

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس في الهندسة المدنية

# دراسة وحدات الخرسانة سابقة الصب

## Study of Precast Concrete Units

إعداد:

أمل عبد الملك أحمد العبيد

بدرالدين شكري بدرالدين علي

سلمى أحمد محمد علي



جامعة الشيخ عبد الله البدري

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية



2025-2026

## المستخلص:

تتناول هذا البحث دراسة تحليلية وتقنية شاملة لـ وحدات الخرسانة سابقة الصب (Precast Concrete Units)، بوصفها أحد الحلول الإنشائية الرائدة التي تفرض نفسها بقوة في مشهد البناء الحديث. استهدف البحث سبر أغوار هذه التقنية من خلال تقييم خصائصها الميكانيكية والإنشائية، وإجراء مقارنة فنية واقتصادية دقيقة بينها وبين الخرسانة التقليدية المصبوبة في الموقع.

اشتمل الإطار النظري للدراسة على تحليل معمق للمكونات الأساسية للخرسانة، بدءاً من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام والأسمنت، وصولاً إلى الدور الجوهري لإضافات الخرسانة والبوليمرات (الطبيعية والتخليقية) في تحسين الأداء الإنشائي وتعزيز المتانة. كما استعرض البحث أسس تصميم الخلطات الخرسانية وفق المعايير التي تضمن التوازن بين الجودة الاقتصادية والكفاءة التصميمية.

وفي الجانب التطبيقي، ركز البحث على دراسة حالة عملية لتصميم "بيم" (Beam) إسناد بسيط من الخرسانة سابقة الصب، متضمناً حسابات الأحمال والمقاومة وتحديد كميات المواد والتكلفة التقديرية. وقد أظهرت النتائج أن وحدات الخرسانة سابقة الصب تتفوق بوضوح في جانب الجدوى الزمنية، حيث تساهم في تقليص فترات التنفيذ بشكل ملموس، فضلاً عن تحقيقها ضبطاً فائقاً للجودة نتيجة التصنيع في بيئة مخبرية محكمة.

استنتج البحث إلى أن الاعتماد على الخرسانة سابقة الصب في مشاريع الإسكان الشعبي يعتبر إقتصادياً ويتسم بالإستدامة .

## **Abstract:**

This research presents a comprehensive analytical and technical study of Precast Concrete Units, identifying them as a leading structural solution within the modern construction landscape. The study aims to evaluate their mechanical and structural properties while conducting a precise technical and economic comparison with traditional cast-in-place concrete.

The theoretical framework includes an in-depth analysis of the essential components of concrete, beginning with the physical and chemical properties of aggregates and cement. It further explores the fundamental role of concrete admixtures and polymers (both natural and synthetic) in enhancing structural performance and durability. Furthermore, the research reviews the principles of concrete mix design to ensure a balance between economic efficiency and design quality.

In the practical application, the research focuses on a case study for designing a simple precast concrete support beam, including load and resistance calculations, material quantity estimation, and projected costs. The results indicate that precast concrete units excel significantly in terms of time feasibility and achieve superior quality control due to manufacturing in a controlled environment.

The research concludes that adopting precast concrete in Public housing project is economical and sustainable .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

□ قال تعالى:

(رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ

وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ )

(سورة النمل: الآية 19)

# الإهداء

إلى الينبوع الذي لا ينضب، والمرفأ الذي لا يغيب..  
إلى والديَّ الكريمين..

إلى من كان دعاؤهما السند الخفي، ونور الطريق المضيء. إلى أعز الناس وأغلى القلوب؛  
أهديكم هذا الغراس الذي ما كان ليُثمر لولا صرح حنانكم، ومداد صبركم اللامحدود،  
ودعمكم الذي رافقني في كل خطوة وميل.

إلى منارة العلم.. مشرفنا الفاضل / سيد أحمد

إلى من أرشدنا بحلمه قبل علمه، ووجهنا بخبرته التي كانت لنا خير معين في عواصف  
البحث ومساراته المعقدة. نتقدم إليك بأسمى آيات الشكر والعرفان على فيض دعمك  
وتوجيهاتك القيمة التي كانت البوصلة لهذا العمل.

إلى أساتذتنا الأفاضل وجامعتنا العريقة..

إلى الذين أناروا لنا دروب المعرفة، وإلى رحاب جامعة الشيخ عبد الله البدري التي احتضنت  
طموحاتنا وكانت مهذاً لعلمنا وتعلُّمنا.  
وأخيراً.. إلى ذواتنا..

إلى الأرواح التي اجتهدت، والقلوب التي صبرت، والعزائم التي ثابرت حتى بلغت هذه  
المحطة. هذا العمل هو ثمرة تعبنا، وإصرارنا، وإيماننا بأن المستحيل يلين أمام طرقات  
الطموح.

نهدي هذا العمل المتواضع لكم جميعاً.



# الشكر والعرفان

"لئن شكرتم لأزيدنكم"

بعد رحلة بحثية غنية بالتحديات، مفعمة بالشغف، لا يسعنا ونحن نصل إلى خواتيم هذا الجهد إلا أن نزجي آيات الشكر والامتنان لكل من وضع لبنةً في صرح هذا العمل، أو أنار لنا شمعةً في دروب المعرفة المظلمة.

**إلى مقام مشرفنا الفاضل / سيد أحمد:**

نتقدم إليك بوافر التقدير وعظيم الامتنان؛ فلقد كنتَ نِعَمَ الموجه والقُدوة. نشكرك على سعة صدرك، وحرصك الدائم على تجويد العمل، وعلى ملاحظاتك التي لم تكن مجرد تصويبات، بل كانت دروساً في البحث والمنهجية، صقلت مهارتنا وأثرت فكرنا.

**إلى جامعة الشيخ عبد الله البدري:**

هذا الصرح العلمي الشامخ الذي وفر لنا البيئة الخصبة للتعلم والبحث، نتقدم لإدارتها وكافة كوادرها بالشكر على كل ما قدموه من تسهيلات وإمكانات كانت ركيزةً أساسية في إنجاز هذا البحث.

**إلى أساتذتنا الأجلاء:**

يا من لم ييخلوا علينا بعلمٍ أو نصيحة، لكم منا كل التبجيل، فبصماتكم المعرفية حاضرة في كل زاوية من زوايا هذا العمل.

**إلى كل من مدَّ لنا يد العون:**

من الزملاء والأصدقاء، ومن كل من ساهم بتزويدنا بمرجع، أو تقديم رأي، أو حتى بكلمة تشجيع صادقة كان لها أثر السحر في نفوسنا حين يملكنا الإرهاق.

ختاماً.. نسأل الله العليّ القدير أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، نافعاً لنا ولغيرنا، وأن يبارك في كل جهدٍ بذل في سبيله.

## فهرس المحتويات

| الترقيم                               | المحتوي                  | رقم الصفحة |
|---------------------------------------|--------------------------|------------|
| 1                                     | المستخلص                 | I          |
| 2                                     | Abstract                 | II         |
| 4                                     | الآية                    | III        |
| 5                                     | الإهداء                  | IV         |
| 6                                     | الشكر والعرفان           | V          |
| 7                                     | فهرس المحتويات           | VI         |
| 8                                     | فهرس الأشكال             | VIII       |
| 9                                     | فهرس الجداول             | X          |
| <b>الفصل الأول : خطة المشروع</b>      |                          |            |
| 1-1                                   | المقدمة                  | 1          |
| 1-2                                   | مشكلة البحث              | 1          |
| 1-3                                   | أهداف البحث              | 2          |
| 1-4                                   | أهمية البحث              | 2          |
| 1-5                                   | حدود البحث               | 2          |
| 1-6                                   | منهجية البحث             | 3          |
| <b>الفصل الثاني : مكونات الخرسانة</b> |                          |            |
| 2-1                                   | مقدمة الركام             | 4          |
| 2-2                                   | تعريف الركام             | 4          |
| 2-3                                   | أهمية الركام في الخرسانة | 4          |
| 2-4                                   | تصنيف الركام حسب الحج    | 5          |
| 2-5                                   | خصائص الركام             | 6          |
| 2-6                                   | إختبارات الركام          | 7          |
| 2-7                                   | مقدمة عن الأسمنت         | 9          |

|                                                              |                                               |      |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|
| 14                                                           | ماء الخلط في الخرسانة                         | 2-8  |
| 18                                                           | الإضافة في الخرسانة والأسمنت                  | 2-9  |
| 27                                                           | تصميم الخلطات الخرسانية – دراسة تحليلية شاملة | 2-10 |
| 31                                                           | الإختبارات                                    | 2-11 |
| 34                                                           | بيانات معمل المواد بهندسة القاهرة             | 2-12 |
| 38                                                           | البوليمرات الطبيعية والتخلقية                 | 2-13 |
| <b>الفصل الثالث : مبدأ عمل نظام التعليق التقليدي وأنواعه</b> |                                               |      |
| 46                                                           | تصميم بيم وحدة خرسانة سابقة الصب              | 3-1  |
| 50                                                           | حساب كمية المواد                              | 3-2  |
| 52                                                           | خصائص البيم الفولاذ                           | 3-3  |
| <b>الفصل الرابع: النتائج والتوصيات</b>                       |                                               |      |
| 55                                                           | النتائج                                       | 4-1  |
| 56                                                           | التوصيات                                      | 4-2  |
| 57                                                           | المراجع                                       | 4-3  |
| 58                                                           | الملاحق                                       | 4-4  |



## □ فهرس الاشكال

| الترقيم □ | الاشكال □                      | رقم الصفحة □ |
|-----------|--------------------------------|--------------|
| 3-1       | الشكل يوضح البيم رأسياً        | 53           |
| 3-2       | الشكل يوضح وجه البيم           | 53           |
| 3-3       | الشكل يوضح الجانب الافقي للبيم | 53           |
| 3-4       | الشكل يوضح طول البيم           | 53           |
| 3-5       | شكل يوضح الصف الأول للمكعبات   | 54           |
| 3-6       | شكل يوضح الصف الثاني للمكعبات  | 54           |
| 3-7       | شكل يوضح الصف الثالث للمكعبات  | 54           |
| 3-8       | شكل يوضح الصف الرابع للمكعبات  | 54           |
| 3-9       | شكل يوضح الصف الخامس للمكعبات  | 54           |
| 3-10      | شكل يوضح الصف السادس للمكعبات  | 54           |

# الفصل الأول

خطة المشروع

## 1-1 المقدمة:

تُعدّ تقنية الخرسانة سابقة الصب (Precast Concrete) من التقنيات الإنشائية الحديثة التي أحدثت نقلة نوعية في صناعة البناء، حيث تتيح هذه التقنية تصنيع الوحدات الخرسانية المختلفة مثل الأعمدة والبلاطات والجدران والواجهات في مصانع متخصصة، ضمن بيئة مراقبة تضمن جودة عالية ودقة في الأبعاد، ثم نقلها إلى موقع المشروع لتركيبها.

إن الاتجاه العالمي المتزايد نحو استخدام الوحدات سابقة الصب يأتي نتيجة لعدة اعتبارات أهمها تقليل زمن التنفيذ، رفع الكفاءة الاقتصادية، تحسين جودة المنشآت، وتطبيق مبادئ الاستدامة في البناء. وفي ظل الحاجة المتزايدة في المشاريع المحلية إلى حلول إنشائية عملية وفعّالة، تبرز أهمية دراسة الوحدات الخرسانية سابقة الصب كأحد البدائل الواعدة للخرسانة التقليدية المصبوبة في الموقع.

## 1-2 مشكلة البحث:

على الرغم من التوسع في استخدام تقنية الخرسانة سابقة الصب في بعض المشاريع، إلا أن هناك تحديات ما زالت تواجه تطبيقها على نطاق واسع، من أبرزها:

- محدودية الدراسات الميدانية في البيئة المحلية التي تُعالج أداء هذه الوحدات بصورة شاملة.
- عدم وضوح المعايير التصميمية والتنفيذية الأكثر ملاءمة عند اعتماد هذه التقنية.
- الحاجة إلى مقارنة دقيقة بين الوحدات سابقة الصب والوحدات المصبوبة في الموقع من حيث الكلفة، الزمن، والأداء الإنشائي.
- صعوبات النقل والتركيب، تتطلب العناصر سابقة الصب معدات خاصة كالرافعات والشاحنات الثقيلة، مع إحصائية التلف أو التأخير بسبب بعد المسافات أو صعوبة الطرق .

### 1-3 أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحقيق ما يلي:

1. دراسة الخصائص الميكانيكية والإنشائية لوحدات الخرسانة سابقة الصب.
2. مقارنة الأداء الإنشائي والاقتصادي بين الوحدات سابقة الصب والوحدات المصبوبة في الموقع.
3. تقييم الجدوى الزمنية لاعتماد هذه التقنية في مشاريع البناء.
4. رصد أبرز التحديات التنفيذية المرتبطة بتطبيق الوحدات سابقة الصب.
5. تقديم توصيات عملية تدعم تطوير واعتماد هذه التقنية في المشاريع المحلية.

### 1-4 أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث فيما يلي:

- المساهمة في دعم الاتجاه نحو استخدام تقنيات بناء حديثة وفعالة.
- تعزيز جودة التنفيذ والحد من العيوب المرتبطة بطرق الصب التقليدية.
- إبراز دور الخرسانة سابقة الصب في تحقيق متطلبات الاستدامة في قطاع البناء.
- توفير مرجع علمي يمكن أن يستفيد منه المهندسون والمصممون في مجال الهندسة المدنية.

### 1-5 حدود البحث:

لتحقيق أهداف البحث ضمن نطاق واقعي وعملي، سيتم التركيز على الحدود التالية:

- اقتصار الدراسة على العناصر الخرسانية الإنشائية (الأعمدة، البلاطات، الجدران).
- الاعتماد على الإمكانيات المتاحة من عينات مخبرية وبيانات ميدانية.
- حصر الدراسة في مشاريع البناء السكني والتجاري متوسطة الحجم.

## 6-1 منهجية البحث:

تعتمد منهجية إذا البحث على مرحلتين رئيسيتين:

### 1. الدراسات النظرية:

تتضمن جمع المعلومات من المراجع والدراسات السابقة وتحليلها لتكوين الإطار النظري

للبحث وفهم المفاهيم الأساسية المرتبطة بموضوع الدراسة.

### 2. الإختبارات العملية:

تشمل إجراء مجموعة من الإختبارات لتطبيق الجوانب النظرية والتحقق من صحتها

عملياً، وتحليل النتائج للوصول إلى إستنتاجات تدعم أهداف البحث .

# الفصل الثاني

## مكونات الخرسانة

## 2.1 مقدمة الركام:

يُعد الركام أحد المكونات الأساسية في الخرسانة، إذ يشكل الجزء الأكبر من حجمها الكلي، وتتوقف جودة الخرسانة بدرجة كبيرة على خصائص الركام المستخدم. ولا يمكن النظر إلى الركام على أنه مجرد مادة مألوفة، بل هو عنصر إنشائي فعال يساهم في نقل الأحمال، والتحكم في الانكماش، وتحسين المتانة، وخفض التكلفة الاقتصادية للخرسانة.

## 2.2 تعريف الركام

يُعرف الركام بأنه مادة حبيبية خاملة تتكون من الرمل والزلط أو الأحجار المكسرة، وتُستخدم كمكوّن رئيسي في الخرسانة والمونة. ويتميّز الركام بعدم تفاعله الكيميائي مع عجينة الأسمنت في الظروف العادية، حيث يقتصر دوره على توفير هيكل داعم داخل الكتلة الخرسانية. ويختلف الركام في خصائصه تبعاً لمصدره وطريقة استخراجهِ ومعالجته، الأمر الذي ينعكس مباشرة على سلوك الخرسانة وأدائها الإنشائي .

## 2.3 أهمية الركام في الخرسانة

تكمُن أهمية الركام في عدة جوانب أساسية، من أبرزها :

- يشكل ما يقارب 70-75% من حجم الخرسانة، مما يجعله العامل الأكبر تأثيراً في خواصها .
- يقلل من كمية الأسمنت المطلوبة، وبالتالي يخفض التكلفة الاقتصادية .
- يزيد من مقاومة الخرسانة للأحمال المختلفة .
- يحد من الانكماش والتشققات الناتجة عن جفاف عجينة الأسمنت .
- يحسن متانة الخرسانة ومقاومتها للعوامل البيئية .

## 2.4 تصنيف الركام

### 2.4.1 حسب الحجم

- الركام الناعم

هو الركام الذي تمر حبيباته من منخل رقم 4 (4.75 مم)، ويشمل الرمل الطبيعي أو الصناعي. ويُستخدم الركام الناعم في ملء الفراغات بين الركام الخشن وتحسين قابلية التشغيل.

- الركام الخشن

هو الركام الذي تُحتجز حبيباته على منخل رقم 4، مثل الزلط وكسر الحجر. ويُعد المسؤول الرئيسي عن مقاومة الخرسانة للضغط.

- الركام الشامل

هو خليط من الركام الناعم والخشن بنسب مدروسة لتحقيق تدرج حبيبي مناسب.

### 2.4.2 حسب المصدر

- ركام طبيعي: مستخرج من الأنهار أو المحاجر.
- ركام صناعي: ناتج عن عمليات صناعية مثل خبث الأفران.
- ركام معاد تدويره: ناتج عن تكسير مخلفات الخرسانة القديمة، ويُستخدم لتحقيق الاستدامة البيئية.

- تأثير الركام على الخرسانة الطازجة

يؤثر الركام على خصائص الخرسانة الطازجة مثل:

- قابلية التشغيل

- الانفصال الحبيبي

- النزف

○ زمن الشك

ويُعد التدرج الجيد للركام من أهم العوامل التي تحسن سلوك الخرسانة الطازجة.

● تأثير الركام على الخرسانة المتصلدة

يساهم الركام في:

○ مقاومة الضغط

○ معامل المرونة

○ تحسين المتانة

## 2.5 خصائص الركام

تُعد خصائص الركام من العوامل الأساسية التي تتحكم في سلوك الخرسانة أثناء الخلط والصب وبعد التصلد. وتنقسم هذه الخصائص إلى خصائص فيزيائية وميكانيكية وكيميائية، ويؤثر كل منها على جانب معين من أداء الخرسانة.

### 2.5.1 الخصائص الفيزيائية للركام

1. شكل حبيبات الركام

قد تكون الحبيبات مستديرة، زاوية، مفلطحة أو ممدودة. ويُفضل استخدام الركام المكعب أو شبه المكعب لما يوفره من تماسك جيد وتقليل الفراغات.

2. الملمس السطحي

يساهم الملمس السطحي في تحديد قوة الالتصاق بين الركام وعجينة الأسمنت، حيث يؤدي السطح الخشن إلى زيادة مقاومة الخرسانة.

3. التدرج الحبيبي

التدرج الحبيبي الجيد يقلل الفراغات ويخفض كمية الأسمنت المطلوبة، مما يؤدي إلى خرسانة أكثر كثافة ومتانة.

### 2.5.2 الخصائص الميكانيكية للركام

تشمل مقاومة الركام:

- للتهشم
- للبري (الاحتكاك)
- للصدم

وتحدد هذه الخصائص مدى ملائمة الركام للاستخدام في المنشآت الثقيلة والطرق .

### 2.5.3 الخصائص الكيميائية للركام

تشمل:

- التفاعل القلوي
- وجود الأملاح
- المواد العضوية
- الكبريتات

وقد تؤدي هذه المواد إلى تدهور الخرسانة على المدى البعيد إذا لم يتم التحكم بها .

### 2.6 اختبارات الركام

تهدف اختبارات الركام إلى التأكد من مطابقة الركام للمواصفات القياسية وضمان صلاحيته للاستخدام في الخرسانة. وتشمل هذه الاختبارات فحوصاً فيزيائية وميكانيكية وكيميائية .

### 2.6.1 اختبار التحليل المنخلي (التدرج الحبيبي)

يُستخدم هذا الاختبار لتحديد توزيع أحجام حبيبات الركام، ويتم من خلال غربلة العينة باستخدام مجموعة من المناخل القياسية. وتُرسم النتائج على منحنى التدرج الحبيبي وتُقارن بالحدود القياسية.

### 2.6.2 اختبار الوزن النوعي والامتصاص

يعبر الوزن النوعي عن كثافة الركام مقارنة بالماء، بينما تمثل نسبة الامتصاص قدرة الركام على امتصاص الماء. وتُستخدم نتائج هذا الاختبار في ضبط نسبة الماء في الخلطة الخرسانية.

### 2.6.3 اختبار المواد الناعمة والطين

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد نسبة المواد الدقيقة التي قد تؤثر سلباً على تماسك الخرسانة وقوتها.

### 2.6.4 اختبار الشوائب العضوية

يُستخدم للكشف عن المواد العضوية التي قد تؤخر زمن الشك أو تقلل مقاومة الخرسانة.

### 2.6.5 اختبار مقاومة التهشم

يُقاس هذا الاختبار قدرة الركام الخشن على مقاومة الأحمال الضاغطة، ويُعد مؤشراً مهماً على متانة الركام.

### 2.6.6 اختبار البري (لوس أنجلوس)

يُستخدم لتحديد مقاومة الركام للتآكل والاحتكاك، خاصة في ركام الطرق والمنشآت المعرضة للأحمال المتكررة.

### 2.6.7 اختبار الصدم

يُقاس مقاومة الركام للصدمات المفاجئة، وهو مهم في المنشآت التي تتعرض لأحمال ديناميكية.

## 2.7 مقدمة عن الأسمنت

الأسمنت مادة رابطة هيدروليكية تُستعمل على نطاق واسع في أعمال البناء والإنشاءات، حيث تمتاز بقدرتها على التصلد واكتساب مقاومة ميكانيكية عالية عند تفاعلها مع الماء. ويُعد الأسمنت البورتلاندي أكثر أنواع الأسمنت استخداماً في العالم، ويرجع ذلك إلى خصائصه الفيزيائية والكيميائية المناسبة لمختلف التطبيقات الإنشائية .

يتكوّن الأسمنت البورتلاندي أساساً من مركبات سيليكات وألومينات الكالسيوم الناتجة عن حرق خليط متجانس من الحجر الجيري والطين عند درجات حرارة عالية، ثم طحن الناتج (الكلنكر) مع كمية مناسبة من الجبس للتحكم في زمن الشك .

وتكمن أهمية التحليل الكيميائي للأسمنت في كونه الوسيلة الأساسية لمراقبة جودة الإنتاج، وضمان ثبات الخواص، والتأكد من مطابقة الأسمنت للمواصفات القياسية المعتمدة .

### 2.7.1 التحليل الكيميائي للأسمنت البورتلاندي

يهدف التحليل الكيميائي إلى تحديد نسب الأكاسيد الرئيسية المكوّنة للأسمنت، والتي تؤثر بشكل مباشر في :

○ زمن الشك الابتدائي والنهائي

○ المقاومة الميكانيكية

○ الثبات الحجمي

○ المتانة على المدى الطويل

1. تقدير المواد غير القابلة للذوبان

تمثل المواد غير القابلة للذوبان الشوائب أو المكونات غير الفعالة كيميائياً في الأسمنت .

وتُقدَّر هذه المواد بإذابة العينة في حمض الهيدروكلوريك، ثم ترشيح الجزء غير الذائب، وغسله وتجفيفه وحرقه حتى ثبات الوزن .

زيادة هذه النسبة تدل على :

### رداءة المواد الخام

ضعف عمليات الطحن أو الخلط

### 2. تقدير أكسيد السيليكون ( $\text{SiO}_2$ )

يُعد أكسيد السيليكون من أهم مكونات الأسمنت، إذ يدخل في تكوين سيليكات الكالسيوم المسؤولة عن المقاومة النهائية .

يتم تقديره عن طريق إذابة العينة، ثم ترسيب السيليكا وحرقتها ومعالجتها بـ حمض الهيدروفلوريك، ويُحسب الفرق في الوزن لتحديد نسبتها .

زيادة السيليكا تؤدي إلى :

زيادة المقاومة على المدى الطويل

لكن زيادتها المفرطة قد تؤدي إلى :

بطء في التصلد

### 3. تقدير مجموعة أكاسيد الحديد والألومنيوم

تُرسب هذه الأكاسيد معاً على هيئة هيدروكسيدات باستخدام هيدروكسيد الأمونيوم، ثم تُحرق لتعطي الأكاسيد المقابلة.

تمثل هذه المجموعة مجموع:

أكسيد الحديد ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

أكسيد الألومنيوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

وهذه الأكاسيد تؤثر في :

○ سرعة التفاعل مع الماء

○ لون الأسمنت

○ سلوك الأسمنت أثناء الحرق

4.  $(Fe_2O_3)$  تقدير أكسيد الحديد

يُقدَّر أكسيد الحديد بطريقة المعايرة الحجمية باستخدام محلول قياسي من ثنائي كرومات البوتاسيوم.

يؤدي الحديد دوراً مهماً كمساعد صهر أثناء حرق المواد الخام في الفرن.

زيادة نسبته قد تؤدي إلى:

انخفاض المقاومة الميكانيكية

تغير لون الأسمنت

5.  $(Al_2O_3)$  تقدير أكسيد الألومنيوم

لا يُقدَّر أكسيد الألومنيوم مباشرة، بل يُحسب بالفرق بين :

مجموع أكاسيد الحديد والألومنيوم

وأكسيد الحديد

ويؤثر أكسيد الألومنيوم بشكل كبير في:

○ زمن الشك

○ سرعة التفاعل الأولي للأسمنت

زيادته تؤدي إلى شك سريع غير مرغوب فيه.

6.  $(CaO)$  تقدير أكسيد الكالسيوم

يُعد أكسيد الكالسيوم المكوّن الرئيسي للأسمنت البورتلاندي، والمسؤول الأول عن المقاومة.

يُقدَّر بترسيبه من الراشح باستخدام أوكسالات الأمونيوم، ثم حرق الراسب حتى يتحول إلى أكسيد الكالسيوم زيادته عن الحدود المسموح بها تسبب:

عدم ثبات حجمي

تشققات مستقبلية في الخرسانة

(MgO)7. تقدير أكسيد المغنيسيوم

يُقدَّر بعد إزالة الكالسيوم من المحلول، وذلك بترسيبه باستخدام فوسفات الأمونيوم، ثم حرقه وتحويله إلى بيروفسفات المغنيسيوم.

زيادة أكسيد المغنيسيوم تؤدي إلى:

○ تمدد متأخر

○ ضعف المتانة

(SO<sub>3</sub>)

8. تقدير ثالث أكسيد الكبريت

يُضاف الكبريت إلى الأسمنت غالباً في صورة الجبس للتحكم في زمن الشك.

يُقدَّر ثالث أكسيد الكبريت بترسيبه على هيئة كبريتات الباريوم.

زيادته تسبب:

○ تمدد الأسمنت

○ انخفاض المقاومة

ونقصه يؤدي إلى:

○ شك سريع جداً

## 9. الفقد في الوزن بالحرق

يمثل الفقد في الوزن بالحرق مقدار:

- الرطوبة
  - ثاني أكسيد الكربون
  - المواد المتطايرة
- ويُستخدم هذا الاختبار كمؤشر على:
- جودة التخزين
  - تعرض الأسمنت للرطوبة أو الهواء

### 2.7.2 دقة النتائج وحدود الاختلاف المسموح بها

- تُجرى التحاليل الكيميائية مرتين على الأقل .
- تُحدد المواصفات القياسية حدوداً قصوى للاختلاف بين النتائج .
- في حال تجاوز هذه الحدود تُعاد التحاليل لضمان الدقة .

### 2.7.3 اختبارات المونة الإسمنتية

- تحضير المونة القياسية
- خلط الإسمنت مع الرمل القياسي جافاً .
- إضافة الماء بنسبة محددة .
- خلط لمدة زمنية ثابتة .
- مراعاة درجة الحرارة ونظافة الأدوات .

- اختبار مقاومة الشد

يهدف إلى قياس قدرة الإسمنت على مقاومة قوى الشد، ويتم باستخدام عينات قياسية تُعالج ثم تُختبر، وتُحسب المقاومة بقسمة الحمل الأقصى على مساحة المقطع .

- اختبار مقاومة الضغط

يُعد أهم اختبار ميكانيكي لتقييم جودة الأسمنت، حيث تُحضّر مكعبات مونة وتُعالج ثم تُختبر تحت حمل متزايد تدريجياً حتى الكسر .

## 2.8 ماء الخلط في الخرسانة

### مقدمة:

يُعد ماء الخلط أحد المكونات الأساسية في الخرسانة، إذ لا يقتصر دوره على تسهيل عملية الخلط فحسب، بل يمتد تأثيره ليشمل التفاعلات الكيميائية داخل الخرسانة، وقابليتها للتشغيل، ومقاومتها الميكانيكية، ومتانتها على المدى الطويل. ويؤثر نوع ماء الخلط وكميته ونسبة الشوائب التي يحتويها تأثيراً مباشراً في جودة الخرسانة المنتجة، مما يجعل دراسة ماء الخلط أمراً ضرورياً في تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية .

### 2.8.1 وظيفة ماء الخلط في الخرسانة

- إِمَاهة الأسمنت

يقوم ماء الخلط بدور أساسي في عملية إِمَاهة الأسمنت، حيث يتفاعل الماء تفاعلاً كيميائياً مع مركبات الأسمنت مكوناً عجينة الأسمنت التي تمثل المادة الرابطة بين حبيبات الركام. وتستمر هذه التفاعلات مع الزمن، ويحتاج الأسمنت إلى كمية محددة من الماء لضمان إتمام الإِمَاهة بشكل كافٍ، إذ إن أي نقص في كمية الماء يؤدي إلى عدم اكتمال التفاعل، بينما تؤدي الزيادة المفرطة إلى نتائج سلبية على مقاومة الخرسانة .

## • تغليف حبيبات الركام

يساعد ماء الخلط على تغليف حبيبات الركام بطبقة رقيقة من عجينة الأسمنت، مما يحقق تماسكاً مناسباً بين مكونات الخرسانة. كما يسمح هذا الغلاف بامتصاص جزء من الماء اللازم لاستمرار الإمالة، ويسهم في تكوين بنية خرسانية متجانسة .

## • تحسين قابلية التشغيل

يعمل ماء الخلط كوسيط يسهل حركة مكونات الخرسانة أثناء الخلط والصب والدمك، حيث يقلل الاحتكاك بين حبيبات الركام، مما يزيد من قابلية التشغيل. إلا أن الاعتماد على زيادة كمية الماء لتحسين التشغيل يُعد من الأخطاء الشائعة، إذ يؤدي ذلك إلى انخفاض المقاومة الميكانيكية للخرسانة بعد التصلب .

### 2.8.2 نسبة الماء إلى الأسمنت وأثرها على الخرسانة

تُعرف نسبة الماء إلى الأسمنت بأنها نسبة وزن الماء المستخدم في الخلطة الخرسانية إلى وزن الأسمنت، وتُعد هذه النسبة من أهم العوامل المؤثرة في خواص الخرسانة، وخاصة مقاومة الضغط. فكلما زادت هذه النسبة، زادت المسامية داخل الخرسانة نتيجة تبخر الماء الزائد، مما يؤدي إلى انخفاض المقاومة. وعلى العكس، فإن تقليل هذه النسبة يؤدي إلى خرسانة عالية المقاومة، ولكن على حساب قابلية التشغيل. وقد أثبتت الدراسات أن التحكم في نسبة الماء إلى الأسمنت هو الأساس في الحصول على خرسانة متينة ذات أداء جيد، ولذلك يتم اختيار هذه النسبة بعناية وفقاً لمتطلبات المشروع وظروف التنفيذ .

### 2.8.3 تأثير زيادة ماء الخلط على الخرسانة

إن زيادة كمية ماء الخلط عن الحد اللازم تؤدي إلى عدد من الظواهر غير المرغوب فيها أثناء صب الخرسانة وبعد تصلبها. ومن أهم هذه الظواهر الانفصال الحبيبي، حيث تتفصل حبيبات الركام الخشن عن عجينة الأسمنت، مما يؤدي إلى عدم تجانس الخرسانة. كما تؤدي زيادة الماء إلى حدوث ظاهرة النزح، وهي صعود الماء إلى سطح الخرسانة الطازجة، مكوناً طبقة ضعيفة ذات مقاومة منخفضة .

وتؤدي زيادة الماء كذلك إلى زيادة المسامية داخل الخرسانة، مما يقلل من مقاومتها الميكانيكية ويجعلها أكثر نفاذية للماء والمواد الضارة. كما ينتج عن ذلك تشققات انكماشية بعد التصلب بسبب فقدان الماء الزائد، وهو ما يؤثر سلباً على متانة المنشأ الخرساني .

#### 2.8.4 جودة ماء الخلط

تعتمد جودة الخرسانة بدرجة كبيرة على جودة ماء الخلط المستخدم. وبوجه عام، يمكن القول إن الماء الصالح للشرب يصلح للاستخدام في خلط الخرسانة، غير أن بعض أنواع المياه غير الصالحة للشرب قد تكون مقبولة للاستخدام في الخرسانة ضمن حدود معينة وبعد إجراء الفحوصات اللازمة . ويجب أن يكون ماء الخلط خالياً من المواد الضارة مثل الطين، والمواد العضوية، والزيوت، والأحماض، والقلويات، والأملاح التي قد تؤثر على تفاعل الإماهة أو على تماسك الخرسانة أو على حديد التسليح .

#### 2.8.5 تأثير الشوائب الموجودة في ماء الخلط

##### • الطين والمواد الرسوبية

يؤدي وجود الطين والمواد الرسوبية في ماء الخلط إلى تقليل التماسك بين عجينة الأسمنت والركام، كما يؤخر عملية الإماهة بسبب امتصاصه جزءاً من الماء. وقد يؤدي ذلك إلى زيادة الانكماش وحدوث تشققات في الخرسانة. ومع ذلك، قد يُسمح بوجود كميات ضئيلة جداً من الطين في بعض الحالات الخاصة، مثل الخرسانة الفقيرة بالأسمنت، حيث يمكن أن تساهم في ملء الفراغات الدقيقة .

##### • المواد العضوية

تؤثر المواد العضوية سلباً على الخرسانة، إذ تقلل من تماسك عجينة الأسمنت وتؤدي إلى ظهور تشققات شعرية قد تتطور مع الزمن. كما قد تمتد آثارها إلى العناصر المجاورة، خاصة في المنشآت الخرسانية المعرضة للأحمال المتكررة .

## • الأملاح

تُعد الأملاح من أخطر الشوائب في ماء الخلط، وخاصة الكلوريدات والكبريتات. فالكلوريدات تسبب تآكل وصدأ حديد التسليح، مما يؤدي إلى ضعف القطاع الخرساني، في حين تؤدي الكبريتات إلى ظاهرة تزهير الأملاح على سطح الخرسانة، إضافة إلى تأثيرها السلبي على متانة الخرسانة .

### 2.8.6 استخدام ماء البحر في الخرسانة

لا يُنصح باستخدام ماء البحر في الخرسانة المسلحة بسبب احتوائه على نسب عالية من الأملاح التي تسرع عملية صدأ حديد التسليح. ومع ذلك، قد يُستخدم ماء البحر في الخرسانة العادية غير المسلحة في بعض الحالات الخاصة، شريطة اتخاذ احتياطات مناسبة، مثل زيادة نسبة الأسمنت وتقليل نفاذية الخرسانة

### 2.8.7 أنواع المياه المستخدمة في الخرسانة

يمكن استخدام بعض أنواع المياه بعد التأكد من صلاحيتها من خلال الفحوصات المخبرية، مثل مياه الآبار ومياه الأنهار غير الملوثة ومياه البحيرات النظيفة. في المقابل، لا يجوز استخدام مياه المصانع الكيميائية، أو مياه الصرف الصناعي، أو المياه التي تحتوي على نسب عالية من السكريات أو الأملاح الضارة، لما لها من تأثيرات سلبية خطيرة على الخرسانة .

### 2.8.8 تصنيف الخرسانة حسب كمية ماء الخلط

يمكن تصنيف الخرسانة وفقاً لكمية ماء الخلط إلى خرسانة جافة القوام، وخرسانة لدنة القوام، وخرسانة مائعة القوام. وتُعد الخرسانة اللدنة هي الأكثر شيوعاً في الاستخدام، نظراً لتحقيقها توازناً مناسباً بين قابلية التشغيل والمقاومة الميكانيكية .

### 2.8.9 استعمالات أخرى للماء في الخرسانة

لا يقتصر استخدام الماء على خلط الخرسانة فقط، بل يُستخدم أيضاً في غسل الركam لإزالة الشوائب العالقة، وفي معالجة الخرسانة بعد الصب، حيث تُعد المعالجة بالماء ضرورية للحفاظ على رطوبة الخرسانة وضمان استمرار عملية الإماهة ومنع التشقق المبكر .

## 2.9 الإضافات في الخرسانة والأسمنت

دراسة تحليلية شاملة لأغراض الاستخدام، الأنواع، التأثيرات، والتطبيقات الهندسية

تُعد الخرسانة المادة الإنشائية الأكثر استخداماً في العالم، غير أن خواصها لا تعتمد فقط على مكوناتها الأساسية (الأسمنت - الماء - الركام)، بل تتأثر بدرجة كبيرة بما يُضاف إليها من إضافات كيميائية أو معدنية تهدف إلى تحسين أدائها في حالتها الطازجة أو المتصلدة، أو تمكينها من التكيف مع ظروف تنفيذية وبيئية خاصة .

وقد شهدت صناعة الخرسانة تطوراً ملحوظاً بفضل هذه الإضافات، حتى أصبحت عنصراً أساسياً في التصميم والتنفيذ الحديث .

### 2.9.1 تعريف الإضافات

الإضافات هي مواد غير الأسمنت والماء والركام، تُضاف إلى الخلطة الخرسانية قبل الخلط أو أثناءه أو بعده مباشرة، وبكميات محددة، بهدف :

- تحسين خواص الخرسانة الطازجة
- تعديل سلوك الشك والتصلد
- تحسين المتانة والمقاومة
- معالجة مشكلات بيئية أو إنشائية محددة

### 2.9.2 الأغراض العامة لاستخدام الإضافات

تُستخدم الإضافات لتحقيق واحد أو أكثر من الأغراض التالية :

- تحسين قابلية التشغيل دون زيادة ماء الخلط
- التحكم في زمن الشك (تسريع أو إبطاء)
- زيادة المقاومة المبكرة أو النهائية
- تقليل الانكماش والتغيرات الحجمية

- تقليل نفاذية الماء وزيادة السدودية
- تحسين مقاومة الصقيع والذوبان
- تقليل حرارة الإماهة في الخرسانة الكتلية
- إنتاج خرسانة خفيفة الوزن
- تحسين المظهر المعماري للخرسانة
- زيادة مقاومة الخرسانة للعوامل الكيميائية والبيولوجية

### 2.9.3 تصنيف الإضافات الخرسانية

#### 1. إضافات تحسين قابلية التشغيل

##### a. المواد المسحوقة ناعماً

وهي مواد تضاف في صورة حبيبات دقيقة جداً تعمل على :

- ملء الفراغات بين حبيبات الأسمنت والركام
- تحسين تماسك العجينة الأسمنتية
- تقليل النزح والانفصال الحبيبي

أمثلة :

- الرماد المتطاير (Fly Ash)
- التراب الدياتومي
- دقيق الحجر الجيري
- الجير المطفأ
- الكاولين

b. المواد المبيلة

تعمل على تقليل الشد السطحي للماء، مما يساعد على :

تحسين تغليف الركام

زيادة سيولة الخرسانة دون زيادة الماء

c. مواد كيميائية فعالة

ملدنات وملدنات فائقة لزيادة التشغيلية

تقليل كمية الماء بدون فقدان السيولة

تحسين ملء القوالب وسهولة الصب

تقليل التعشيش والانفصال

مناسبة للتسليح الكثيف

مهمة للخرسانة سابقة الصب

أمثلة:

الملدنات: (Plasticizers)

لجنوسلفونات الكالسيوم أو الصوديوم

الملدنات الفائقة: (Superplasticizers)

النفثالين سلفونات (SNF)

الميلامين سلفونات (SMF)

البولي كربوكسيلات (PCE)

2. إضافات الهواء المحبوس (Air Entrained Admixtures)

آلية العمل

تكوين فقاعات هواء دقيقة ومنتظمة داخل الخرسانة .

➤ الفوائد

- تحسين مقاومة الصقيع
- زيادة قابلية التشغيل
- تقليل النزح
- السماح بتقليل ماء الخلط

تأثير جانبي :

انخفاض نسبي في المقاومة مع زيادة نسبة الهواء .

3. إضافات تكوين الغاز (Gas-Forming Admixtures)

الغرض

منع تكون فراغات أسفل :

- حبيبات الركام الكبيرة
- حديد التسليح

أمثلة

- مسحوق الألومنيوم
- مسحوق الزنك
- فوق أكسيد الهيدروجين
- الاستخدامات
- الخرسانة الخفيفة
- الخرسانة المقاومة للصقيع

4. إضافات سدودية الماء

a. إضافات طاردة للماء

تقلل امتصاص الماء السطحي دون منع النفاذية كلياً .

أمثلة :

○ الصابون

○ الزيوت

○ الشموع

○ البيتومين

○ ستيرات المعادن

b. مواد مالئة للفراغات

○ مواد فعالة كيميائياً (تتفاعل مع الأسمنت)

○ مواد خاملة (تملأ الفراغات فقط)

أمثلة :

○ سليكات الصوديوم والبوتاسيوم

○ الزجاج المائي (Water Glass)

○ مواد مسحوق ناعمة

5. إضافات تقليل التغير الحجمي

○ أسباب التغير الحجمي

○ تغير الرطوبة

○ تغير درجة الحرارة

○ آلية التأثير

○ الخرسانة تتمدد بوجود الرطوبة

○ وتتكمش عند الجفاف

يجب عدم تعريض الخرسانة للجفاف قبل بلوغ مقاومة مناسبة.

6. إضافات معالجة الخرسانة

تهدف إلى:

○ الحفاظ على رطوبة الخرسانة

○ ضمان استمرار الإماهة

○ تقليل التشققات السطحية

○ تحسين المقاومة النهائية

7. إضافات تسريع الشك

أشهرها: كلوريد الكالسيوم ( $\text{CaCl}_2$ )

التأثيرات الإيجابية

○ تقليل زمن الشك الابتدائي والنهائي

○ زيادة المقاومة المبكرة

○ تسريع فك الشدات

○ تقليل زمن التنفيذ

○ النسب الشائعة

○ من 0.1% إلى 3% من وزن الأسمنت

## • العيوب

- يسبب تآكل حديد التسليح
- قد يؤدي إلى الشك الخاطف
- لا يُستخدم في الخرسانة المسلحة أو سابقة الإجهاد

8. إضافات إبطاء الشك

تُستخدم عند :

I. الأجواء الحارة

II. الخرسانة الكتلية

III. النقل لمسافات طويلة

أمثلة :

○ الجبس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

○ السكريات

○ النشا

○ بعض الأملاح

9. الإضافات البوزولانية (Pozzolanic Materials)

تعريف

مواد تحتوي على السيليكا أو الألومينا وتتفاعل مع الجير بوجود الماء .

أنواعها :

○ الطفلة والطين

○ الكاولين

- المونتموريلونيت
- الدياتوميت
- المواد البركانية (بازلت - أنديزيت - ريوليت)

فوائدها

- زيادة المقاومة طويلة الأمد
- تقليل النفاذية
- تحسين المتانة
- تقليل حرارة الإماهة

10. الإضافات المضادة للبكتيريا

الغرض

منع النشاط البيولوجي للكائنات الدقيقة التي :

- تسبب تآكل الخرسانة
- تؤدي إلى تفككها مع الزمن

الاستخدامات

- الأرضيات
- الحوائط
- البيئات الرطبة أو الصناعية

11. الإضافات الملونة

- الطبيعة
- أكاسيد معدنية خاملة كيميائياً

○ ثابتة اللون ولا تتأثر بالشمس

أمثلة

○ أكسيد الحديد

○ أكسيد الكروم

○ نسبة الإضافة

○ قد تصل إلى 10% من وزن الأسمنت

● تقل مقاومة الخرسانة نسبيًا .

## 2.10 تصميم الخلطات الخرسانية – دراسة تحليلية شاملة

### 2.10.1 مقدمة

تُعد الخرسانة من أهم مواد البناء في الهندسة المدنية، ويعتمد نجاحها الإنشائي والاقتصادي على حسن تصميم خلطة مكوناتها بما يحقق المتطلبات الإنشائية والوظيفية والاقتصادية. وقد تطور علم تصميم الخلطات الخرسانية نتيجة كثرة المتغيرات المؤثرة على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، مثل نوع الأسمنت، خصائص الركام، نسبة الماء إلى الأسمنت، وطريقة التنفيذ والمعالجة .

### 2.10.2 مفهوم تصميم الخلطات الخرسانية

تصميم الخلطة الخرسانية هو عملية تحديد النسب المثلى بين مكونات الخرسانة (الأسمنت – الماء – الركام الناعم – الركام الخشن – الإضافات إن وجدت) بهدف الحصول على خرسانة ذات قابلية تشغيل مناسبة أثناء الصب:

- تحقق مقاومة الضغط المطلوبة
- تتمتع بالدوام والمتانة
- وبأقل تكلفة اقتصادية ممكنة

### 2.10.3 العوامل المؤثرة في تصميم الخلطات الخرسانية

تتأثر الخلطة الخرسانية بعدد كبير من العوامل، أهمها :

- نوع الأسمنت ونعومته وتركيبه الكيميائي
- نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C Ratio)
- وهي العامل الحاسم في مقاومة الخرسانة
- نوع الركام وتدرجه وحجمه الأقصى
- نسبة الركام الناعم إلى الركام الخشن

- درجة التشغيل (Slump) المطلوبة
- طريقة الخلط والنقل والصب والدمك
- ظروف المعالجة البيئية
- وجود إضافات كيميائية أو معدنية

#### 2.10.4 أهمية نسبة الماء إلى الأسمنت

تُعتبر نسبة الماء إلى الأسمنت أهم عامل مؤثر في :

- مقاومة الضغط
- النفاذية
- المتانة
- الانكماش والزحف
- كلما زادت كمية الماء عن الحد اللازم للإمالة، انخفضت مقاومة الخرسانة بسبب زيادة المسام الداخلية، رغم تحسن قابلية التشغيل .

التركيب الحجمي للخرسانة

تتكون الخرسانة من :

○ عجينة الأسمنت (أسمنت + ماء)

○ الركام

○ فراغات هوائية

وتعمل عجينة الأسمنت على :

○ تغليف حبيبات الركام

○ ملء الفراغات

○ توفير خاصية التماسك والتماسك الداخلي

وتزداد مقاومة الخرسانة كلما :

○ كانت عجينة الأسمنت موزعة توزيعاً منتظماً

○ انخفضت المسامية

○ تحققت إمالة كاملة للأسمنت

○ طرق التعبير عن نسب الخلط

يمكن التعبير عن نسب الخلطة الخرسانية بعدة طرق :

○ بالوزن (الأدق والأفضل هندسياً)

○ بالحجم

○ بالنسب الحجمية المطلقة

○ بعدد الشكاير لكل متر مكعب

○ بكمية الماء (لتر/شيكارة أسمنت)

○ الطرق الرئيسية لتصميم الخلطات الخرسانية

1. الطريقة الإختيارية (Empirical Method – التجريبية)

تعتمد على نسب شائعة مثل :

1 : 3 : 6 أو 1 : 2 : 4

سهلة وسريعة

غير دقيقة

تُستخدم فقط في الأعمال الصغيرة وغير الإنشائية

2. طريقة المحاولة والخطأ

- تعتمد على تجارب عملية فعلية
  - يتم تعديل النسب تدريجياً حتى الوصول للخواص المطلوبة
  - أكثر دقة من الطريقة الاختيارية
  - تحتاج وقتاً وخبرة
3. طريقة الكثافة القصوى للركام
- تعتمد على استخدام تدرج ركام يقلل الفراغات إلى الحد الأدنى
  - تقلل كمية عجينة الأسمنت
  - تعطي خرسانة كثيفة عالية المتانة
4. طريقة معامل النعومة
- تعتمد على معامل نعومة الركام الناعم والخشن
  - تُستخدم لتحديد النسبة المثلى بين الركام الناعم والخشن
5. طريقة المساحة السطحية للركام
- تعتمد على العلاقة بين مساحة سطح الركام وكمية عجينة الأسمنت
  - تهدف إلى توفير تغطية كافية للركام بأقل كمية أسمنت
6. طريقة نسبة الفراغات إلى الأسمنت
- تعتمد على ملء الفراغات الموجودة بين حبيبات الركام بعجينة الأسمنت
  - تحقق خرسانة عالية الكثافة
  - تصميم الخلطات من الناحية الاقتصادية
  - تُعد الخلطة الخرسانية اقتصادية إذا :
  - استُخدمت أقل كمية ممكنة من الأسمنت

مع تحقيق المقاومة والمتانة المطلوبة

لأن الأسمنت هو أعلى مكونات الخرسانة

➤ الاعتماد على :

○ ركام جيد التدرج

○ تقليل الفراغات

○ التحكم في الماء

يؤدي إلى تقليل التكلفة وتحسين الأداء .

➤ العلاقة بين مقاومة الخرسانة والعمر

○ تزداد مقاومة الخرسانة بمرور الزمن نتيجة استمرار الإمالة

○ تكون الزيادة سريعة في الأعمار المبكرة ثم تتباطأ تدريجياً

تلعب دوراً أساسياً في تحقيق المقاومة التصميمية (Curing) والمعالجة الجيدة .

## 2.11 الاختبارات

تُعد الاختبارات المختلفة للخرسانة من الوسائل الأساسية التي يعتمد عليها المهندس المدني في تقييم جودة

الخرسانة والتحقق من مطابقتها للمواصفات الفنية، سواء في حالتها الطازجة قبل الصب، أو بعد تصلبها

واكتسابها لمقاومتها التصميمية .

وتنقسم هذه الاختبارات إلى نوعين رئيسيين هما: اختبارات الخرسانة الطازجة و اختبارات الخرسانة

المتصلدة .

### 2.11.1 اختبارات الخرسانة الطازجة

تهدف اختبارات الخرسانة الطازجة إلى تحديد قابلية التشغيل وسهولة الصب والدمك والتشغيل، لما لذلك

من تأثير مباشر على جودة الخرسانة المتصلدة وسلوكها الإنشائي لاحقاً.

### 2.11.2 اختبار الهبوط

يُعد اختبار الهبوط من أكثر الاختبارات استخداماً لتقدير قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة . يعتمد هذا الاختبار على قياس مقدار هبوط الخرسانة بعد رفع قالب مخروطي قياسي، حيث يُعد مقدار الهبوط مؤشراً على درجة اللدونة والسيولة .

ويُستخدم هذا الاختبار بصورة واسعة في مواقع التنفيذ لمراقبة ثبات الخلطة الخرسانية وضبط نسبة الماء إلى الأسمنت، كما يساعد على اكتشاف أي تغير غير مرغوب في خواص الخرسانة أثناء الصب .

### 2.11.3 اختبار الانسياب

يُستخدم اختبار الانسياب لتقييم سيولة الخرسانة عالية التشغيل، خاصة في الحالات التي لا يعطي فيها اختبار الهبوط نتائج دقيقة .

ويعتمد الاختبار على قياس مدى انتشار الخرسانة على سطح أفقي بعد تعرضها لهزات منتظمة . ويُعد هذا الاختبار مناسباً للخلطات الخرسانية التي تتطلب درجة عالية من الانسياب والتجانس، ويُستخدم بصورة خاصة في الخلطات الخاصة والخرسانة ذات القابلية العالية للتشغيل .

### 2.11.4 اختبار كرة كلي

يُعتبر اختبار كرة كلي من الاختبارات البديلة لاختبار الهبوط، حيث يعتمد على قياس عمق اختراق كرة معدنية في سطح الخرسانة الطازجة تحت تأثير وزنها الذاتي . ويمتاز هذا الاختبار بسرعة إجرائه وإمكانية تطبيقه مباشرة على الخرسانة أثناء الصب، ويُستخدم لإعطاء مؤشر سريع لقابلية تشغيل الخرسانة، إلا أن استخدامه أقل شيوعاً مقارنة باختبار الهبوط .

### 2.11.5 اختبارات الخرسانة المتصلدة

تهدف اختبارات الخرسانة المتصلدة إلى تحديد الخواص الميكانيكية الأساسية للخرسانة بعد تصلبها، والتي يعتمد عليها التصميم الإنشائي وتقييم سلامة المنشآت الخرسانية .

### 1. اختبار مقاومة الضغط

يُعد اختبار مقاومة الضغط أهم اختبار للخرسانة المتصلدة ، حيث تمثل مقاومة الضغط المعيار الأساسي الذي تُقاس به جودة الخرسانة.

يتم إجراء الاختبار على عينات خرسانية قياسية (مكعبات أو أسطوانات) تُعرض لأحمال ضغط متزايدة حتى حدوث الفشل.

وتُستخدم نتائج هذا الاختبار في:

التحقق من مطابقة الخرسانة للمواصفات

قبول أو رفض الأعمال الخرسانية

تقييم كفاءة الخلطة الخرسانية

### 2. اختبار مقاومة الشد

نظراً لأن الخرسانة ضعيفة نسبياً في مقاومة الشد، يُستخدم هذا الاختبار لتقدير مقاومة الخرسانة لقوى الشد غير المباشر.

وغالباً ما يُجرى الاختبار بطريقة الشد بالانشطار، حيث تولد إجهادات شد داخلية نتيجة تطبيق أحمال ضغط معينة.

وتكمن أهمية هذا الاختبار في دراسة سلوك الخرسانة عند التشقق وتحليل مقاومتها للشروخ.

### 3. اختبار مقاومة الانحناء

يُستخدم اختبار مقاومة الانحناء لقياس قدرة الخرسانة على مقاومة إجهادات الانحناء الناتجة عن الأحمال ويُجرى هذا الاختبار عادة على كمرات خرسانية تُحمل حتى الفشل .

وتبرز أهمية هذا الاختبار في تصميم العناصر المعرضة لعزوم الانحناء مثل :

○ البلاطات الخرسانية

○ الطرق الخرسانية

○ بعض العناصر الإنشائية الخاصة

## 2.12 بيانات معمل المواد بهندسة القاهرة

قام معمل اختيار المواد بكلية الهندسة – جامعة القاهرة بإجراء سلسلة من الدراسات التجريبية العملية، بهدف التوصل إلى مجموعة من المنحنيات والجداول الإرشادية التي تمكن المهندس من استخدامها مباشرة في تصميم الخلطات الخرسانية المختلفة للمنشآت المتنوعة.

وقد شملت هذه الدراسات إجراء اختبارات لازمة على خلطات خرسانية عديدة تختلف فيما بينها في :

نسب الركام (رمل – زلط)

محتوى الأسمنت

نسبة الماء إلى الأسمنت

التدرج الحبيبي للركام

درجة القوام (جاف – لدن – مبلل)

### 2.12.1 أسس اختيار تدرج الركام

يعتمد تصميم الخلطة الخرسانية على الاختيار السليم لتدرج الركام، بحيث يحقق .

أقل فراغات ممكنة .

أعلى كثافة نوعية للركام .

أفضل قابلية تشغيل مع أقل كمية ماء .

يتم تحديد التدرج المناسب باستخدام :

المنحنيات البيانية .

طريقة الكثافة القصوى .

طريقة المساحة النوعية للسطح .

يؤثر تدرج الركام ونسبة الركام الصغير إلى الكبير تأثيراً مباشراً على :

مقاومة الضغط .

القوام .

كمية الماء اللازمة .

محتوى الأسمنت المطلوب .

### 2.12.2 اختيار نسبة الرمل إلى الركام الكلي

من خلال المنحنيات البيانية (مثل المنحنى د أو س)، يمكن اختيار النسبة المثلى للرمل .

أظهرت النتائج أن نسبة الرمل  $\approx 40\%$  من الركام الكلي تعطي نتائج مناسبة في العديد من الحالات .

باستخدام هذه النسبة يمكن :

حساب رقم الخلطة .

مقارنة النتائج بالمنحنيات القياسية .

### 2.12.3 تحديد محتوى الأسمنت

يمكن تحديد محتوى الأسمنت اللازم لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة .

في المثال الوارد :

المقاومة المطلوبة  $\approx 240$  كجم/سم<sup>2</sup>

محتوى الأسمنت المناسب  $\approx 300$  كجم/م<sup>3</sup> خرسانة

#### 2.12.4 تحديد كمية الماء اللازمة

يتم تحديد كمية الماء باستخدام المنحنيات البيانية الخاصة بالقوام.

في الحالة المعروضة:

كمية الماء المطلوبة  $\approx 165$  لتر/م<sup>3</sup> خرسانة (تقريباً) .

#### 2.12.5 القيم النهائية لمكونات الخلطة الخرسانية

1. المكونات بالوزن لكل متر مكعب خرسانة

الأسمنت: 300 كجم

الماء: 165 لتر

الرمل:  $\approx 784$  كجم

الزلط:  $\approx 1175$  كجم

2. نسب مكونات الخلطة بالوزن

أسمنت: رمل : زلط

1 : 2.61 : 3.92

#### 2.12.6 المكونات بالحجم

نسب الخلطة بالحجم

أسمنت: رمل: زلط

1: 2.46 : 3.74

#### 2.12.7 تأثير العوامل المختلفة على مقاومة الضغط

أوضحت الدراسات ما يلي :

تقل مقاومة الضغط بزيادة المقاس الاسمي الأكبر للركام .

تصل مقاومة الضغط إلى قيمتها القصوى عند محتوى أسمنت معين مع ثبات القوام .

تكون المقاومة أعلى عندما يكون محتوى الرمل في تدرجه الأصغر .

نسبة الماء اللازمة :

تزداد بزيادة محتوى الأسمنت أو زيادة نسبة الركام الصغير.

تزداد عند نقص المقاس الاسمي الأكبر للركام .

تكون أقل في الخلطات الغنية بالأسمنت مقارنة بالخلطات الفقيرة عند نفس القوام .

### **2.12.8 طرق الخلط والدمك المستخدمة**

تم تنفيذ الخلطات باستخدام الحالات التالية :

خلط ميكانيكي ودمك ميكانيكي .

خلط ميكانيكي ودمك يدوي .

خلط يدوي ودمك يدوي .

### **2.12.9 نتائج عامة للدراسات**

يمكن الحصول على مقاومة الضغط القصوى عندما تكون نسبة الماء إلى الأسمنت كلية مناسبة .

عند استخدام كمية ماء قليلة :

قد تكون مقاومة الضغط عالية جداً أو منخفضة جداً حسب كفاءة الدمك .

تؤكد النتائج أهمية التوازن بين القوام، التدرج، ومحتوى الماء والأسمنت للوصول إلى

أفضل أداء إنشائي.

## 2.13 البوليمرات الطبيعية والتخليقية

### 2.13.1 البوليمرات الطبيعية

#### 1. تعريف البوليمرات الطبيعية

البوليمرات الطبيعية هي مواد عضوية توجد في الطبيعة وتتكون من مركبات متعددة، ولها توازن طبيعي يجعلها مستقرة ضمن مدى واسع من الظروف البيئية والمناخية. وتُعد هذه البوليمرات ناتجاً مباشراً للتكوينات الحيوية والجيولوجية دون تدخل صناعي.

#### 2. أقدم البوليمرات الطبيعية: البيتومين

يُعد البيتومين من أقدم المواد البوليمرية الطبيعية التي استخدمها الإنسان. هو خليط غير متبلور من هيدروكربونات معقدة مستخلصة من الرواسب البترولية.

يتواجد طبيعياً في:

- الأسفلت الصخري
- أسفلت البحيرات
- التسربات الأرضية
- مناطق التواجد:
- العراق (قرب بغداد)
- إيران
- الخليج الفارسي
- البحر الميت
- أجزاء من الشرق الأوسط حتى باكستان
- الاستخدامات التاريخية:

○ العزل ضد الرطوبة

○ تبطين المجاري وأحواض المياه

○ ربط المباني الحجرية

○ رصف الطرق القديمة (مثل الطرق الرومانية)

3. استخدام البوليمرات الطبيعية في الحضارات القديمة

**في مصر:**

استخدم الكازين والكارين كمضافات بروتينية.

أمثلة أثرية: جدران مقابر بني حسن وسان بدري وادي راش.

استخدم الصمغ النباتي والمواد العضوية كدهانات عازلة للطوب.

في إفريقيا وأمريكا الجنوبية:

استخدم اللاتكس الطبيعي (*Euphorbia lactea*) كدهان عازل.

**في الهند:**

استخدمت أنواع مختلفة من البياض طبقاً للظروف المناخية.

تم خلط الجير مع مواد عضوية (زيوت، نباتات، دهون).

في سور الصين العظيم:

استُخدم الجير كمادة أساسية.

أضيفت بوليمرات طبيعية لزيادة المقاومة وعدم النفاذية.

بلغ طوله نحو 6000 كم، وبدأ إنشاؤه قبل 221 ق.م.

4. خصائص وقيود البوليمرات الطبيعية

## المزايا:

○ مقاومة جيدة للرطوبة

○ تماسك عالٍ

○ مرونة مناسبة

○ توافق بيئي

## القيود:

○ عدم ثبات الخواص مع الزمن

○ الحاجة إلى خبرة كبيرة في التحضير

○ تأثرها بالعوامل الجوي

○ صعوبة التحكم في الجودة

## 2.13.2 البوليمرات التخليقية

### 1. تعريف البوليمرات التخليقية

هي بوليمرات يتم تصنيعها صناعياً وتكون مستقرة ضمن ظروف محددة، بينما تفقد استقرارها خارج هذه الظروف. تمتاز بإمكانية التحكم في خواصها الهندسية والكيميائية.

### 2. بدايات استخدام البوليمرات التخليقية في الخرسانة

بدأت الدراسات النظرية عام 1909.

تطور التطبيق العملي في ثلاثينيات القرن الماضي.

أول استخدام فعلي لمعاجين المطاط الطبيعي كان عام 1924.

في عام 1925 تم تسجيل براءة اختراع لمنتج مقاوم للماء والعزل.

### 3. تصنيف البوليمرات المستخدمة في الخرسانة

#### أ) اللدائن الحرارية (Thermoplastics)

بوليمرات خطية.

قابلة للذوبان النسبي.

تفقد الصلابة بارتفاع الحرارة.

#### ب) المجموعات الحرارية (Thermosets)

شبكات ثلاثية الأبعاد.

غير قابلة للذوبان.

ذات ثبات حراري عالٍ.

#### ج) مكسبات المرونة (Elastomers)

- بوليمرات ذات ارتباط عرضي بسيط.

- تحتفظ بمرونة عالية.

- تمتلك درجة انتقال زجاجي (Tg) مرتفعة.

3. لبوليمرات الذائبة في الماء

- ذات وزن جزيئي منخفض.

- تعمل كمكسبات لدونة فائقة.

- تُضاف بكميات صغيرة.

- تأثيرها الرئيسي تحسين قابلية التشغيل وتقليل الماء.

**ملاحظة مهمة:**

هذه البوليمرات لا تُحسن مقاومة الخرسانة للماء أو الأملاح.

4. تأثير البوليمرات على الخرسانة

- تحسين قابلية التشغيل
- تقليل نسبة الماء/الأسمنت
- زيادة المقاومة الميكانيكية
- تحسين الالتصاق
- زيادة المرونة
- تقليل النفاذية

مثال تطبيقي:

إضافة بولي كلوريد الفينيل بنسبة 0.5% يسمح بتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت حتى 40%.

6. أهم البوليمرات اللدنة الحرارية المستخدمة في الخرسانة

- أسيتات بولي فينيل
- بولي ستيرين
- كلوريد بولي فينيل (PVC)
- بولي أكريلات وبوليمراتها المشتركة

### 2.13.3 مقارنة بين البوليمرات الطبيعية والتخليقية

**البوليمرات الطبيعية:**

- مصدرها طبيعي
- ثباتها ضعيف نسبياً
- التحكم بخصائصها محدود
- مدة استخدامها قصيرة

- استمراريته محدودة
- استخدامها الحديث محدود

### البوليمرات التخليقية:

- مصدرها صناعي
- ثباتها مرتفع
- التحكم بخصائصها عالٍ
- مدة استخدامها طويلة
- استمراريته واسعة
- استخدامها الحديث واسع

## 2.14 الخرسانة سابقة الصب (Precast Concrete)

تُعد الخرسانة سابقة الصب إحدى التقنيات الحديثة والمتطورة في مجال الهندسة المدنية والإنشائية، حيث يتم تصنيع العناصر الخرسانية المختلفة داخل مصانع متخصصة أو ساحات مجهزة، تحت ظروف رقابية دقيقة، ثم تنقل إلى موقع المشروع ليتم تركيبها في مواضعها المحددة. وقد ساهم هذا الأسلوب في إحداث نقلة نوعية في صناعة البناء، نظراً لما يقدمه من مزايا إنشائية واقتصادية وزمنية مقارنة بالخرسانة المصبوبة في الموقع .

تعتمد الخرسانة سابقة الصب على التحكم الكامل في جودة الخلطة الخرسانية، وعمليات الصب، والمعالجة، والتسليح، مما يؤدي إلى إنتاج عناصر ذات مقاومة عالية ودقة أبعاد ممتازة. وتشمل هذه العناصر: الكمرات، الأعمدة، البلاطات، الجدران، السلالم، الواجهات المعمارية، وغيرها من الوحدات الإنشائية.

### 2.14.1 أهمية الخرسانة سابقة الصب :

تكتسب الخرسانة سابقة الصب أهمية متزايدة في المشاريع الكبرى والبنى التحتية الحديثة، مثل المباني السكنية متعددة الطوابق، المصانع، الجسور، المخازن، والمستشفيات، حيث تساهم في تسريع وتيرة التنفيذ وتقليل الاعتماد على العمالة في الموقع، مما ينعكس إيجاباً على جودة وسلامة المشروع .

### 2.14.2 مزايا الخرسانة سابقة الصب

من أبرز مزايا الخرسانة سابقة الصب :

- تحقيق جودة عالية نتيجة التصنيع في بيئة محكمة وخاضعة للرقابة .
- تقليل مدة التنفيذ مقارنة بالطرق التقليدية .
- خفض التكاليف الإجمالية للمشروع على المدى الطويل .
- دقة الأبعاد وسهولة التركيب مما يقلل من الأخطاء الإنشائية .
- تحسين السلامة في موقع العمل نتيجة تقليل الأعمال الخطرة .
- إمكانية إعادة الاستخدام والاستدامة بما يتماشى مع مفاهيم البناء الأخضر .

عيوب الخرسانة سابقة الصب

رغم مزاياها العديدة، إلا أن للخرسانة سابقة الصب بعض التحديات، مثل :

- الحاجة إلى معدات نقل ورفع خاصة .
- محدودية التعديلات بعد التصنيع .
- الحاجة إلى تنسيق دقيق بين التصميم والتنفيذ .
- ارتفاع التكلفة الأولية في بعض المشاريع الصغيرة .

### 2.14.3 دورها في التطور المعماري والإنشائي

ساهمت الخرسانة سابقة الصب في توسيع آفاق التصميم المعماري، حيث أتاحت إنتاج أشكال معمارية متنوعة وواجهات ذات طابع جمالي مميز، مع الحفاظ على المتطلبات الإنشائية. كما تُعد خياراً فعالاً لتحقيق متطلبات الاستدامة وتقليل الهدر في مواد البناء.

# الفصل الثالث

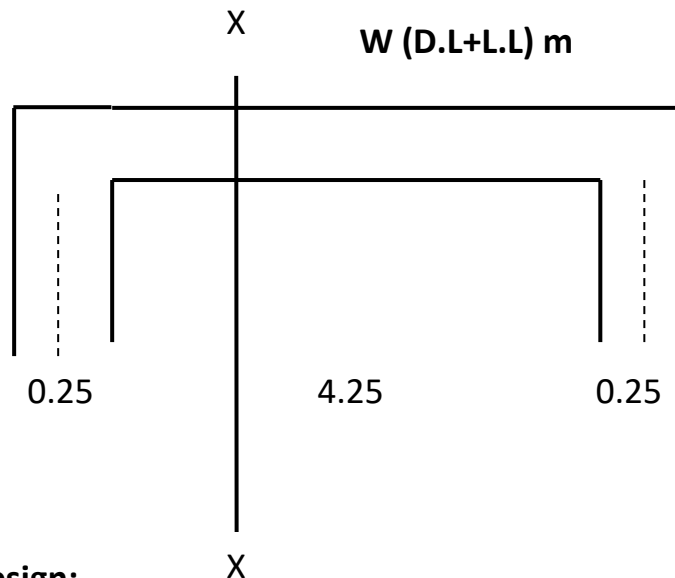
التصميم والتنفيذ

### 3.1 تصميم بيم وحدة خرسانة سابقة الصب :

#### 3.1.1 تقسيم بيم إسناد بسيط من الخرسانة سابقة الصب:

##### 1. Dimensions:

Span L- 4.25m



##### 2. loading ultimate Design:

- live load (L.L) :
- floor and Roof load for flats and houses I

$$w/m^2 = 1.kn/m^2$$

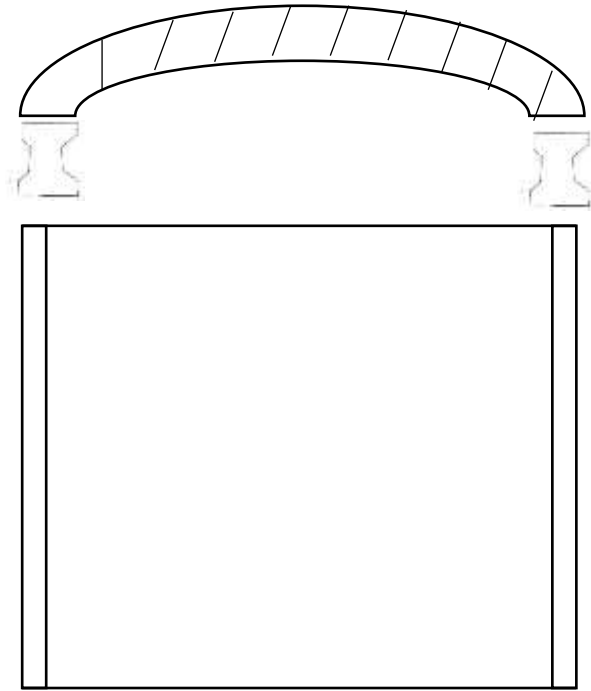
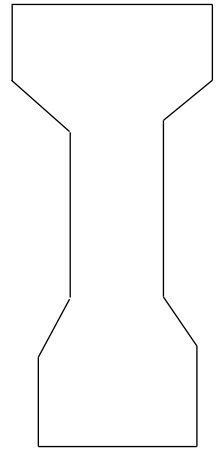
| Floor and roof Loads (L.L) | KN/m <sup>2</sup> |
|----------------------------|-------------------|
| Classrooms                 | 3.0               |
| Dance halls                | 5.0               |
| Flats and house            | 1.5               |
| Garages, passengers' cars  | 2.5               |
| Gymnasiums                 | 5.0               |
| Hospital wards             | 2.0               |
| Hotel bedrooms             | 2.0               |
| Offices for general use    | 2.5               |
| Flat roofs, With access    | 1.5               |
| Flat roofs, no access      | 0.60              |

- Dead load (D.L)

| <b>Weights</b>             | <b>Kn/m<sup>2</sup></b> |
|----------------------------|-------------------------|
| Aluminium cast             | 26                      |
| Asphat paving              | 23                      |
| Bricks common              | 19                      |
| Bricks, pressed            | 22                      |
| Clay,dry                   | 19-22                   |
| Clay, wet                  | 21-25                   |
| Concrete, reinforced       | 25                      |
| Concrete, wet              | 26                      |
| Glass, plate               | 27                      |
| Lead                       | 112                     |
| Oak                        | 9.5                     |
| Pine, while                | 5                       |
| Sand, dry                  | 16-19                   |
| Sand, wet                  | 18-21                   |
| Steel                      | 17                      |
| Water                      | 9.81                    |
| Brick wall,115 mm thick    | 2.6                     |
| Gypsum Plaster 25 mm thick | 0.5                     |
| Glazing single             | 0.3                     |

- weight of Red brike 19 Kn/m<sup>3</sup>

-  $w_{D.L} = 1 \times 0.9 \times 1.0 \times 19 = 1.7 \text{ 1Kn/w}^2$



### 3/. ultimate State Design :

i/  $w \text{ (D.L + L.L) /m} = 1.4 \times 1.71 + 1.6 \times 1.0 = 3.9 \text{ Kn/m}$

ii/  $M_{max} = \frac{wl^2}{8} = \frac{3.9 \times (4.25)^2}{8} = 8.80 \text{ kn/m}$

### 4/ Effect + ive depth

$h = 250 \text{ mm}$

Wedth of beam  $b = 150 \text{ mm}$

$h = \text{depth} + \text{Cover} + \frac{\phi}{2}$

$250 = \text{depth} + 150 + \frac{\phi}{2}$

$\therefore \text{depth} = 250 - 20 = 230$

$f_{cu} = 24 \quad F_y = 460$

$A_s = \frac{M}{0.95 f_y z}$

$z = d \left( 0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{k}{1.134}} \right)$

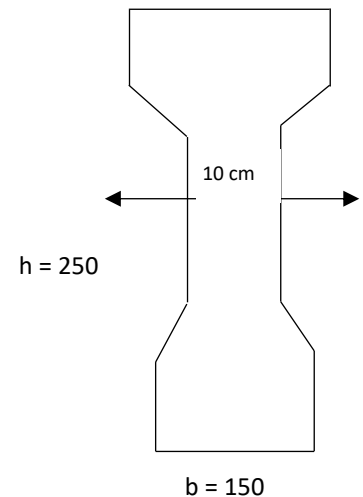
$K = \frac{M}{bd^2 f_{cu}} = \frac{8.80 \times 10^6}{150 (250)^2 \times 24} = 0.039 < 0.05$

$z = 230 \left( 0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{0.039}{1.134}} \right) = 220.8$

$A_s = \frac{8.80 \times 10^6}{0.95 \times 460 \times 220.8} = 91.20 \text{ mm}^2$

Number of bar

| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10    |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 28.3 | 56.6 | 84.9 | 113  | 142  | 170  | 198  | 226   | 255   | 283   |
| 50.3 | 101  | 151  | 201  | 252  | 302  | 352  | 402   | 453   | 503   |
| 78.5 | 157  | 236  | 314  | 393  | 471  | 550  | 626   | 707   | 785   |
| 113  | 226  | 339  | 456  | 566  | 679  | 792  | 905   | 1020  | 1130  |
| 201  | 402  | 603  | 804  | 1010 | 1210 | 1410 | 1610  | 1810  | 2010  |
| 314  | 628  | 943  | 1260 | 1570 | 1890 | 2200 | 2510  | 2830  | 3140  |
| 491  | 982  | 1470 | 1960 | 2450 | 2950 | 3440 | 3930  | 4420  | 4910  |
| 804  | 1610 | 2410 | 3220 | 4020 | 4830 | 5630 | 6430  | 7240  | 8040  |
| 1260 | 2510 | 3770 | 5030 | 6280 | 7540 | 8800 | 10100 | 11300 | 12600 |



Provide 2 Ø 10 mm = 157

Cheek of shear :

$$\frac{W \times L}{2} = \frac{3.9 \times 4.25}{2} = 8.2 \text{ kn}$$

$$V_{max} = 0.18 b_w d \left( \frac{1 - f_{cu}}{250} \right) f_{cu}$$

$$= 0.18 \times 10 \times 230 \left( 1 - \frac{24}{250} \right) \times 24 \times 10^{-3}$$

$$= 8.98 \approx 9$$

### 3.2 حساب كمية المواد:

$$\text{Volume of beam} = 0.25 \times 0.15 \times 4.5 = 0.168 m^3$$

$$\text{- Cement} = 0.168 \times 350 = 58.8 \approx \frac{56}{5} = 11.8$$

$$\text{- aggregate} = V = 0.22 \times 0.225 \times 0.35 = 0.017 m^3$$

الخرسانة:

$$\frac{2000}{0.017} = 117 = \frac{\text{السعر}}{\text{الحجم بالمتر الطول}} = \text{السعر}$$

$$0.017 \times 10 = 0.17 \quad \text{الكمية} = \text{العدد} \times \text{الحجم}$$

السيخة 3 ملم :

$$\frac{4000}{6} = 666$$

$$6 \times 4.5 = 27$$

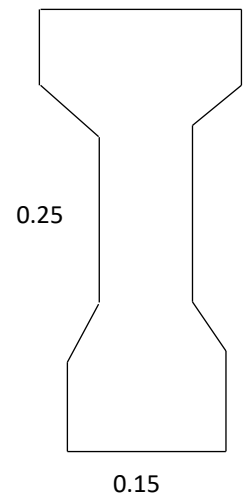
$$\frac{\text{السعر}}{\text{طول السيخة}} = \text{السعر}$$

$$\text{الكمية} = \text{عدد السيخ} \times \text{الطول}$$

السيخة 10 ملم :

$$\frac{30,000}{12} \times 9 = 22,500 \text{ SDG}$$

$$\text{السعر} = \frac{\text{السعر}}{\text{طول السيخة}} \times \text{عدد السيخ}$$



### 3.3.1 الكمية: $6 \times 4.5 = 27$

| البند   | الوصف             | الوحدة | السعر  | الكمية | الإجمالي |
|---------|-------------------|--------|--------|--------|----------|
| 1       | أسياخ حديد 10 ملم | م.ط    | 22,500 | 2      | 45,000   |
| 2       | أسياخ 3 ملم       | م.ط    | 666    | 27     | 18,000   |
| 3       | الخرسانة          | $M^3$  | 117    | 0.17   | 20,000   |
| 4       | سلك الرباط        | K      | 4,000  | 1      | 4,000    |
| 5       | الرمل             | $M^3$  |        |        | 10,000   |
| المجموع |                   |        |        |        | 97,000   |

$$97 \times \frac{10}{100} = 9.7$$

نسبة المصنعية 10%

Total = 106,700 SDG

\* نسبة الماء إلى الأسمنت

نسبة الماء نصف نسبة الأسمنت

نسبة الماء / نسبة الأسمنت = W.C Rito = W/C

$$\text{نسبة الماء} = \frac{11.8}{2} = 5.9$$

$$W/C = \frac{5.9}{11.8} = 0.5\%$$

الكمز الفولاذي = 180,000 SDG

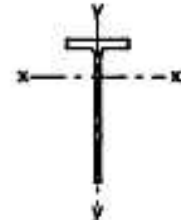
### 3.3 خصائص الـ بيم الفولاذ:

جدول الخصائص:

BS 5950-1: 2000  
BS 4-1: 2005

#### STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS

Advance UKT split from Advance UKB



Properties (continued)

| Section Designation | Radius of Gyration |          | Elastic Modulus |                 | Plastic Modulus |                 | Buckling Parameter | Torsional Index | Mono-symmetry Index | Warping Constant (*) | Torsional Constant | Area of Section   |                   |
|---------------------|--------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                     | Axis x-x           | Axis y-y | Axis x-x        |                 | Axis y-y        | Axis x-x        |                    |                 |                     |                      |                    |                   | Axis y-y          |
|                     |                    |          | Flange          | Toe             |                 |                 |                    |                 |                     |                      |                    |                   |                   |
|                     |                    |          |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                     |                      |                    |                   |                   |
|                     | cm                 | cm       | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup>    | u               | x                   | y                    | H cm <sup>3</sup>  | J cm <sup>4</sup> | A cm <sup>2</sup> |
| 210x267x69 +        | 8.24               | 4.68     | 862             | 292             | 181             | 520             | 284                | 0.609           | 12.5                | 0.719                | 2490               | 125               | 88.1              |
| 210x267x61          | 8.15               | 4.67     | 775             | 251             | 160             | 446             | 250                | 0.600           | 13.8                | 0.719                | 1660               | 88.9              | 77.7              |
| 210x267x55          | 8.14               | 4.60     | 897             | 226             | 140             | 401             | 218                | 0.605           | 15.5                | 0.721                | 1200               | 63.0              | 69.4              |
| 210x267x51          | 8.12               | 4.57     | 650             | 209             | 128             | 371             | 200                | 0.606           | 16.6                | 0.722                | 951                | 50.3              | 64.3              |
| 210x267x46          | 8.14               | 4.51     | 593             | 193             | 114             | 343             | 178                | 0.613           | 18.3                | 0.724                | 737                | 37.7              | 58.7              |
| 210x267x41          | 8.21               | 4.38     | 523             | 179             | 96.1            | 320             | 150                | 0.634           | 20.8                | 0.730                | 565                | 25.7              | 52.3              |
| 165x267x43 +        | 8.34               | 3.44     | 519             | 192             | 76.6            | 346             | 122                | 0.672           | 17.7                | 0.758                | 670                | 36.8              | 54.0              |
| 165x267x37 +        | 8.39               | 3.30     | 449             | 176             | 62.7            | 321             | 100                | 0.693           | 20.6                | 0.765                | 514                | 23.9              | 47.6              |
| 165x267x33 +        | 8.41               | 3.20     | 390             | 159             | 52.0            | 291             | 83.1               | 0.708           | 23.6                | 0.771                | 378                | 15.9              | 41.9              |
| 191x229x81 +        | 7.09               | 4.55     | 830             | 281             | 213             | 507             | 336                | 0.573           | 8.24                | 0.699                | 3780               | 256               | 103               |
| 191x229x67 +        | 7.01               | 4.44     | 702             | 231             | 170             | 414             | 267                | 0.576           | 9.82                | 0.702                | 2130               | 146               | 84.9              |
| 191x229x53 +        | 6.96               | 4.32     | 569             | 184             | 130             | 328             | 203                | 0.583           | 12.2                | 0.706                | 1070               | 72.6              | 67.4              |
| 191x229x49          | 6.88               | 4.33     | 536             | 167             | 122             | 296             | 189                | 0.573           | 12.9                | 0.705                | 835                | 60.5              | 62.6              |
| 191x229x45          | 6.87               | 4.29     | 491             | 152             | 109             | 269             | 169                | 0.576           | 14.1                | 0.706                | 628                | 45.2              | 56.9              |
| 191x229x41          | 6.88               | 4.23     | 452             | 141             | 97.8            | 250             | 152                | 0.583           | 15.5                | 0.709                | 494                | 34.5              | 52.2              |
| 191x229x37          | 6.86               | 4.20     | 413             | 127             | 87.8            | 225             | 136                | 0.583           | 16.9                | 0.709                | 365                | 25.8              | 47.3              |
| 191x229x34          | 6.90               | 4.12     | 372             | 118             | 76.5            | 209             | 119                | 0.597           | 18.9                | 0.713                | 280                | 18.5              | 42.7              |
| 152x229x41          | 7.05               | 3.37     | 436             | 150             | 76.3            | 267             | 120                | 0.634           | 13.7                | 0.740                | 534                | 44.5              | 52.3              |
| 152x229x37          | 7.03               | 3.33     | 397             | 135             | 67.8            | 242             | 107                | 0.636           | 15.1                | 0.742                | 396                | 32.9              | 47.2              |
| 152x229x34          | 7.04               | 3.27     | 359             | 125             | 60.3            | 223             | 93.3               | 0.646           | 16.8                | 0.745                | 305                | 23.8              | 42.8              |
| 152x229x30          | 7.02               | 3.23     | 322             | 111             | 52.0            | 199             | 81.5               | 0.648           | 18.8                | 0.746                | 217                | 16.9              | 38.1              |
| 152x229x26          | 7.08               | 3.11     | 276             | 102             | 42.3            | 183             | 66.6               | 0.671           | 22.0                | 0.753                | 161                | 10.7              | 33.3              |
| 178x203x43 +        | 6.11               | 4.11     | 413             | 127             | 101             | 226             | 157                | 0.556           | 12.2                | 0.694                | 538                | 46.3              | 54.3              |
| 178x203x37          | 6.06               | 4.04     | 365             | 109             | 86.1            | 194             | 133                | 0.555           | 13.8                | 0.696                | 350                | 31.3              | 47.2              |
| 178x203x34          | 6.07               | 3.99     | 332             | 100             | 76.3            | 177             | 118                | 0.561           | 15.2                | 0.698                | 262                | 23.0              | 42.8              |
| 178x203x30          | 6.04               | 3.97     | 301             | 89.0            | 67.6            | 157             | 104                | 0.561           | 16.9                | 0.699                | 186                | 16.6              | 38.3              |
| 178x203x27          | 6.13               | 3.85     | 268             | 84.6            | 57.5            | 150             | 89.1               | 0.588           | 19.2                | 0.705                | 146                | 11.5              | 34.5              |
| 140x203x27 +        | 6.23               | 3.06     | 256             | 87.0            | 44.3            | 155             | 69.5               | 0.636           | 17.1                | 0.739                | 148                | 14.4              | 34.0              |
| 140x203x23          | 6.19               | 3.03     | 224             | 74.2            | 37.8            | 132             | 59.0               | 0.633           | 19.5                | 0.740                | 93.7               | 9.49              | 29.3              |
| 140x203x20          | 6.28               | 2.87     | 184             | 67.2            | 28.9            | 121             | 45.4               | 0.668           | 23.8                | 0.750                | 66.3               | 5.33              | 24.8              |

Advance, UKT and UKB are trademarks of Corus. A fuller description of the relationship between Structural Tees and the Advance range of sections manufactured by Corus is given on page 143.

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

(\*) Note units are cm<sup>3</sup> and not dm<sup>3</sup>.

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTES 2 AND 3

UkB : 140× 203 × 27

B = 143.3    d = 203.3    t = 7.9    T = 12.9    r = 10.2

b/T = 5.55    d/t = 25.7



الشكل رقم (3-2) يوضح وجه البيم



الشكل رقم (3-1) يوضح البيم رأسياً



الشكل رقم (3-4) يوضح طول البيم



الشكل رقم (3-3) يوضح الجانب الافقي للبيم

$$\frac{8000}{1000} = \frac{8}{1000} = 0.008 \times 10 \quad \text{وزن المكعب}$$

$$= 0.08 \text{ Kn}$$

$$\frac{\text{وزن المكعب} \times \text{عدد المكعبات}}{\text{Span (4.25)}}$$

$$\frac{210 \times 0.08}{4.25} = 3.9 \text{ KN}$$



الشكل رقم (3-6) يوضح الصف الثاني للمكعبات



الشكل رقم (3-5) يوضح الصف الأول للمكعبات



الشكل رقم (3-8) يوضح الصف الرابع للمكعبات



الشكل رقم (3-7) يوضح الصف الثالث للمكعبات



الشكل رقم (3-10) يوضح الصف السادس للمكعبات



الشكل رقم (3-9) يوضح الصف الخامس للمكعبات

# الفصل الرابع

## النتائج والتوصيات



#### 4.1 النتائج :

1. تكلفة وحدة البيم سابقة الصب اقل بكثير من الكمر الفولاذي.
2. توفر المواد الركام والرمل والأسمنت محلياً
3. كلما كانت قوالب صب وحدات الخرسانة سابقة الصب جيدة النتائج جيدة.
4. يمكن إنتاج الوحدات الخرسانية سابقة الصب بكميات كبيرة، وتركيبها لموقع العمل حسب الطلب

## 4.2 التوصيات:

- نوصى باستخدام وحدات الخرسانة سابقة الصب (Precast) فى الاسكان الأهلى والشعبى لسهولة تنفيذها وقلة تكاليفها .
- قوالب صب وحدات الخرسانة سابقة الصب يجب أن تكون جيدة ومحكمة وخاصة أبعادها
- يجب أن تتم المعالجة بالرش بالمياه باستمرار والمدة الكافية حسب المواصفات .
- نوصى أن تتم عملية رفع وحدات الأبيام سابقة الصب لوضعها فى المكان المحدد فى السقف ، أن توضع بعناية حتى لا تتأثر بتأثير قوى القص والالتواء ( shear force and torsion ) .
- يجب اتباع مستوى الجودة والتحكم فى الجودة فى خلطة الخرسانة المستخدمة فى صب وحدات الخرسانة سابقة الصب .
- الاستغلال المثالى للمواد فى الخلطة الخرسانية والتأكيد على الركام متدرج الحبيبات .
- ويمكن استخدام الملدنات ولكن مراعاة التكاليف .
- نستخدم خرسانة سابقة الصب ذات جودة عالية لضمان عدم حدوث تفتت أو تشققات .

### 4.3 المراجع:

1. تكنولوجيا الخرسانة ( مواد الخرسانة المسلحة وصناعتها )

الجزء الأول

د. أحمد علي العريان / د. عبدالكريم محمد عطا

2. تكنولوجيا الخرسانة ( خواص الخرسانة وتصميم خلطاتها )

الجزء الثاني

د. أحمد علي العريان / د. عبد الكريم محمد عطا

1974م

Title: Reinforced Concrete Design to Eurocode 2.3

Authors: Bill Mosley, John Bungey, and Ray Hulse

Edition: Seventh Edition

الملاحق:

