٢- القابلية للتشغيل Workability

تعريف :

القابلية للتشغيل هي خاصية الخرسانة الطرية التى تبين السهولة التى يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للإنفصال الحبيبى.

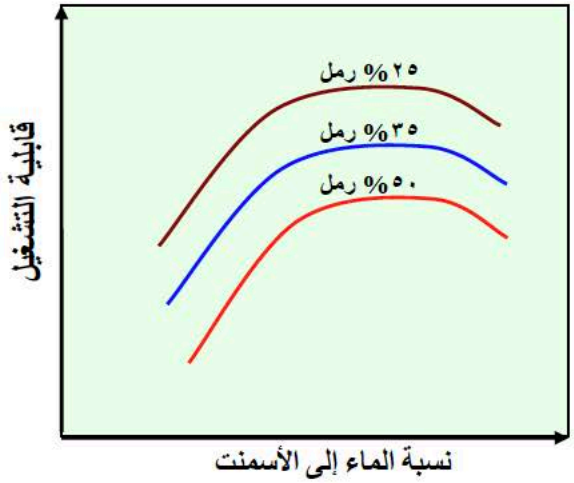
العوامل التى تؤثر على القابلية للتشغيل للخرسانة:

١- الركام:

- ❐ **مقاس الركام: زيادة نسبة الرمل او الركام الناعم تزيد من الإحتكاك وبالتالى تزيد صلابة الخلطة كما في الشكل (١٠) .**
- ❐ **شكل حبيبات الركام: الحبيبات المدورة أكثر قابلية للتشغيل بينما الحبيبات الزاوية والمفلطحة والغير منتظمة صعبة التشغيل.**
- ❐ **حالة السطح: تقل درجة التشغيل بسبب خشونة السطح مثل حالة الأحجار المكسرة.**
- ❐ **المسامية : تقلل زيادة المسامية من حركة الحبيبات وتزيد من الإحتكاك الداخلي بينها وتقل قابلية التشغيل .**
- ❐ **المقاس الإعتبارى الأكبر : إزدياد حجم الحبيبات يقلل من القابلية للتشغيل وممكن ذلك يكون معتمداً على كيفية صب الخرسانة وطبيعة المنشأ. (أفضل مقاس للخرسانات المسلحة هو ١٥ إلى ٣٠ ملم و فى حالة خرسانة الطرق ٥٠ الى ٧٠ ملم).**

٢- الأسمنت:

- ❐ **نوعه: حيث تؤثر طرق صناعة الأسمنت على التشغيلية نتيجة تغيرنسب المركبات وتفاعلها مع الماء فى كل نوع.**
- ❐ **نعومته: زيادة نعومة الأسمنت يزيد من درجة تشغيل الخرسانة ولكن تكاليف طحن وتنعيم الأسمنت مكلفة جداً بحيث لا توازى المكسب فى زيادة درجة التشغيل.**
- ❐ **خواص العجينة: نسبة الركام إلى الأسمنت حيث تؤثر هذه النسبة على القابلية للتشغيل بدرجات متفاوته تعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل المساحة السطحية ونصف قطر الركام والحجم.**



شكل (١٠) تأثير نسبة الركام الصغير فى الركام الشامل على القابلية للتشغيل.

٣- الماء:

فى الخلطات الفقيرة بالأسمنت فإن زيادة الماء لا يؤثر تأثيراً كبيراً على القابلية للتشغيل أما فى الخلطات الغنية فإن زيادة الماء لها تأثير كبيرا وحساس على القابلية للتشغيل.

٤- نسبة الماء/ الأسمنت:

صغر نسبة W\C تعطى خرسانة جافة وزيادة هذه النسبة لدرجة معينة ينتج عنها خرسانة لها درجة تشغيل أفضل ولكن الزيادة الكبيرة فى نسبة الماء ينتج عنها خرسانة ذات تشغيلية رديئة نظراً لسيولتها كما في الشكل (١١).

٥- الإضافات:

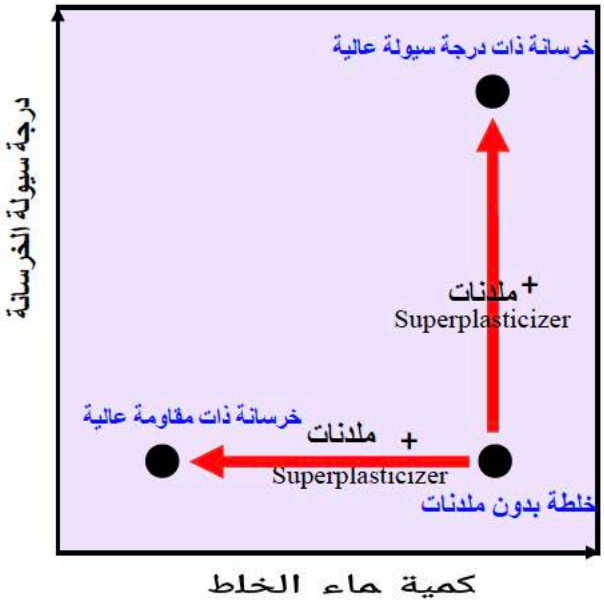
تعمل الإضافات على تحسين درجة التشغيل للخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات هي:

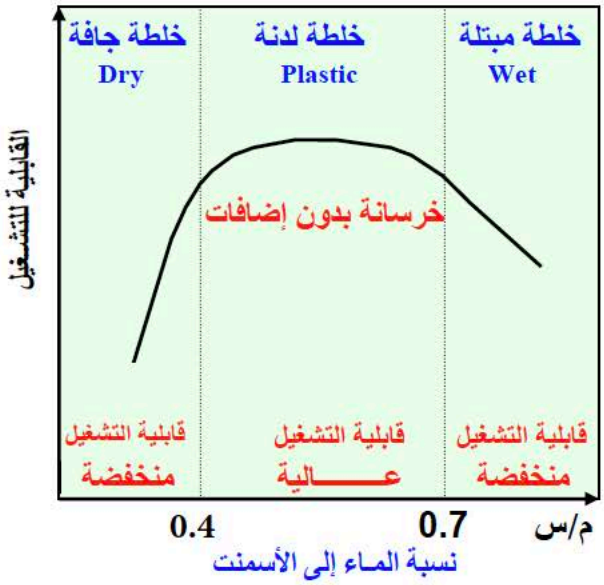
الملدنات Superplasticizers وهي مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسب ١ : ٣% من وزن الأسمنت.

- مواد مسحوقة ناعما وتعمل على تحسين الخلطة مثل بودرة الحجر الجيرى.
- مواد جيلاتينية تضاف إلى الخلطة.

٦- الهواء المحبوس:

يعمل الهواء المحبوس فى الخرسانة على تحسين القابلية للتشغيل وذلك إذا كانت نسبته تتراوح من ٣% إلى ٧%.





شكل (١١) تأثير الإضافات ونسبة الماء فى الخلطة على القابلية للتشغيل.

❐ طرق تعيين القابلية للتشغيل:

توجد عدة طرق لتعيين قابلية الخرسانة للتشغيل ومن اهم هذه الطرق:

اختبار عامل الدمك Compacting Factor Test

طريقة فى بى *Vebe (VB) Test

أولاً: إختبار عامل الدمك Compacting Factor Test

يجرى هذا الإختبار لتحديد درجه قابلية تشغيل الخرسانة الطريه وهذا الإختبار مبني على أساس أن الجهد اللازم لدمك الخرسانة يعبر عن مدى القابلية للتشغيل. ويبين الشكل الموضح الجهاز المستخدم فى هذا الإختبار.

طريقه اجراء الاختبار:

- توضع الخلطة الخرسانية فى المخروط العلوى بواسطة المجرفة ويسوى سطحها مع حافة المخروط.
- يفتح الباب الموجود فىأسفل المخروط العلوى بحيث يسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها فقط إلى المخروط السفلى.
- تكرر نفس الخطوات بالنسبة للمخروط السفلى فتمر الخرسانة إلى الإسطوانة.
- بعد الإنتهاءمن ملء الإسطوانة يسوى سطحها وتنظف جوانبها وحوافها الخارجيه ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكه جزئياً = و.
- يعاد ملء الإسطوانة من نفس الخلطة الخرسانية على طبقات على أن ترص كل طبقة يدويا أوميكانيكياً حتى تملأ تماما بالخرسانة ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكه آلياً = ك.

$$\text{عامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكة جزئيا (نتيجة هبوطها)}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً (نتيجة دمكها)}} = \frac{\text{و}}{\text{ك}}$$

وبمعرفة عامل الدمك يمكن تحدي درجة القابلية للتشغيل كما فى جدول (٤). ويعتبر إختبار عامل الدمك إختباراً معمليا وغيرمناسب لموقع العمل إلا فى المنشآت الكبيرة. وتستخدم هذه الطريقة لقياس قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية بإستثناء الخلطات منخفضة القابلية للتشغيل والخلطات الخشنة لتعذر الحصول على نتائج دقيقة لهذه الخلطات.

شكل (١٢) جهاز عامل الدمك.

جدول (٤) القابلية للتشغيل معبراً عنها بعامل الدمك.

درجة التشغيلية	عامل الدمل	الهبوط (سم)	الإستعمال المناسب للخرسانة.
منخفضة جدا	٠,٧٨ صفر	٢,٥	الطرق المستخدم فيها الهز بالماكنات العادية أو اليدوية
منخفضة	٠,٨٥	٢,٥_٥	الطرق المستخد فيها الهز بالماكنات اليدوية أو الهز اليدوى إذا كان الركام مستديرا أو زاويا. الخرسانة الكتلية فى الأساسات بدون اهتزازات أو الخرسانة المسلحة التى بها تسليح خفيف بواسطة الدمك
متوسطة	٠,٩٢	٥_١٠	بالهز الأسقف المدموكة باليد أو الخرسانة المسلحة ذات التسليح الثقيل والمدموكة باليد أو بالهزازات.
عالية	٠,٩٥	١٠_١٧,٥	للصبات ذات التسليح الكثيف جداً غير المناسب للهز.

ثانياً : طريقة فى بى Vebe (VB) Test

وهذا الاختبار تعديل لاختبار إعادة التشكيل بحيث أُلغيت الإسطوانة الداخليه به وتم الدمك بالهز بدلًا من الرج والشكل (١٤) يوضح رسماً لهذا الجهاز. ويفترض أن إعادة التشكل قد إكملت عندما يغطى اللوح الزجاجي الخرسانة تماما وعندما تتلاشى كل الفراغات فى الخرسانة ويحدد هذا بالنظر الذى يعتبر أحد عيوب إجراء الإختبار. ويتم الدمك بواسطة منضدة إهتزاز بها حمل غير متمركز ويدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة فى الدقيقة وبتعجيل قدره ٣ج إلى ٤ج حيث ج هو تعجيل الجاذبية الأرضية. وبفرض أن كمية الطاقة اللازمة لتمام الدمك تمثل الدرجة التشغيلية للخليط معبراً عنها بالزمن اللازم بالثانية لإعادة التشكل الكامل. وفىبعض الأحيان يعمل تصحيح قدره V2/ V1حيثV2 هو حجم الخرسانة بعد الإهتزاز وV1 هو حجمها قبل الإهتزاز. وهذا الجهاز أميز من جهاز عامل الدمك حيث قد تلتصق بعض الخرسانة الجافة فى القوالب الفحص وهو مناسب جداً فى حالة إختبار الخرسانة الجافة أو الخرسانة التى بها ألياف. و قد يستخدم أيضاً للتعبير عن القوام.

شكل (١٤) جهاز فى بى.

٣- الانفصال الحبيبي Segregation

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات أي خليط غير متجانس (مثل الخرسانة) بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم. ويوجد نوعان من الإنفصال الحبيبى للخرسانة:

١- إنفصال الحبيبات الكبير من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسباً . وذلك يكون فى الخلطات الجافة جدا وخاصه الفقيرة فى الأسمنت.

٢- إنفصال الأسمنت يحدث ذلك فى الخلطات المبتلة جداً.

❐ أسباب حدوث الانفصال الحبيبى:

١- الخلط: عند زيادة زمن الخلط عن الزمن اللازم والمناسب فقد يحدث إنفصال نتيجة قوة الطرد المركزية حوض الخلاط والذى ينتج عنه أن الركام الصغير يلتسق بالجدار والكبير يهبط الى أسفل. ولتلافى ذلك يجب عدم زيادة زمن الخلط عن الزمن المحدد لذلك. كذلك يجب عند تفريغ الخلاط أن لا تزيد مسافة التفريغ عن ١,٠ متر.

٢- النقل :عند نقل الخرسانة إلى موضع الصب يمكن حدوث إنفصال نتيجة الرج و التأرجح لعربات النقل وخاصه فى الخلطات المبتلة.

٣- الصب :يجب مراعاة عدم الصب من إرتفاعات عالية.

٤- الدمك :الدمك الزائد قد يسبب إنفصالًا حبيبياً.

❐ لتجنب الانفصال الحبيبي :

١- ينبغي العنايه بتصميم الخلطة الخرسانية وضبط مكوناتها عن طريق زياده المواد الناعمة مثل الأسمنت والركام الصغير وكذلك تقليل نسبة م/س مما يؤدي إلى تماسك اكبر للخلطة الخرسانية.

٢- استخدام إضافات تقليل ماءالخلط Superplasticizers.

٣- مراعاة عمليات الصناعة من خلط و نقل و صب.

٤- استخدام إضافات تحسين اللزوجه Viscosity Enhancing Admixtures.

٤- النضح Bleeding

النضح هو تكون طبقة من الماء على سطح الخرسانة المصبوبة حديثا بعد دمكها و تسويتها.

❐ أسباب حدوث النضح :

كثرالدمكاو الرص الذى يؤدي إلى هبوط المكونات الثقيلة (الركام) إلى أسفل وصعود العجينة الأسمنتية إلى أعلا وكذالك زياده ماء الخلط. وأضرار النضح تتلخص فى الآتى:

1- إحتواء الطبقة العليا على نسبة عاليةمن الماء مما يسبب وجود فراغات فى تلك الطبقة نتيجة تبخر الماء وبالتالى ضعف مقاومه الخرسانة.

2- عند صعود الماء إلى أعلا قد يحمل معه جزيئات ناعمة من الأسمنت تكون طبقة هشه على السطح بعد تبخر الماء وجفافه ولذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الإستمرار فى الصب.

3- تراكم طبقة رقيقة من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدي إلى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة و حديد التسليح.

❐ لمعالجه ظاهرة النضح :

يجب إستعمال كميه ماء خلط مناسبة وعدم إستعمال خلطات رطبه جداً أو بها نسبة قليلة من المواد الناعمة مثل الأسمنت والرمل. كما إن إستخدام نسبة من الملدنات فى الخلطة يؤدي إلى تحسين خواص الخرسانة ويعمل على تقليل ماء الخلط وتلاشي ظاهرة النضح.

****