تصميم الخلطات الخرسانية في الأجواء الحارة بأقل الكلفة

اعداد رئيس المهندسين الاقدم (كمال فتاح رضا)
مدير مختبر كرميان الانشائي

الخلاصة : يقدم البحث طريقة مثلى للحصول على نسب الخلطة الخرسانية الملائمة للاجواء الحارة بأقل الكلفة ، ذلك باستعمال البرمجة الخطية و بتحقيق المواصفات المطلوبة للخلطة الخرسانية من تشغيلية و مقاومة و ديمومة . و تتكون منهجية البحث الاساسية من النقاط الرئيسة التالية :-

١- الحصول على المعادلات المطلوبة لتحقيق التشغيلية و المقاومة الديمومة للخرسانة من الأجواء الحارة.
٢- تجسيد هذه المعادلات بصورة قابلة للبرمجة الخطية من خلال برنامج معد مسبقاً و باستعمال الحاسوب .
٣- اضافة كلفة العمالة و المصنعية من خلال ربطها بالتشغيلية و ما يتطلبه الجو الحار من شروط خاصة .
٤- اضافة و تجسيد معادلات اضافة خاصة بالمواد و الظروف المحيطة و تجسيد هذه المعادلات بما يتلائم مع البرمجة الخطية .

عند الحصول على النسب المطلوبة للخلطة الخرسانية ، فإنه يتم عمل خلطات تجريبية يتم على أثرها إعادة ضبط المواد و النسب (حسبما تستدعى الضروف) ومن ثم إعادة ضبط المعادلات و الشروط وإعادة حساب النسب حسبما تقتضية الضرورة .

هذا و تم الرجوع بشكل أساسي الى المواصفات الأمريكية (ACI) عنداعداد المعادلات

١-المقدمة :

يعرف تصميم الخلطات الخرسانية بأنه الوسيلة المثلى للحصول على نسب الخلط المطلوبة بحيث يتم تحقيق الخصائص المطلوبة وبحيث تحقق النسب المختارة شروط الكلفة .ومنذ دخول الخرسانة الى قطاع الأنشاءات قام العديد بمحاولات متعددة للوصول إلى الطريقة المثلى لتصميم الخلطات ومنها طرقية معهد الخرسانة الأمريكي (AC 211.1)والطرق البريطانية وهى أكثرالطرق شيوعاواشعمالاً فى العالم

إن تحقيق الأقتصاد فى الخطات الخرسانية يتحقق بتوفير الشروط الأساسية الثالية :

١- استعمال المواد المحلية المتوفرة وحسب الظروف المناخية .
٢- استعمال مواصفات أقل حدة بالنسبة للمواصفات المحلية الخاصة بالمواد الداخلة فى الخلطة .
٣- استعمال الحد الأنى من العماله مرتفعة الثمن .

إن معظم الطرق المستخدمة لتصميم الخلطات الخرسانية هي طرف تجريبية عملية و يمكن اعتبارها صحيحة و يمكن الاعتماد عليها . و هذه الطرق تؤدي الى اختيار النسب النهائية فى خلطات تجريبية مختبرية لاتاخذ في اعتبارها أسعار المواد أو كلفة العمالة الداخلة في انتاج الخرسانة . و لهذا فإن استعمال الطرف العالمية يحتاج الى تعديلات كثيره قبل حصول على نسب المطلوبه و مثل هذه التعديلات تؤدي حتماً الى الحصول على النسب المطلوبة للخرسانة ولاكنها لاتؤدي بالظرورة الى الحصول على اقل الكلفة الممكنة . ان أحد العوامل التى تتحكم

فى كلفة الخلطات الخرسانية هى كلفة العمالة والتي تعتمد بشكل رئيس على التشغيلة و التي ثم تعريفها على أنها الخاصية التي تسمح بسهولة خلط و نقل و حسب درج و إنهاء الخرسانة .

إن الطريقة الشائعة موقعيا لقياس التشغيلة هي تجربة الهطول (slump test) و رغم ان الطريقة لاتعطي صورة واضحة على تشغيلية الخرسانةالا انة يمكن ربطهابالطرق العالمية الاخرى لقياس التشغيلية ولذلك تم الاعتماد على قيمةمعاير الهطول(slump value) في المعادلات المتبعة في هذا البحث لقد حاول العديد من الباحثين تطوير طرق تصميم الخلطات الخرسانية للحصول على النسب المثلى معتمدا على الحاسوب ومعهد الخرسانة الامريكي وباستخدام برنامج الكومبيوتر(SAS)ورغم ان البرنامج ساعد على الاسراع فى تصميم الخلطات الخرسانية وتوفير الوقت الا انه لم ياخذ في الاعتبار اثمان المواد اوكلفة العمال .

وهناك الطريقة المشهورة باستخدام برنامج (First mix) والمبنية على الطريقة البريطانية(DOE) ،الا انها كسابقها لم تاخذ بالحسبان كلفة المواد والعمالة وهناك طرق اخرى منها طريقة تعتمد على معامل الدمل(compacting factor) ومعامل الزاوية (Angularity Index)للركام وباستخدام برنامج كمبيوتر وتطبيق هذه الطريقة يؤدي الى الحصول على خلطات هشة (Lean Mix)لان تعتمد على كلفة المواد ولم ياخذ كلفة التشغيلية مما قد يعني زيادة الكلفة بدلا من انقاصها اضافة لذلك الكودات والمواصفات لاتعتمد هذه الطريقة .

وايضا هناك طريقة اخرى تعتمد على الحصول على النسب المثلى بالاعتماد على التجارب العملية وهذه الطريقة تنتهي بخلطات ذات درجة دك اقل مايمكن ولكن ليس بالضرورة اقل الكلفة لان لم تاخذ بالاعتبار كلفة المواد الداخلة في الخلطة .

هناك طريقة اخرى تعتمد على النتائج السابقة للحصول على الخلطات الخرسانية باقل الكلفة ،وتم الحصول على النسب المثلى للخلطات الخرسانية العادية في الظروف العادية وتم الاخذ بعين الاعتبار كلفة المواد الداخلة في الخلطات الخرسانية الاضافية الى كلفة الايدي العاملة اللازمة لانتاج الخرسانة ،وقد اعتمدت الطريقة على تحويل كافة الشروط المطلوبة لتصميم الخلطلت الخرسانية الى معادلات خطية يمكن ادراجها ضمن برنامج معد مسبقا للحصول على النسب المثلى اخذا في الاعتباركافة التكاليف المحتملة . وفي هذه الطريقة تم الحصول على النسب المثلى للخلطات الخرسانية اخذا في الاعتبار متطلبات الجو الحار حسب تعريف ومعطيات معهد الخرسانة الامريكى (ACI 30 SR) وبالاعتماد على البرمجة الخطية يؤدي ذلك الى تبسيط المعادلات والى استخدام وسائل معروفة والبرامج المتداولة مثل (Simplex Algorithm) وبرنامج (lindo).

٢-اعداد المعادلات باستخدام طريقة المعهد الامريكي :

ان الدراسة المستفيضة لمعادلات المعهد الامريكي ACI 211.1 بينت انه يمكن الحصول على معادلات خطية لكافةالمتغيرات الداخلة في الخلطات الخرسانية ،كما بينت الدراسة ايضا انه يمكن الاستعانة بالمتطلبات معهد الخرسانة الامريكي (ACI 30 SR) لتعديل المعادلات الخطية التي تم الحصول.

عليها لتتلاءم مع الأجواء الحارة، وفي نفس الوقت تبقى بالصورة الخطية البسيطة، وتوضح الفقرة التالية المعادلات الخطية التي تم الحصول عليها:

٢. ١- التشغيلية (بدون مواد مضافة):

بالرجوع إلى المواصفة الأمريكية ACI 211.1، فقد قامت المواصفة بتقسيم التشغيلية إلى ثلاثة أقسام رئيسة ، قليلة ومتوسطة وعالية ، وتم افتراض هبوط (٣٠) ملم للتشغيلية القليلة ، (٨٠) ملم للمتوسطة، (١٥٠) ملم للعالية لغرض إيجاد المعادلات، تثم الحصول على المعادلات المبينة في جدول (١) للخرسانة في الأجواء العادية.

Max. Size of Aggregates	Equation	R^2	*Eq. No*
10 mm (3/8 inch)	$W_W - 0.294\ S \geq 200$	0.9636	*1-1*
20 mm (3/4 inch)	$W_W - 0.213\ S \geq 185$	0.9663	*1-2*
25 mm (1 inch)	$W_W - 0.188\ S \geq 175$	0.9520	*1-3*
40 mm (1 ½ inch)	$W_W - 0.195\ S \geq 162$	0.9438	*1-4*

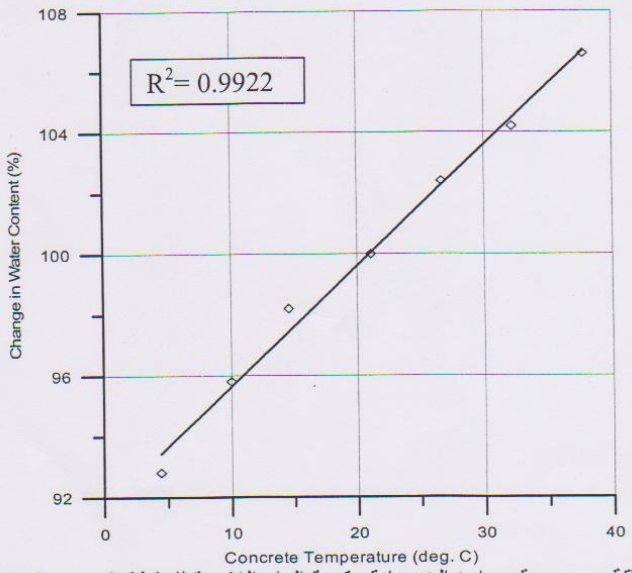
جدول (١) : العلاقة بين كمية الماء اللازمة للخلطة الخرسانية ومعاير الهبوط للخرسانة بدون هواء محبوس (Expressed as Inequalities).

S = Slump in mm (معاير الهبوط)

W_W = Water content, in kg., required for 1 cubic meter of concrete (كمية الماء)

R^2 = Coefficient of determination (معامل إحصائي)

وبالرجوع إلى متطلبات الخرسانة في الجو الحار ، نجد أن كمية الماء التي يجب إضافتها تعتمد على درجة حرارة الخرسانة ويمثل شكل (١) العلاقة بين حرارة الخرسانة وكمية الماء المطلوب.



شكل (١): العلاقة بين درجة حرارة الخرسانة وكمية الماء اللازمة للخلطة الخرسانية (%) للحصول على نفس التشغيلية.

Concrete Temperature (deg. C)

ومن الشكل (١) يمكن الحصول على المعادلة التالية:

$$W_w\ (\%) = 0.4T + 91.68 \qquad \textit{(Equation 2)}$$

وبتعويض المعادلة السابقة في جدول (١) يمكن الحصول على المعادلات المبينة في جدول (٢)، وبذلك يمكن إدخال الماء المطلوب اعتماداً على درجة حرارة الخرسانة والتي تعتمد على حرارة المواد وكمية الثلج المضاف حسب معادلات رقم (٣،١) في مواصفات معهد الخرسانة الأمريكي ACI 305 والموضحة في الملحق في هذا البحث.

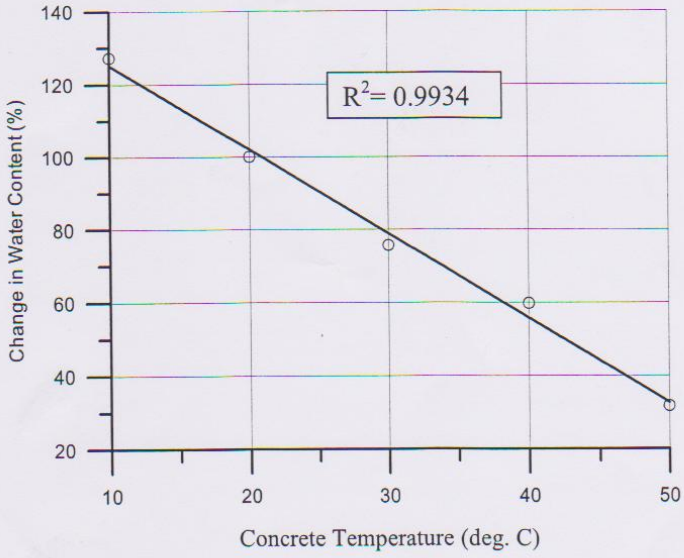
Max. Size of Aggregates	Equation	*Eq. No*
10 mm (3/8 inch)	$W_w - 0.8T - 0.294\ S \geq 183$	*3-1*
20 mm (3/4 inch)	$W_w - 0.8T - 0.213\ S \geq 170$	*3-2*
25 mm (1 inch)	$W_w - 0.8T - 0.188\ S \geq 160$	*3-3*
40 mm (1 ½ inch)	$W_w - 0.8T - 0.195\ S \geq 149$	*3-4*

جدول (٢): العلاقة بين كمية الماء اللازمة للخلطة الخرسانية ومعاير الهبوط ودرجة حرارة الخرسانة بدون هواء محبوس (Expressed as Inequalities).

هذا، ويلاحظ أن معامل الهبوط ينخفض بارتفاع درجة حرارة الخرسانة حسب المعادلة التالية والمأخوذة من شكل رقم (٢).

$$S_R\ (\%) = 148.22 - 2.3104\ T \qquad \textit{(Equation 4)}$$

حيث S_R هي نسبة معامل الهبوط عند درجة حرارة T إلى معامل الهبوط عند الحرارة القياسية (٢٠ °م). وعليه فباستعمال المعادلة السابقة يمكن ضبط الحرارة المطلوبة لتشغيلية محددة.



شكل (٢): العلاقة بين درجة حرارة الخرسانة و معاير الهبوط للخلطة الخرسانية (%).

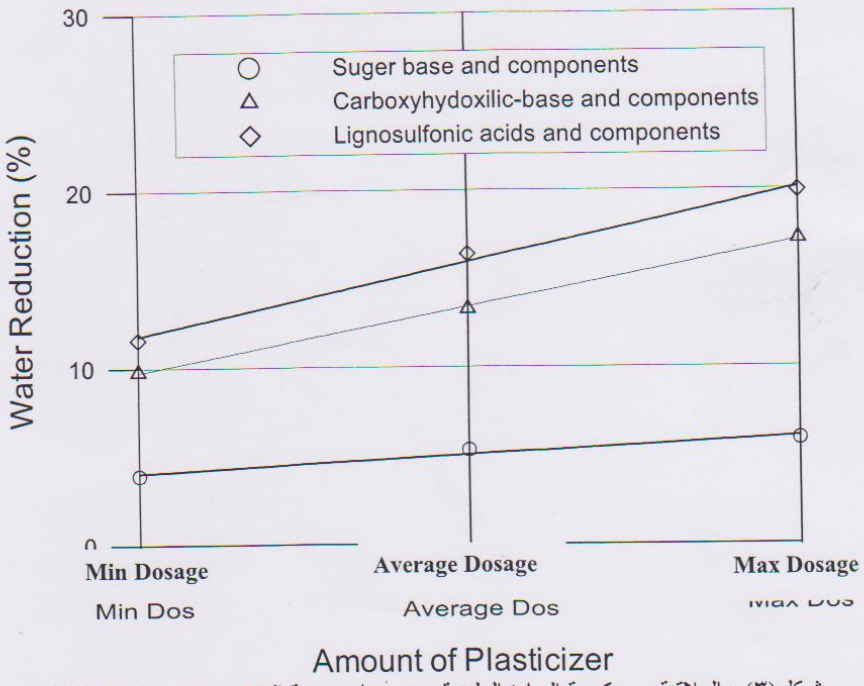
٢. ٢- التشغيلية (باستخدام مواد مضافة):

تم تقسيم المواد المضافة إلى ثلاثة أنواع رئيسة وذلك حسب الأصل الكيميائي لها، على النحو التالي:

١. المركبات الليجنينية Lignin-base materials.
٢. مركبات وأحماض الكاربوكسيهدروكسيدات Carboxy-hydroxylate acids & components.
٣. السكريات Sugers.

ومن الملاحظ في الحياة العملية أن أكثر المواد استعمالاً هي الأولى والثانية ، ويتجنب العديد من المهندسين النوع الثالث لتأثيره الضار على المقاومة ولمحدودية تأثيره على التشغيلية.

وتم ضبط كمية الماء المطلوبة لتصميم الخلطات الخرسانية باستخدام المواد السابقة، وباستخدام الجرعات الموصوفة في كتالوجات الصانع، وذلك باستخدام الحد الأقصى والأقل ثم المتوسط للجرعة المطلوبة ويوضح شكل (٣) النتائج العملية.



شكل(٣) : العلاقة بين كمية المادة الملدنة و نوعها و نسبة التخفيض في ماء الخلطة للحصول على نفس التشغيلية.

ونلاحظ أن كمية الماء يمكن ضبطها للحفاظ على التشغيلية المطلوبة حسب درجة حرارة الخرسانة.

٣- المقاومة:

بالرجوع إلى جداول معهد الخرسانة الأمريكي لوحظ أن هناك علاقة خطية بين نسبة الإسمنت إلى الماء (وليس الماء إلى الإسمنت) ومقاومة الخرسانة وتم الحصول على المعادلة التالية:

Type of Concrete	Equation	R^2	*Eq. No.*
Non air-entrained	$f_c' = -12.167 + 22.212\ (W_c / W_w)$	0.9930	*5-1*
Air-entrained	$f_c' = -9.491 + 17.589\ (W_c / W_w)$	0.9944	*5-2*

جدول (٣) : العلاقة بين نسبة الإسمنت إلى الماء ومقاومة الخرسانة

where: W_c = Cement content, in kg., required for 1 cubic meter of concrete.
f_c' = 28-day Concrete compressive strength in MPa, based on testing cylinders according to ASTM.

وبإعادة ترتيب المعادلة، يمكن الحصول على المعادلة التالية:

Type of Concrete	Equation	R^2	Eq. No.
Non air-entrained	$22.212\ W_c - W_w\ (f_c' + 12.167) \geq 0$	0.9923	3b-1
Air-entrained	$17.589\ W_c - W_w\ (f_c' + 9.491) \geq 0$	0.9944	3b-2

٢. ٤- الديمومة:

يمكن ضبط ديمومة الخرسانة حسب المواصفة الأمريكية بضبط نسبة الماء إلى الإسمنت حسب الجدول الموضح في المواصفة، ويمكن وضع ذلك رياضياً على النحو التالي:-

$$W_w - (\max w/c)\ W_c \leq 0 \qquad \textit{(Equation 6)}$$

where, max w/c = maximum water to cement ratio required for durability.
(max w/c هي أقصى قيمة لنسبة الماء إلى الإسمنت المطلوبة للديمومة)
وفي كثير من الأحيان فإنه يلزم أيضاً ضبط الحد الأدنى لكمية الإسمنت الداخلة في الخلطة الخرسانية وذلك لأغراض الديمومة، وفي كثير من الأحيان يلزم أيضاً ضبط الحد الأقصى لكمية الإسمنت الداخلة في الخلطة الخرسانية وذلك تقليلاً لتأثيرات الحرارة والانكماش في الخرسانة (٢٢،١٩). ويمكن وضع ذلك بصورة رياضية على النحو التالي:

$$W_c \geq W_{c\ min} \qquad \textit{(Equation 7a)}$$

$$W_c \leq W_{c\ max} \qquad \textit{(Equation 7b)}$$

where,
$W_{c\ min}$ = specified minimum cement content (أدنى وزن مسموح به للإسمنت حسب المواصفات)
$W_{c\ max}$ = specified maximum cement content (أقصى وزن مسموح به للإسمنت حسب المواصفات)

وفي حال عدم وجود حد معين للإسمنت المطلوب للخلطة الخرسانية، فإنه يمكن افتراض أن أعلى حد للإسمنت (W_C max) هو ٦٠٠ كغم، وأدنى حد (W_C min) هو ٢٥٠ كغم لغرض ضبط المعادلات والوصول للحل المطلوب.

٢. ٥- حجم الركام المطلوب للخلطة الخرسانية:

بالاعتماد على جداول المواصفة الأمريكية، يمكن الحصول على المعادلات الموضحة في جدول رقم (٤) حيث نلاحظ أن العلاقة بين حجم الركام الخشن ومعايير النعومة للرمل هي علاقة خطية تماماً.

Max. Size of Aggregates	Equation	R^2	*Eq. No.*
10 mm (3/8 inch)	$V_{ca} = 0.74 - 0.1\ F_m$	1.0	*8-1*
20 mm (3/4 inch)	$V_{ca} = 0.90 - 0.1\ F_m$	1.0	*8-2*
25 mm (1 inch)	$V_{ca} = 0.95 - 0.1\ F_m$	1.0	*8-3*
40 mm (1 ½ inch)	$V_{ca} = 0.99 - 0.1\ F_m$	1.0	*8-4*

جدول (٤): العلاقة بين الحجم الاعتباري الأكبر للركام وكمية الركام ومعايير نعومة الرمل.

Where; V_{ca} = volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete.
(حجم الركام المدكوك لكل م^3 خرسانة)

F_m = fineness modulus of sand (معايير نعومة الرمل)

وحيث أن وزن الركام يمكن الحصول عليه بسهولة وذلك بضرب حجم الركام في وزن وحدة الحجوم، نلاحظ أن المعادلات السابقة تبقى خطية عند إدخال وزن وحدة الحجوم.
إن تصميم الخلطات الخرسانية يتطلب أن يحقق وزن الركام المبدأين الأساسيين التاليين (٤،١٣،١٤،١٩،٢٢،٢٣):

١- إن استعمال كميات كبيرة من الركام الخشن يؤدي إلى خلطات خرسانية اقتصادية ولكنها تنتهي بخلطات هشة (Harsh Mixes) غير قابلة للصب والدمك بالشكل السليم.

٢- إن استعمال كميات قليلة من الركام الخشن يؤدي إلى خلطات خرسانية لاصقة (Sticky Mixes).

وبناءً على ما سبق فإنه يلزم ضبط كمية الركام عملياً للحصول على الحد الأمثل، وقد وجد عملياً أن كمية الركام المطلوبة تكون بالعادة ± ١٠% من تلك الموصوفة في جداول معهد الخرسانة الأمريكي، وبناءً على ذلك وباستخدام وزن وحدة الحجوم المدكوكة للركام ، فإنه يمكن إعادة صياغة المعادلات المذكورة في جدول (٤) بحيث تصبح على الشكل الموضح في جدول (٥).

Max. Size of Aggregates	Equations	*Eq. No.*
10 mm (3/8 inch)	$W_{ca} \geq G_{ruw}\{0.666 - 0.09\ F_m\}$ $W_{ca} \leq G_{ruw}\{0.814 - 0.11\ F_m\}$	*9a-1* *9b-1*
20 mm (3/4 inch)	$W_{ca} \geq G_{ruw}\{0.810 - 0.09\ F_m\}$ $W_{ca} \leq G_{ruw}\{0.990 - 0.11\ F_m\}$	*9a-2* *9b-2*
25 mm (1 inch)	$W_{ca} \geq G_{ruw}\{0.855 - 0.09\ F_m\}$ $W_{ca} \leq G_{ruw}\{1.045 - 0.11\ F_m\}$	*9a-3* *9b-3*
40 mm (1 ½ inch)	$W_{ca} \geq G_{ruw}\{0.891 - 0.09\ F_m\}$ $W_{ca} \leq G_{ruw}\{1.089 - 0.11\ F_m\}$	*9a-4* *9b-4*

جدول (٥): العلاقة بين وزن الركام المدكوك حسب الحجم الاعتباري الأكبر للركام ومعايير نعومة الرمل.

where;
W_{ca} = weight of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete.

(وزن الركام المدكوك لكل م^3 خرسانة).

G_{ruw} = dry-rodded unit weight of coarse aggregates.

(وزن وحدة الحجوم المدكوكة للركام).

٢. ٦- تطبيق معادلة الحجم المطلق:

يمكن الحصول على الكميات المطلوبة للخلطة الخرسانية باستخدام معادلة الحجم المطلق على النحو التالي:-

i. بدون مواد مضافة:

$$\frac{W_w}{U_w}+\frac{W_c}{U_c}+\frac{W_{ca}}{U_{ca}}+\frac{W_{fa}}{U_{fa}}=1-A \qquad \text{(Equation 10a)}$$

ب باستخدام مواد مضافة:

$$\frac{W_w}{U_w}+\frac{W_c}{U_c}+\frac{W_{ca}}{U_{ca}}+\frac{W_{fa}}{U_{fa}}+\frac{W_{ad}}{U_{ad}}=1-A \qquad \text{(Equation 10b)}$$

where: W_w, W_c, , W_{ad} , W_{ca} , and W_{fa} = weight of water, cement, admixture, coarse aggregates and fine aggregates having unit weights of U_w, U_c, , U_{ad} , U_{ca} and U_{fa} respectively. Note that U = Specific Gravity of the material multiplied by unit weight of water. A is the air content in concrete.

٢. ٧- معادلة الكلفة :

يمكن كتابة معادلة الكلفة على الشكل التالي :

i. بدون استخدام مواد مضافة :

$$\mathbf{COST = C_w W_w + C_c W_c + C_{ca} W_{ca} + C_{fa} W_{fa} + WOR} \qquad \textit{(Equation 11a)}$$

ب. باستخدام مواد مضافة:

$$\mathbf{COST = C_w W_w + C_c W_c + C_{ca} W_{ca} + C_{fa} W_{fa} + nC_{ad} W_{ad} + WOR} \qquad \textit{(Equation 11b)}$$

where,

COST = total cost of one cubic meter of concrete in $ (الكلفة الإجمالية)

C_w, C_c, C_{ad} , C_{ca} and C_{fa} = unit cost of water, cement, admixture, coarse aggregates and fine aggregates respectively, expressed as $ per kg.

(كلفة الكغم من الماء والإسمنت والمادة المضافة والرمل والركام الخشن)

WOR = total cost of workmanship, which includes mixing, casting, compacting and finishing concrete (كلفة العمالة)

حيث n هي نسبة المواد المضافة بالنسبة إلى وزن الإسمنت ، وحسب القيمة المحددة في كتالوج الصانع وحسبما يختاره المهندس من شكل(٣). وحيث أن n تكون نسبة محددة حسب المادة المضافة ويمكن للمهندس اختيار الحد الأدنى أو الأقصى أو المتوسط وتجربة ثلاثة احتمالات ، وبذلك تبقى المعادلة العامة السابقة للكلفة معادلة خطية.

وحيث أن تكلفة إنتاج الخرسانة تعتمد بشكل رئيس على التشغيلية، فإنه يمكن ربط تكلفة العمالة اللازمة لإنتاج الخرسانة بالتشغيلية كما هو واضح في جدول (٦) والمبني على الأسعار في السوق المحلية (٢٧).

Degree of Workability	Relative Cost (%)
Low (S = 30 – 50 mm)	115
Medium (S = 80 –100 mm)	100
High (S = 150 – 180 mm)	90

جدول (٦) : الكلفة النسبية للعمالة حسب درجة التشغيلية

٢. ٨ـ خلط الركام:

عندما يكون هناك شروط محددة لتدرج الركام ، فإنه يمكن اختيار نسب خلط الأنواع المختلفة من الركام للحصول على أقل التكلفة حسبما يلي:-

١- يمكن صياغة معادلة كلفة الركام الكلية حسب المعادلة:

Set the cost equation in the form of:

$$\mathbf{Acost = C_1 W_{a1} + C_2 W_{a2} + C_3 W_{a3} + ... + C_n W_{an}} \qquad (Equation\ 12)$$

This relationship can be expressed in a relative form as:

$$\mathbf{Acost' = C_1 p_1 + C_2 p_2 + C_3 p_3 + ... + C_n p_n} \qquad (Equation\ 13)$$

Where;

Acost = total cost of aggregates (الكلفة الإجمالية للركام)

C_1, C_2, C_3 and C_n = unit cost of aggregates having weights of W_{a1}, W_{a2}, W_{a3} and W_{an} respectively (كلفة وحدة الأوزان من الأنواع المختلفة من الركام)

Acost' = total relative cost of aggregates (الكلفة النسبية للركام)

p_1, p_2, p_3 and p_n = ratio of each type of aggregates (الكلفة النسبية للأنواع المختلفة من الركام)

وهذه المعادلة يمكن صياغتها على النحو التالي :

وجميع الشروط الحدية (المدى المطلوب للتدرج) يمكن صياغتها بمعادلات خطية على النحو التالي :

$$\mathbf{L_{max} \geq p_i r_i \geq L_{min}} \qquad (Equation\ 14)$$

where,

L_{max}, and L_{min} = maximum and minimum limits of the recommended grading.

r_i = ratio of the percentage passing of each sieve as obtained from sieve analysis tests (حدود التدرج)

٣. تطبيق الطريقة

يتم تطبيق الطريقة السابقة كما يلي:

١. إجراء الاختبارات المطلوبة للمواد المختلفة و تحديد خصائصها.
٢. إعداد المعادلات ١-١١ ووضعها بشكل يتناسب مع البرمجة الخطية.
٣. استعمال برنامج معد مسبقا لحل المعادلات بالحاسوب ومن ثم الحصول على الكميات المطلوبة.
٤. إعداد المعادلات ١٢-١٤(في خطوة اختيارية إضافية) ووضعها بشكل يتناسب مع البرمجة الخطية ثم حلها بالحاسوب باستعمال البرنامج المعد مسبقا.

وتم تطبيق الطريقة بتصميم خلطة خرسانية باستعمال المعادلات السابقة وباستعمال برنامج (Lindo) ومن ثم الحصول على النتائج المطلوبة.

٤. الخلطات التجريبية:

بعد الحصول على النتائج الموضحة في الجدول السابق ، يمكن الحصول على خلطات تجريبية وضبط المواد ثم إعادة تطبيق الطريقة حسب كمية المياه اللازمة للتشغيلية، وبذلك يمكن الحصول على الخلطات ذات الكلفة الأقل .

٥. النتائج والتوصيات

من الدراسة السابقة يمكن الحصول على النتائج التالية :

١- من الممكن الحصول على معادلات خطية لكافة المتغيرات الداخلة في تصميم الخلطات الخرسانية بالطريقة الأمريكية ، مما يسهل إدخالها في برنامج يستخدم البرمجة الخطية للحصول على الكلفة الأقل للخلطة.

٢- يلعب دور العمالة وإنتاج الخرسانة عاملاً مهماً في اختيار المواد للحصول على أقل التكلفة.

٣- يمكن أن يتم استخدام الطريقة باستخدام مواد مضافة أخرى مثل البوزولان وإضافة المعادلات اللازمة لمثل تلك المواد.

٤- يمكن أن يتم تطبيق المنهجية السابقة عند استخدام طرق غير الأمريكية لتصميم الخلطات الخرسانية مع مراعاة تغيير المعادلات بما يتناسب مع الطريقة التي يتم اختيارها.

٥- يجب أن يتم عمل خلطات تجريبية لغرض التأكد من الوصول إلى القيم المطلوبة للتصميم .

٦- يؤدي تطبيق الطريقة في كثير من الأحيان إلى الحصول على أقل التكلفة في خلطات بها كمية الإسمنت أعلى من الحد الأدنى وذلك بسبب دخول عامل كلفة المصنعية، و الذي بدوره يقل كلما زادت التشغيلية.

المراجع :

(1). Abassi A.F., Ahmad M. and Wasim M., "*Optimization of Concrete Mix Proportioning Using Reduced Factorial Experimental Technique*", ACI Materials Journal, January - February, pp 55-63, (1987).

(2). ACI Committee, "*Proportioning Concrete Mixes*", ACI SP-46, American Concrete Institute, 223pp, (1975)

(3). Abrams D.A., "*Design of Concrete Mixtures*", Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, Bulletin No. 1, (1918).

(4). ACI 211.1 - 91, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, ACI, USA, (1995).

(5). El-Rayyes M., "*A simple Method for the Design of Concrete Mixes in the Arabian Gulf*", J. of the Univ. of Kuwait (Science), pp 197-208, (1982).

(6). Hughes B.P., "*The Economic Utilization of Concrete Materials*", Proceedings of the Symposium on Advances in Concrete, Concrete Society, London, (1971).

(7). Hughes B.P., "*The Rational Design of High Quality Concrete Mixes*", Concrete, 2, pp 212-222, (1968).

(8). Komar A., "*Building Materials and Components*" Mir Publishers, Moscow, (1974).

(9). Krishnamurti G.R., "*A New Economic Method of Concrete Mix Design",* Cement and Concrete, Vol. 13, No. 2, July- September, pp 160-171, (1972).

(10). Krishna Raju N., "*Design of Concrete Mixes*", CBS Publishers and Distributors, Delhi, 224 pp., (1993).

(11). Road Research Laboratory, "*Design of Concrete Mixes*", Road Note No. 4, London, H.M.S.O., 16 pp, (1950).

(12). Shacklock B.W., "*Concrete Constituents and Mix Proportions*", Cement and Concrete Association, London, 102 pp., (1974).

(13). Teychenne D.C., Franklin R.E., and Erntroy H., "*Design of Normal Concrete Mixes*", Department of Environment, London, H.M.S.O., 31 pp., (1975).

(14). Teychenne D.C., Nicholls J.C., Franklin R.E. and Hobbs D.W., "*Design of Normal Concrete Mixes*" Building Research Establishment, Department of Environment, H.M.S.O., London, (1988).

(15). Qasrawi H., and Committee, "*General Specifications for Building and Engineering Works*", State of Kuwait, 1st. Edition, in Arabic, (1990).

(16). Specification Committee, Ministry of Public Works and Housing, Jordan "*General Specifications for Buildings: Volume 1: Civil and Archetictural Works*" Ministry of Public Works and Housing, Jordan, 1st. Edition, in Arabic, (1985).

(17). Specification Committee, Ministry of Public Works and Housing, Saudi Arabia, "*General Specifications for Building Execution*", Saudi Arabia, 1st. Edition, in Arabic, (1982).

(18). Murdock L.J. and Brook K.M., "*Concrete Materials and Practice*", Edward Arnold, London, pp 90-115, (1979)

(19). Neville A.M., "*Properties of Concrete*", Pitman Publishing Company, London, 3rd. Edition, (1981).

(20). Yeh I-Cheng, "*Design of High-Performance Concrete Mixture Using Neural Networks and Nonlinear Programming*", Journal of Computing in Civil Engineering, January, pp 36 – 42, (1999).

(21). Dewar J.D., "*Relations Between Various Workability Control Tests for Ready Mixed Concrete*", Cement and Conrete Research Association, Technical Report TRA/375, London, (1964).

(22). Neville A.M. and Brooks J.J.,"*Concrete Technology*", Longman, UK, (1993).

(23). Kong F. and Evans R., "*Reinforced and Prestressed Concrete*", second edition, VNR, UK, (1983).
(24). Jerath S. and Kabbani I., "*Computer-Aided Concrete Mix Proportioning*", ACI Journal, Vol. 40, No. 4, pp 312 – 317, (1983).
(25). Shilstone J., "*Concrete Mixture Optimization*", in ACI Seminars on Durable Concrete, ACI SBM-4, pp 61 – 67, (1994).
(26). Qasrawi H., "Mix Design by the Workability Cohesion Dispersion Method", to be published.
(27). Murad R., El-Ettifaq Contracting Company - Jordan, Direct contact.
(28). Qasrawi H., Design of Concrete Mixes for Minimum Cost, Proceedings of the Arab Building Materials and Economic Challenge, Cairo, pp 723-737, (2000).
(29). ACI 305R-91, Hot Water Concreting, ACI Manual of Concrete Practice, pp 20, (2000).

الملحق:

معادلات معهد الخرسانة الأمريكي:

١. بدون ثلج (معادلة ١):

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0.22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

٢. باستعمال الثلج(معادلة ٣):

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa} - 79.6 W_i}{0.22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa} + W_i}$$