشد على الأسلاك

وعند انتهاء عملية الشد تجهز بأداة تثبيت تمسك قضبان التسليح وتستند على الطرف الثاني للقطعة البيتونية وعند تحرير أسلاك التسليح من جهاز الشد، تقوم أدوات التثبيت في طرفي القطعة بتطبيق إجهادات ضغط على البيتون بسبب التقلص الناتج في أسلاك التسليح وبذلك يتم الضغط المسبق في البيتون. ويبين الشكل (١-١٠) مراحل تطبيق الإجهاد المسبق، وفي النهاية يتم حقن البيتون في القناة لتأمين التماسك بين البيتون وأسلاك التسليح.



شكل (١-١٠) مراحل تطبيق الإجهاد المسبق (بطريقة الشد على البيتون)

أ ـ تجهيز القطعة البيتونية وتأمين قناة داخلية.

ب ـ تثبيت طرف أسلاك التسليح وتطبيق إجهاد شد على الطرف الآخر.

جـ ـ تجهيز أداة تثبيت في الطرف الآخر للقطعة.

د ـ تحرير الأسلاك من جهاز الشد.

هـ ـ انضغاط القطعة بوساطة أدوات التثبيت في طرفي القطعة، وحقن البيتون في القناة الداخلية.

5-4 تصنيف منشآت البيتون المسلح:

تصنف منشآت البيتون المسلح من ناحية استخدام هذه المنشآت، إلى قسمين رئيسيين: منشآت المباني والمنشآت المدنية.

والمباني إما أن تكون مباني سكنية، أو مباني عامة، يمكن الاستفادة منها في المجالات الاجتماعية التي تغطي متطلبات الحياة المتحضرة.

وتتضمن أبنية الخدمات العامة، كالأبنية الحكومية، والمكاتب التجارية والسياحية، والمؤسسات العامة، والفنادق، والمطاعم والمصارف.. الخ. وأبنية الخدمات الثقافية والتعليم، كالمدارس والجامعات، والمسارح، ودور السينما، والمعارض، والنوادي، والمكتبات، وأبنية النشاطات الرياضية، كالملاعب والمسابح، والقاعات الرياضية المغلقة، والأبنية الدينية، كالجوامع والكنائس.

كما تتضمن أبنية المصانع، والمعامل والمستودعات، ومحطات توليد القدرة، والأبنية المخصصة لحفظ المنتجات الزراعية واللحوم، وحظائر المواشي والدواجن، وجميع الأبنية اللازمة لمتطلبات الصناعة والزراعة، أما المنشآت المدنية فتتضمن الجسور، وخزانات المياه، والسدود، والعبارات، وحظائر الطائرات، وصوامع الحبوب، ومنشآت الري والهيدروليك. . . الخ.

5-5 عناصر منشآت البيتون المسلح:

إن إمكانات تشكيل البيتون، تضمن اختيار الوضع الملائم لأشكال عناصر المنشأ، بحيث يمكن الحصول على منشآت، تجمع بين إمكانات استخدام المنشأ، وتوزع الإجهادات والحمولات في العناصر بشكل يضمن الثبات والقدرة على تحمل الإجهادات.

وتتكون منشآت البيتون المسلح، من عناصر وقطع مستقلة، أو متماسكة تختلف طبيعة عملها عند تعرضها للحمولات، وتكون هذه العناصر معرضة بصورة أساسية للضغط المركزي، أو الشد المركزي، أو عزوم الانعطاف وقوى القص. وتكون الحمولات مطبقة على العناصر مباشرة، أو تنتقل إليها من عناصر أخرى مستندة عليها. ففي الأبنية تكون الحمولات مطبقة مباشرة على البلاطات إذ تحمل

بلاطة السطح الأخير الوزن الذاتي وحمولة الثلج. وتحمل البلاطات الوسطية الناس والمعدات والتجهيزات والمواد وغيرها.

وتستند البلاطات على الجوائز، وبذلك تنتقل الحمولات من البلاطات إلى الجوائز، فتقوم الجوائز بتحمل أوزانها الذاتية، والحمولات المنقولة إليها من البلاطات. أما الجوائز فتستند إلى الأعمدة، وبذلك تنتقل حمولات الجوائز إلى الأعمدة، وتستند الأعمدة على الأساسات، وتستند الأساسات على التربة.

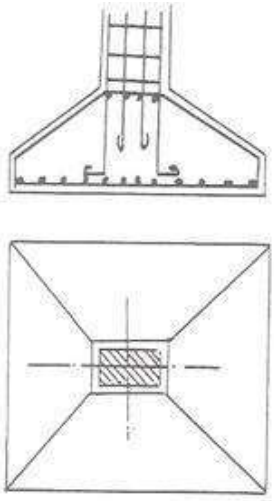
أي إن لكل عنصر دوره في تحمل الحمولات المطبقة والمنقولات إليه، ونقل هذه الحمولات إلى عنصر آخر، بحيث تصل الحمولات في النهاية إلى التربة عن طريق الأساسات.

وتتحدد أشكال العناصر، وأبعادها، وكيفية استنادها وارتباطها ببعضها من دراسة إمكانية العنصر لمقاومة الحمولات ونقلها، والظروف العملية التنفيذية، وحجم الفراغ المناسب لإمكانية استخدام المبنى أو المنشأ، وتتضمن منشآت البيتون المسلح العناصر التالية:

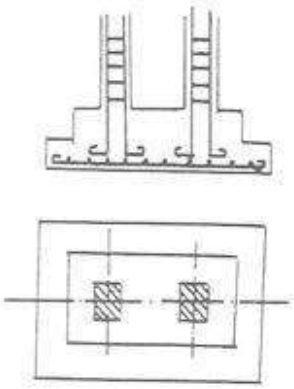
5-5-1 الأساسات:

وهي كتل من البيتون المسلح، تقوم بتحمل إجهادات القص، وعزوم الانعطاف الناتجة عن الحمولات المنقولة إليها من الأعمدة، ورد فعل إجهادات الضغط في التربة. وبالتالي فإن أبعاد قاعدة الأساس المستندة إلى التربة، يجب أن تكون كافية لتوزيع الإجهادات في التربة، بحيث لا تزيد قيم الإجهادات الناتجة في التربة، عن الإجهاد المسموح حسب طبيعة التربة ومواصفاتها، كما أن ارتفاع الأساس يجب أن يكفي لتحمل إجهادات القص، وقوى الاختراق الناتجة عن استناد العمود على الأساس.

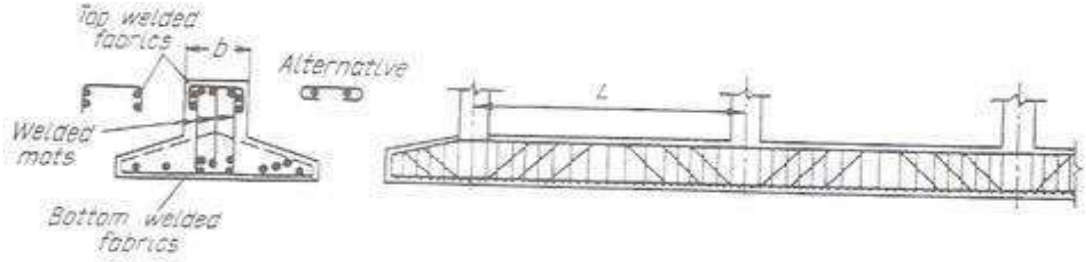
وعندما تكون الحمولات متوسطة، والتربة جيدة، فتكون الأساسات منفردة، ويحمل كل أساس عموداً واحداً أما إذا كانت الحمولات كبيرة، والتربة ضعيفة، فإن ضمان الحصول على قيم مقبولة للإجهادات في التربة، يضطرنا إلى إنشاء أساسات مشتركة لعدد من الأعمدة، أو أساسات مستمرة تحت صفوف الأعمدة، أو أساسات مستمرة تحت كامل البناء بشكل بلاطة أو حصيرة تستند عليها جميع أعمدة المبنى، ويبين الشكل (١-١١) أشكال الأساسات.



أ ـ أساس منفرد



ب ـ أساس مشترك

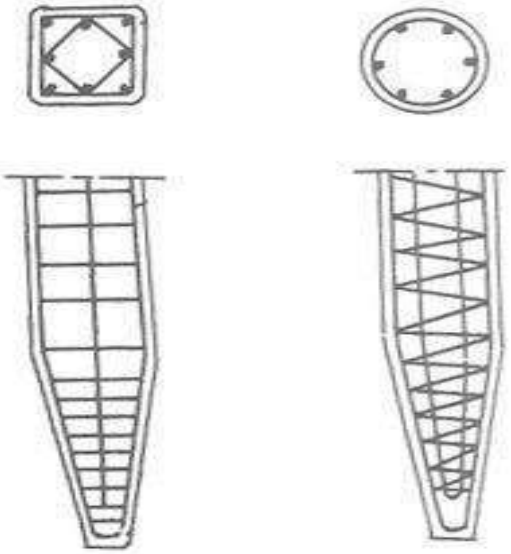


جـ – اساس مستمر

الشكل (١-١١): أشكال الأساسات

أما إذا كانت الحمولات كبيرة، والتربة ضعيفة جداً، وغير قادرة على تحمل الإجهادات الناتجة عن الحمولات. فإن الأساسات الوتدية، تضمن توزع الإجهادات في تربة جيدة، وذلك بحفر آبار عميقة من ٨ – ٢٠ متراً وبقطر (٥٠ سم)، للوصول إلى التربة الجيدة، وتصب الأوتاد ضمن هذه الآبار، وتنتقل

الحمولات من الأعمدة إلى الأوتاد، عن طريق غطاء من البيتون المسلح يستند إلى عدد من الأوتاد ثلاثة أو أكثر. وبذلك تنتقل الحمولة من العمود إلى الغطاء (الرأس) ومن الرأس إلى الأوتاد، ومن الأوتاد إلى التربة العميقة. كما يمكن استخدام الأوتاد المسبقة الصنعة حيث يتم غرزها في التربة بعد تحضيرها. شكل (١-١٢).



الشكل (١-١٢): أوتاد بيتونية مسلحة

أولاً: الأساسات المنفردة:

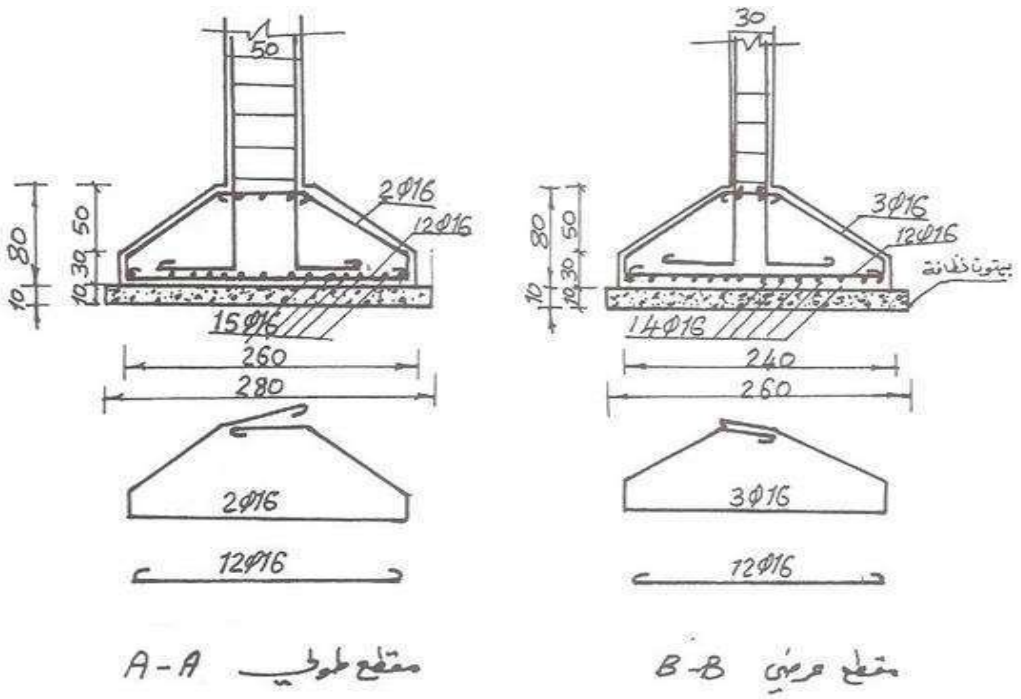
الأساسات أوالقواعد، هي كتل من البيتون المسلح تقوم بتحمل إجهادات القص وعزوم الانعطاف الناتجة عن الحمولات المنقولة إليها من الأعمدة، ورد الفعل الناتج عن إجهادات الضغط في التربة. وتحدد أبعاد الأساسات بحيث لا تزيد قيم الإجهادات في التربة عن الإجهاد المسموح حسب طبيعة التربة ومواصفاتها. ويحدد ارتفاع الأساسات بحيث يكفي لتحمل إجهادات القص وقوى الاختراق الناجمة عن استناد العمود على القاعدة. وتكون الأساسات المنفردة على شكل صندوقي أو

هرمي الشكل (١-١٣)، ترتكز على طبقة من البيتون العادي تدعى بيتون النظافة بسماكة ١٠سم لحماية فولاذ التسليح من رطوبة التربة، ويسلح أسفل الأساس بشبكة من قضبان التسليح بالاتجاهين لمقاومة العزوم الناتجة عن رد فعل التربة، وبأقطار لا تقل عن ١٢مم، وموزعة على مسافات بين ١٠-٢٠سم. ويكسح عدد من القضبات تحت العمود وجواره لمقاومة الإجهادات الشادة الرئيسية، وبحيث لا يقل عددها عن قضيبين، ويجب أن لا يقل ارتفاع الأساس عن ٢٥سم وأن لا يزيد ميل الجزء الهرمي على ٢:٣. وتؤخذ احتياطات لزيادة سماكة طبقة التغطية بما لا يقل عن ٧سم في الأساسات المنفذة على تربة رطبة أو المعرضة للمياه الجوفية.

ويشترط ان لا يقل البعد الأصغر لأساسات الأعمدة عن ١٠٠سم في التربة القوية بتحمل ≤ ٣ كغ/ سم^{٢} وعن ١٢٠سم في التربة الضعيفة بتحمل ≥ ١كغ /سم^{٢}

كما ينصح بجعل بروزات الأساسات من أوجه الأعمدة متساوية قدر الإمكان. ويجب أن لا يقل العمق الكلي للأساس عن نصف مقدار بروز الأساس، وتكون السماكة عند طرف الأساس أكبر من نصف السماكة عند وجه العمود.

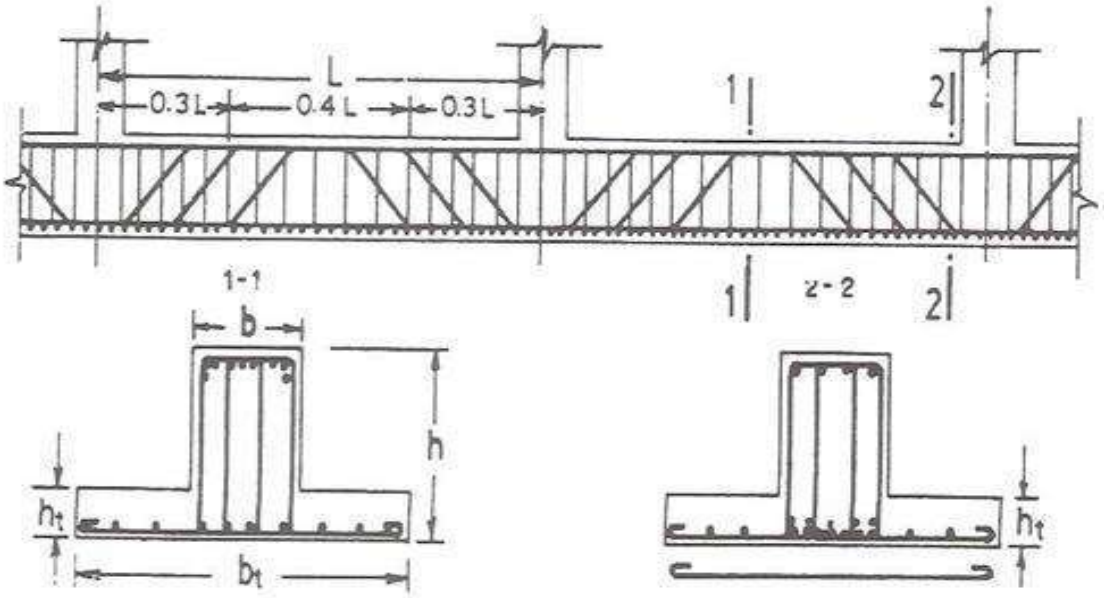
يجب استمرار التسليح الطولي للعمود ضمن الأساس، أو تستخدم تشاريك لوصل قضبان التسليح الطولي، ويمدد التسليح الطولي للعمود أو تشاريك الوصل ضمن بيتون الأساس مسافة كافية لنقل الحمولات من العمود وتمتد خارج بيتون الأساس بمسافة كافية لوصل تسليح العمود، وتكون بقطر مماثل لأقطار قضبان التسليح الطولي للعمود.



الشكل (١-١٣): تفاصيل تسليح أساس منفرد

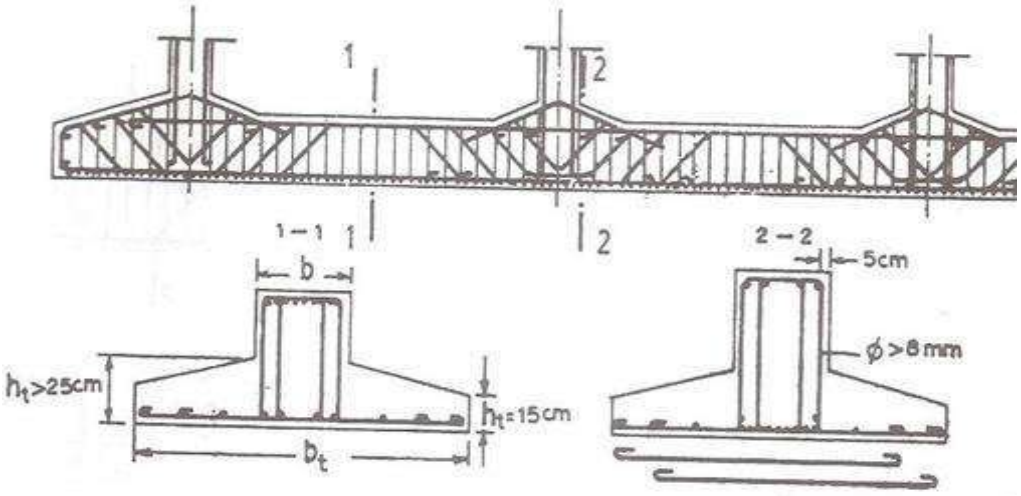
ثانياً: الأساسات المستمرة:

تؤدي الأحمال الكبيرة على الأعمدة إلى زيادة أبعاد الأساسات ويمكن أن تتداخل مع بعضها بخاصة عندما تكون المسافات بين الأعمدة صغيرة، وفي حالة التربة الضعيفة، لذلك يتم وصل الأساسات مع بعضها لتشكل أساساً مستمراً لمجموعة أعمدة الشكل (١-١٤).



الشكل (١-١٤): أساس مستمر بجناح ثابت السماكة

تكون الأساسات المستمرة على شكل T مقلوبة ولا يقل عرض الجناح عن ٨٠سم في التربة القوية و١٠٠سم في التربة الضعيفة وبسماكة ≤ ٢٠سم ويمكن أن يكون الجسد ثابت السماكة أو مزوداً بشطفات مائلة الشكل (١-١٥) تسلح الأساسات المستمرة بتسليح طولي رئيسي وتسليح توزيع عرضي ولا يقل قطر التسليح العامل عن ١٢مم ويتراوح عدد القضبان بين ٥-١٤ قضيباً في المتر. أما الأساور فهي بقطر لا يقل عن ٨مم وتكون متقاربة بجوار الأعمدة وعلى مسافة ٠,٣٠ - ٠,٢٥ من طول المجاز بدءاً من محور العمود، ويزداد التباعد في منصف المجاز، ويكون عدد الأساور في المقطع الواحد متناسباً مع عرض المقطع الشكل (١-١٤) والشكل (١-١٥).



الشكل (١-١٥): أساس مستمر بجناح متغير السماكة

5-5-2 الأعمدة:

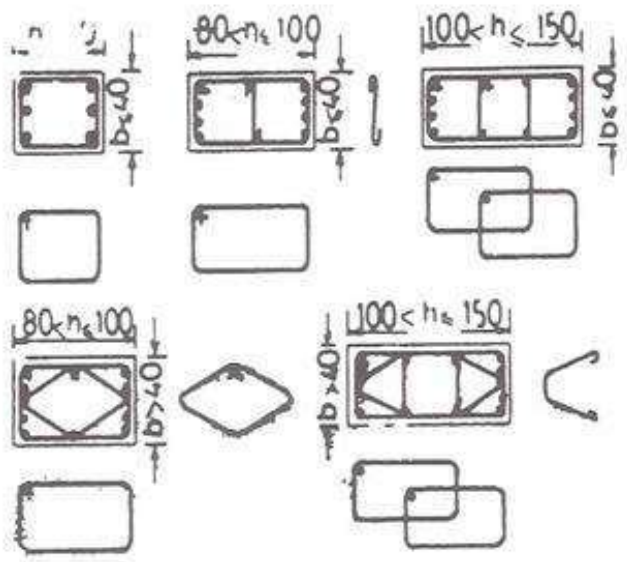
تشكل الأعمدة العناصر الشاقولية التي تنقل الحمولات من الجوائز إلى الأساسات، وتكون معرضة لحمولات الضغط المركزية أو اللامركزية. ففي الحالة الأولى تكون الأعمدة معرضة لإجهادات الضغط، وفي الحالة الثانية تكون معرضة لعزوم الانعطاف. وإن الأعمدة المعرضة للضغط المركزي يمكن أن تنفذ نظرياً. من البيتون فقط ليتحمل إجهادات الضغط. إلا أن النواحي الاقتصادية تفرض استخدام حديد التسليح في الأعمدة، ليقاوم جزءاً من إجهادات الضغط مما يؤدي إلى تخفيض مقطع البيتون، ويمنع ظهور التشققات في البيتون الناتجة عن الانكماش وتغيرات درجة الحرارة.

إن شكل استناد الأعمدة على الأساسات، غالباً ما يكون بشكل وثاقة، ويتم تأمين المسند الموثوق بمنشآت البيتون المسلح، وعن طريق تمديد حديد التسليح إلى مسافة كافية، تسمح بمقاومة عزوم الانعطاف، وتتم الوثاقة بين العمود والأساس، بتمديد حديد التسليح في العمود حتى نهاية الأساس. شكل (١-١٣) وتنتهي بشكل زاوية ٩٠° لمسافة ٣٠سم على الأقل.

– أولاً: الأعمدة المربعة والمستطيلة:

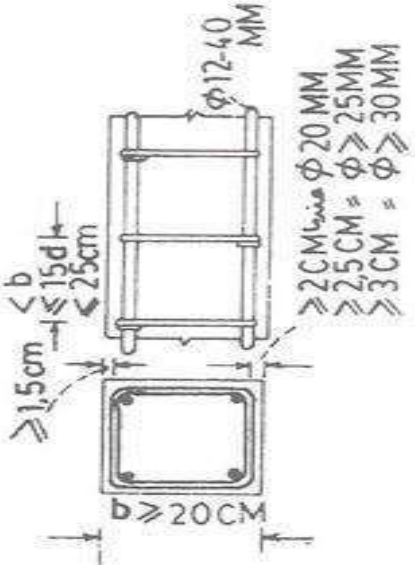
يتم اختيار مقطع العمود بما يوافق الإجهادات المطبقة وبما لا يقل عن ٦٠٠سم^2 وبعرض يزيد على ٢٥سم، ويؤخذ تزايد الأبعاد للأعمدة عند التصميم ٥سم أي ٣٠سم ، ٤٠، ٥٠ أو بتزايد ١٠سم للأعمدة التي تزيد على ٥٠سم أي ٦٠سم ، ٧٠، ٨٠. وبحيث لا تزيد نسبة الطول إلى العرض على ٣.

تسلح الأعمدة المربعة والمستطيلة المعرضة لأحمال مركزية، بقضبان طولية موزعة على محيط العمود وتبعد عن الوجه الخارجي للبيتون بمقدار سماكة التغطية ٢-٢,٥سم وتربط القضبان الطولية بأساور عرضية تؤمن ثبات الهيكل وتمنع انحناء الأعمدة الطولية بتأثير قوى الضغط أو ظهور التشققات على السطح الخارجي للبيتون، لا يقل عدد القضبان عن أربعة في الزوايا وتوزع باقي القضبان على المحيط بحيث لا يزيد التباعد بينها على ٣٥سم ولا يقل عن ٥سم، ويتوجب ربط القضبان بأساور إضافية بحيث لا يزيد البعد بين القضبان المربوطة بالأساور على ٣٥سم الشكل (١-١٦).



الشكل (١-١٦): أشكال توزيع الأساور في العمود

يتراوح أقطار القضبان الطولية من ١٢ – ٣٠مم وتوزع الأساور العرضية على كامل طول العمود بمسافات متساوية لا تتجاوز ٣٠سم وبأقطار من ٦ أو ٨مم الشكل (١-١٧).



الشكل (١-١٧): مقطع عمود وتسليحه.

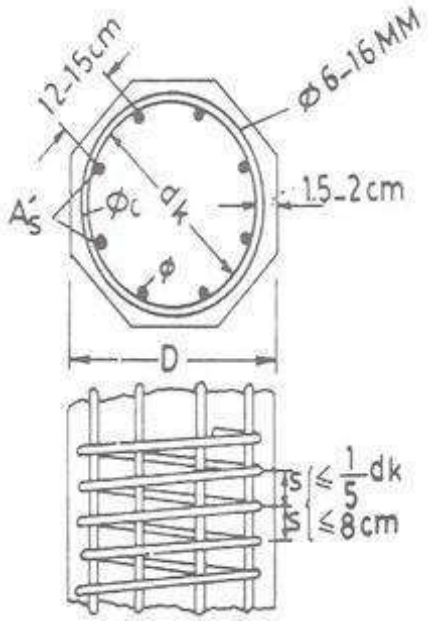
وتحدد المواصفات نسبة التسليح الدنيا في المقطع (وهي مساحة المقطع التسليح إلى مساحة مقطع البيتون) $\mu \geq 0.5\%$ ، وهي النسبة الضرورية لمنع ظهور التشققات بتأثير تقلص البيتون وانكماشه أثناء التصلب.

أما الحد الأعظمي للتسليح فيحدد بـ $\mu \leq 3\%$ ، ذلك أن زيادة نسبة التسليح عن الحد الأعظمي يؤدي إلى تعرض حديد التسليح إلى جزء كبير من القوة المطبقة على المقطع مما يسبب تشوه القضبان وانحناءها. ولذلك من الضروري تكثيف الأساور عن وصول نسبة التسليح إلى ٣٪، أما نسبة التسليح الاقتصادية فتتراوح بين ١,٢٪ - ٠,٨٪.

ثانياً: الأعمدة الدائرية والمضلعة:

تنفذ الأعمدة الدائرية أو المضلعة لأغراض معمارية أو تزينية، وتسلح هذه الأعمدة طولياً، كما في الأعمدة المربعة أو المستطيلة، وتسلح عرضياً بأساور دائرية أو بقضيب حلزوني الشكل (١-١٨). حيث أظهرت التجارب أن التسليح الحلزوني يزيد من مقاومة مقطع البيتون للضغط، ويفسر ذلك بتأثير الحزم العرضي للنواة البيتونية. ويشترط ألا يزيد خطوة الحلزون على ٨ سم أو خمس قطر النواة. ولا تقل على ٤ سم. ويجب الاحتفاظ بثبات الخطوة واحتياطات وصل الأسوارة بحيث تطابق ١,٥ لفة على الأقل.

تستخدم الأعمدة الدائرية بقطر لا يقل عن ٢٥ سم وتستخدم الأساور الدائرية المغلقة بقطر لا يقل عن ثلث قطر التسليح الطولي أو ٦مم أيهما أكبر، ولا يزيد على ١٢مم، أما الأساور الحلزونية فيجب ألا يقل قطرها عن ٨مم.



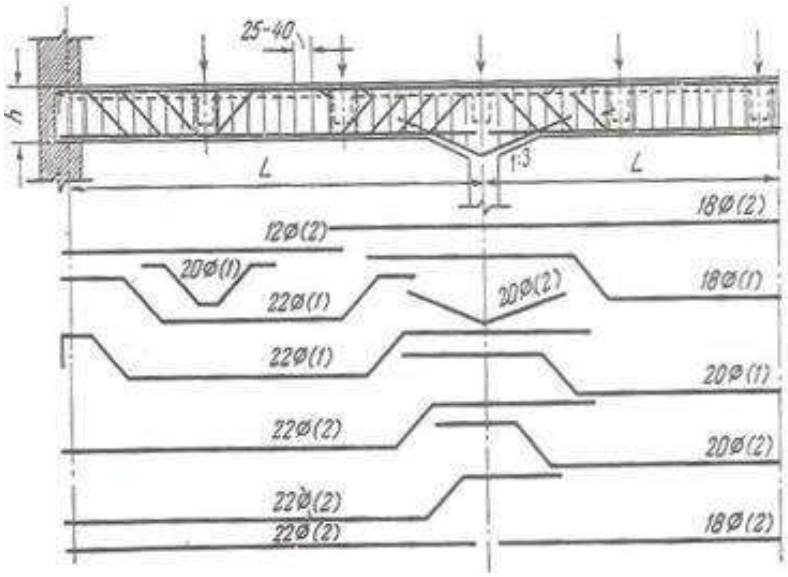
الشكل (١-١٨): تسليح عمود مضلع.

5 - 5 - 3 الجوائز:

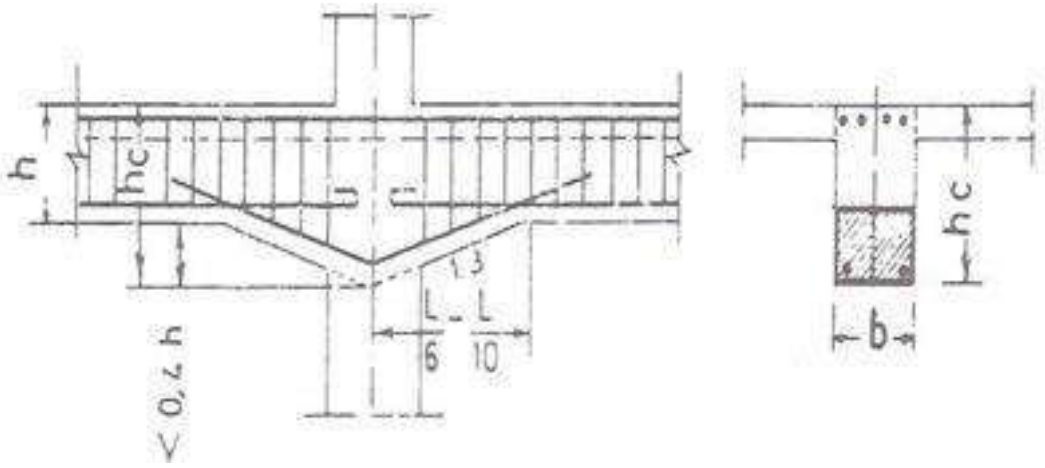
الجوائز عبارة عن العناصر الأفقية التي تكون أبعاد المقطع فيها (a x h) أقل بكثير من طول المجاز (ℓ)، ويتراوح ارتفاع المقطع h بين $\frac{\ell}{8}$ و $\frac{\ell}{20}$ كما يتراوح عرض المقطع بين 0.25 h و 0.50 h. وتعمل الجوائز على مقاومة عزوم الانعطاف وقوى القص الناتجة عن الحمولات المنقولة إليها من البلاطات، ويمكن أن تكون الجوائز بسيطة بمجاز واحد، أو جوائز مستمرة تستند على عدد من الأعمدة، وأن قيم عزم الانعطاف في الجائز المستمر، أقل من قيم عزم الانعطاف في الجائز البسيط بالمجاز نفسه كما تظهر عزوم سالبة فوق المساند، ولذلك فالجوائز المستمرة أكثر اقتصاداً من الجوائز البسيطة، وتصل مجازات الجوائز المستمرة حتى ٨ أمتار.

ويمكن أن تكون الجوائز أرضية (شيناجات) تقوم بحمل الجدران كما تساعد بربط الأعمدة مع بعضها لتخفيض الطول المعرض للتحنيب ولا يقل عرض الشيناج عن ٢٠ سم.

تشكل جوائز السقف وحدة متماسكة من البلاطات وهي إما جوائز بسيطة أو جوائز مستمرة متعددة الفتحات بمجازات تصل حتى ٨م وبارتفاع يتراوح بين $\frac{١}{٦}$ – $\frac{١}{١٦}$ من طول المجاز وبعرض يتراوح بين ٠,٥ – ٠,٢٥ من الارتفاع تبعاً لنوع الاستناد، ويتم اختيار الارتفاع بحيث يقبل القسمة على ٥. وعندما لا يحقق ارتفاع المقطع بجوار المساند المقاومة المطلوبة للعزم السالب، تضاف شطفات مائلة بجوار الأعمدة لزيادة مقاومة المقطع الشكل (١-١٩)، ويفضل أن لا يزيد ميل الشطفات على ١/٣ الشكل (١-٢٠).

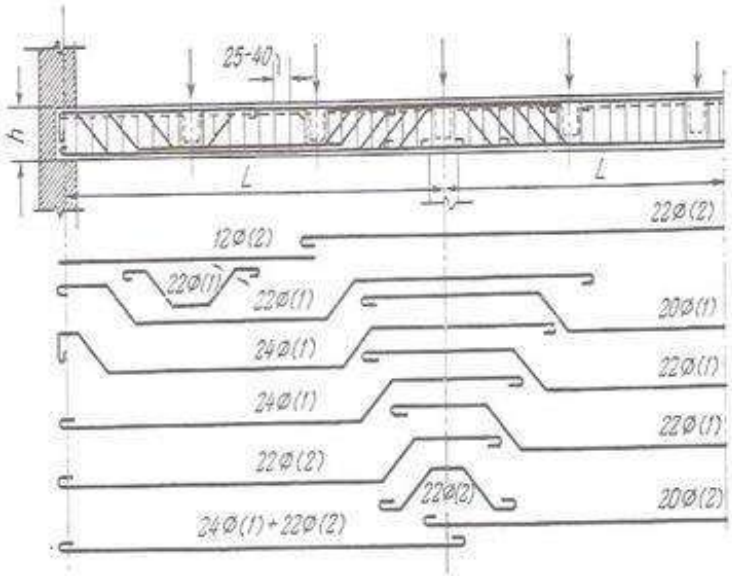


الشكل (١-١٩) جائز بشطفات مائلة جوار المساند



الشكل (١-٢٠): زاوية ميل الشطفات.

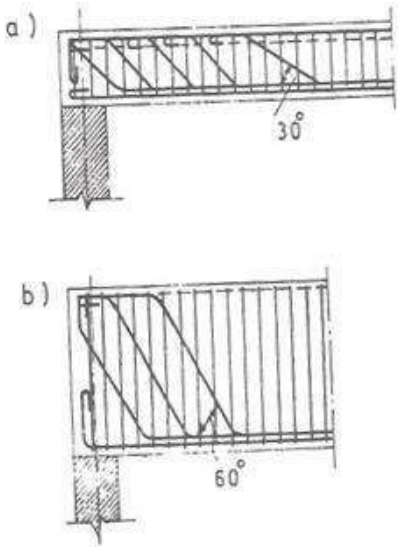
تسلح الجوائز بهياكل تسليح تحتوي قضبان طولية فعالة مستقيمة ومرفوعة إضافة لقضبان ربط وقضبان تقلص وأساور عرضية الشكل (١-٢١).



الشكل (١-٢١): تفاصيل تسليح جائز.

يتم تحديد أقطار القضبان الفعالة وعددها بحساب الإجهادات على المقطع وبأقطار تتراوح بين ١٢-٣٠مم، وترتب في صف واحد أو صفين، ولا تقل نسبة التسليح الدنيا عن $\frac{0.9}{Fy}$، ولا يقل البعد بين قضيبين عن ٢,٥-٣سم أو مرة ونصف قطر أكبر حبة بحص، وعنده وضع القضبان على طبقتين، ترفع الطبقة الثانية شاقولياً بمسافة ٢,٥-٣ سم.

يحدد عدد القضبان المرفوعة وأقطارها حسابياً ويؤخذ بين $\frac{1}{2}$ إلى $\frac{1}{3}$ من القضبان الفعالة لتساهم في تحمل إجهادات الشد الرئيسة المائلة، وتكسح القضبان المرفوعة عادة بزاوية ٤٥° ويمكن ثني القضبان في الجوائز قليلة الارتفاع بزاوية ٣٠° أو بزاوية ٦٠° في الجوائز التي يزيد ارتفاعها عن ٨٠سم الشكل (١-٢٢) وتستمر القضبان المستقيمة بعدد لا يقل عن ٢ حتى المساند وبمسافة كافية لا تقل عن ٢٠سم. ويحدد مكان رفع القضبان بحسب مخطط مغلف العزوم ويؤخذ عادة على بعد $\frac{1}{5}$ من المجاز عند المساند الوسطية و$\frac{1}{7}$ من المجاز عند المساند الطرفية وتمدد القضبان المرفوعة في المجاز المجاور بمسافة تساوي $\frac{1}{4}$ المجاز وتساهم بمقاومة عزوم الانعطاف السالبة فوق المساند، إضافة للقضبان المستقيمة الإضافية فوق المساند.



الشكل (١-٢٢): زوايا ميل القضبان المرفوعة

توضع القضبان الإنشائية للتعليق لضرورات تثبيت هيكل التسليح ومقاومة الإجهادات الناجمة عن الانكماش وتغيرات درجة الحرارة، وتكون بأقطار من ١٠-١٢مم

وتضاف على الجانبين قضبان وسطية لمقاومة الانكماش عندما يزيد ارتفاع الجائز عن ٦٠سم ولا تزيد المسافة بين قضبان التقلص على ٣٠سم، وتؤخذ أقطار قضبان التعليق أو قضبان التقلص بقطر يعادل نصف قطر أكبر قضيب تسليح طولي أو ١٠مم أيهما أكبر. وبعدد يساوي عدد فروع الأساور.

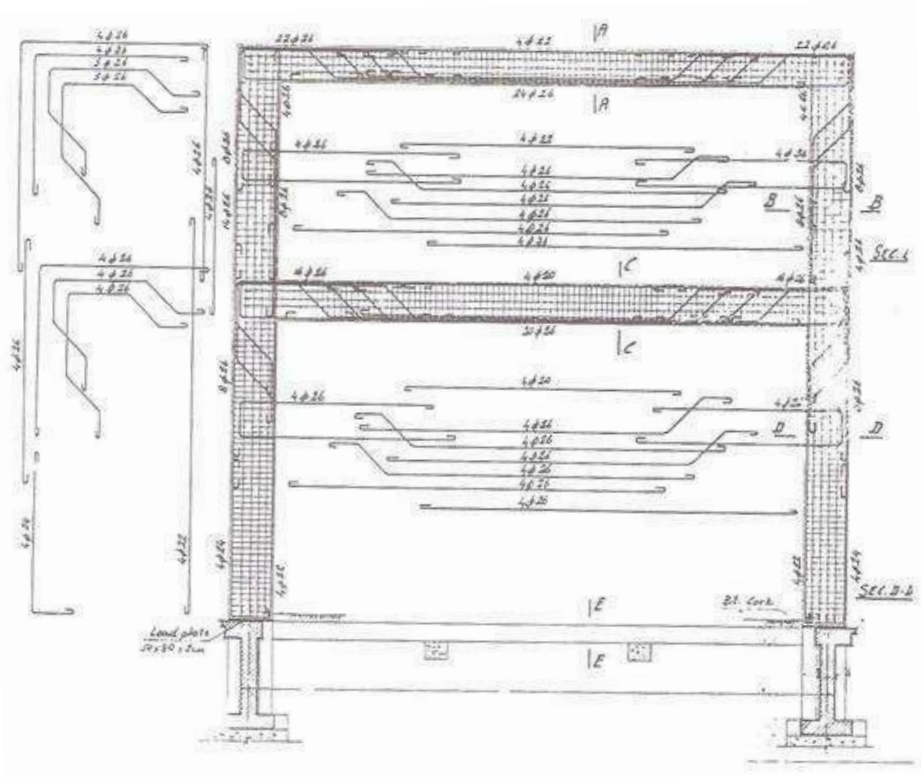
تحيط الأساور بالقضبان الفعالة والإنشائية وتؤمن ترابط الهيكل بشكل كامل، وتحقق الارتباط بين منطقتي الشد والضغط في المقطع، كما تقاوم قوى الشد الناتجة عن الاجهادات الرئيسة بمساعدة البيتون والقضبان المائلة. وتحدد المسافة بين الأساور بجوار المساند حسابياً وهي أكثر كثافة بجوار المساند منها في وسط الجاز ولا يزيد التباعد على ٣٠سم أو نصف العمق الفعال للمقطع أيهما أقل. وتتراوح أقطارها من ٦ - ١٠مم بحيث لا يقل عن ٣/١ أكبر قطر تسليح طولي.

5 - 5 - 4 الإطارات:

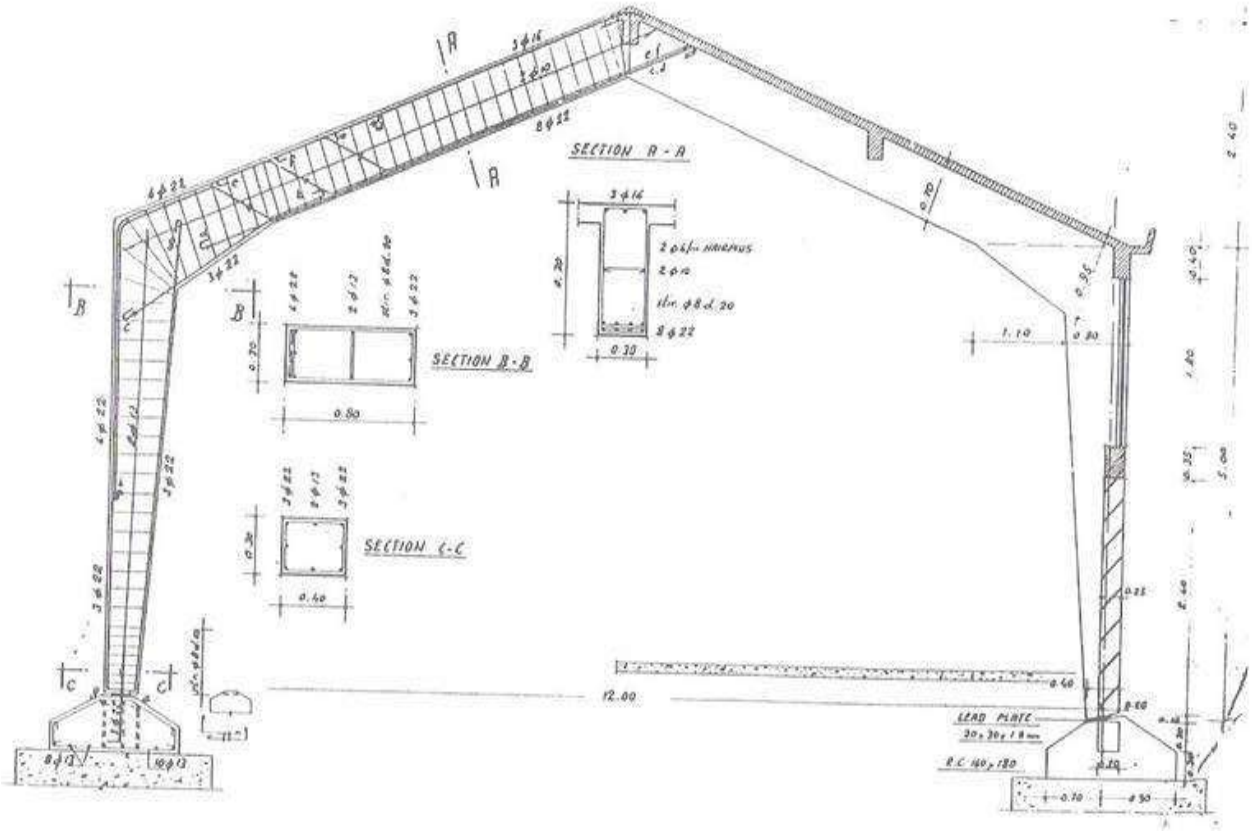
إن تأمين وثاقة ثابتة بين الجائز والأعمدة، عن طريق تمديد حديد تسليح الجائز إلى مسافة معينة ضمن الأعمدة، وتمديد حديد تسليح الأعمدة ضمن الجوائز، يؤدي إلى الحصول على إطار ثابت ومتماسك، شكل (١-٢٣)، ويتكون الإطار من الأعمدة كعناصر شاقولية، والجائز كعنصر أفقي أو مائل، وأن الوثاقة الناتجة بين الأعمدة والجائز، تؤدي إلى تخفيض عزم الانعطاف في الجائز مما يسمح بتكبير المجاز حيث يصل إلى (١٥متر) وإن أعمدة الإطار تساعد في تحمل عزوم الانعطاف، كما أن الإطار يؤمن اشتراك العناصر الأفقية والشاقولية، في مقاومة الإجهادات الناتجة عن الحمولات الشاقولية في العنصر الأفقي، والحمولات الأفقية (ضغط الرياح) المطبقة على العناصر الشاقولية، ويمكن أن يكون الإطار بفتحة واحدة أو عدة فتحات، وعند تكرار الإطار أفقياً وشاقولياً، نحصل على هيكل ثابت ومستمر، يشكل العنصر الأساسي في المبنى الهيكلي، وتشترك فيه الأعمدة الشاقولية والعناصر الأفقية في مقاومة الحمولات الشاقولية والأفقية المطبقة على الإطار.

إن استناد أعمدة الإطار على الأساسات، يمكن أن يكون بشكل وثاقة أو استناد مفصلي. ويتأمن المسند المتمفصل في منشآت البيتون المسلح، بوضع قضبان تسليح متقاطعة، عند نقطة ضعيفة من البيتون، مما يسمح بدوران العنصر في هذه النقطة، بينما يقاوم القوى الشاقولية والأفقية شكل (١-٢٤).

وتتعرض العناصر الأفقية في الإطارات، إلى عزوم انعطاف كبيرة، تتطلب زيادة عمق الجائز. وإن تعديل شكل العنصر الأفقي في الإطار، بحيث يصبح منكسراً بضلعين أو أكثر، يؤدي إلى تخفيض قيم عزوم الانعطاف متحولة إلى إجهادات ناظمية، مما يسمح بزيادة المجاز واستخدام المادة بشكل أفضل. ويمكن بوساطة الإطارات المنكسرة تنفيذ مجازات تصل حتى ١٨ متراً.



الشكل (١-٢٣): تفاصيل تسليح إطار.

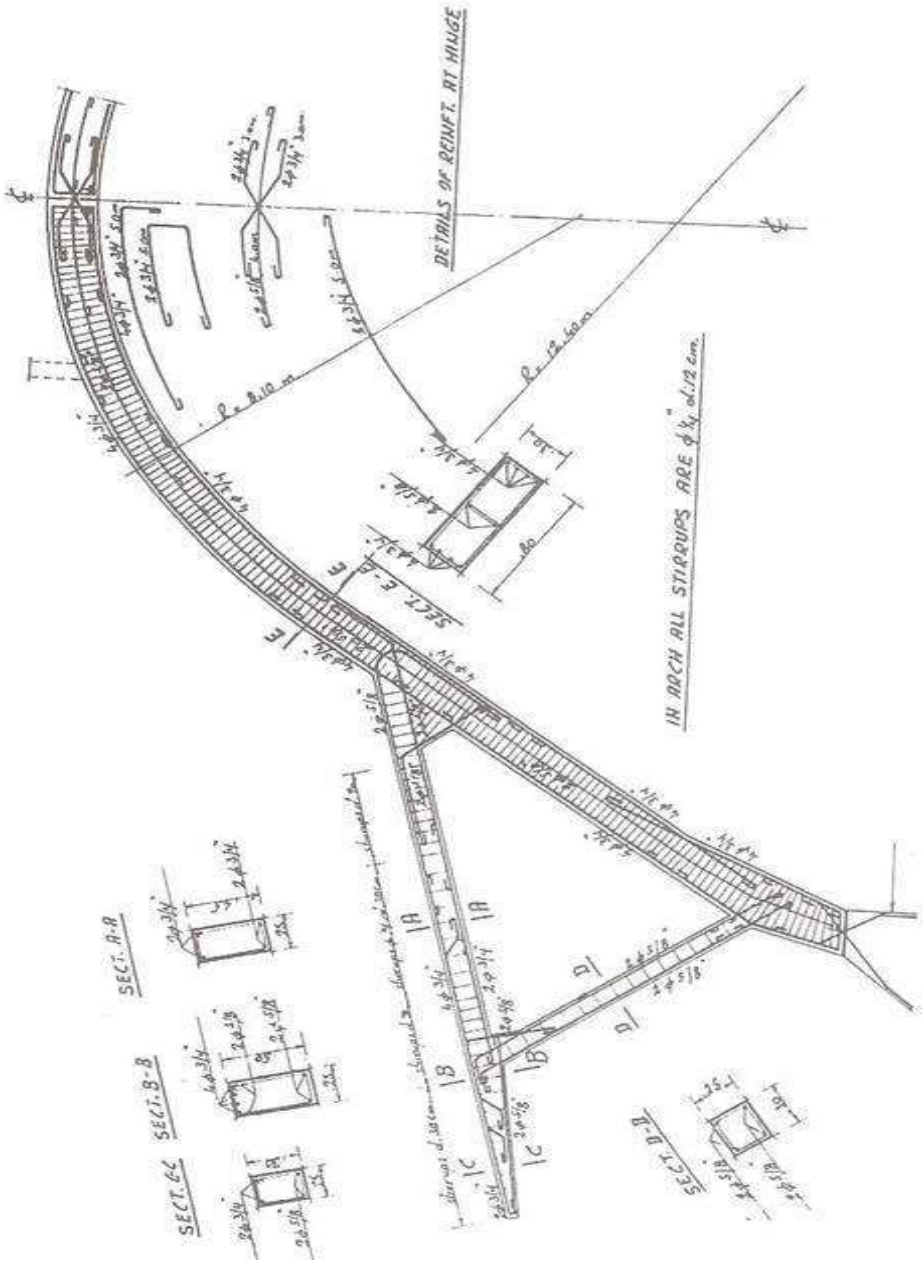


الشكل (١-٢٤): مقطع في إطار بفتحه واحدة استناد مفصلي.

5-5-5 الأقواس:

إن زيادة عدد أضلاع الإطار بشكل غير متناهٍ، يتحول إلى شكل قوسي مستمر، ويتميز القوس بانخفاض قيم عزوم الانعطاف بشكل كبير متحولة إلى إجهادات ناظمية، مما يساعد على زيادة انجاز بشكل كبير دون أن يتطلب ذلك زيادة كبيرة في ارتفاع المقطع. ويكون استناد القوس على القواعد بشكل استناد ثابت (وثاقة)، أو استناد مفصلي، ويسمح المسند المتمفصل بدوران طرف القوس بتأثير الإجهادات الناتجة عن تغيرات درجة الحرارة وهبوط التربة، وتكون الأقواس ذات المساند الثابتة أكثر تحملاً للإجهادات من الأقواس المتمفصلة إلا أنها أكثر تأثراً بالإجهادات الناتجة عن تغيرات الحرارة وهبوط التربة. كما يمكن تلافي الإجهادات الناتجة عن الهبوط في التربة والتغيرات في درجة الحرارة نهائياً باستخدام الأقواس الأقواس المتمفصلة عند المساند، وإضافة مفصل ثالث في منتصف القوس للحصول على قوس ثلاثي المفاصل، حر الحركة والهبوط بدون ظهور إجهادات إضافية. شكل (١-٢٥).

إن ردود الفعل الناتجة في المساند الثابتة والمفصلية عند نقاط ارتكاز القوس أو الإطار، تتكون من قوى شاقولية وقوى أفقية، وتقوم التربة بمقاومة القوى الشاقولية، بينما يضاف عنصر أفقي قادر على مقاومة قوى الشد، يربط بين طرفي الإطار أو القوى وتدعى مثل هذه العناصر بالشدادات، ويمكن تنفيذ أقواس تصل مجازاتها حتى (٥٠) متراً.



الشكل (١-٢٥): قوس ثلاثي المفاصل.

5 - 5 - 6 البلاطات:

البلاطات عبارة عن عناصر مسطحة ذات عمق صغير، وتستند على العناصر الحاملة الجوائز أو الإطارات أو الأقواس، لتغطي الفتحات بين هذه العناصر، وتشكل سقفاً للمبنى. وعندما تكون الفتحات بين العناصر الحاملة للبلاطة كبيرة، فإن البلاطات تشكل عنصراً حاملاً يعمل على مقاومة عزوم الانعطاف باتجاه واحد أو باتجاهين. أما إذا كانت الفتحات بين العناصر الحاملة للبلاطة صغيرة إلى حد كافٍ، فإن البلاطات تصبح عناصر تغطية فقط، وتكون الإجهادات الناتجة فيها صغيرة جداً. وتصنف البلاطات حسب شكلها وطريقة استنادها إلى:

أ ـ البلاطات الجائزية والبلاطات باتجاهين:

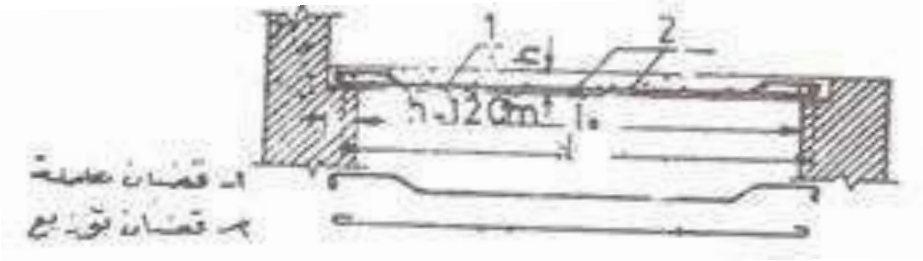
وهي سطح مستو ومتماسك ذو عمق صغير، وتستند على الجوائز أو العناصر الأفقية في الإطارات وتتوزع الجوائز على مسافات بين ٣ –٨ أمتار، بـ باتجاه واحد أو باتجاهين متعامدين، وتكون البلاطة عنصراً إنشائياً باتجاه واحد، إذا كانت النسبة بين بعديها $\frac{a}{b} > 2$ أو عنصراً إنشائياً يعمل بالاتجاهين، عندما تكون النسبة بين بعديها $\frac{a}{b} \leq 2$.

ويمكن أن تكون البلاطات منفردة أو مستمرة وقد تنتهي بأظفار كبلاطات الشرفات، وتتراوح سماكاتها بين $\frac{١}{٢٥}$ — $\frac{١}{٣٠}$ من طول المجاز وهي عادة من ١٦–٨سم.

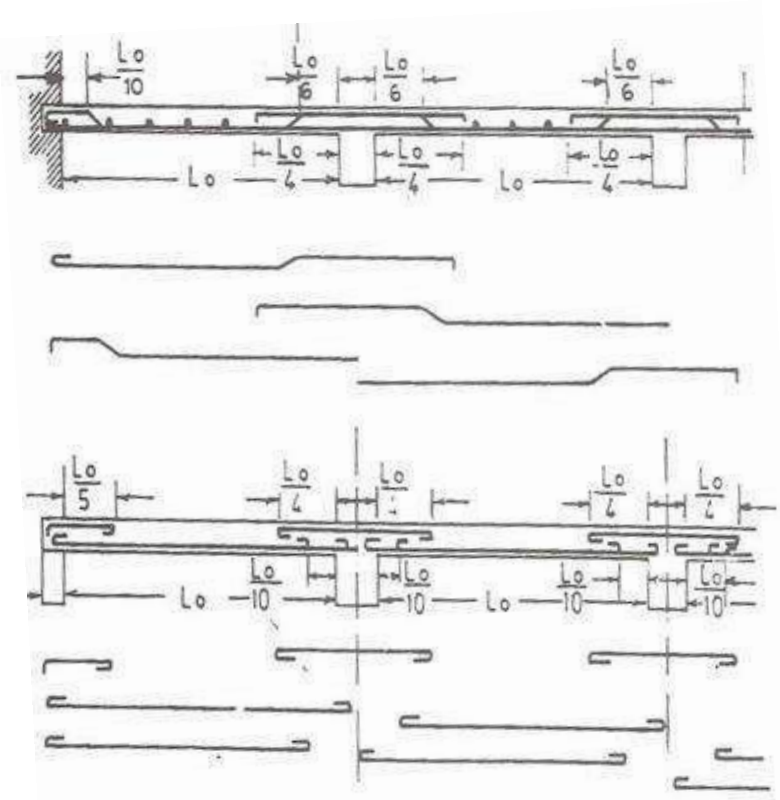
تسلح البلاطات بشبكات تحتوي على قضبان طولية وعرضية وتكون فعالة بالاتجاهين أو رئيسة في أحد الاتجاهات وإنشائية في الاتجاه الآخر تبعاً لنوع البلاطة.

وتحافظ القضبان الإنشائية المتعامدة مع التسليح الرئيسي على وضع القضبان دون انزياح كما تمنع التشققات الناجمة عن الانكماش. ويرتب التسليح بحيث يغطي مناطق الشد كافة ويرفع نصف قضبان التسليح في البلاطات المستمرة عند المساند ابتداء من $\frac{١}{٥}$ المجاز وتمدد إلى $\frac{١}{٤}$ المجاز المجاور لتغطية العزوم السالبة فوق المساند. وتكون القضبان بأقطار من ٨ – ١٦مم أو من قطر ٦مم لقضبان التوزيع، وبتباعد لا يزيد على ٣٠سم في منتصف المجاز ولا يقل عن ٨ سم إلا في حالة

تسليح الشبكات الجاهزة، ويبين الشكل (١-٢٦) تسليح بلاطة منفردة، كما يبين الشكل (١-٢٧) تسليح بلاطة مستمرة.



الشكل (١-٢٦) تسلح بلاطة منفردة



الشكل (١-٢٧) تسليح بلاطة مستمرة.

يجب أن لا يقل التسليح الثانوي عن $\frac{١}{٤}$ مساحة التسليح الرئيسي ولا يزيد قطر قضبان على $\frac{١}{١٠}$ سماكة البلاطة، ومن الضروري تأمين استناد مناسب للبلاطات بحيث لا يقل عرض المسند عن سماكة البلاطة وبحد أدنى ٨سم إلا في حالات البلاطات مسبقة الصنع، ويجب أن لا يقل ارتفاع الجائز الحامل للبلاطة عن ضعف سماكة البلاطة.

ب ـ بلاطات الهوردي:

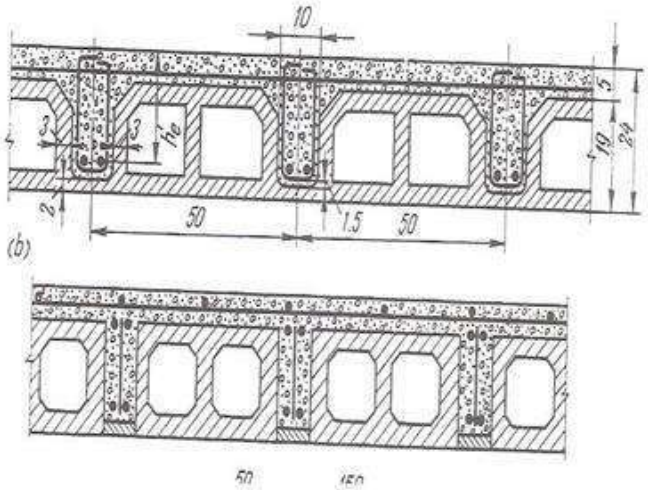
عندما تستند البلاطات المستوية، على جوائز أو أعصاب باتجاه واحد، حيث تكون الأعصاب متقاربة جداً، ولا تزيد المسافة بينها على ٧٠سم. وبذلك تكون الأعصاب عناصر حاملة، أما البلاطات فتعد عناصر تغطية فقط. ولذا تكون بسماكة صغيرة ٦سم. وتصل مجازات الأعصاب في البلاطات الهوردي حتى ٧متر. كما أن ملء الفراغات بين الأعصاب بنوع من البلوك المفرغ، يساهم في تسهيل عمل القالب اللازم، ويعطي بلاطات عازلة للصوت والحرارة.

ويبين الشكل (١-٢٨) نماذج من البلوك المفرغ المستخدم لملء الفراغ بين الأعصاب، وتتوفر أبعاد وقياسات مختلفة من البلوك مبينة في الجدول (١-٢).

تكون عزوم الانعطاف في البلاطة فوق البلوك المفرغ صغيرة جداً نظراً لتقارب الأعصاب من ٥٠ - ٧٠سم، ولذلك فإن سماكة البلاطة تكون صغيرة من ٦-٨سم، وتسلح إنشائياً بدون حساب قضبان قطر ٦مم بتباعد لا يزيد على ٢٥سم بالاتجاه المتعامد مع الأعصاب، وقضيب واحد أو قضيبين بين الأعصاب. ويتراوح عمق العصب من $\frac{١}{٨}$ ـ $\frac{١}{٢٥}$ من المجاز، وتسلح الأعصاب بهياكل من القضبان العاملة والإنشائية والأساور بشكل مماثل تماماً للجوائز، وتكون الأساور على شكل مثلث أو شبه منحرف، ويتم الاكتفاء بقضيب تعليق واحد في حالة الأعصاب المثلثية و يحسب التسليح الرئيسي لمقاومة عزوم الانعطاف بحيث يكون بقطر لا يقل

عن ٨مم ولا يزيد عدد القضبان على ثلاثة. وفي حال وجود أعصاب بطول يزيد على ٥م يجب إضافة عصب عرضي متعامد معها في منتصف المسافة لتخفيض سهم الهبوط، ويكون العصب العرضي بمقطع وتسليح مماثل لتسليح العصب الرئيسي وتسليح علوي لا يقل عن نصف مساحة مقطع التسليح السفلي. ويضاف ثلاثة أعصاب عرضية عندما يزيد طول العصب على ٧م.

تستند الأعصاب على جوائز غالباً ما تكون مخفية وبسماكة البلاطة مع البلوك وبعرض يتراوح بين ٤٠ – ١٢٠سم. ولا يقل عرض العصب عن ١٠سم أو ثلث العمق الكلي أيهما أكبر. ويوقف وضع البلوك المفرغ على بعد ١٥سم على الأقل من وجه الجائز أو الجدار الحامل ليقوم هذا الجزء بتأمين صلابة كافية عند استناد العصب على الجائز ومقاومة العزوم السالبة.



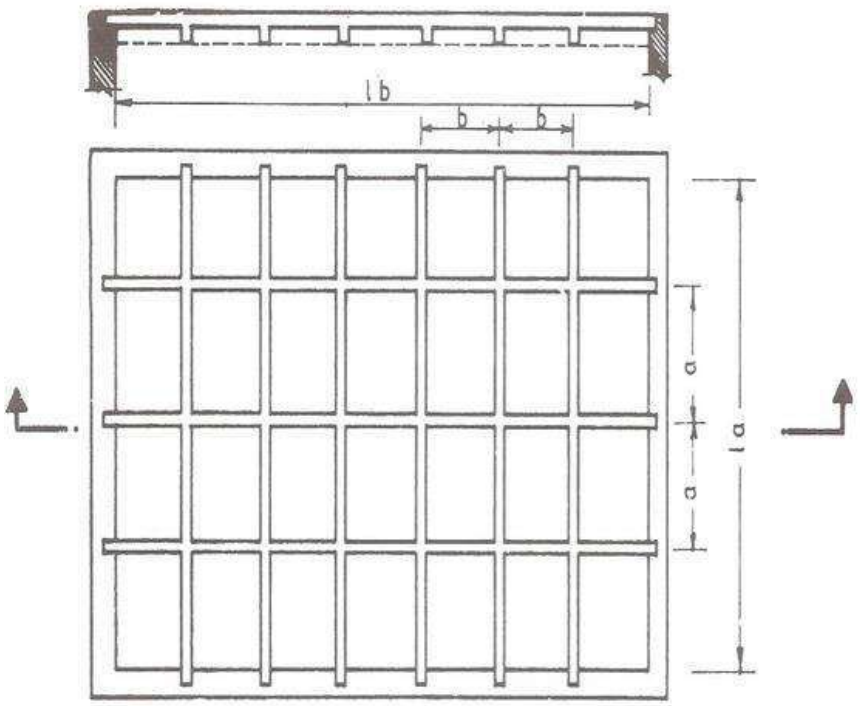
الشكل (١-٢٨) مقطع في بلاطة هوردي

كغ وزن (رمل مكسرة)	كغ وزن رمل خفان	سم L	سم b	سم b_1	سم t
٥	٤	٢٠	٣٧	٤٠	٨
٦	٥	٢٠	٣٧	٤٠	١٠
٨	٦	٢٠	٣٢	٣٥	١٢
٧	٥	٢٠	٢٣	٢٥	١٣
١٠	٨	٢٠	٣٢	٣٥	١٥
١١	٩	٢٠	٣٧	٣٥	١٨
١٢	١٠	٢٠	٣٧	٤٠	١٨
٩	٧	٢٠	٢١	٢٦	٢٠
١٠	٨	٢٠	٣٢	٣٥	٢٠
١٤	١٢	٢٠	٣٧	٤٠	٢٠
١٣	١١	٢٠	٣٢	٣٥	٢٤
١٤	١٢	٢٠	٣٧	٤٠	٢٤
١٤	١٢	٢٠	٣٢	٣٥	٢٥
١٥	١٣	٢٠	٣٥	٣٨	٢٦
١٦	١٤	٢٠	٣٧	٤٠	٢٦
١٦	١٤	٢٠	٣٥	٣٨	٢٨
١٨	١٥	٢٠	٣٠	٣٥	٣٠
١٧	١٥	٢٠	٣٧	٤٠	٣٠
١٨	١٦	٢٠	٣٥	٣٨	٣٥

الجدول (١-٢): قياسات البلوك للبلاطات المفرغة

جـ ـ البلاطات المعصبة:

وهي عبارة عن بلاطات مستوية تعمل بالاتجاهين، وتستند على شبكة من الجوائز أو الأعصاب المتعامدة، موزعة على مسافات لا يزيد على ٢ متراً. وإن تقارب الجوائز وترابطها مع بعضها في كلا الاتجاهين، يسبب اشتراكها جميعاً في مقاومة الحمولات المطبقة على البلاطة. مما يسمح بزيادة نسبة عمق الجائز إلى طول المجاز، حيث تصل بين $\frac{١}{٣٠}$ ـ $\frac{١}{٤٠}$ وتستند شبكة الجوائز عند نهاياتها على المحيط الخارجي، ويسمح استخدام البلاطات المعصبة إلغاء الأعمدة الوسطية، مما يلائم تغطية قاعات كبيرة تصل أبعادها بين ٨ حتى ١٢ متراً.



الشكل (١-٢٩): مسقط بلاطة معصبة ومقطعها.

د ـ البلاطات الفطرية:

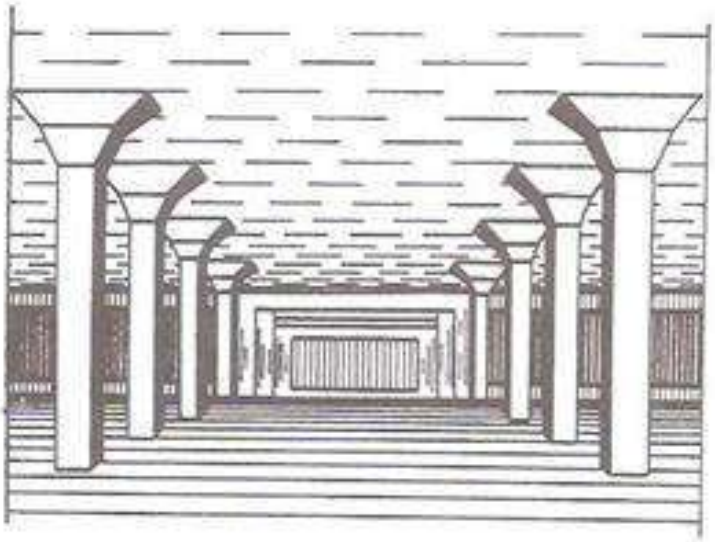
يمكن أن تستند البلاطات المستوية على الأعمدة مباشرة وبدون جوائز، إلا أن نقاط استناد البلاطة على الأعمدة، يولد إجهادات اختراق كبيرة، تتطلب تكبير رؤوس الأعمدة لتشكل قواعد استناد للبلاطة، وتساعد الرؤوس التاجية للأعمدة في زيادة صلابة ارتباط البلاطة مع الأعمدة، كما تقلل من مجاز البلاطة وتؤدي إلى تخفيض عزوم الانعطاف في البلاطة. وتوزع الأعمدة في البلاطات الفطرية على مسافات تصل حتى ٦ أمتار. وتتميز البلاطات الفطرية بسهولة التنفيذ، وزيادة المسافة الصافية بين الأرضية والسطح الداخلي للسقف، نظراً لإلغاء الجوائز، مما يفيد في إمكانية استثمار المنشأ عند استخدامه لأغراض معينة الشكل (١-٣٠).

هـ ـ البلاطة المسننة أو المتكسرة:

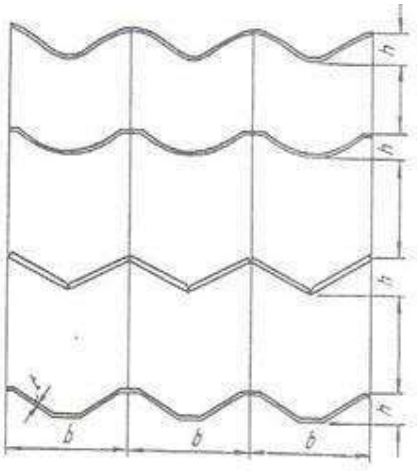
وهي عبارة عن مسطحات مائلة ومتماسكة، وتكوّن سقف بسماكة ثابتة، وتستند أطرافها الخارجية على جوائز أو إطارات، وتعمل البلاطات المسننة بالاتجاهين، حيث تكوّن الشرائط الطولية بمجموعة من الجوائز الطولية بعمق يساوي عمق الكسرة، وتكوّن الشرائط العرضية بمجموعة من الجوائز الرقيقة بسماكة البلاطة، وتستخدم البلاطات المسننة أو المتكسرة في بعض المنشآت الصناعية وتأخذ أشكالاً مختلفة إما مثلثية أو متعددة الأضلاع شكل (١-٣١).

و ـ البلاطات القشرية:

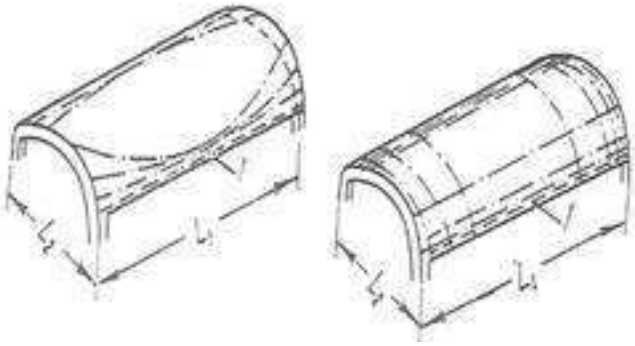
إلى تحول الإجهادات في البلاطة إلى قوى ضغط، بينما تختفي عزوم الانعطاف، وذلك مما يسمح بتخفيض نسبة السماكة إلى البحاز بشكل كبير، وأبسط أشكال السقوف القشرية، هي البلاطات الأسطوانية ذات انحناء باتجاه واحد، حيث تشكل مجموعة من الأقواس المتتالية، شكل (١-٣٢) أما القشريات مزدوجة الانحناء، فتكون على شكل قبة كروية، أو قبة القطع المكافئ. ويتميز هذا النوع من القشريات بالمتانة والثبات تحت كل الظروف، وتصل نسبة السماكة إلى البحاز حتى $\frac{١}{٣٠٠} - \frac{١}{٣٠٠}$ ونفذت قبب بمجاز ١٠٠ متر ـ كما تستخدم القشريات مزدوجة الانحناء بشكل القطع الزائد. في تشكيلات معمارية متعددة.



الشكل (١-٣٠): بلاطة قطرية.



الشكل (١- ٣١): أشكال البلاطات المسننة.



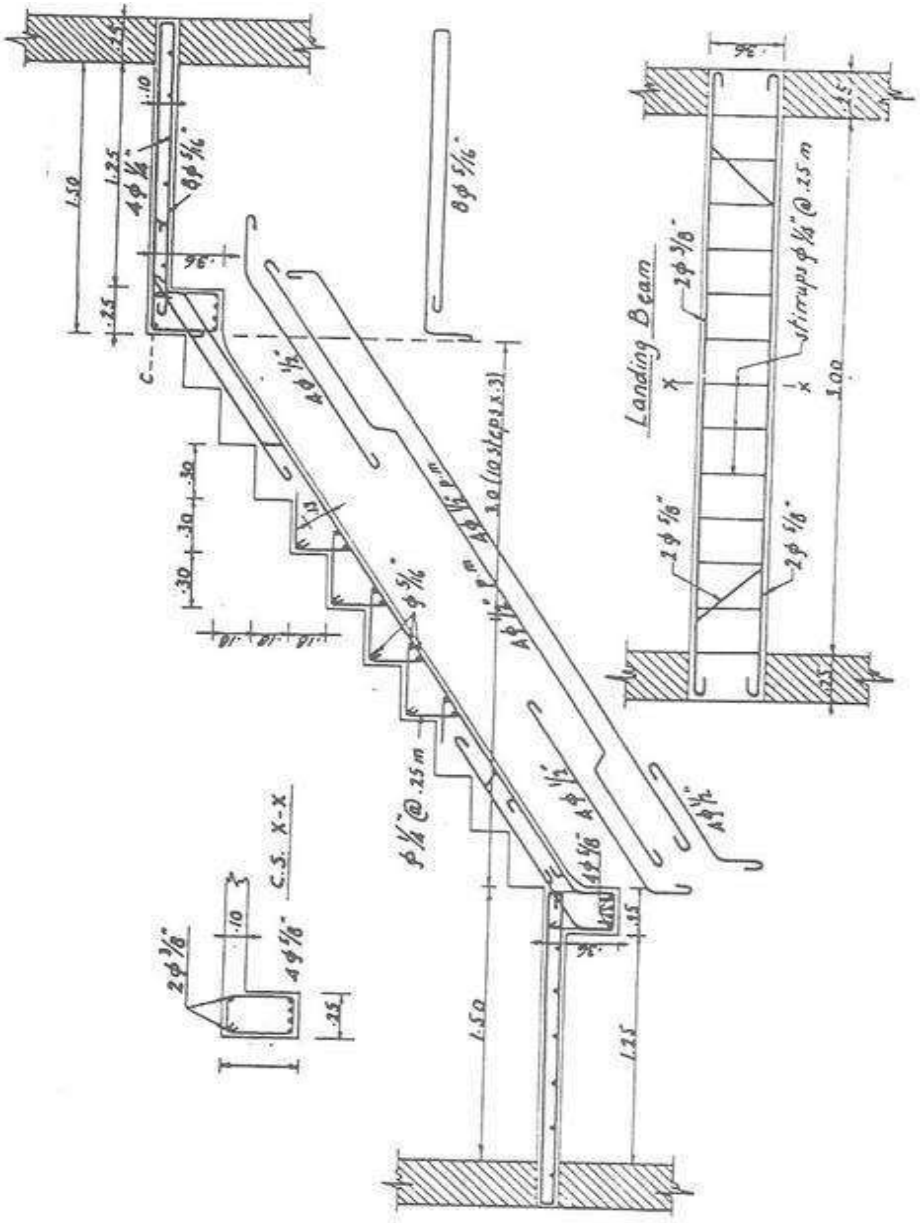
الشكل (١-٣٢): بلاطات قشرية أسطوانية.

5 - 5 - 7 الأدراج:

الأدراج أو السلالم من البيتون المسلح هي بلاطات مائلة بسطح علوي مدرج وعتبات أفقية تستند على حوائط أو جدران، ولها عدة أشكال تبعاً لنوع الاستناد الطرفي. ويمكن أن تستند البلاطة المائلة على جائز أو أكثر تحت البلاطة عندما يكون عرض الدرج كبيراً.

إن اشتراطات الأبعاد والتسليح للأدراج مماثلة لاشتراطات البلاطات المصمتة مع مراعاة ترتيب التسليح بشكل مناسب عند التقاء الجزء الأفقي مع الجزء المائل. ويجب عدم ثني قضبان التسليح عند الوجه الداخلي لزاوية الالتقاء، وتمدد القضبان المتلاقية عند هذا الوجه وتثنى عند الوجه المقابل مع تأمين طول التماسك المناسب مع تقوية الوجه الخارجي لزاوية الالتقاء بقضيب مثني يمتد على طول الوجه الخارجي للبيتون وبطول مناسب.

تقوى الجوانب الأفقية والشاقولية لكل درجة بأساور قائمة مثنية على حرف الدرجة ويمتد فرعيها ضمن بلاطة الدرج المائلة وتكون بقطر ٦مم وبتباعد لا يزيد على ٣٠سم على كامل عرض الدرج، مع قضيب أفقي عند حرف الدرجة لربط الأساور وتقوية الحرف ومنع تشقق البيتون وتكسره ويبين الشكل (١-٣٣) تفاصيل تسليح درج وجائز الاستناد.



الشكل (١-٣٣): تفاصيل تسليح الدرج وجائز الاستناد.