الباب الرابع

صناعة الخرسانة

Manufacture of Concrete

يمكن تقسيم المراحل التى تمر بها صناعة الخرسانة الى ثلاثة مراحل رئيسية هى:

١ - مرحلة ماقبل الصب (الإعداد) Preparation

أ ـ إختيـار المكونات وتصميم الخلطات　　ب ـ تشـوين المـواد
ج- إعـداد الفـرم والشـدات　　د ـ تحضير الكميات والعبوات

٢ - مرحلة الصب Fresh Concrete

أ ـ الخلط　　ب- النقـل　　ج- الصب
د- الدمك　　هـ ـ التشطيب

٣ - مرحلة ما بعد الصب Green Concrete

أ- المعالجة　　ب- إزالة الفرم والشدات　　ج- الترميم والبياض

٤-١ مرحلة الإعـداد (قبل الصب) Preparation

أ – إختيار 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 أو ...) وليس المقصود بكلمة المناسب هنا الناحية الفنية فقط وإنما جميع النواحى الأخرى مثل الناحية الإقتصادية مثلاً.
- المقاس المناسب للركام الكبير طبقاً لنوعية ومقاس قطاعات الخرسانة التى ستُصب (قواعد أو أعمدة أو لبشة).
- إمكانية إستخدام بعض الإضافات أم لا وفى أى مرحلة من الصب.
- عمل تصميم للخلطة المطلوبة وتحديد الكميات اللازمة من كل مادة بالوزن والحجم.

ب- التشوين

- يراعى التأكد من توافر كل المواد اللازمة للصبة الخرسانية قبل البدء فى الصب.
- يتم تشوين المواد فى الأماكن المناسبة وبالترتيب المناسب والتى تسهل نقلها إلى مكان الصب.
- يكون التشوين لكل مادة بالطريقة المنصوص عليها فى المواصفات فمثلاً:

الأسمنت: يشون على أرضيات خشبية مهواه ويكون فى حماية من رطوبة الجو والأرض والمطر ويجب أن لا يستخدم فى أعمال الخرسانة المسلحة أى أسمنت بدأت تتكون به حبيبات متصلدة أو كتل أو مضى على تشوينه أكثر من ثلاثة شهور. وطبقاً للكود المصرى فيجوز إستخدام الأسمنت لغاية ستة أشهر بعد التأكد من سلامته.

الرمل: يكون على أرضيات صلبة نظيفة وبعيداً عن المطر أو أى مواد ملوثة.

الزلط: يغسل لإزالة الشوائب منه ويشون على أرضيات خرسانية أو خشبية.

الماء: عدم الإعتماد على ماء الصنبور خشية حدوث أى عطل وإنما ينبغى تخزين الماء مسبقا فى موقع الصب فى أوعية لا تصدأ.

الإضافات: تحفظ فى مكان أمين فى درجة حرارة الغرفة وبعيد عن الرطوبة وأشعة الشمس المباشرة وتراعى جميع التعليمات الخاصة بكل مادة على حدة.

ج- إعداد الفرم والشدات

- يتم إختيار نوع الشدات المناسب للعملية (شدات عادية - شدات منزلقة - شدات صلب).
- تكون الشدات قوية لتتحمل وزن الخرسانة والأحمال الحية أثناء الصب.
- يجب أن ترتكز قوائم الشدات على قواعد ثابتة.
- أن تكون القوالب محكمة لمنع تسرب اللبانى من الخرسانة.
- يجب تربيط الركائز بحيث لا تؤثر عليها الصدمات الأفقية الناتجة عن حركة العمال أو المعدات الصغيرة وكذلك ضغط الرياح و الإرتجاجات الناتجة عن المعدات المستخدمة فى العمل.
- تُرش أسطح الفرم الخشبية بالماء قبل الصب مباشرة لمنع إمتصاص الأخشاب لماء الخلط.
- يجب إعداد مسارات للعمل بحيث لا تؤثر حركتها على أبعاد وأشكال حديد التسليح.
- يفضل و ضع تخانات تفصل بين سطح القوالب و الأسياخ.
- يجب أن تنظف الفرم من الداخل بعناية قبل رص أسياخ التسليح وقبل صب الخرسانة مباشرة وذلك بإزالة الأتربة والفضلات ويمكن أن يتم ذلك بإستخدام الماء أو الهواء المضغوط.

د- تحضير الكميات والعبوات

الأسمنت: يفضل أن تحتوى عبوة الخرسانة على عدد صحيح من شكاير الأسمنت ولايسمح بمعايرة الأسمنت بالحجم وفى حالة إستعمال الأسمنت السائب يجب قياس الأسمنت بالوزن.

الركام: 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 بالكيلوجرام ويجب أن يؤخذ فى الإعتبار كمية الماء المحتمل وجودها فى الركام.

الإضافات: تحدد فى أغلب الأحيان بالوزن كنسبة من الأسمنت.

٤-٢ مرحلة الخرسانة الطازجة (الصب) Fresh Concrete

أ- الخلط

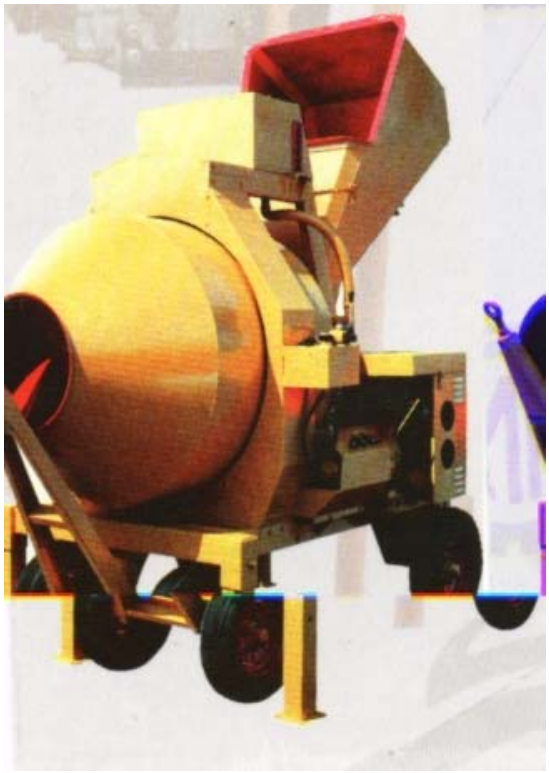
- نوع الخلط: يلزم خلط الخرسانة ميكانيكياً إما فى الموقع أو فى عربة خلط أو من خلال محطة خلط مركزية كما هو موضح بشكل (٤-١). أما شكل (٤-٢) فيوضح عربة سعة ١٠ متر مكعب لخلط ونقل الخرسانة ، بينما تظهر فى شكل (٤-٣) صورة لخلاطة موقع سعة ٠,٧٥ متر مكعب. و إذا دعت الضرورة القصوى لخلط الخرسانة يدويا فيتم ذلك بعد موافقة المهندس الإستشارى للمشروع وفى هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليباً جيداً بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية صماء بواسطة الجاروف ذى الشداد ويلزم خلط الأسمنت مع الركام قبل وضع الماء ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجيا بالقدر المطلوب للخلطة ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لوناً وقواما.

خلط فى الموقع		خلط أثناء النقل	خلط فى محطة مركزية بعيد عن الموقع
يدوى	ميكانيكى	ميكانيكى (عربة الخلط)	ميكانيكى

- زمن الخلط: يجب أن لا يقل زمن الخلط عن دقيقتين بعد وضع الأسمنت والركام أو لا يقل عن دقيقة واحدة بعد إضافة الماء. وذلك حتى يصبح الخليط متجانس فى اللون والقوام مع مراعاة عدم زيادة سرعة الخلاط عن السرعة المحددة له حتى لا يحدث إنفصال حبيبى كذلك لا يجب زيادة زمن الخلط عن ٥ دقائق لنفس السبب.

شكل (٤-١) محطة خلط مركزية لإنتاج الخرسانة.

شكل (٤-٢) عربة خلط خرسانة سعة ١٠ متر مكعب.



شكل (٤–٣) خلاطة موقع سعة ٠,٧٥ م٣.

شكل (٤–٤) طلمبة ضخ خرسانة – ٤٢ متر.

شكل (٤–٥) إستخدام عربات خلط ونقل الخرسانة و طلمبة الضخ فى صب أحد مراحل كوبرى ٦ أكتوبر.

ب- النقل و المناولة

- يلزم صب الخرسانة بعد تمام خلطها مباشرة مع مراعاة تجنب إنفصال مكوناتها على أن لاتزيد المدة مابين إضافة ماء الخلط وصب الخرسانة على ٣٠ دقيقة فى الجو العادى و ٢٠ دقيقة فى الجو الحار وأن يتم دمكها قبل مضى ٤٠ دقيقة فى الجو العادى و ٣٠ دقيقة فى الجو الحار أما إذا أستلزم الأمر زيادة الفترات السابقة فإنه يلزم إضافة مؤجلات للشك عند الخلط بعد موافقة المهندس الإستشارى للمشروع وذلك حتى لا تجف الخرسانة أو يحدث لها شكا إبتدائياً وخاصة فى الأماكن الحارة وحتى لا يحدث وصلات أو فواصل فى الخرسانة المصبوبة.
- يجب عدم حدوث أى إهتزازات للخرسانة أثناء النقل.
- ويكون النقل على حسب درجة المشروع وحجمه كما يلى:
  - ❑ نقل الخرسانة على سطح الأرض بإستخدام القواديس - عربات اليد - العربة القلابة.
  - ❑ نقل الخرسانة على مستويات عالية وذلك برفع القواديس بإستخدام الونش.
  - ❑ نقل الخرسانة على مستويات تحت الأرض وذلك بالجاذبية بإستخدام مجارى مائلة أو فى أنابيب.
  - ❑ حديثا يوجد مضخات للخرسانة Concrete Pump بمعدلات مختلفة تتناسب مع حجم المشروع. شكل (٤-٤) يوضح أحد المضخات ذات زراع بطول ٤٢ متر بينما يوضح شكل (٤-٥) إستخدام المضخات فى صب خرسانة أحد الكبارى.
  - ❑ يجوز تفريغ الخرسانة على طبلية صماء توطئة لنقلها يدويا مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على الطبلية إلا بعد تمام نقل الخلطة السابقة.

ج- الصب

يجب مراعاة الإحتياطات الآتية أثناء عملية الصب:

- فى حالة صب الحوائط والأعمدة التى يتجاوز إرتفاعها ٢,٥متر فلا يجوز صبها بكامل الإرتفاع ويجب عمل شباك فى أحد جوانب القالب على إرتفاعات لاتزيد عن ٢,٥متر ويتم الصب من هذه الفتحات حيث يتم تقفيلها أولاً بأول مع مراعاة دمك الخرسانة ميكانيكيا.
- فى حالة صب بلاطة أو لبشة خرسانية بإرتفاع كبير يراعى أن تصب على طبقات سمكها يتراوح من ٤٠ إلى ٥٠ سم.
- يلزم مراعاة تحديد أماكن إيقاف الصب وسطح نهاية الصب (بلاطات وكمرات وأعمدة) مسبقاً قبل بدء الصب. وينبغى أن يكون إيقاف الصب فى الأماكن التى عندها عزم الإنحناء يساوى صفر أو بأقل قيمة ممكنة. ويراعى ترك سطح الخرسانة عند نهاية الصب مائلا خشنا فى البلاطات والكمرات وأفقيا خشنا فى الأعمدة. ولا يفضل وقف الصب عند المقاطع التى عندها قوى قص عالية.
- يجب فى كل منطقة من مناطق الصب البداية بصب الكمرات الرئيسية ثم الكمرات الثانوية ثم الأسقف.

- إذا زادت درجة الحرارة على ٣٦ درجة مئوية فى الظل يجب مراعاة الإحتياطات الآتية:

- ❑ تظليل تشوينات الركام الكبير والصغير ويمكن تبريد الركام الكبير بإستخدام رشاشات مياه.
- ❑ إذا كان الأسمنت سائباً فى صوامع فإنه يجب دهانها من الخارج بمادة عاكسة لأشعة الشمس أما إذا كان فى أكياس فترص تحت سقيفة مهواة.
- ❑ يبرد الماء قبل إستعماله فى خلط الخرسانة بإستخدام الثلج أو بأى وسيلة أخرى.
- ❑ دهان الخلاطات من الخارج بمواد عاكسة لأشعة الشمس أو تغطية الحلة بطبقة من الخيش مع رشها بالماء.
- ❑ رش القوالب بالمياه قبل الصب مباشرة.

- الصب على خرسانة قديمة : ينبغى أن يترك سطح الخرسانة القديمة خشن وغير مستوى وقبل الصب عليه ينظف من الأتربة ويزال الركام غير المتماسك كما ينظف حديد التسليح بفرشة سلك ثم يُندى سطح الخرسانة ويُصب عليه لبانى الأسمنت ويُفضل أن يُرش أو يُدهن سطح الخرسانة القديمة بمادة راتنجية تعمل على لحام الخرسانة القديمة مع الخرسانة الحديثة.

- صب الخرسانة الكتلية : ينبغى الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد اقصى واحد متر مع إستخدام أسمنت منخفض الحرارة (لوهيت) وكذلك يمكن وضع مواسير داخل الخرسانة تمر خلالها دورات من الماء البارد لخفض درجة الحرارة.

- صب الخرسانة تحت الماء : يوجد طرق عديدة لصب الخرسانة تحت الماء منها:

١- طريقة القادوس (ترميو) Tremie

و فيها تُصب الخرسانة من خلال قادوس أو قمع متصل بماسورة قطرها من ١٠ إلى ١٥ سم تصل إلى القاع المطلوب صب الخرسانة عليه بحيث يراعى أن حافة الماسورة السفلية تكون غاطسة فى الخلطة الخرسانية على أن تُرفع الماسورة أثناء الصب بمعدل لايسمح بخروج الماسورة من الخلطة حتى لاتتسرب المياه بداخلها كما بشكل (٤-٦).

٢- طريقة ضخ الخرسانة Concrete Pumping

وهى تطوير لطريقة القادوس حيث تصب الخرسانة بالضخ عن طريق مواسير ممدودة إلى قاع مكان الصب.

٣- طريقة الدلو Bucket

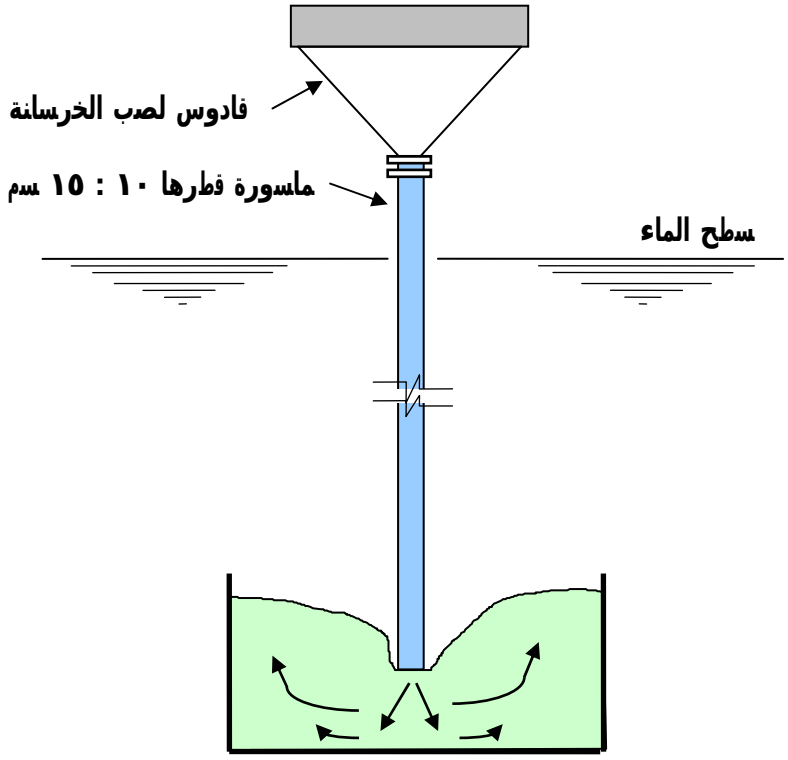
وهو عبارة عن وعاء على شكل متوازى مستطيلات أوإسطوانة مفتوحة من أعلى ومجهزة من أسفل ببوابة قابلة للفتح والغلق. يملء الدلو بالخرسانة ويغطى سطحه بطبقة من القماش المشمع ثم ينزل برفق فى الماء حتى مكان الصب ويفرغ ثم يرفع.

٤- طريقة الركام المحقون Grouted Aggregates

تعبأ الشدات بالركام ثم يحقن بالأسمنت اللبانى بواسطة أنابيب تمتد إلى قاع الفرم حيث يدفع الأسمنت الماء خارج الفرم ويحل محله مالئاً الفراغات بين حبيبات الركام.

٥- طريقة أكياس الخرسانة Sacked Concrete

وفيها يتم وضع خرسانة ذات قوام جاف (مفلفلة) فى أكياس (أجولة) من الجوت سعة كل منها واحد متر مكعب تقريبا وتربط الأكياس جيداً ثم ترص فى مكان الصب فى صفوف مترابطة كما فى حالة بناء الحوائط بحيث تكون الأكياس فى النهاية كتلة واحدة متماسكة متداخلة.



شكل (٤-٦) صب الخرسانة تحت الماء بطريقة القادوس.

د- الدمك Compaction

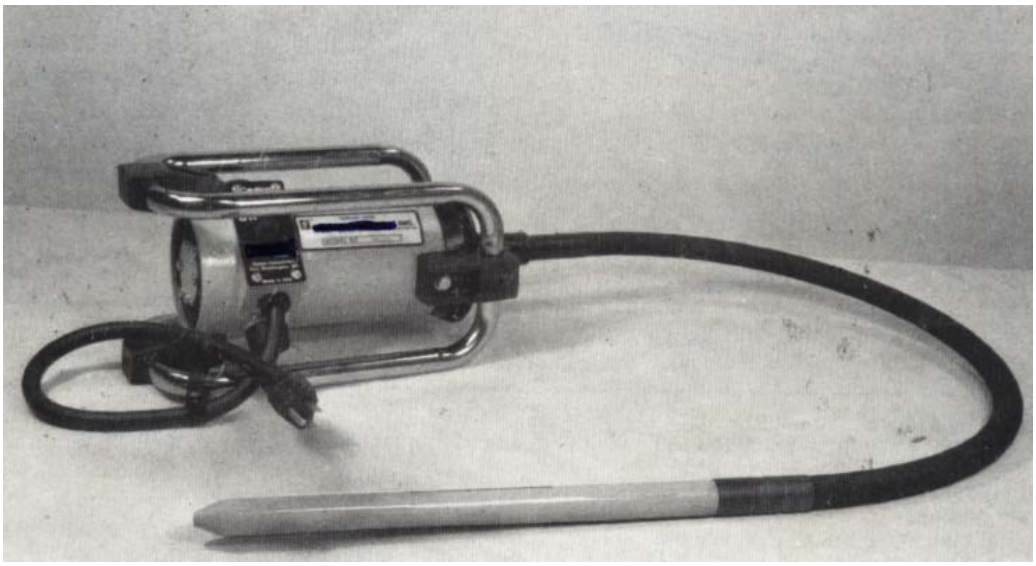
الغرض من عملية الدمك هو تقليل الفراغات والفجوات داخل الخرسانة والتأكد من تمام إنسياب الخلطة الخرسانية حول حديد التسليح وملء القالب تماماً إلى المنسوب المطلوب. وطرق الدمك هى:

دمك يدوى	دمك ميكانيكى		
قضيب الدمك Tamping Rod	هزازات داخلية Internal Vibrators	هزازات الفرم Formwork Vibrators	هزازات سطحية Surface Vibrators

ويوضح شكل (٤-٧) صورة هزاز ميكانيكى داخلى يعمل بالكهرباء ، بينما يوضح شكل (٤-٨) إستخدام الهزاز فى دمك الخرسانة. و يجوز الدمك يدوياً إذا لم ينص على إستعمال الوسائل الميكانيكية. وينبغى أن يقوم بالدمك شخص متخصص وله خبرة فى الدمك. يجب الإستمرار فى الدمك حتى ينتهى خروج فقاقيع الهواء أو تظهر طبقة رقيقة من عجينة الأسمنت على السطح النهائى للخرسانة ولا يسمح بالدمك بعد ذلك لأنه يسبب النضح Bleeding. كما ينبغى عدم لمس الهزاز الداخلى لحديد التسليح أثناء الدمك. ويراعى أن لا يتسبب الدمك بأى حال من الأحوال عن قلقلة الخرسانة السابق صبها أو زحزحة أسياخ التسليح من مكانها. شكلى (٤-٨) ، (٤-٩) يوضحان نوعين من الخرسانة أثناء الصب حيث نجد الخرسانة فى الصورة الأولى جافة نسبياً و تحتاج إلى إستخدام الهزاز الميكانيكى وقتاً كبيراً نسبياً. بينما نجد أن الخرسانة فى الصورة الثانية لها من السيولة والإنسيابية ما يجعلها ربما لاتحتاج إلى إستخدام الهزاز.

هـ- التشطيب Finishing

- معاملة السطح طبيعيا للحصول على سطح معمارى ناعم وذلك بإستخدام الواح ذات اسطح مستوية وملساء لعمل الفرم الخاصة وقد تكون من الأبلاكاج أو الإسبستوس أو الكونتر أو.....
- يمكن تجهيز الفرم بفواصل معينة للحصول على سطح يوحى أنه مبنى من الحجر.
- من الممكن عمل رسومات هندسية مثل الدوائر أو أوراق الشجر على طول ممرات الحدائق.
- يمكن أيضا تمشيط الخرسانة أو إظهار الركام الكبير بها ويتم ذلك غالبا فى المرحلة الخضراء من الخرسانة.



شكل (٤-٧) هزاز خرسانة بمحرك زمبة يعمل بالكهرباء .

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

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

٤-٣ مرحلة ما بعد الصب Green Concrete

أ- معالجة الخرسانة Curing

إن مقاومة الخرسانة للضغط وقوة إحتمالها ومقاومتها لنفاذ الماء وثبات حجمها يزداد بمرور الوقت (شكل٤-١٠) بشرط أن تكون الظروف مهيئة لإستمرار التفاعل الكيماوى بين الماء والأسمنت وذلك بحفظ درجة معينة ومناسبة من الرطوبة أو منع الماء من التبخر والمعالجة بإختصار تتم عن طريق:

١- إما منع تبخر ماء الخرسانة بتغطيتها أو قفل مسامها بعمل غشاء أو طبقة مانعة للتبخر.
٢- أو إضافة الماء بإستمرار للتعويض عن الماء الذى يتبخر.

ومن المواد المستعملة فى المعالجة:

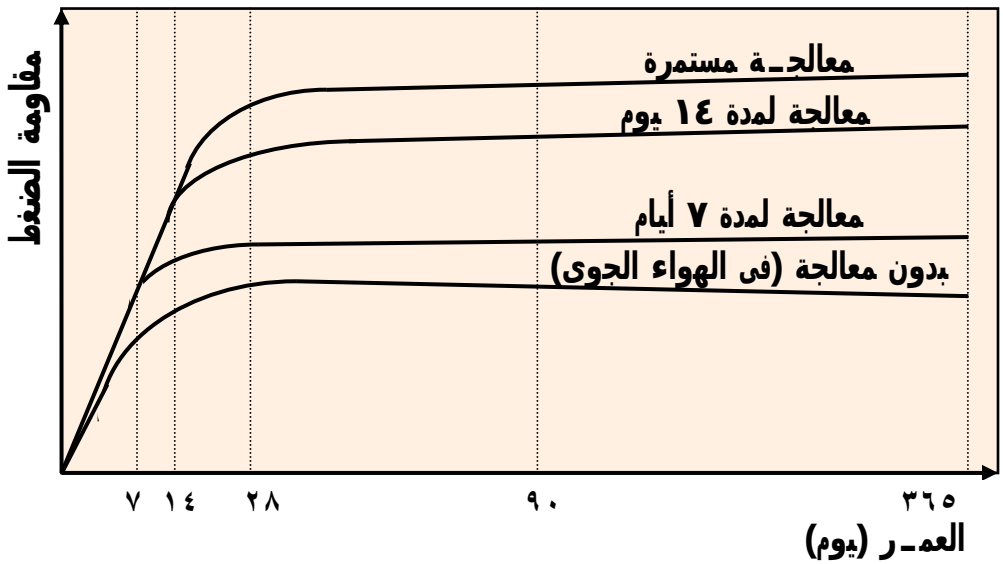
١- الماء.
٢- الخيش المرطب.
٣- الأغشية المانعة للتسرب مثل : لفائف البلاستيك والورق المانع لتسرب الماء.
٤- مركبات أو إضافات المعالجة والتى تعمل على سد مسام الخرسانة.
٥- مواد أخرى مثل الرمل الطبيعى والتبن والقش ونشارة الخشب والركام الناعم.

وطرق المعالجة كثيرة نذكر منها:

١- الغمر بالماء على شكل برك (فى الأسطح الأفقية والأرضيات).
٢- الرش بالماء - (حفظ السطح رطبا بين مواعيد الرش مع عدم السماح له بالجفاف).
٣- التغطية بالخيش الرطب.
٤- التغطية باللفائف المانعة لتسرب الماء.
٥- المعالجة بإستعمال المركبات الكيماوية (العازلة للرطوبة - السدودة).
٦- المعالجة بالبخار Steam Curing:

تحت ضغط عادى (ضغط الجوى) وتستغرق ١٠-١٦ ساعة .
تحت ضغط عالى وتستغرق ٧-٨ ساعات.

والمعالجة بالبخار تستخدم فى مصانع الخرسانة الجاهزة وهى عملية معقدة ومكلفة ولكنها تؤدى إلى السرعة فى عملية الإماهة والتصلد للإسراع من الإنتاج وتجنب مشاكل التخزين وتفيد فى عمل خلطات ذات محتوى ماء قليل فتزيد المقاومة وتقل نسبة الإنكماش وتكون ذات مقاومة أعلى للكبريتات.



شكل (٤-١٠) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.

ب- إزالة الفرم والشدات

إن المدة الواجب إنقضاؤها بين صب الخرسانة وفك الشدات تتوقف على درجة الحرارة وطول البحر ونوع الأسمنت المستخدم وأسلوب المعالجة والحمل الذى سيتعرض له المنشأ بعد الفك. ويشترط أن لا ينتج عن الفك حدوث أى ترخيم أو شروخ أو تشوهات غير مسموح بها. ويجب مراعاة أن لا تتعرض الخرسانة للإهتزازات أو الصدمات أثناء الفك. وفى حالة إستعمال أسمنت بورتلاندى عادى فيمكن إزالة الفرم والشدات الخشبية بعد مدة لاتقل عن القيم الآتية:

- الجوانب والأعمدة المعرضة لقوى ضغط محورى فقط يمكن فكها بعد ٢٤ ساعة.
- الكمرات والبلاطات بعد مدة = ٢ل + ٢ يوم

حيث ل = طول بحر الكمرة أو البحر الأصغر للبلاطة بالمتر. بحيث لاتقل المدة عن أسبوع.

- الكوابيل بعد مدة = ٤ل + ٢ يوم

حيث ل = بروز الكابولى بالمتر. بحيث لاتقل المدة عن أسبوع.

- عندما تكون الفرم والركائز حاملة لأحمال إضافية كما فى حالة الطابق الذى يحمل وزن الطابق التالى حديث الصب فلا يجوز فك القوائم إلا بعد إنقضاء ٢٨ يوماً مع إتخاذ كافة الإحتياطات التى تضمن إرتكاز القوائم على أرضية تتحمل الأثقال عليها بأمان وبعد التأكد من أن مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوم قد أوفت بإشتراطات المشروع.

❑ فى حالة إستعمال أسمنت بورتلاندى غير عادى أو فى الحالات التى تنخفض فيها درجات الحرارة عن ١٥ درجة مئوية فيجب الحذر وتأجيل فك الفرم والشدات الخشبية مدة مناسبة بالإضافة إلى المدد المشار إليها عاليه.

ج- الترميـم والبيـاض

- يشتمل الترميم على:

إزالة الزوائد - ملء الفجوات وأماكن التعشيش - تنظيف السطح الخارجى للخرسانة.

- طريقة ملء الفجوات:

يتم تنظيف أماكن العيوب وإزالة المونة والركام الضعيف
تُبلل الفجوات بالماء ثم تُفرش بمونة الأسمنت والرمل بنسبة ١:١ بالوزن
تُصب مونة الترميم والمكونة من أسمنت ورمل بنسبة ٣:١ بالوزن بحيث تكون بارزة قليلا عن سطح الخرسانة وتُترك مدة ٢ ساعة تقريبا ثم يسوى السطح على السطح المحيط به.
(يفضل إستخدام مونة الجراوت مباشرة فى مثل هذه الأعمال).

- أما معالجة السطح الخارجى فتتم بطرق عديدة منها:

١- تنظيف السطح الخارجى بإستخدام الخيش والمونة الغنية بالأسمنت وذلك لملء الثقوب الصغيرة و إعطاء سطح الخرسانة لون متجانس.
٢- الغسيل بالأسمنت.
٣- الطرطشة: وذلك برش طبقة من مونة الأسمنت والرمل الناعم على سطح الخرسانة.
٤- البياض بالمحارة: وذلك بعمل طبقة من مونة الأسمنت والرمل بسمك ٢:١ سم ثم تمشط أو تنعم.

****