خواص و اختبارات الخرسانة المتصلدة

Properties and Testing of Hardened Concrete

١- مقاومة الانضغاط Compressive Strength

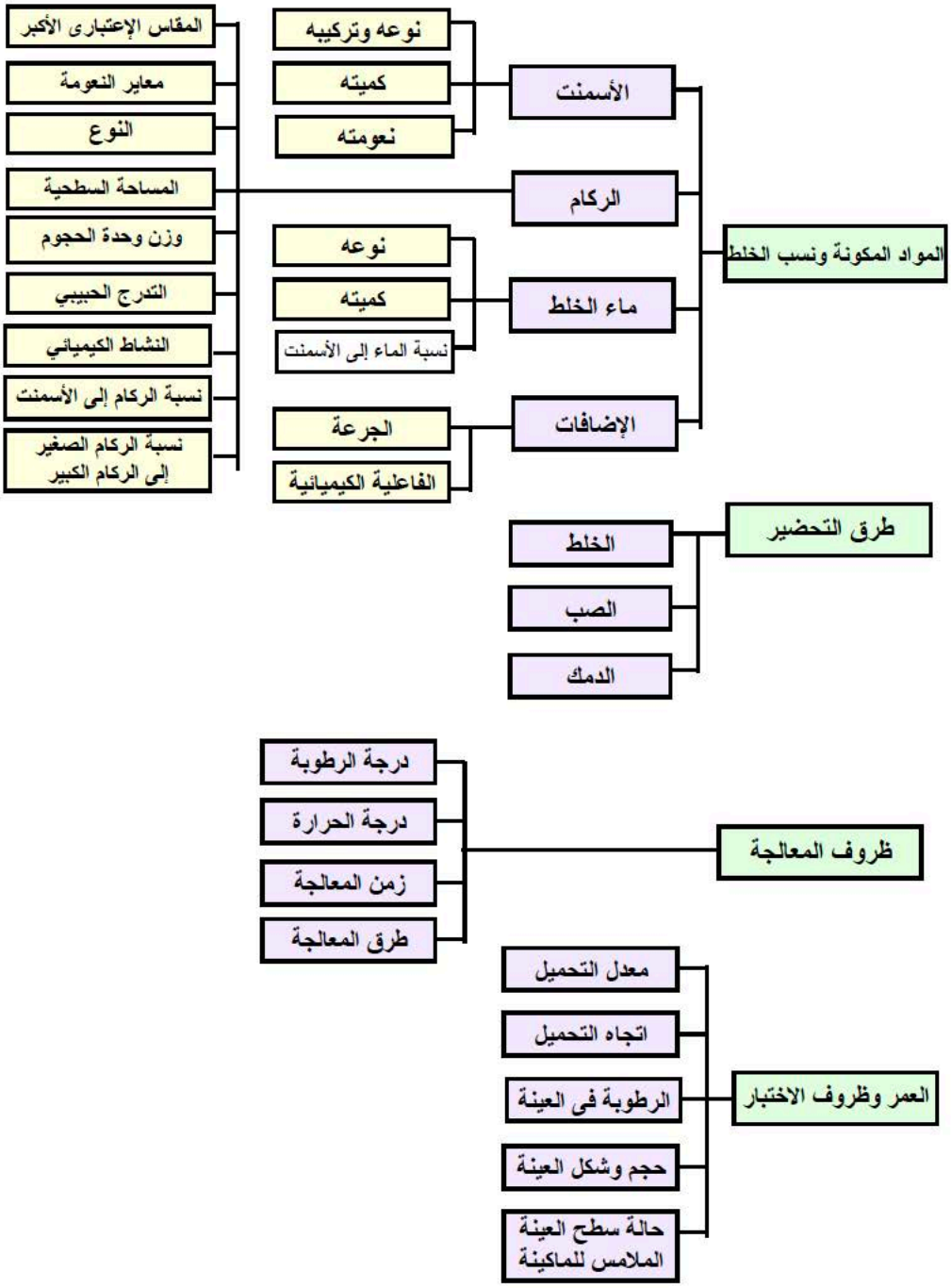
إن مقاومة الضغط هي اهم خواص الخرسانة المتصلدة على الإطلاق و هي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ، ومقاومة الضغط هي المقاومة الأم للخرسانة حيث أن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد و الانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح. لذلك يجرى اختبار الضغط بغرض التحكم فى جودة إنتاج الخرسانة فى موقع المشروع كما يستخدم هذا الاختبار فى أغراض التصميم الإنشائى لتحديد المقاومة المميزة Characteristic Strength وإجهاد التشغيل Working Stress للخرسانة فى الضغط الذى يؤخذ كنسبة من المقاومة القصوى للضغط. كما يفيد اختبار الضغط فى تحديد صلاحية الركام وماء الخلط للتعرف على تأثير الشوائب التى قد توجد بهما على مقاومة الضغط للخرسانة. والواقع حالياً أن مقاومة الضغط لخرسانة المنشآت التقليدية تتراوح بين ٢٥٠ ـ ٣٥٠ كغم /سم٢ أما بالنسبة للمنشآت الخاصة والوحدات سابقة التجهيز فمقاومة الضغط تزيد عن ذلك وتصل إلى ٤٠٠ ـ ٥٠٠ كغم /سم٢ والوحدات الخرسانية سابقة الإجهاد يجب أن تكون ذات مقاومة للضغط تزيد عن ٤٠٠ كغم /سم٢ وقد تصل إلى ٦٠٠ كغم /سم٢. وقد سبق الإشارة فى الفصول السابقة عن إمكانية صناعة الخرسانة عالية المقاومة (مقاومة الضغط أكبر من ٨٠٠ كغم/سم٢) والتى نأمل أن تأخذ طريقها إلى الواقع العملي في بلدنا.

١-١ العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط

تتأثر مقاومة الضغط بعوامل عديدة ومتنوعة تتلخص بالرسم البياني شكل رقم (١) فى أربعة مجموعات رئيسية هى:

- ❒ المواد المكونة ونسب الخلط.
- ❒ طرق صناعة الخرسانة من خلط ونقل وصب ودمك.
- ❒ ظروف المعالجة.
- ❒ العمر وظروف الاختبار.

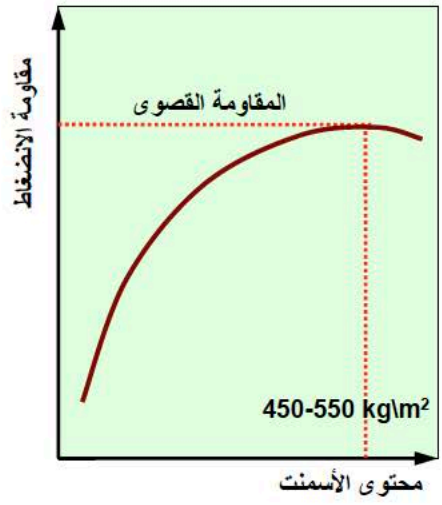
وفيما يلي شرح بإيجاز لبعض هذه العوامل.



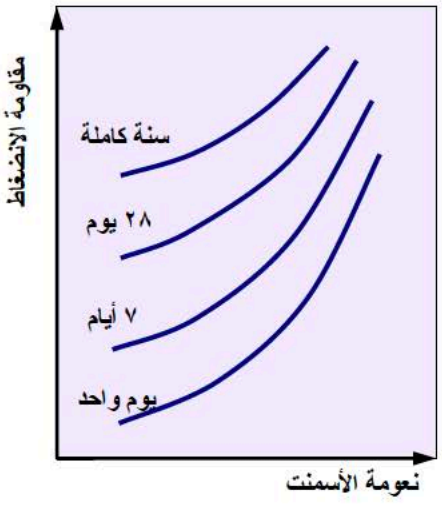
شكل(١) العـوامل التى تؤثر على المقاومة.

أولاً: تأثيـــر الأســـمنت

الأسمنت هو المكون الرئيسي الفعال الذى تتوقف عليه مقاومة الخرسانة وأهم العوامل المؤثرة فى الأسمنت هي كميته ونعومته وتراكيبه الكيميائي. فنجد أن مقاومة الخرسانة تزيد بزيادة محتوى الأسمنت وذلك حتى محتوى معين يقل عنده معدل الزيادة فى المقاومة ثم تتوقف الزيادة فى المقاومة بعد ذلك وربما تقل. وهذا المحتوى يختلف باختلاف نسب مكونات الخلطة وكذلك يتوقف على وجود أو عدم وجود إضافات كيمائية أو معدنية. وعموماً فقد وجد أن المحتوى الأقصى للأسمنت الذى يعطي أعلى مقاومة انضغاط للخرسانة بين ٤٥٠ و ٥٥٠ كغم\م^3 (شكل رقم (2. أما بالنسبة لنعومة الأسمنت فهي تؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الخرسانة وخاصة فى الأعمار المبكرة حتى ٢٨ يوم. بعد ذلك يقل معدل الزيادة فى المقاومة تدريجياً بتقدم عمر الخرسانة حتى يكاد ينعدم عند الأعمار المتأخرة جداً كما هو موضح في الشكل (٣).

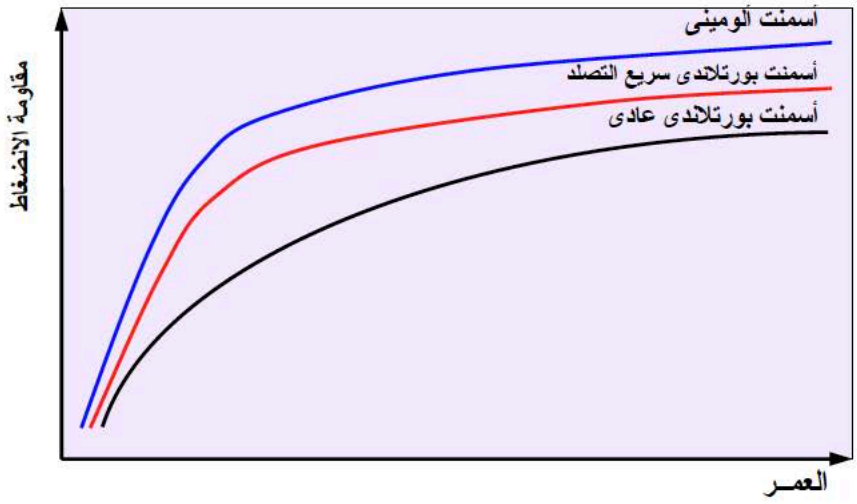


شكل رقم (2) تأثير محتوى الاسمنت



شكل رقم (3) تأثير نعومة الاسمنت

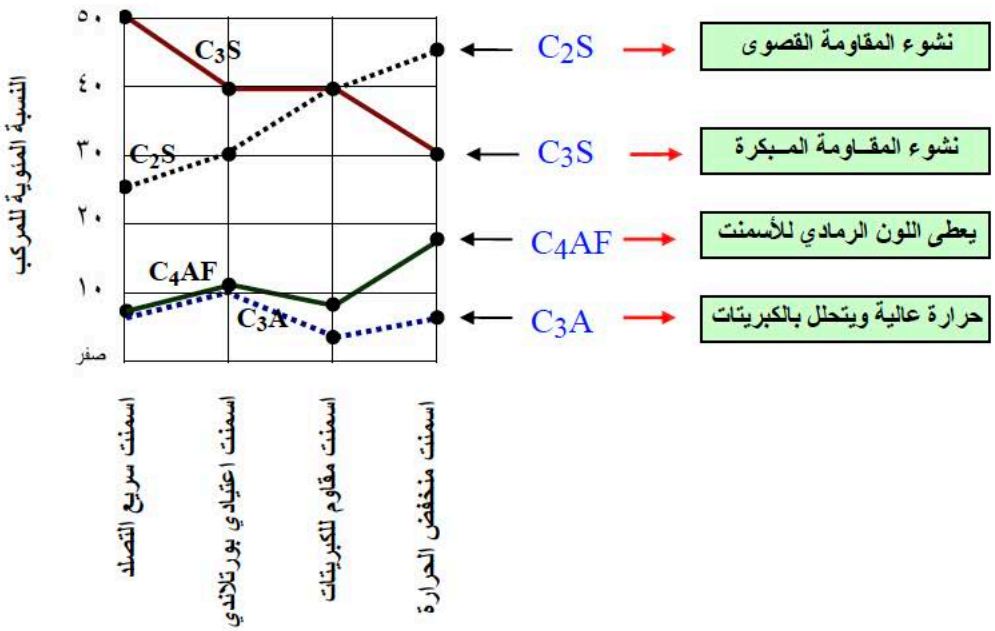
أما بالنسبة لتأثير التركيب الكيميائي للأسمنت فيعتمد ذلك بصورة كبيرة على نسب المكونات الرئيسية الأربعة للأسمنت وهى سيليكات ثنائي الكالسيوم C_2S وسيليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S وثالث ألومينات الكالسيوم C_3A ورابع ألومينات حديد الكالسيوم C_4AF. أما العنصرين الأولين C_2S و C_3S فهما الذين يتحكمان فى المقاومة ويتراوح مجموع نسبتيهما حوالى ٧٥% . وعموماً فإن الأسمنت الذى يحتوى على نسبة عالية من C_3S يكتسب مقاومة أسرع من الأسمنت المحتوى على نسبة عالية من C_2S حيث أن C_3Sهو المركب المسئول عن المقاومة المبكرة للأسمنت. أما العنصر الثالث فى الأسمنت و هو ثالث ألومينات الكالسيوم فهو المسئول عن انبعاث حرارة عالية أثناء الخلط وهو المتسبب فى وجود الخواص غير المرغوبة فى الأسمنت مثل حدوث التغيرات الحجمية و التشققات و التدهور عند التعرض للكبريتات. إلا أن هذا العنصر موجود فى الأسمنت بحكم تواجده فى المواد الخام. أما العنصر الرابع وهو رابع ألومينات حديد الكالسيوم فهو عنصر خامل تقريباً ويحل محل العناصر النشطة فى الأسمنت وبالتالي فلا يرغب فى تواجده بنسبة عالية. وبالتحكم فى نسبة المكونات الرئيسية للأسمنت وكذلك نعومته يمكننا صناعة الأنواع المختلفة من الأسمنت مثل الأسمنت سريع التصلد والأسمنت البورتلاندى العادي والأسمنت فائق النعومة والأسمنت المقاوم للكبريتات ..... إلخ. والشكل رقم(٤) يوضح تأثير نوع الأسمنت حيث نجد أن الأسمنت السريع التصلد يظهر مقاومة مبكرة عالية ولكن بعد ثلاثة شهور تقريباً تكون المقاومة مساوية لتلك التى نحصل عليها من الأسمنت البورتلاندى العادي. جدول (١) وشكل (٥) يوضحان المكونات الكيميائية لأنواع الأسمنت المختلفة وكذلك تأثيرها على خواص الأسمنت.



شكل (4) تأثير نوع الاسمنت على مقاومة الانضغاط

جدول (1) خواص الانواع المختلفة للاسمنت

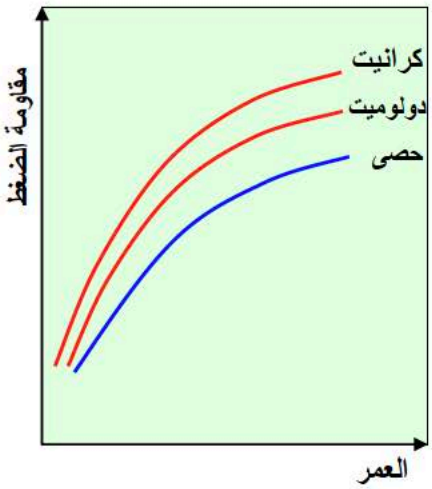
نوع الأسمنت	معدل زيادة المقاومة	الحرارة المنبعثة	الانكماش بالجفاف	مقاومة التشقق	المقاومة كبريتات	للكيماويات أحماض
بورتلاندى عادى	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منخفض	منخفض
بورتلاندى سريع التصلد	عالي	عالي	متوسط	منخفض	منخفض	منخفض
بورتلاندى منخفض الحرارة	منخفض	منخفض	فوق المتوسط	عالي	متوسط	منخفض
مقاوم للكبريتات	منخفض/متوسط	منخفض/متوسط	متوسط	متوسط	عالي	منخفض
بورتلاندى حديدي	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	فوق المتوسط	فوق المتوسط



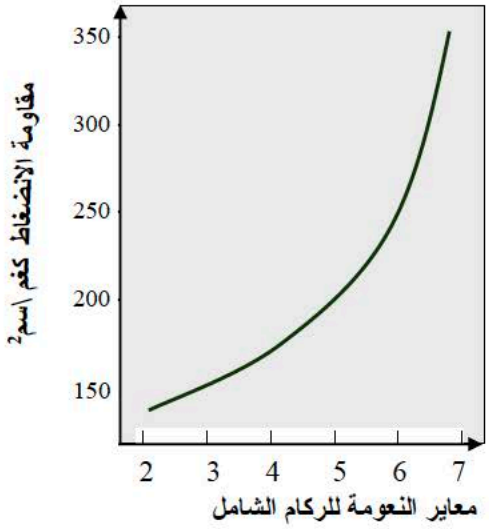
شكل (5) التركيب الكيميائي للانواع المختلفة من الاسسمنت

ثانياً: تأثير الركام

الركام هو المادة المالئة بالخرسانة والتى يفترض أنها خاملة كيميائياً. وعموماً فإن مقاومة الخرسانة تتوقف على التماسك بين العجينة الأسمنتية والركام المستخدم حيث ينبغي أن تغلف العجينة الأسمنتية بكفاءة أسطح الركام المستخدم ومن ثم نجد أن نوع الركام وشكله ونعومته ومساحته السطحية وطبيعة سطحه من العوامل الرئيسية التى تؤثر على مقاومة الخرسانة. شكل (٦) يوضح تأثير نوع الركام على مقاومة الضغط حيث نجد أن الحجر الجيري أو الدولوميت يعطي مقاومة أكبر من الركام. كذلك يبين الشكل (٧) أن مقاومة الضغط تزيد بزيادة قيمة معايير النعومة للركام الشامل. أما المساحة السطحية للركام فتؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الضغط حيث نجد أنه عند مساحة سطحية حوالى ٢٥ سم٢/غم فإننا نحصل على المقاومة القصوى التى تقل تدريجياً إذا زادت المساحة السطحية أو قلت عن ذلك كما هو موضح بالشكل (٨). ومساحة الركام السطحية تعتمد على نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير وكذلك على نعومة أو خشونة الركام المستخدم.



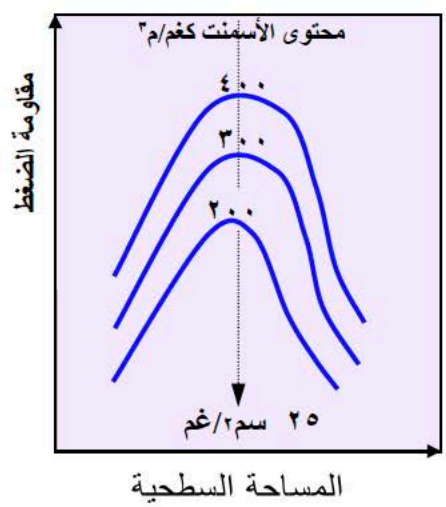
شكل (6) تأثير نوع الركام



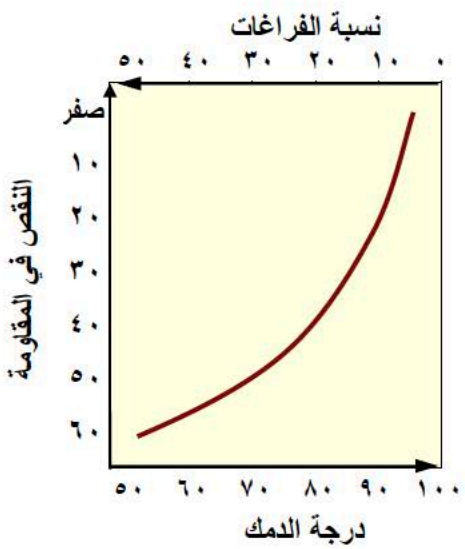
شكل (7) تأثير معيار نعومة الركام

ثالثاً: تأثير ماء الخلط و الدمك

إن تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) هو بلا شك من اهم العوامل التى تؤثر ليس فقط على مقاومة Strength الخرسانة بل أيضاً على متانتها .Durability وعموماً فإن تقليل الماء فى الخلطة إلى درجة معينة هو أساس الحصول على الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete أو الخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete. وقد سبق الحديث في الفصل الخرسانة من المحاظرة الاولى عن تأثير نسبة (م/س) على الخرسانة وكذلك كيفية التحكم فى نسبة الماء فى الخرسانة باستخدام الإضافات الكيميائية (الملدنات) .وقد وجد أنه عند درجة دمك محددة للخرسانة الطازجة فإن هناك نسبة معينة من م/س(تكون عندها مقاومة الخرسانة نهاية عظمى. وعموماً فإن مقاومة الخرسانة تتأثر تأثراً كبيراً بدرجة دمكها كما هو موضح فى الشكل رقم (٩) حيث أن الدمك الغير جيد يؤدى إلى وجود فراغات هوائية فى الخرسانه تعمل على تقليل المقاومة وتدهور الخرسانه.



شكل (8) تأثير المساحة السطحية للركام



شكل (9) تأثير الدمك

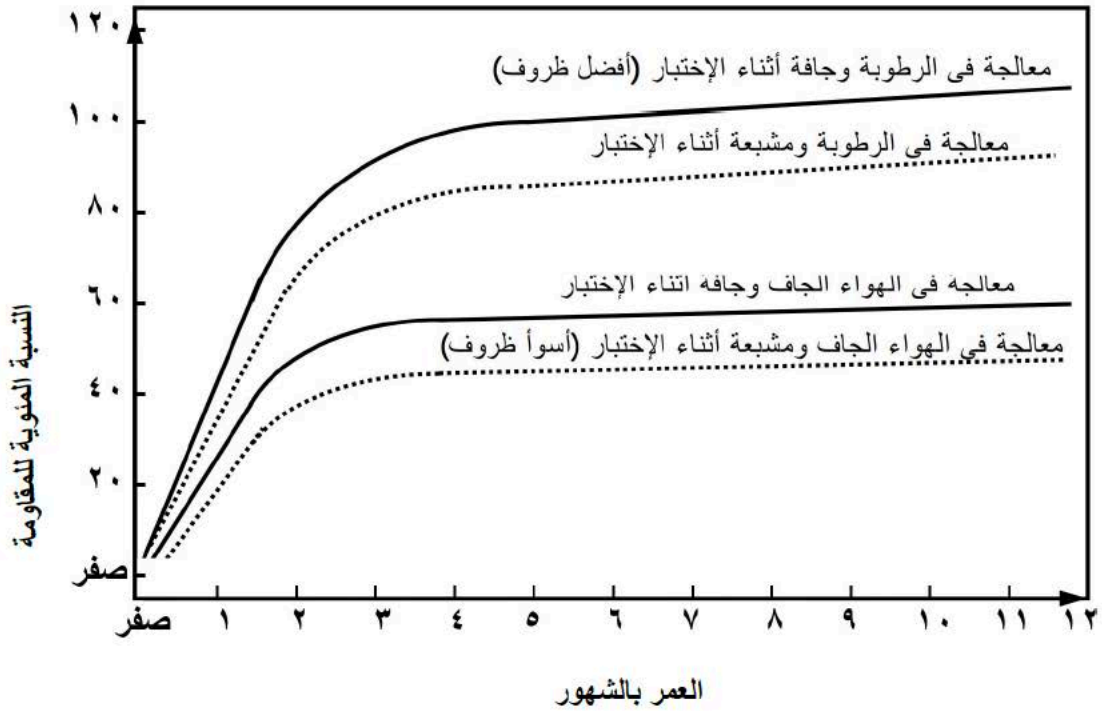
رابعاً: تأثير العمر والمعالجة

إن زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن Strength Gain يتوقف بدرجة كبيرة على الظروف المحيطة بها وكذلك على ظروف المعالجة من حيث مدتها ودرجتي الرطوبة والحرارة. فكلما زادت فترة معالجة الخرسانة فى الرطوبة كلما زادت مقاومتها. كما أن الخرسانة المعالجة فى الهواء تظهر مقاومة أقل كثيراً من الخرسانة المعالجة تحت الماء. إن الخرسانة المعالجة فى الهواء مع تعرضها لدورات الجفاف يقيد عملية الإماهة وربما يوقفها ومن ثم تتوقف الزيادة فى المقاومة. ولقد أوضحت الاختبارات طويلة المدى على الخرسانة المعالجة فى الماء تحت درجة الحرارة العادية أن عملية الإماهة مستمرة حتى أعمار تصل سنوات عديدة ولكن بمعدل متناقص. ويتضح من الشكل (١٠) أن الخرسانة المعالجة فى الماء تظهر مقاومة أعلى بمقدار مرتين أو أكثر من مقاومة الخرسانة الغير معالجة. ولقد أوضحت الاختبارات أيضاً أن العينات الخرسانية المعالجة فى الهواء ومختبرة فى جو جاف تُظهر مقاومة أكبر من العينات المناظرة التى عُرضت للهواء نفس المدة ولكنها شُبعت بالرطوبة قبل الاختبار مباشرة. وعموماً فإن المعدل الذى تتحسن به المقاومة Rate of Strength Gain يكون كبيراً فى الأعمار المبكرة خاصة فى الأسابيع الأربعة الأولى ويقل تدريجياً مع تقدم العمر. ولذلك تم اعتبار المقاومة بعد ٢٨ يوم هي المقاومة القياسية للخرسانة.

ولقد أُجريت اختبارات عديدة على أنواع مختلفة من الخرسانة لدراسة مقاومة الضغط عند أعمار مختلفة وإيجاد العلاقة بينها. والواقع أن هناك علاقات كثيرة تربط مقاومة الخرسانة فى الأعمار المختلفة بمقاومتها عند ٢٨ يوم إلا أن جميع هذه العلاقات تقريبية وتعطى قيم استرشادية فقط. وفى جميع الأحوال ينبغي اختبار الخرسانة بعد ٢٨ يوم حتى نتأكد تماماً من قيمة مقاومة الخرسانة الفعلية. وتجدر الإشارة أن اختبار الضغط بعد ٢٨ يوم لا يعطي قناعة تامة عن حقيقة مقاومة الضغط لبعض أنواع الخرسانة وخاصة تلك المحتوية على إضافات كيميائية مثل معجلات أو مؤخرات الشك او التحمد وكذلك تلك المحتوية على مواد بوزولانية مثل غبار السيليكا وفى هذه الحالة ينبغي قياس المقاومة بعد ٥٦ يوم أو ٩٠ يوم على الأقل وذلك حتى تعطى صورة حقيقية عن المقاومة. وعموماً فإن بعض الكودات قد أعطت بعض القيم الاسترشادية (جدول ٢) للعلاقة بين مقاومة الضغط فى الأعمار المختلفة ومقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم وذلك فى حالة الخرسانة المصنوعة فى الظروف العادية والغير محتوية على إضافات.

جدول (٢) قيم استرشادية لنسبة مقاومة الضغط فى أعمار مختلفة.

عمر الخرسانة (يوم)	٣	٧	٢٨	٩٠	٣٦٥
أسمنت بورتلاندى عادى	٠,٤	٣/٢	١	١,١٨	١,٣٣
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	٠,٥٥	٦/٥	١	١,١١	١,١٨



شكل (١٠) معدل زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن فى ظروف معالجة مختلفة.