تقديم

فى تكنولوجيا الخرسانة حلقات مفقودة وظواهر مجهولة لم يستطع العلم حتى الآن الكشف عن أسرارها أو سبر غورها . لذلك سوف نرى كثيرا من الأسئلة لم تتوافر الاجابة عليها فى هذا الكتاب رغم تعمقنا فى الرجوع إلى العديد من المراجع العلمية قديمها وحديثها ، ورغم الاستعانة بما أفدناه من خبرة طويلة فى هذه الموضوع . ورغم المراحل التى مر بها هذا الكتاب .

هذه الأسئلة العديدة والحلقات المفقودة التى لم يكشف عنها الغطاء حتى وقتنا هذا ترجع أول ما ترجع إلى أن التكوين الكيميائى المعقد الذى يتم تفاعله بعد إضافة الماء إلى الأسمنت مازال يحتاج إلى إجماع الباحثين على الاعتراف به ، وكل ما توصل إليه من علم فى هذه الناحية وتم اجماعهم على التصديق عليه لم يتجاوز حدودا ضيقة بالقياس إلى ضخامة هذه المادة والصور العديدة لاستعمالاتها وكمياتها الهائلة المنتجة .

فلم يمكن حتى الآن التحكم فى هذه التفاعلات تحكما تاما وبالتالى تحديد قيمتها الفعلية فى خواص المونة والخرسانة التين يكون الأسمنت فيهما العنصر الرئيسى الهام .

ورغم كل هذه التعقيدات الفنية فإن صنع الخرسانة الجيدة الداخل فى تركيبها مادة الأسمنت بسيط فى حد ذاته إذا ماروعيت بعض المبادىء الأساسية فى أثناء العمل وقبله وبعده وتجنبت الأخطاء الشائعة المعروفة .

وللأهمية القصوى التى تلعبها الخرسانة فى حياة الأفراد من مسكن وعمل ورفاهية واقتصاد وسواء كان هؤلاء الأفراد باحثين أو مهندسين أو مقاولين أو حتى أفرادا عاديين ، فقد كتبنا هذا الكتاب لأولئك الذين لهم اهتمام خاص بمواد البناء بصفة عامة والخرسانة بصفة خاصة سواء المهندس أو طالب الهندسة او المقاول الذى يبتغى أن تخرج أعماله بصورة تحفظ له الشهرة والسمعة الحسنة .

وحاولنا قدر جهدنا جعل هذا الكتاب شيقا خاليا من التعقيدات مع محاولة التعمق والتوسع فى دراسة البيانات الخاصة بمواد الخرسانة المسلحة ثم تصميم وصناعة الخرسانة وخواصها لنملأ فراغا ما زال موجودا فى هذا الميدان .

وقد بدت الحاجة ملحة إلى مثل هذا الكتاب عند ما دعينا إلى كتابة سلسلة من المقالات العلمية عن تكنولوجيا الأسمنت والخرسانة حيث لم تتسع الدراسة فى كلية الهندسة للالمام بكل تفاصيل تكنولوجيا الخرسانة ثم تطورت الفكرة من كتابة سلسلة مقالات إلى تخصيص كتاب لهذه المادة يجمع شملها فكان هذا الكتاب .

وقد راعينا اتخاذ اللغة العربية لأول مرة فى أسلوب سهل يخلو من التعبيرات المعقدة حتى يمكن للجميع تفهم الموضوع وحتى نملأ فراغا فى المكتبة العربية ما زال محتاجاً لمجهودات أكثر فى هذا المجال .

كما راعينا عند كتابة هذا الكتاب ذكر المصطلحات الإنجليزية بجانب العربية وليس هذا خوفا من التباس قد يحدث فى المعنى — لأن اللغة العربية والحمد لله لها من غنى الألفاظ وتعدد المرادفات إلى جانب جمال الأسلوب ورحابة الصدر ما يتسع لنقل جميع العلوم إليها معربة فى دقة رفيعة وأمانة صادقة — ولكن حرصاً على أن يعيش الطالب والمهندس بأفكاره وألفاظه ، فى المناخ الهندسى العالمى لأننا قبل كل شىء نهدف إلى خلق المهندس الدولى وليس المهندس المحلى فحسب .

وإن اللغة العربية الخالدة التى وسعت كتاب الله لفظاً وحكمة ومعنى والتى نقلت علوم الإغريق والرومان والفرس ، وسلمتها بأمانة ودقة إلى اللاتينية فى أوربا لجديرة بأن تقوم بدورها بكفاءة فى بناء نهضتنا الحالية لتنقل العلم فى ربوع جامعاتنا إلى شبابنا الفتى المتوثب لكى يحتل مكانه فى الصف الأول بين دول العالم معتزاً بقوميته ولغته العربية .

فإذا ما أثبت هذا الكتاب فائدته لدارسى هذا الموضوع وساعد على الوصول إلى أعلى مراتب الخرسانة وأجود أنواعها فإن ذلك سوف يعوض لنا الكثير من المجهود الذى بذلناه .

أحمد العريان وعبد الكريم عطا

مقدمة

تقاس نهضة الأمم بتطور مواد الإنشاء والتعمير فيها .. كما تقاس بقدر وفاء هذه المواد بحاجة شعوبها الحضارية من ضرورية وترفيهية .. والخرسانة عماد مواد الإنشاء والتعمير .. وتطورها صورة تعكس تطور التفكير الهندسى فى خدمة الحياة ورفاهية الإنسان ..

ولكى تصل الخرسانة إلى شكلها الحالى الذى يجعلها فى المرتبة الأولى كمادة إنشائية ومعمارية مرت بعدة مراحل سواء فى طرق الصناعة أو فى طرق التشكيل .. حقيقة أنها مادة حديثة من حيث الصناعة والانشاء .. إلا أن لها أصولا عميقة عبر التاريخ .

فقدماء المصريين استعملوا الخرسانة فى بعض مبانيهم ومعابدهم — وإن كان ذلك بشكل بدائى — استعملوها فى شكل كسر الحجارة كركام والطين كمادة لاحمة .

أما الإغريق فقد دخلت فى أبنيتهم وسموها سانتورين توفا (Santorin Tofa) ويدلنا تاريخ الرومان على أنهم استعملوا مادة مشابهة لخرسانة أسموها پوزولانا (Pozzolana).

ثم اختفت الخرسانة لتظهر ثانية فى القرن الثامن عشر واقترن استعمالها بأسماء كثيرة مثل :

— جون سميتون الذى استخدمها فى بناء فنار أديستون .
— جوزيف باركر وله أبحاث فى الحجر واستخداماته فى الخرسانة .
— إدجار دوبر وقد توصل لعمل أسمنت من الحجر الجيرى والطين .
— فيكات الذى توصل أيضاً للأسمنت من الحجر الجيرى والطين .
— وأخيراً أنهى جوزيف أسپيدن هذه السلسلة باكتشافه الأسمنت البورتلاندى.

أما تاريخ الخرسانة المسلحة فيقترن باسم ثلاثة من الفرنسيين هم :

— جوزيف مونيه الذى صنع أحواضاً لزهور وضع فيها شبكاً من السلك كتسليح لمونة الأسمنت .
— فرنسوا كونيه وفرنسوا هنبيك.. ولهما أعمال عدة استعملا فيها الخرسانة المسلحة.

وإذا قارنا استعمال الخرسانة باستعمال الحديد فإننا نجد أن الأولى ظلت لفترة طويلة محدودة الاستعمال فى نواحى الانشاءات .

وفى نهاية القرن التاسع عشر ومع بداية القرن العشرين حـــدثت ثورة على الفن المعمارى التقليدى حيث كانت المبانى امتداداً لعصر النهضة الأوربية ، مليئة بالزخارف والأعمدة الكلاسيكية بعيـــدة كل البعد عن الشكل الحقيق الذى تفرضه الأدائية (Function) . . ولا يتسع المجال لذكر أسماء من شاركوا فى هذه الحركة . كما لا يتسع المجال لتتبع المراحل التى مر بها هذا الفن فى تطوره الطبيعى .

لكن أهمية هذه الحركة تبدو فى صورة ثورة على النظم الكلاسيكية فى فن البناء والاتجاه إلى المبنى البسيط الذى يفى بالضروريات ويكون صريحاً فى التعبير عنها وعن المواد المستعملة فيها . . يوازر هذه الحركة زيادة احتياجات الإنسان وتطورها واتساعها واحتياجه إلى مواد جديدة تفى بهذا التطور . . هذا حدث فعلا بعد الحرب العالمية الأولى حين ظهرت طبقة العمال والطبقة المتوسطة التى احتاجت إلى أنواع جديدة من الإنشاءات مثل المسارح والاستادات والنوادى وصالات المعارض والمدارس والجامعات والعمارات السكنية العالية . . الخ .

وهكذا اتجه المهندسون إلى الخرسانة فهى مادة البناء الوحيدة التى تفى بكل هذه الاحتياجات بما لها من إمكانيات واسعة . .

ويتطور الزمن وتتقدم أبحاث الخرسانة ويدخل عليها كثير من التعديل والتحسين لتحتل مكانها فى ميدان الانشاء والمعمار كمادته الأولى . .

ولنترك هذا التطور العالمى السريع جانباً ونتجه إلى الخرسانة فى مصر : حيث بدأ استعمالها أكثر من نصف قرن حين قام مهندسون بلجيكيون ببناء ضاحية هليوبوليس (مصر الجديدة) بأكملها باستعمال المبانى ذات الهيا كل الخرسانية المسلحة .

وفى سنة ١٩٠٧ تم بناء المتحف المصرى بالقاهرة بالخرسانة المسلحة . . وتوالى استعمالنا للخرسانة المسلحة فنجد أن المراكب التى بنيت بالخرسانة المسلحة قبل الحرب العالمية الأولى استخدمت كمواعين يعمل بها داخل ميناء الاسكندرية . . ومع بساطتها إلا أنها كانت تعد من الأعمال الكبيرة حينئذ . .

وفى الحرب العالمية الأولى تم تركيب كوبرى القنطرة المتحرك على قناة السويس وذلك بتثبيته على دعائم من الخرسانة المسلحة .

ومنذ ذلك الوقت والخرسانة يتسع استعمالها ويمتد بسرعة إلى غير ذلك من نواحى الإنشاء حتى صارت بكل المقاييس مادة حيوية هامة يستحيل حصر كل ما تم بواسطتها من إنشاءات . .

وتختلف الإنشاءات الخرسانية اختلافاً بيناً حسب الغرض الذى أعدت له . . فهذه إنشاءات سكنية عمرانية تبدأ من الوحدات الصغيرة إلى العمارات الضخمة.. ومن المجموعة المحدودة المكونة للحى إلى الكتل المتراصة التى تتألف منها المدن . وطبيعى أن يتبع هذا الاتساع العمرانى اتساع مماثل فى المرافق العامة التى تقوم بخدمته من محطات تنقية المياه وإمداد المدن بها . . إلى محطات مجارى الصرف . . ومحطات القوى الكهربائية للانارة إلى المصانع ومراسى السفن وصوامع التخزين . . الخ .

ثم تأتى المبانى العامة كمصالح الحكومة والمؤسسات والشركات والمتاحف والمستشفيات والمكتبات والجامعات والمدارس والبنوك والمسارح ودور السينما والمحال التجارية والملاعب والمعابد . . الخ .

هكذا أنشأنا المدن . . وهكذا أقمنا لها المرافق العامة والمبانى العامة فلنصل بعضها البعض بالخرسانة المسلحة لتشكلها فى طرق المواصلات ومنشآتها من سكك حديدية وما يتبعها من محطات وجسور وكبارٍ ومخـــازن وورش وأحواش . . ثم الطرق والمطارات .

ثم تتجه الخرسانة لتساهم فى مشروعات الرى والصرف التى لا تقوم إلا عليها فهذه قناطر وأهوسة وأنفاق وسحارات وبدالات وتلك سدود وخزانات ... الخ

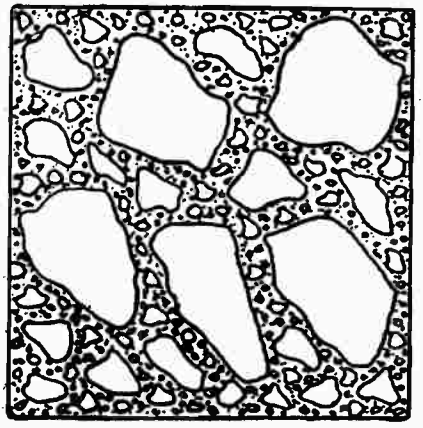
وتزحف الخرسانة المسلحة إلى البلاد الساحلية تشارك فى إقامة الموانى والمراسى والمنائر ثم الأحواض الجافة ...الخ

وتنتهى من جولتها فى الداخل لتساهم فى الانشاءات الدفاعية برية وبحرية وجوية فتؤمن البلاد خارجيا كما أمنتها داخليا بما ساهمت من إنشاءات . . . .

هـذه هى الخرسـانة

الخرسانة مجموعة غير متجانسة من المواد تتكون أساسا من ركام غير عضوى صلب ومنتشر ومتدرج المقاس كما يتبين من الشكل رقم (م — ١) وعادة من أصل بلوتونى أو رسوبى حاو لمركبات الكالسيوم ومدفون فى مادة لاحمة تتألف من مجموعة من الرواسب من السليكات القلوية عديدة القاعدة والسليكات شبه القلوية ومجموعة أخرى من الآكاسيد معلقة جميعها فى محلول مائى ، وهذه المادة اللاحمة لها القدرة على استمرار التحلل والتفاعل والتجلتن فى وجود الماء لتكون مترسبات جيلاتينية حتى تتصلب ، وهى فى تصلبها تمر عادة بمراحل مختلفة من التبلور واللاتبلور والغروانية والتبلور الدقيق، ولذلك يطلق عادة على الركام الجزء الخامل (Inert filler) المكون لجسم الخرسانة بينما يطلق على عجينة الأسمنت وهى المادة الناشئة عن تفاعل الماء والأسمنت المادة اللاصقة أو اللاحمة .

وهذه المجموعة غير المتجانسة من المواد والمعروفة باسم الخرسانة تكون عند خلطها لدنة (Plastic) ، قابلة للتشغيل (Workable) لفترة معينة يتم خلالها وضعها وتشكيلها فى فرم أو قوالب معدة لذلك حيث تتصلد أخيراً معطية بنياناً كثيفا مرغوباً غير منفذ نسبيا وله مقدرة مقيدة على نقل الاجهادات المختلفة مثل الشد والضغط والقص .



AN AGGREGATION OF MINERAL PARTICLES SUCH AS USED IN A CONCRETE MIX.

ركام من حبيبات معدنية كالتى تستعمل فى خلطة الخرسانة

شكل رقم (م — ١)

المـواد المـكونة للخرسـانـة

١ — تـكوين الخرسانة (Composition of Concrete)

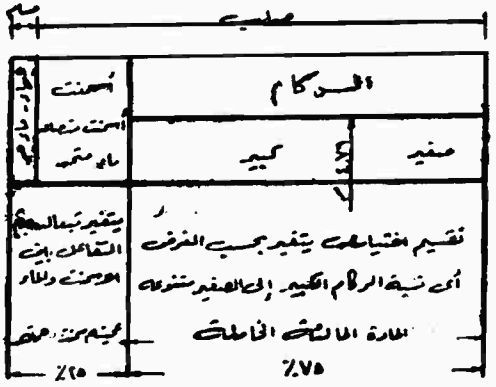
تتكون الخرسانة من جزئين رئيسيين :

١ — الركام (Aggregates) وهى المادة المالئة الخاملة .

٢ — عجينة الأسمنت (Cement Paste) وهى المـادة اللاصقة أو اللاحمة . (Binding Medium).

ويمكن بيان مكونات الخرسانة تخطيطاً كما هو موضح بالشكل رقم (م — ٢) .

٢ — اختيار المواد المـكونة للخرسانة :



شكل رقم (م — ٢) مكونات الخرسانة

الخرسانة مادة سهلة التشكيل بأشكال مختلفة ومن أكثر المواد الانشائية شيوعاً إذ تستخدم فى كافة المنشآت ويتطلب كل عمل إنشائى خواصاً معينة فى الخرسانة لتناسب استعماله وهذا ينشىء تنوعاً فى أنواع الخرسانة وخواصها لتفى باحتياجات المنشآت المختلفة، وأهم هذه الخواص مقاومة العوامل الجوية ومقاومة الضغط للحمل المقرر بمعرفة المهندس المصمم ، ويجب أن تؤدى المواد المكونة للخرسانة وكذلك خطوات صناعتها إلى الصفات والخواص المطلوبة التى يرى المهندس أنها ضرورية . ففى الطرق مثلا نجد أن الخرسانه يجب أن تتصف بالتحمل مع مرور الزمن وتقاوم عوامل البرى التى تتعرض لها من جراء حركة النقل الثقيلة وأن تتحمل الاختلاف الكبير فى درجات الحرارة بين الليل والنهار والصيف والشتاء . وفى خزانات المياه يجب أن تكون الخرسانة غير منفذة للسوائل حتى لا يتسرب الماء منها .

وفى الأساسات يجب أن تتميز الخرسانة بمقاومة كبيرة لاجهادات الضغط كما يتحتم

أن تقاوم التآكل والتحات بفعل المواد الموجودة فى التربة . وفى المنشآت البحرية يجب أن تقاوم الخرسانة فعل الموج والاملاح وفى بعض الاحيان يجب أن تقاوم الخرسانة عوامل متعددة فمثلا بلاطات بعض المصانع يجب أن تقاوم البرى بجانب مقاومتها للتفاعلات الكيميائية .

واختيار المواد المكونة للخرسانة تحدده أغراض استخدامها ومهمة المهندس هى اختيار المواد المناسبة التى تؤدى إلى الخواص المطلوبة فى الخرسانة وقد يتحتم فى بعض الأحيان التنازل عن بعض الخواص الأخرى نتيجة استخدام هذه الموادوتوجد أنواع متعددة من الخرسانة تؤدى هدفاً معيناً مثل الخرسانة الخفيفة التى تتميز بوحدة وزن منخفضة لتقليل الأحمال الثابتة والخرسانة الثقيلة التى تتميز بوحدةوزن عالية والتى تستخدم غالباً لمنع نفاذ الإشعاعات فى المفاعلات الذرية كذلك الخرسانة التى تتميز بعزلها للحرارة ... الخ .

الخرسانة الجيدة

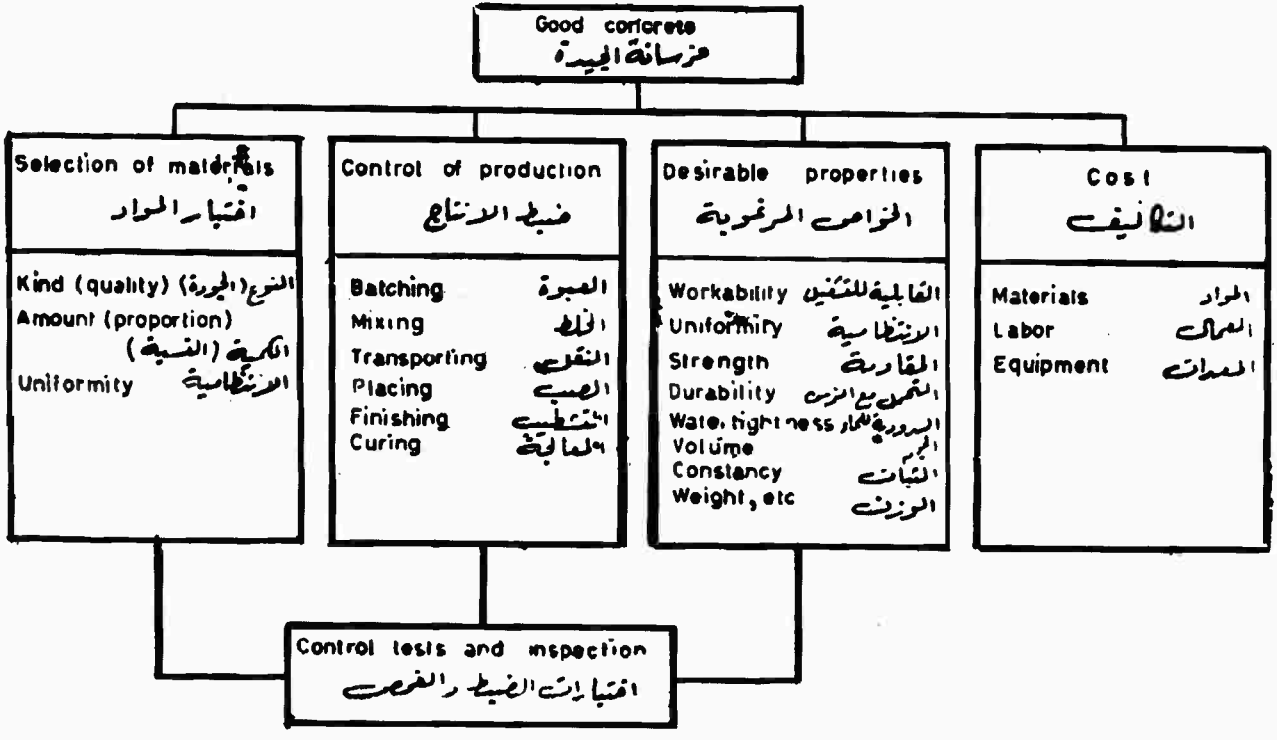
(Good concrete)

بالرغم من معرفة العديد من خواص مكونات الخرسانة المختلفة إلا أنه مازال الكثير من آفاقها وحلقاتها مفقوداً . ومازال اختيار أفضلها وأحسنها لمنشأ من المنشآت موضع كل دراسة وتمحيص من جانب المشتغلين فى هذا العلم. ومع ذلك فهناك مجموعة من المفاهيم الأساسية والحقائق العلمية التى يجب أن نضعها أمام كل مشتغل بهذا العلم .

أولا — عوامل انتاج الخرسانة الجيدة :

إن اختيار مواد جيدة لصناعة الخرسانه وخلطها بنسب صحيحة ليس هو وحده المحدد لمقدار جودة الخرسانة وليس هو العنصر الكافى والوحيد لإنتاج خرسانة جيده حيث:

١ — لا تقاس جودة الخرسانة بمقدار جودة موادها ولا بمقدار جودة تصميم الخلطة الخرسانية ولا بمقدار الإجهادات التى تتحملها ولكن بمقدار ملاءمتها لأداء وظيفتها فى المنشأ المستخدمة فيه ومقدرتها على مقاومة الظروف المعرضة لها .



FACTORS IN THE PRODUCTION OF GOOD CONCRETE عوامل أنتاج الخرسانة الجيدة

شكل رقم (م - ٣)

٢ ــ لاتقتصر جودة الخرسانة على اختيار المواد فقط إذ أن هناك عوامل لاتقل أهمية عن ذلك وتتضمن عملية صناعة الخرسانة نفسها وجودة ضبط الإنتاج فيها . لذلك فالخرسانة منتج تتوقف جودته على عوامل عديدة يمكن إجمالها كما هو مبين بالشكل رقم (م ــ ٣) . وليس اختيار المواد إلا عاملا منها فقط .

ثانيا ــ حدود استعمالات الخرسانة :

لاتصلح الخرسانة لكل منشأ ولا يمكن تعدى حدودها حيث أن لها عيوباً وحدوداً يجب أن يأخذها فى اعتباره كل من يعمل فى هذا الميدان وبصفة خاصة مهندس التصميم ومهندس التنفيذ . ومعرفة هذه الحدود تقودنا إلى التخلص من بعض صعوبات الانشاء كما أن إهمالها قد يؤدى إلى ظهور مشاكل كثيرة . وأهم الأسباب التى تعمل على تضييق حدود استعمالات الخرسانة مايأتى :

١ ــ ضعف مقاومة الخرسانة فى الشد :

ويمكن التغلب على هذا بتسليح الأجزاء المعرضة للشد بوضع أسياخ الحديد بكمية وشكل ونظام معين يخضع لحسابات التصميم وأسس التنفيذ .

٢ ــ حركة التمدد بالرطوبة والانكماش بالجفاف :

من المعروف أن الخرسانة تتمدد ثم تنقلص نتيجة لدورة البلل ثم الجفاف كما أنها تنكمش عندما تجف عجينة الأسمنت وتتصلب . وهذه الحركة الناتجة عن التمدد والانكماش تتطلب عمل وصلات وفواصل لمنع حدوث التشققات والشروخ .

٣ ــ الحركة الناتجة عن الحرارة :

تتمدد الخرسانة وتنكمش نتيجة التغيرات فى درجات الحرارة بنفس معدل الحديد تقريباً . . . ويجب عمل وصلات التمدد فى المنشآت الخرسانية لتجنب حدوث الشروخ بسبب زيادة الاجهاد الناتج عن التمدد أو الانكماش .

٤ ــ المنفذية :

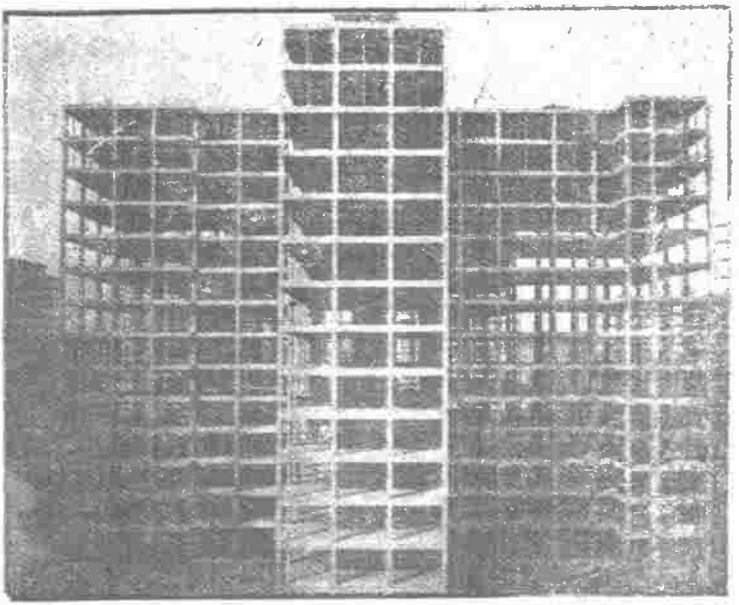
إن أنواع الخرسانة لايكون سدوداً للماء بصورة مطلقة وكذلك قد تحتوى الخرسانة ولو بنسب صغيرة جداً على مواد قابلة للذوبان فى الماء فتخرج

معه . كما أن الوصلات السابق الاشارة إليها والتى تعمل لتفادى الشروخ نتيجة لحركة الانكماش بالجفاف أو الحرارة تعتبر مجالا أو منفذاً لدخول الماء فى الخرسانة إلا إذا اتخذت احتياطات خاصة لمنع الماء من الوصول إليها . ومن الجدير بالذكر توضيح أهمية السدودية للماء فى الخرسانة المسلحة لمنع صدأ حديد التسليح .

ثالثا — مستقبل الخرسانة :

إن كثرة شيوع واستخدام الخرسانة العادية والمسلحة وسابقة الاجهاد فى كافة الانشاءات وفى كل الأماكن البرية والبحرية ولجميع الأغراض جعل الخرسانة المادة الأساسية للإنشاءات فى القرن العشرين كما يتضح من استعمالاتها المختلفة المبينة بالأشكال من رقم (م — ٤) إلى رقم (م — ١٧) .

ويتوقف مستقبل تطور الخرسانة على توافر وتطوير المواد الخام المكونة لها وكذلك الاضافات ثم تحسين طرق صناعة الخرسانة والتى تشمل تصميم الخلطة والخلط والنقل والصب والدمك والتسوية والمعالجة . . . كذلك يتوقف مستقبلها على تقدم معلوماتنا الفنية فى مجال الخرسانة . وعلى تكوين فئات مدربة ماهرة من العمال تنفذ كل التعليمات التى تعطى لهم . . ولا يمكن أن تتقدم أى صناعة دون تقدم البحث العلمى فيها . . وتحمل معامل الأبحاث العبء الأكبر لتقدم البحث العلمى فى الخرسانة وتعمل من جانبها باستمرار على تحسين أنواع وخواص الخرسانة لتلائم كافة الأغراض الانشائية المختلفة كما أن الخبرة العملية حيال تنفيذ المشروعات الهندسية الكبرى تضيف إلى تصميم وتنفيذ الخرسانة معلومات قيمة ذات أثر كبير فى تطوير الخرسانة التى تتناسب والظروف المحلية للمشروعات المستقبلة .



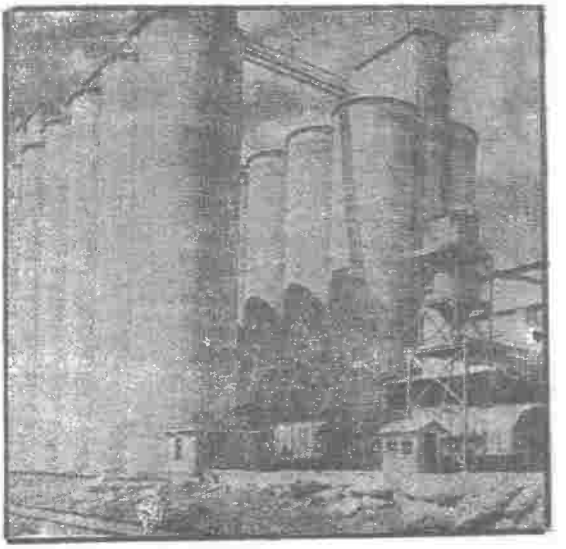
شكل رقم (م ـ ٤) هيكل مبنى من الخرسانة المسلحة

شكل رقم (م ـ ٥) وحدات سكنية من الخرسانة المسلحة

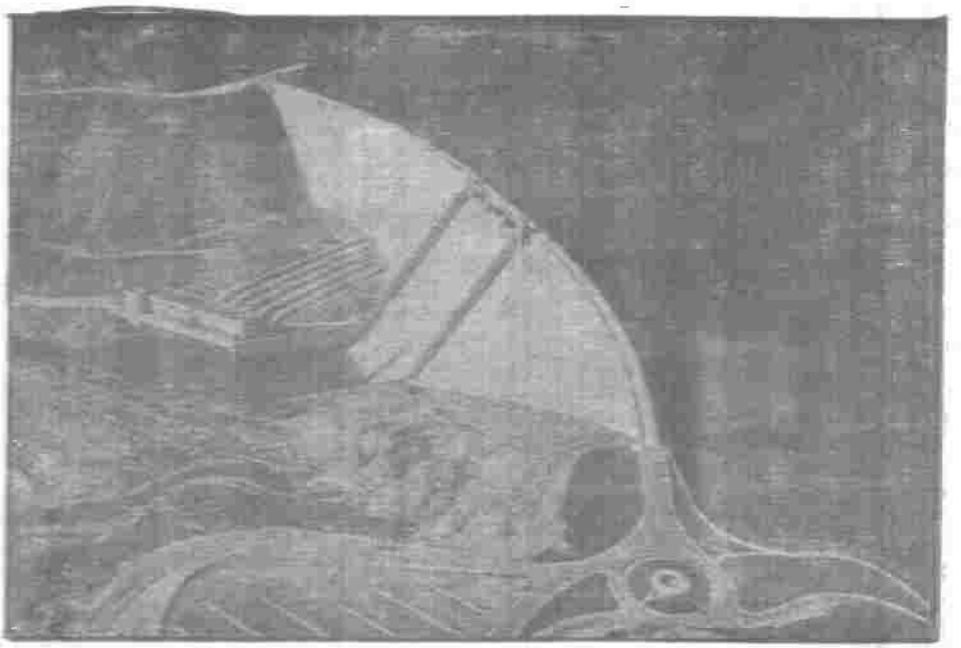
شكل رقم (م ـ ٦) صالة معارض من الخرسانة المسلحة

شكل رقم (م ـ ٧) حائط من الخرسانة المسلحة

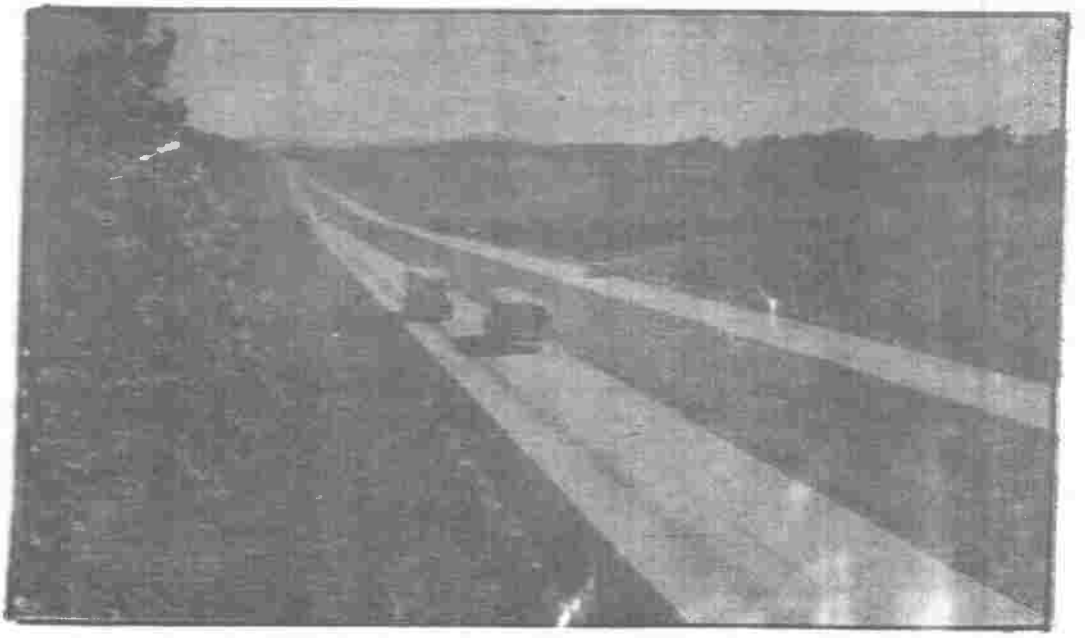
شكل رقم (م ـ ٨) سقف قشرى من الخرسانة المسلحة



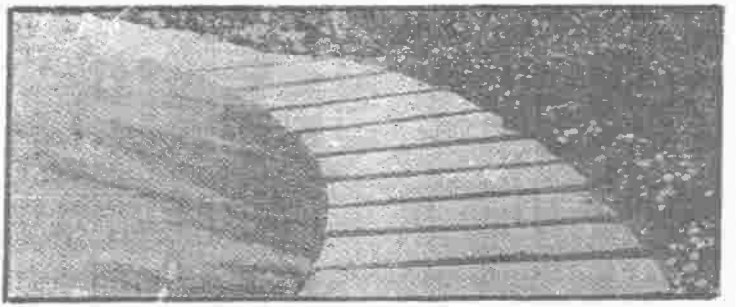
شكل رقم (م ـ ٩) صوامع تخزين من الخرسانة المسلحة



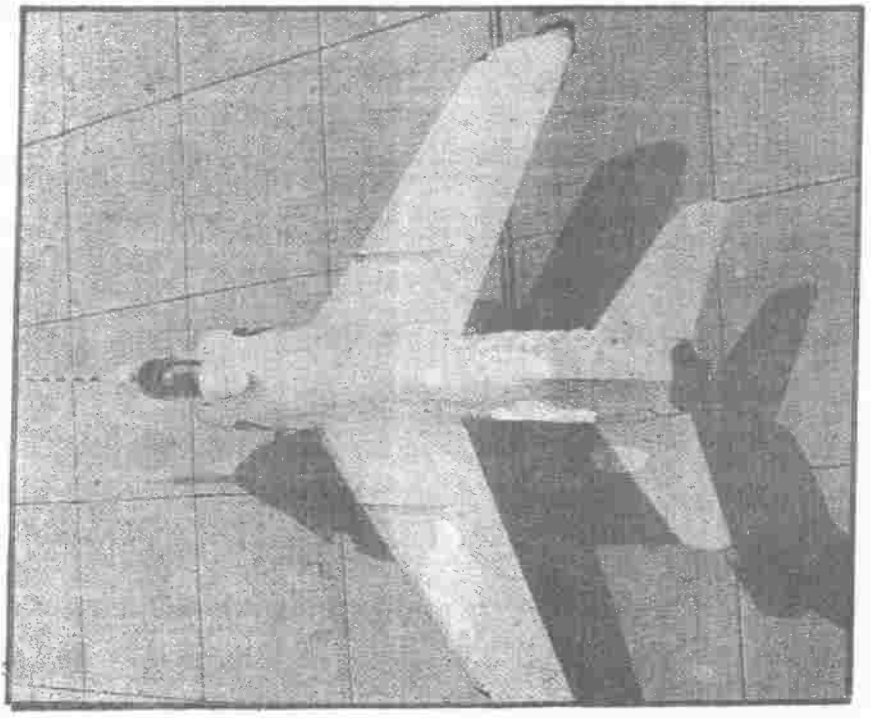
شكل رقم (م — ١٠) سد لتخزين المياه من الخرسانة المسلحة



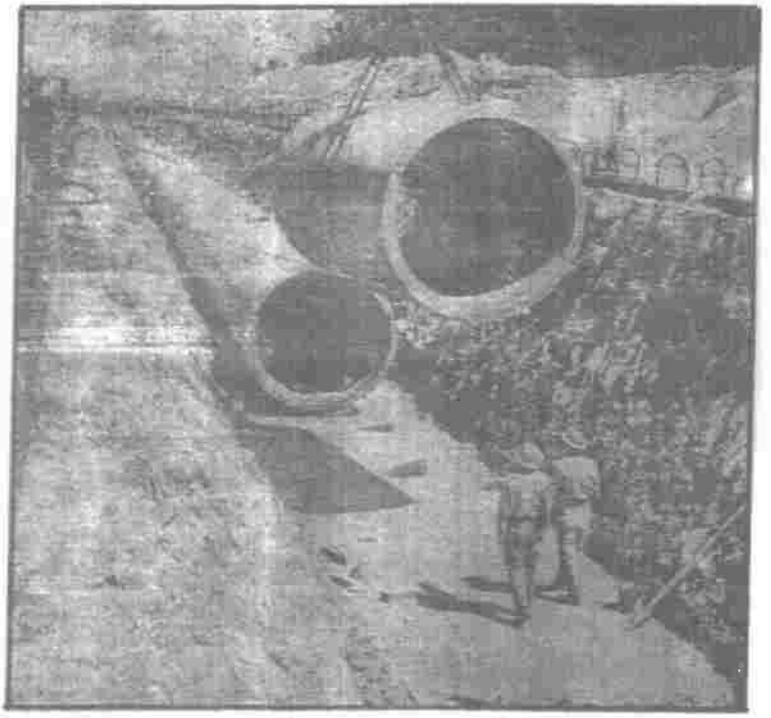
شكل رقم (م — ١١) طريق رئيسى مرصوف بالخرسانة



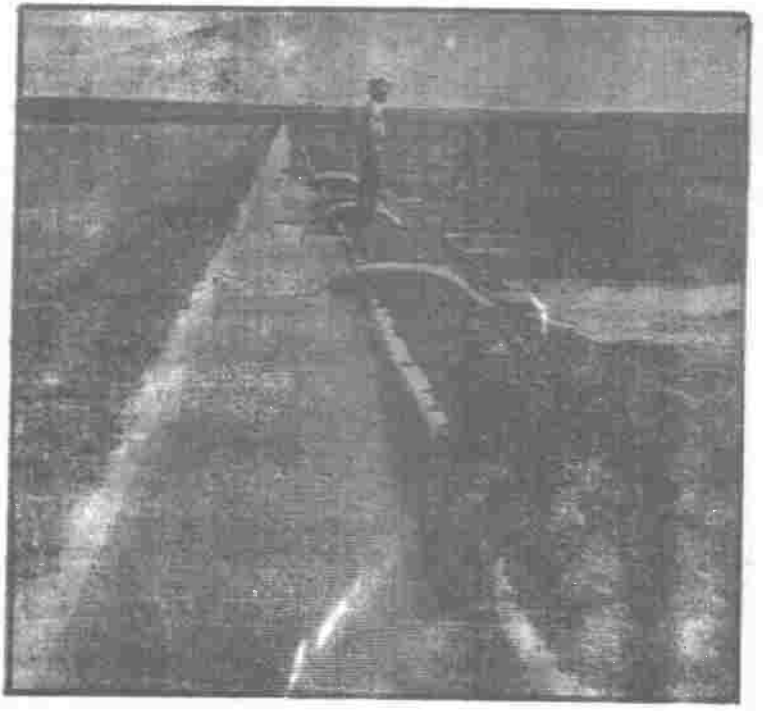
شكل رقم (م ـ ١٢) مشايات الحدائق من بلاطات خرسانية



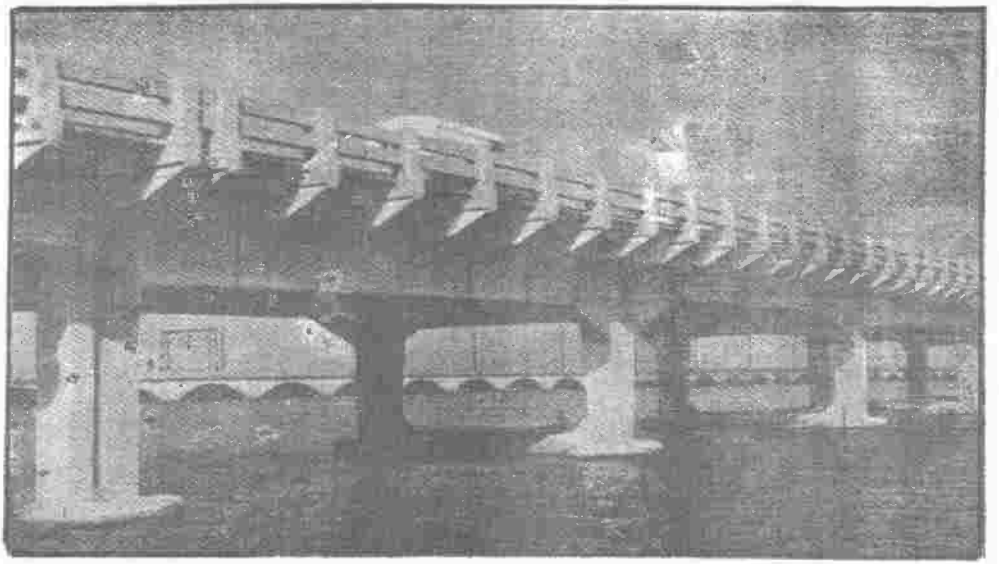
شكل رقم (م ـ ١٣) مهبط طائرات مرصوف بالخرسانة



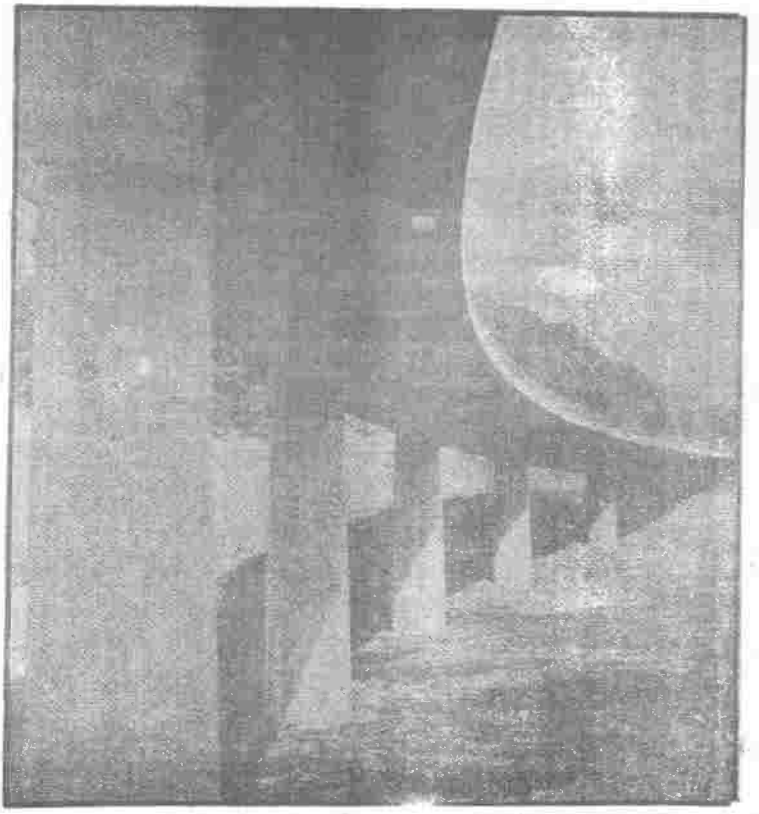
شكل رقم (م ـ ١٤) مواسير من الخرسانة المسلحة



شكل رقم (م ـ ١٥) قناة رى مبطنة بالخرسانة



شكل رقم (م ـ ١٦) كوبرى على مجرى مائى من الخرسانة المسلحة



شكل رقم (م ـ ١٧) كوبرى علوى من الخرسانة المسلحة