ديمومة الخرسانة
بين خواص المواد والهندسة الإنشائية

مجدي محمد خليفة.
خبير الإنشاءات بوكالة الأشغال العامة - الرياض

المستخلص : يعتبر تدهور الخرسانة في منطقة الخليج العربي مشكلة ملحة يجب أن يواجهها المهندس الانشائي وعلى الرغم من أن ديمومة الخرسانة أصبحت في أهمية المقاومة على المستوى العالمي فإن المهندسين الإنشائيين مازالوا في حاجة إلى الاقتناع بالمشكلة وأن يكونوا مؤهلين للتصميم من أجل خواصها . ولا شك أن هناك فجوة في التصميم يجب التغلب عليها بتطوير كودات وطنية تعكس الخبرة المحلية ولن يتأتى هذا إلا بالتعاون بين المهندسين الإنشائيين وأخصائيي المواد. ويلخص البحث العناصر الأساسية في إجراءات التصميم والتنفيذ لتحقيق ديمومة الخرسانة .

١ - المقدمة

أصبحت الموضوعات المتعلقة بديمومة الخرسانة المسلحة « أي تحملها مع الزمن » تنال اهتماماً كبيراً في الفترة الأخيرة .إن الاهتمام العالمي بهذا الموضوع ينعكس على الاصدارات الحديثة لكودات الخرسانة [١ - ٥] ومن المناطق العالمية التي في أمس الحاجة لهذا الاهتمام هي منطقة الشرق الأوسط بصفة عامة ومنطقة الخليج العربي على وجه الخصوص و المملكة العربية السعودية كإحدى دول الخليج قطر مترامي الأطراف تشمل بين حدودها بيئات مختلفة لا يمكن تعميم خواص إحداها على البقية [٦] وماتحتاجه المنطقة ليس مجرد تبني كود أجنبي لكي يطبقه المهندسون الإنشائيون ولكنها تحتاج في المستقبل إلى كود وطني يعكس الظروف البيئية المحلية .إن المهندس الإنشائي العادي الذي يمارس في هذه المنطقة من العالم - في رأي المؤلف - ليس على دراية كافية ولاهو مقتنع تماماً بضرورة التصميم لديمومة الخرسانة . حتى أولئك المهندسين الذين على دراية بالمشكلة ليسوا مؤهلين بالمعلومات اللازمة لتمكينهم من التصميم لإكساب الخرسانة خاصية الديمومة . ويبين الجدول رقم (١) نتائج مخبرية لنسب الأملاح ومقاومة ضغط القلوب الخرسانية المستخرجة من أحد مباني المكاتب بمدينة ساحلية على البحر الأحمر . وتوضح القيم بهذا الجدول أن المصمم ومهندس التنفيذ لم يأخذوا في الاعتبار قضية ديمومة الخرسانة حيث أن مقاومة الخرسانة ضعيفة ونسبة الأسمنت منخفضة كما أن نسبة الكلوريدات أعلى من المسموح به . لقد ظهرت بالمبنى مؤشرات التدهور الشديد بعد ثلاث سنوات فقط من استلام المالك إياه في عام ١٩٩١م .

إن التصميم الإنشائي لخاصية ديمومة الخرسانة أمر يمكن تحقيقه [٨،٧] ، ويمكن أن يصبح أكثر انتشاراً من خلال التعاون المنسق لمجهودات علماء خواص المواد والكيميائيين من جهة والمهندسين الانشائيين من جهة أخرى.ومعنى التصميم الانشائي لخاصية الديمومة سوف يتضح من البحث ويتلخص في أن يقوم المهندس الانشائي باعتبار الظروف الجوية المؤثرة على العناصر الأنشائية لتحديد التصميم المناسب من ناحية الأبعاد والمواد المستخدمة والحماية المناسبة لكي يعيش المبنى دون أضرار طوال عمر الخدمة الذي يرغبه *المالك أو العمر المتعارف* عليه في الصناعه ويردد البعض مثلاً أن عمر التصميم للمباني الخرسانية يتراوح ما بين خمسين ومائة عام .

الجدول(١) : نتائج الاختبارات الكيميائية ومقاومة القلوب مبنى مكاتب بمدينة الوجه على ساحل البحر الأحمر

الموقع / الخواص	القيم المرغوبة	أعمدة الدور الأرضي	أعمدة الدور الأول	أعمدة الدور الثاني	الدور الأول		الدور الثاني	
		ع١ ع٤ ع٧ ع٢ ع٥ ع٨ ع٣ ع٦ ع٩	ع١٠ ع١١ ع١٣ ع١٢ ع١٤	ع١٦ ع١٨ ع١٧ ع٢٠ ع١٩	البلاطة ط١ - ط٥	الكمرات ك١ - ك٣	البلاطة ط٦ - ط١٠	الكمرات ك٤ - ك٦
محتوى الأسمنت كن/م٣	٣,٥	٣,٥٣ ٢,٩٠ ٢,٤٤	× ١,٨٥ ٢,٣٢	— ١,٩٩	٢,٧٨	٣,٤٦	٢,٤٧	٢,٦٨
نسبة كلوريد / أسمنت ٪	< ٠,٤	١,٠٢١ ٠,٦١٦ ١,١٣٤	× ١,٣٨٤ ٢,٠١٢	— — ٢,٤٣٤	٠,٧٠٨	١,١٠٦	٢,٠٣٥	١,٤١٤
القلوية pH	١٢-١٣	١٢,٢ ١٢,٠٠ ١١,٩	× ١١,٥ ١١,٥	٠,٠ ٠,٠ ١٢,٠	١٢,٣	١٢,٥	١٢,٢	١٢,٢
مقاومة المكعب من القلوب نيوتن / م٢	٢٥	٢٨,٩ ١٩,٤ ١٦,٠ ٣٠,٤ ٢٣,٩ ١٦,٢ ٣٠,٥ ٢٤,٢ ١٨,٦	× ٠,٠* ١١,٣ ٠,٠ ١٩,٨	٠,٠ ٩,٥ ١٩,٣	١٤,٩ ٢٧,٩ ٣٠,٧ ٢٨,٦ ٣٤,٧	١٢,٩ ١٦,٢ ٢٧,٥	١٦,٧ ٢٢,٠٠ ٣٠,٣ ٢٥,٤ ٣١,٣	٨,١ ١١,٣ ٢٨,١

× العينة لم تستخرج لصعوبة الوصول إلى المكان *العينة تفتت أثناء استخراجها لرداءة الخرسانة

ملاحظات : . خرسانة الاعمدة بالدورين الأول والثاني ضعيفة .
. نسبة الكلوريدات أكبر من المسموح به .
. محتوى الأسمنت منخفض لمتطلبات الديمومة

٢ ـ الديمومة :

٢ـ١ مقدمة عن الديمومة

قامت اللجنة رقم ٢٠١ لمعهد الخرسانة الأمريكي [٩] بإعطاء تعريف الديمومة للخرسانة المصنوعة من الأسمنت البورتلاندي الهيدروليكي على أنها مقدرة الخرسانة على مقاومة تأثير الجو والهجوم الكيميائي والبري أو أي عملية تدهور أخرى . أي أن معنى الخرسانة ذات الديمومة أنها الخرسانة التي تحتفظ بقوامها الأصلي وخواصها ومقدرتها على الخدمة عند تعرضها للبيئة المحيطة بها . لذلك فإن تدهور الخرسانة ليس ظاهرة وحيدة حيث أن مسبباتها عديدة . ويلخص بي.كي . ميهتا [١٠] آليات تدهور الخرسانة فيما يلي :

أ ـ طبيعية :

* تآكل السطح ـ البَرْي والتآكل والتخلخل ABRASION,EROSION AND CAVITATION
* التشقق الناتج عن التغيرات الحجمية مثل الأحمال الأنشائية والتعرض لتفاوتات درجات الحرارة .

ب ـ كيميائية :

* تفاعل الماء النقي مع هيدروكسيد الكالسيوم « أكسيد الكالسيوم المائي » .
* التفاعلات التبادلية بين سوائل هجومية والمكونات التي تحتويها عجينة الخرسانة المتصلدة .
* تفاعلات ينتج عنها مواد متضخمة الحجم مثل صدأ التسليح الذي يعتبر من أهم أسباب تدهور الخرسانة في المملكة العربية السعودية وخاصة في المناطق الساحلية وتدهور الخرسانة من هجوم الكبريتات والذي يكون نسبة هامة من تدهور الأساسات في هذا القطر .

٢ـ٢ إدراك المشكلة :

يوجد كثير من المهندسين الذين يعتقدون في مفهومين خاطئين أولاهما : أن الخرسانة عالية المقاومة لها خاصية الديمومة . وثانيهما : أن استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات ضمان ضد تدهور خرسانة الأساسات وقد يكون هناك شيء من الصحة في المفهوم الأول أما المفهوم الثاني فهو يعطي نتائج عكسية عند احتواء التربة على كلوريدات إلى جانب الكبريتات فإن استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات يعجل من صدأ التسليح الناتج عن الكلوريدات . ومن العجيب أن تستمر بعض المفاهيم الخاطئة عالقة في ذهن المهندسين الانشائيين في نفس الوقت الذي تتكاثر فيه الدراسات ونتائج الأبحاث والمعلومات ، وتوجد الآن كثير من نتائج البحوث العلمية والمقالات وبعض الكتب عن موضوع الديمومة حيث يقوم علماء المواد بمجهودات كثيرة في هذا المجال ولايزال الطريق طويلاً . ولاشك أن هناك فجوة ـ غير مقصودة ـ بين علماء المواد والمهندسين الانشائيين ، وعلى سبيل المثال فإن المؤلف كان يحضر

مؤتمراً علمياً هاماً عن ديمومة الخرسانة في فرنسا [١١] مؤخراً وكان واحداً من خمسة مهندسين انشائيين «مصممين » من بين حوالي ثلاثمائة مشارك في المؤتمر من خبراء المواد ، وقد تكون الهوة أوسع من ذلك في منطقة الشرق الأوسط والخليج العربي حيث أن المعلومات الكثيرة التي تجمعت بواسطة علماء المواد في هذا المجال لم يستفد منها من قبل المهندسين الانشائيين بصورة ملموسة بعد . فقد عقدت كثير من المؤتمرات بدول الخليج وغيرها تناقش المشاكل وتقترح الحلول ولكنها لم تنعكس بصورة قوية في التصميم ، ويحتاج المهندس الانشائي الممارس إلى ثلاثة أشياء هامة :

* الاقتناع بضرورة اتخاذ الإجراءات اللازمة لإكساب الخرسانة خاصية الديمومة .
* تعليم المهندسين ما هو مفروض اتخاذه من إجراءات في التصميم والتنفيذ .
* إصدار كودات تساعد المهندس في عملية التصميم ، ولعل هذا ما يجب أن يصبوا إليه كل العاملين في مجال الخرسانة من مصممين ومنفذين في هذه المنطقة .

ويعتمد نجاح إجراءات الديمومة بصورة كبيرة على التنفيذ لذا يجب أن يكون المهندس المشرف على التنفيذ على نفس القدر من الوعي حيث أنه الشخص الذي تتحقق على يديه توصيات المصمم أو خبير المواد بشرط توفر العمال المهرة لديه .

إن المفاهيم المذكورة أعلاه قد تكون بديهيات معروفة في كثير من البلدان وفي كثير من فروع العلوم الهندسية ولكن غياب الوعي بها سبب كثيراً من المشاكل مثلما يبينة الشكل رقم (١)

الشكل (١) صورتان من أحد المباني المتدهورة بالدمام

٢ـ٣ مسئولية الديمومة والمهندس الانشائي :

من المعروف أنه في تصميم أي مبنى يقوم المهندس الإنشائي بالتعاون بصورة وثيقة مع المهندس الجيوتقني (التربة) ، ومن المفروض في الأمور المتعلقة بديمومة الخرسانة أن ينشأ أيضاً تعاون وثيق بين المهندس الانشائي وخبراء المواد . وفي المملكة يعتقد المؤلف أن هذه العلاقة مازالت في المهد وربما في أنحاء أخرى من العالم بما في ذلك بعض الدول المتقدمة . ولاشك أن المالك ينظر إلى المهندس الانشائي بصفته المسؤول الأول عن المنشأ من ناحية

تكامل النظام الإنشائي والمقاومة والخدمة والديمومة ، ويجب على المهندس الانشائي من جانبه أن يضمن للمالك أن يكون التصميم محتوياً على الصفات المذكورة أعلاه ، ومن بينها وعلى نفس القدر من الأهمية الديمومة حيث أنها مسئوليته كجزء لا يتجزأ من التكامل الانشائي للمبنى وعندما يُصَدِّر المهندس الإنشائي مستندات المشروع من مكتبه لن يتبرع أحد باقتراح إجراءات ديمومة الخرسانة مالم يقم هو بتوضيح متطلباتها في مواصفات المشروع ، وإن لم يكن المهندس الانشائي مؤهلاً للتصميم الخاص بالديمومة فعليه الاستعانة بأخصائي المواد ، وتحتاج جهود التصميم الانشائي إلى هذه الاستعانة حالياً بصورة مكثفة حتى يتم تجهيز الكودات التي تغطي هذا الاحتياج بصورة واضحة مفصلة عن متطلبات الديمومة ، كما أن الاحتياج سيستمر حتى تتم دراسة المواد المحلية وتتجمع الخبرات الوطنية عن طرق ووسائل التصميم الخاصة بالديمومة .

٢ـ٤ تدريب المهندس الإنشائي :

ذكر في البند السابق أن مسئولية ديمومة الخرسانة تقع على عاتق المهندس الانشائي وأنه يجب أن يستعين بأخصائي خواص المواد في الأمور التي تتعلق بالديمومة إن لم يكن مؤهلاً وهذا قد يكفي في المستقبل القريب ولكن من الواجب أن تعمل الجهات المعنية على تأهيل المهندس للاضطلاع بأعبائه في ذلك المضمار . ويمكن تأهيل الطلاب بأقسام الهندسة المدنية في الجامعات في هذا المجال قبل تخرجهم لأعدادهم لهذة المهمة . أما المهندسين الممارسين الذين يحتاجون إلى مثل هذا التدريب فيمكن لهم حضور الدورات والمؤتمرات المتخصصة وقراءة المجلات والنشرات في هذا المجال والتي تنظمها الجامعات واللجنة الهندسية السعودية والغرف التجارية والصناعية والقسم السعودي لمعهد الخرسانة الأمريكي والهيئات المماثلة ، كما يجب على البلديات التأكد من اتخاذ إجراءات الديمومة في الاعتبار عند إعطاء تصاريح البناء للمباني الجديدة التي تشيد في مناطق ذات أجواء هجومية للخرسانة .

٣ ـ التصميم للديمومة :

يتضمن هذا القسم الخطوات التي يجب أن يتبعها المهندس الأنشائي لتحقيق استراتيجية في التصميم لديمومة الخرسانة ، ونظراً للقيود على المساحة المسموح بها لكتابة هذه الورقة سوف نحدد المجال بالتصميم للديمومة من أجل حماية التسليح من الصدأ حيث أنه يمثل أكثر الأسباب شيوعاً في الأضرار المتعلقة بتدهور الخرسانة في المملكة [٦] وخاصة في المنطقة الشرقية ، ويمكن تطبيق نفس المباديء للأسباب الأخرى للتدهور .

٣ـ١ المعلومات الضرورية لمرحلة ما قبل التصميم :

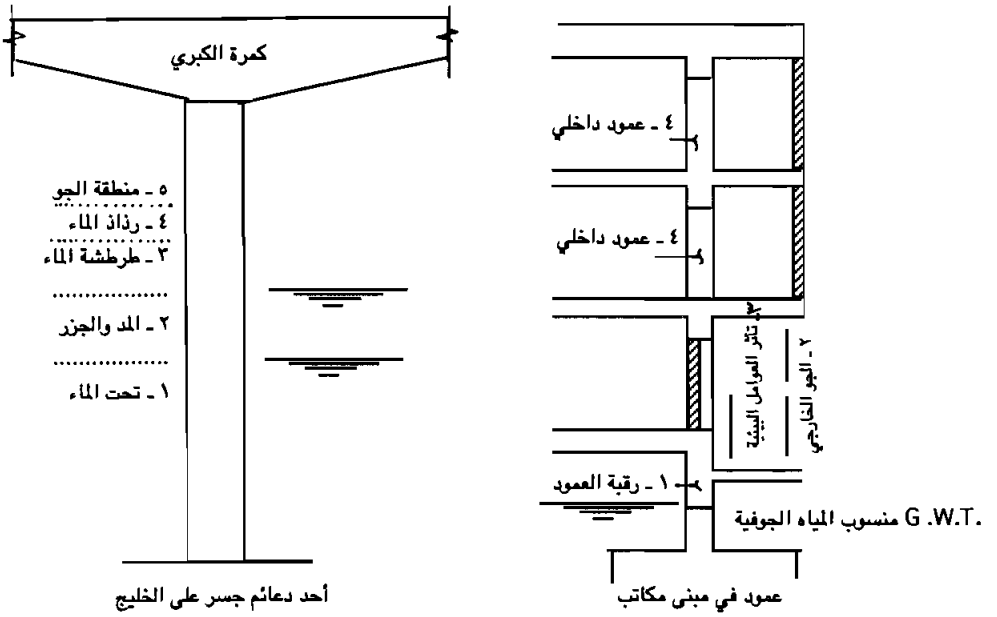
* التعرف على البيئة التي سيقام فيها المنشأ والأسباب الممكنة لحدوث للتدهور .
* دراسة طرق التنفيذ السائدة في المنطقة وإمكانيات المالك المادية لتطبيق التقنيات المتاحة ـ ومهما كانت الظروف يجب تطبيق بعض إجراءات التحكم في الجودة وتأكيد الجودة .
* التحديد التقريبي للعمر المطلوب للمنشأ وعلاقة التصميم للديمومة بالصيانة الدورية والتي يستطيع المالك أن يتحمل تكاليفها .
* تقييم الاقتصاديات المتعلقة بإجراءات الديمومة .
* تحديد استشاري المواد للتعاون معه في أثناء التصميم والتنفيذ .
* اختيار المقاول الكفء الذي يستطيع أن يترجم التصميم الجيد إلى منتج يحتوي على ما تم توصيفه من خواص.

٣ـ٢ البيئة :

أصبح من المعروف الآن أن تعريف البيئة يتم على مستويين : أولهما : البيئة الشاملة MACRO - ENVIRONMENT وهي الخواص التي تتعلق بالمنطقة التي يقام فيها المنشأ ككل ، وثانيهما البيئة المحيطة بالمبنى أو كل عضو من أعضائه الإنشائية مباشرة وهو ما يطلق عليه البيئة المصغرة MICRO - ENVIRONMENT ويوضح الشكل رقم (٢) مثالين :

المثال الأول : عبارة عن عمود في جسر بحري حيث يمكن التعرف على خمسة بيئات مصغرة وهي منطقة تحت الماء ـ المد والجزر ـ الطرطشة ـ الرذاذ ـ والجو .

المثال الثاني : فهو لعمود في أحد المباني حيث له أربع مناطق متميزة (بيئات مصغرة) وجدير بالذكر أن الاختيار المعماري لهذا العمود ليس الحل الأمثل من وجهة نظر ديمومة الخرسانة حيث أن إختياره داخل المبنى بكامل الارتفاع قد يكون أفضل من ناحية الديمومة وخاصة في الأجواء الساحلية .



الشكل (٢) البيئات المصغرة لأمثلة واقعية

٣ـ٢ خواص الخرسانة :

تشتمل القائمة المعطاه أدناه على الخواص المرغوبة في الخرسانة والتي تعطي خرسانة عالية الأداء يمكن الوصول خلالها إلى خاصية التحمل مع مرور الزمن في أجواء شديدة الهجومية :

* منفذية منخفضة عن طريق خفض تركيب الفراغات الهوائية في عجينة الأسمنت واستخدام ركام منخفض المنفذية .
* نسبة منخفضة من الماء / المادة الأسمنتية .
* مقاومة عالية مبكرة مع استمرارية زيادة المقاومة مع الزمن .
* التحكم في الانكماش في الأعمار الصغيرة للخرسانة حتى تكتسب مقاومة شد كافية .
* انخفاض الانكماش اللدن .
* توفير عوامل تساعد على تحسين التشغيل والتحكم في فقدان الهبوط .

ويعتبر التعرف على البيئة وآلية التدهور وانتقال المواد الضارة خلال الخرسانة في كل جزء من المنشأ أو عضو في المنشأ هاماً جداً . ويمكن أن يكون تآكل التسليح في الخرسانة بسبب واحد من الآليات التالية :

١ ـ الكربنة التي يمكن أن تسبب انخفاضاً في قلوية الغطاء الخرساني وذلك في الأجواء الصناعية .

٢ ـ تخلل الكلوريدات والتي تقوم بدور العامل المساعد في التفاعل الكهروكيميائي الذي يتكون منه أكسيدات الحديد « الصدأ » وتحدث في الأجواء الساحلية .

٣ ـ تخلل الأكسوجين و / أو الرطوبة إلى التسليح خلال التشققات .

كما يمكن التعرف على طرق انتقال المواد الضارة خلال الخرسانة كأحد ثلاثة احتمالات وهي الانتشار DIFFUSION ، والمسامية PERMEATION والخاصة الشعرية CAPILLARY ACTION .

٤.٣ اعتبارات التصميم والتنفيذ :

يواجه المهندس الانشائي عادة العديد من الاختيارات لتحقيق الخواص المرغوبة في الخرسانة والتي ذكرت في الفقرة ٣.٣ أعلاه وفي أي حال يجب عليه أن يراعي اتباع التوصيات الخمس التالية :

١ ـ استخدام النوع المناسب والكمية المناسبة من المواد الأسمنتية وكذلك نسبة منخفضة من الماء/الأسمنت أو (الماء / المواد الأسمنتية) .

٢ ـ توفير غطاء كافي من الخرسانة فوق التسليح لمنع الأكسوجين والرطوبة وأي مواد كيميائية أخرى من الوصول إلى قضبان التسليح ويمكن استخدام الأرشادات المعطاه في الكودات العالمية [١إلى ٥] حتى تتوفر الكودات المحلية .

٣ ـ التأكد من الدمك الجيد للخرسانة حتى يتحقق الرباط الجيد بين التسليح والخرسانة ولطرد أي هواء محبوس يزيد من المنفذية وحتى يمكن الاستفادة القصوى من حماية التسليح بالخاصية القلوية للخرسانة.

٤ ـ المعالجة الجيدة للخرسانة والتي تمنع تكون التشققات الشعرية قبل وصول مقاومة الشد إلى قيم تقاوم تكون التشققات .

٥ ـ في حالات التعرض الشديد نوصي بالتفكير في تزويد الخرسانة بأنظمة لتحسين المنفذية وذلك بإضافة المواد المناسبة للخلطة أو برش السطح بالسوائل المانعة لنفاذ الرطوبة والكيماويات الأخرى التي تتعرض لها الخرسانة حسب البيئة .

٥.٣ اختيارات حماية التسليح :

يمكن حماية التسليح بعدة طرق منها تغطية القضبان بالابوكسي أو الزنك . ويمكن اعتبار هذه الحماية خطاً دفاعياً ثانياً ويجب الموازنة بين تكاليف هذه الحماية وتكاليف الصيانة إذا ما تداعت خطوط الدفاع الأولى ألا وهي الحماية التي يوفرها الغطاء الخرساني الذي يتكون من خرسانة عالية القلوية كثيفة ومنخفضة المنفذية .

٦.٣ اختيارات المواد الأسمنتية :

يمكن الاستفادة من استخدام مواد أسمنتية بالإضافة إلى الأسمنت البورتلاندي مثل خبث الأفران طبقاً للمواصفة (ASTM C 989) أو الرماد المتطاير (ASTM C 618) لتحسين خواص الخرسانة المتعلقة بالديمومة كما يمكن استخدام المايكرو سيليكا مشع مواد مضافة لتحسين خواص التشغيل (SUPER ` PLASTICIZERS) و من أهم الاعتبارات في هذا الصدد هو مدى توفر هذه المواد في الأسواق المحلية حيث أنها يمكن أن تتكلف أموالا باهظة لأن الكثير منها يستورد لعدم توفر المواد بالمملكة أو عدم وجود المقدرة على انتاجها ،لذا عند وجود ضرورة لاستخدامها يجب أن يكون ذلك في العناصرالحرجة فقط من المنشأ والتي تكون معرضة أكثر للتدهور مثل الأجزاء السفلى من الأعمدة الخارجية .

٧.٣ الظروف الاقتصادية :

يجب أن يكون المهندس الانشائي على دراية بالظروف البيئية بشقيها: الشامل MACRO والمصغر MICRO ولما كانت الاجراءات الخاصة بالديمومة باهظة التكاليف في بعض الأحيان فيجب اتخاذها في المناطق الحرجة من المنشأ فقط .

ولتوضيح ذلك نعود إلى ذكر مثال العمود بالبند (٢.٣) حيث يمكن عمل إجراءات ديمومة مختلفة في كل منطقة من العمود ، فيمكن تغطية رقبة العمود لحمايتها من التربة بالمواد العازلة مع استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات (في حالة عدم وجود كلوريدات في التربة) وزيادة الغطاء الخرساني فوق التسليح ، بينما يمكن صب الجزء السفلي من العمود في الدور الأرضي بحيث تحتوي خرسانته على مادة لتحسين خواص الخرسانة مثل السليكا فيوم SILICA FUME مع استخدام وقاية سطحية بينما لا تحتاج الأدوار العلوية إلى إجراءات خاصة ويكفي تحديد نسبة الماء/أسمنت في الخلطة وزيادة محتوى الأسمنت مع وجود غطاء خرساني كافي .

ومن الملاحظ في المملكة االعربية السعودية أن الأجزاء السفلى من الأعمدة تعتبر من أكثر المناطق تعرضاً للتدهور نتيجة تأثرها بالعوامل الجوية وعدم جودة صناعتها ودمكها [١٣] ويحدث هذا في بيئات مختلفة في كل أنحاء المملكة .

وجدير بالذكر في هذا المجال أن ملاك المباني يجب أن يتفهموا أن الحرص على الحصول في عقود المباني على أقل سعرليس هو الحل الهندسي السليم حيث يجب أن يقوم المهندس بتوضيح ضرورة تقييم العطاءات بما يتعلق بديمومة الخرسانة والتحكم في الجودة ومراقبتها والتكاليف المتوقعة للصيانة اللازمة لإطالة عمر المنشأ عندما يتعرض لتدهور الخرسانة ، كما يجب على المواطنين الذين يقدمون على شراء مبان قائمة « قديمة » أن يطلبوا تقويماً هندسياً عن حالة المبنى والسنوات المتبقية من العمر الافتراضي .

٣ـ٨ التنفيذ :

تعتمد ديمومة الخرسانة بصورة قوية على التنفيذ ويلعب التحكم في الجودة والتأكد من الجودة دورا هاماً لكي تتحقق في المنشأ الخواص التي صممت لها الخرسانة ، وبدون اتباع طرق الإنشاء المناسبة لا يمكن الوصول إلى الديمومة المطلوبة وبالرجوع إلى خواص الخرسانة بالبند (٣ـ٣) نجد أن جودة التنفيذ هي العامل الرئيس للحصول على معظم الخواص المرغوبة ويجب أن يقوم مهندس التنفيذ باتخاذ الإجراءات اللازمة لتحقيق تلك الخواص ويقوم بأجراء الاختبارات اللازمة التي تؤكد تحقيقها

٤ ـ الخلاصة

يعتبر المهندس الانشائي هو المسئول الأول عن المنشأ فيما يتعلق بتكامل النظام الإنشائي ومقاومة الأحمال والخدمة والديمومة ، وقد بدأ الاهتمام بالديمومة يأخذ صورة قوية في المملكة العربية السعودية وأجزاء كثيرة أخرى من العالم نتيجة للتدهور في خرسانات العديد من المباني وخاصة في منطقة الخليج العربي .

ويحث هذا البحث المهندس الإنشائي أن يتولى المسئولية الكاملة عن ديمومة الخرسانة ويستعين في ذلك بكل الإمكانيات المتاحة له لتصميم المبني لكي يعيش عمراً معيناً وتشمل هذه الامكانيات الاستعانة بأخصائيي وخبراء المواد وكذلك المقاول الذي يعتمد عليه بصورة قوية مدى تحقيق الخواص المطلوبة في التصميم حيث أن تنفيذ الإجراءات المتعلقة بالديمومة تحتاج إلى عناية فائقة لا يمكن الوصول إليها بدون مراقبة الجودة والتحكم فيها . وقد لخصت الورقة العناصر التي يجب أن يكون المهندس الإنشائي على دراية بها للاضطلاع بمسؤليته عن ديمومة الخرسانة .

المراجع

[1] ACI 318M- 89 (Revised 1992) Building Code Requirements for Reinforced Concrete Box 19150 ,Detroit ,U.S.A .

[2] BS 8110-1985 British Standards, Structural Use of Concrete . B.S . Institute , U.K .

[3] DIN 1045-1988 Deutsche Norm structural Use of Concrete , Germany .

[4] Eurocode No . 2 (EC2) : Design of Concrete structures 1989 (also ENV- 206)

[5] AS 3600-1988 , Concrete Structures Code , Standard Association of Australia .

[6] Zein Al-Abideen , Habib M. "Hot Weather and Concrete Practices in Gulf Countries " First Intl .Conf on Reinf .Conc . Materials in Hot Climates .UAE Univ.Alain ,UAE , 1994 .

[7] Swamy , R.N . "Design - The Key to Concrete Material Durability and Structural Integrity " First Intl .Conf on Reinf .Conc . Materials in Hot Climates .UAE Univ.Alain ,UAE , 1994 .

[8] Rostam S.& Schiessl P . , "Service Life Design in Practice - Today and Tomorrow " Concrete Across Borders Intl. Conf., 22-25 June 1994, Odense , Denmark .

[9] ACI -201.2R -92 " Guide to Durable Concrete, " American Concrete Institute , U.S.A .

[10] Mehta P.K. 1986 " Concrete - Structure , Properties , and Materials " , Prentice Hall , U.S.A .

[11] CANMET/ACI 1994 "Durability of Concrete - Third Intl . Conf . Nice , France ACI SP-145 .

[12] Schiessl , P. " Corrosion Initiation , Carbonation of Concrete and Penetration of Chlorides " , *1984 , Institute fur Baforschung , Aachen* , Germany .

[13] Khalifa , Magdi M.A , 1992 " Steel Corrosion in the Bottom Part of Concrete Columns " Building Deterioration in the Arab World ., Ministry of Public Works & Housing , Riyadh Feb . 29- March 02, 1992 Saudi Arabia .