محاضرات مادة خرسانة مسلحة /1/

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة عمارة)

الدكتور نزيه يعقوب منصور

2026 - 2025

مقرر خرسانة مسلحة /1/ يغطي المواضيع التالية:

- مقدمة في نظرية الامان و التصميم بطريقة حالات الحدود بحسب الكود العربي السوري لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة
- تصميم الاعمدة
- تصميم المقاطع الخاضعة للانعطاف
- تصميم المقاطع الخاضعة للقص
- تصميم المقاطع الخاضعة للفتل
- تصميم المقاطع الخاضعة للانعطاف وقوى ضاغطة
- تحقيق حدود الاستثمار:حد التشكل وحد التشقق

المرجع الرئيس

المحاضرة الأولى

Introduction

مقدمة في نظرية الامان و التصميم بطريقة حالات الحدود بحسب الكود العربي السوري لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة

١ – ١ – مجال الكود وتطبيقه:

١ – يحدد هذا الكود الأحكام والتوصيات الدنيا التي يجب اتباعها في حساب المنشآت الخرسانية المسلحة وتصميمها وتنفيذها وتحقيقها. وهو يشمل القواعد التطبيقية لاستعمال مواد الخرسانة المسلحة ومواصفاتها وتشغيلها، ويتضمن طرائق الاختبار والتفتيش شرط ألا تكون المنشآت معرضة تعرضاً مستمراً لحرارة تزيد على (50) درجة مئوية، أو تعرضاً متقطعاً لأوقات تزيد على الربع ساعة لحرارة درجتها (70) درجة مئوية.

٢ – يعد هذا الكود جزءاً من أنظمة البناء وقوانينه في الجمهورية العربية السورية.

٣ – يطبق هذا الكود إلزامياً على المنشآت ذات الطابع الخاص، كالعقود والجسور (الكباري) والخزانات والمداخن والصوامع (الأهراءات) والوحدات الخرسانية السابقة الصنع والقشريات، في كل ما يتعلق بقيم الأفعال والأحمال الدنيا الذاتية والدائمة والحية بما في ذلك تأثير الرياح والزلازل وكذلك خواص المواد وقيم عوامل الأمان الدنيا، ويطبق أيضاً في كل ما لا تتعارض بنوده مع الميزات الخاصة لهذه المنشآت. وتطبق ملاحق الكود (حين صدورها) المتعلقة بهذه المنشآت على الميزات الخاصة لها.

٤ – تشمل ملاحق هذا الكود الاشتراطات الخاصة بـ:

- المنشآت المصنوعة من الخرسانة الخفيفة الوزن.
- المنشآت المصنوعة من الخرسانة السابقة الإجهاد.
- المنشآت المركبة من الخرسانة المسلحة والمقاطع المعدنية.
- المنشآت المعدنية.

٥ – تحدد الأفعال (القوى الخارجية من أحمال و تحميلات وتشكلات مفروضة ....) التي تؤثر على المنشآت الخرسانية، وتؤخذ أساساً للتصميم من أنظمة وقوانين البناء واشتراطات التصميم المعترف بها قانوناً، في حال وجودها، أو تعتمد نصوص هذا الكود.

٦ – تؤخذ خواص المواد ومقاومتها وطرائق اختبارها من المواصفات القياسية السورية والاشتراطات المعترف بها، وفي حال عدم وجودها تعتمد نصوص هذا الكود. ويسمح باستعمال الخرسانة ذاتية الرص (الدمك) على أن يتم تصميم الخلطة وتنفيذها وتطبيق معايير الجودة والمراقبة وفقاً لمواصفات مختصة بهذا النوع من الخرسانة إلى إصدار مواصفات قياسية سورية خاصة بها.

طرائق الحساب :

يتم الحساب في هذا الكود وفق حالات الحدود. ويسمح الكود في بعض الحالات الخاصة، التي سيرد ذكرها لاحقاً، بالاكتفاء بحساب حالات المقاومة من دون التحقق تفصيلاً في حالات الاستثمار، أو الاكتفاء بحساب حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها، من دون التحقق من حالات المقاومة وبعض حالات الاستثمار باعتبارها محققة ضمناً.

ويجب التنويه إلى أنه في حال التحقق من الحالات الحدية للمقاومة، تعتمد الفرضيات التي توافق حالة توازن الأفعال الناجمة عن القوى والأحمال الخارجية والأفعال الأخرى المصعدة، مع المقاومات الداخلية الدنيا التي يسمح بتصميم المنشأة على أساسها، وذلك باعتماد السلوك اللا مرن للمواد والفرضيات نصف الاحتمالية في تحديد معاملات الأمان.

أما عند التحقق من حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها، فتعتمد الفرضيات التي توافق حالة توازن الأفعال الناتجة عن القوى والأحمال والأفعال الأخرى الاستثمارية، من دون تصعيد، مع المقاومات الداخلية، بحيث لا تتجاوز الإجهادات الفعلية المتولدة قيم الإجهادات المسموح بها للمواد، وذلك باعتماد فرضيات السلوك المرن لهذه المواد وإدخال معاملات الأمان ضمناً في الإجهادات المسموح بها.

تتلخص طريقة الحساب بتحديد الأمور الآتية:

١ – تحديد الخواص والمقاومات وطرائق الاختبار للمواد الداخلة في تركيب الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة، وتحديد العوامل التي تؤثر عليها، وتحديد المقاومة المميزة التي يسمح بتصميم المنشأة على أساسها، وتحديد معاملات الأمان الكافية صراحة أو ضمناً أثناء التشييد وطوال الفترة المفروضة لبقاء المنشأة صالحة للاستثمار.

٢ – تحديد القوى الخارجية والأحمال الثابتة والمتحركة والأفعال الأخرى التي تؤثر على المنشأة أثناء تشييدها وطوال الفترة المفروضة لبقائها، وتحديد قيمها في ظروف التشغيل والاستثمار أو عند بلوغ إحدى حالات الحدود.

٣ – تحديد الأفعال في وحدات المنشأة المختلفة (عزوم الانحناء، قوى القص، القوى المحورية، الفتل، الخ ....) الناجمة عن القوى والأحمال والأفعال المبينة في (٢) وأنماط توزيعها واتزانها.

٤ – تحديد أبعاد القطاعات وتسليحها لتحمل محصلات الإجهادات الداخلية الناتجة عن الأفعال المشار إليها في (٣).

٤ – خواص المواد

تؤخذ خواص المواد من نصوص المواصفات القياسية السورية المعتمدة قانوناً، وفي حال عدم وجودها تعتمد النصوص الآتية:

٤ – ١ – الفولاذ (الصُلب):

٤ – ١ – ١ – أشكال قضبان الفولاذ (الصلب) وأنواعه:

١ – أشكال فولاذ التسليح المستعمل في الخرسانة:

أ – القضبان الملساء.

ب– القضبان ذات النتوءات المستمرة بشكل حلزوني أو المنقطعة.

ج– الشبكات الملحومة

٢ – وذلك من أحد أنواع الفولاذ الآتية:

أ – فولاذ طري، عادي المقاومة ذو سطح أملس، ويرمز له بالرمز ϕ .

ب– فولاذ طري، متوسط المقاومة ذو نتوءات مستمرة بشكل حلزوني أو منقطعة ويرمز له بالرمز H.

ج– فولاذ طري، عالي المقاومة، مدلفن على البارد أو على الساخن ذو نتوءات مستمرة بشكل حلزوني أو منقطعة ويرمز له بالرمز T.

د – فولاذ قاس، عالي المقاومة، معالج على البارد، ذو نتوءات مستمرة بشكل حلزوني أو منقطعة ويرمز له بالرمز Y.

٣ – يُشترط في جميع الأنواع أعلاه، عدا الفولاذ الطري العادي المقاومة، ألا يكون سطحها أملساً، وأن يكون به من النتوءات ما يكفي لإحداث التماسك اللازم مع الخرسانة.

٤ – الشبكات الملحومة:

تتكون الشبكات الملحومة إجمالاً من قضبان الفولاذ نصف القاسي، المتشابكة بعضها ببعض، والملحومة على الكهرباء في نقاط التشابك، وتُستعمل في القشريات والبلاطات الرقيقة. ويُرمز لها بالرمز M.

الجدول (١ – ٤): الخواص الميكانيكية لأنواع الفولاذ (الصلب) الأكثر استعمالاً

الأسياخ أو القضبان	نوع الفولاذ (الصُلب) والرمز	الحد الأدنى لمقاومة الشد (عند الإنقطاع) f_{su} MPa	الحد الأدنى لإجهاد الخضوع أو 0.2% إجهاد الضمان MPa	النسبة المئوية الدنيا للاستطالة عند الانقطاع
ملساء	فولاذ طري ϕ	370	240	*20
ذات نتوءات (ذات أضلاع)	فولاذ طري متوسط المقاومة H	440	300	*16
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ طري عالي المقاومة T	500	400	*12
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ قاس معالج على البارد Y	500	400	*10

* ويسمح بإعتماد القيمة المحددة في المواصفة القياسية السورية، بشرط اعتماد طريقة القياس المرتبطة بها.

ملاحظة ١ : اعتمدت هذه القيم على طول أصلي من العينة قبل الاختبار مقداره خمسة أمثال قطرها.

ملاحظة ٢ : قد يتوفر أحياناً في الأسواق $f_y = 280$ MPa أملس و $f_y = 360$ MPa ذي نتوءات.

ملاحظة ٣ : يتم في مناطق الزلازل، اختيار فولاذ تسليح ذو مقاومة مميزة (حد الخضوع للشد) لا تتجاوز $f_y = 400MPa$ ولا تقل عن $f_y = 240MPa$. في حال زادت قيمة حد المرونة (حد الخضوع الاصطلاحي) للفولاذ المختبر على 400MPa، فيتم قبوله شريطة:

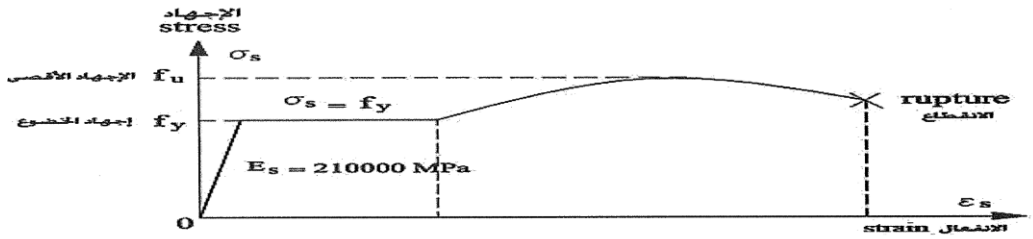
– ألا يقل إجهاد الإنقطاع f_{su} لكل عينة عن 1.25 مرة حد المرونة للعينة ذاتها (حد الخضوع الاصطلاحي أو حد الضمان).

– لا تزيد نسبة العينات التي يزيد حد مرونتها على 460MPa على 5% من مجموع العينات المختبرة عندما يزيد عدد العينات على 30 عينة.

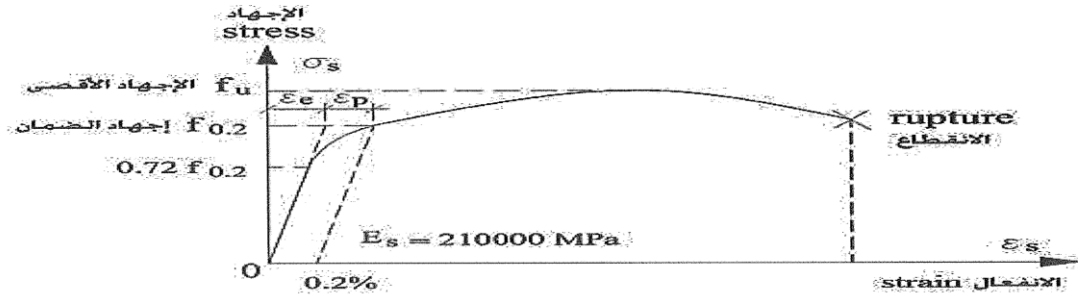
– في حال اختبار عينتين فقط، فيُسمح للتبسيط بأن يكون حد مرونة إحدى العينتين فقط فوق 460MPa.

– إذا تعدى حد المرونة للعينتين، القيمة 460MPa، يتم اختبار أربع عينات أخرى، ولا يُسمح بأن يزيد حد المرونة على 460MPa سوى لعينة واحدة من العينات الأربع.

– في جميع الحالات، يجب ألا تقل الاستطالة النسبية عن 12% أو عن ما ورد في الجدول (١ – ٤).



الشكل (١ – ٤): المنحني الافتراضي للإجهاد والانفعال للفولاذ الطري العادي والعالي المقاومة المعالج على الساخن في الشد (وبشكل متناظر عكسياً في الضغط)



الشكل (٢ – ٤): المنحني الافتراضي للإجهاد والانفعال للفولاذ المعالج على البارد في الشد (وبشكل متناظر عكسياً في الضغط)

٤ – ١ – ٢ – الأقطار المستعملة:

١ – تُستعمل الأقطار الآتية (النظرية لذات النتوءات و الفعلية للملساء) مقدرة بالميليمتر :
5 , 6 , 8 , 10 , 12 ,14, 16 ,18, 20 ,22 , 25 , 28, 30 , 32 , 40

٢ – عند استعمال قضبان ذات نتوءات، يُؤخذ القطر النظري للدائرة التي تُعطي الوزن ذاته للمتر الطولي، إذا كانت النتوءات مستمرة، وإذا كانت النتوءات متقطعة يُؤخذ أصغر مقطع للقضيب، أي أن الأقطار المذكورة أعلاه تمثل القطر النظري للدائرة التي تعطي الوزن ذاته للمتر الطولي.

٤ – ١ – ٣ – الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح:

تُحدد الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح بالعناصر الآتية:

١ – إجهاد الخضوع f_y، أو إجهاد الضمان (إجهاد الخضوع الاصطلاحي)، الذي يترك 0.2% من الانفعالات الدائمة. انظر أيضاً البند (٥ – ١ – ٤) أدناه.

٢ – مقاومة الشد القصوى (f_{su}) عند الانقطاع.

٣ – النسبة المئوية للاستطالة عند الانقطاع.

يُبين الجدول (١ – ٤) أنواع قضبان الفولاذ الأكثر استعمالاً مع خواصها الميكانيكية. وتعتمد قيم فيه للنسبة المئوية الدنيا للاستطالة عند الانقطاع على طول أصلي من العينة قبل الاختبار، قداره خمسة أمثال قطرها.

٤ – ١ – ٤ – الرسم البياني للفولاذ:

يُؤخذ الرسم البياني للفولاذ الناتج عن الاختبارات. وفي حال عدم وجود اختبارات، يؤخذ وفقاً للمواصفات المعمول بها، أو يُؤخذ الرسمان البيانيان في الشكلين (١ – ٤ و ٤ – ٢).

٤ – ١ – ٥ – المقاومة المميزة للفولاذ (إجهاد الخضوع المميز):

١ – في أنواع الفولاذ الطري العادي المقاومة والعالي المقاومة الذي تظهر فيه خاصة الخضوع، يكون فيه إجهاد الخضوع هو الإجهاد المطابق لمرحلة الخضوع. ويُرمز لهذا الإجهاد بالرمز f_y.

٢ – في الفولاذ المعالج على البارد، وفي بعض الأنواع الأخرى من الفولاذ العالي المقاومة، الذي لا تظهر فيه عتبة الخضوع، يكون إجهاد الخضوع (الاصطلاحي) هو الإجهاد الذي يترك انفعالاً متبقياً مقداره 0.2%. ويُرمز لهذا الإجهاد بـ $(f_{0.2}) = (f_y)$، ويسمى أحياناً إجهاد الضمان (proof stress).

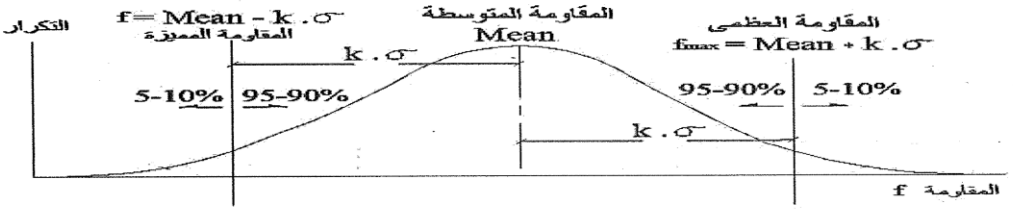
٣ – إن إجهاد الخضوع f_y، هو المقاومة الميكانيكية المميزة للفولاذ في الشد والتي يُبنى التصميم على أساسها. ويجب أن يكون حده الأدنى مكفولاً من البائع أو المنتج، وإلا وجب تحديده على أساس تجارب مخبرية معترف بها، واعتماداً على علم الإحصاء، بحيث لا تزيد نسبة عدد العينات التي يقل إجهاد خضوعها (الحقيقي أو الاصطلاحي)، عن إجهاد الخضوع المميز، (أو الاصطلاحي المميز)، على 5% من عدد العينات المدروسة.

٤ – يبين الشكل (٢ – ٤ –أ) منحني جاوس للتوزع الطبيعي (بشكل الجرس)، ومبيّن عليه مواقع

المقاومة المميزة للفولاذ والمقاومة المتوسطة لمجموعة العينات، وكذلك المقاومة العظمى المسموحة (المناظرة للمقاومة المميزة، أي تلك التي لا تزيد نسبة عدد العينات التي يزيد إجهاد خضوعها على هذه المقاومة العظمى بأكثر من 5% من عدد العينات المدروسة). وإن عدم قبول زيادة النسبة للمقاومات فوق المقاومة العظمى المسموحة بأكثر من 5% من عدد المقاومات المدروسة، هو من أجل التحقق من صلاحية فولاذ التسليح لمقاومة الزلازل، بحيث يسمح بالتشوهات اللدنة اللازمة وإعادة توزيع القوى والعزوم الناتجة في المنشأة، وعدم حصول الانهيار الهش للعناصر الخرسانية المسلحة.

٥- يجب ألا تقل المقاومة عند الانقطاع لأية عينة مختبرة عن 1.25 مرة من إجهاد خضوعها (أو إجهاد خضوعها الاصطلاحي).

٦- يجب ألا تقل الاستطالة النسبية عند الانقطاع لأية عينة مختبرة عما هو وارد في الجدول (٤-١)، حسب نوع الفولاذ.



الشكل (٢-٤-أ): منحني جاوس للتوزع الطبيعي مبين عليه المقاومات المميزة والمتوسطة والعظمى الإحصائية. النسبة 5% لفولاذ التسليح والنسبة 10% للخرسانة.

٤-١-٦- مواصفات فولاذ التسليح

١- يجب أن تكون قضبان التسليح (بجميع أنواعها) نظيفة من الأوساخ والشحوم أو الزيوت وخالية من الصدأ وقابلة للثني ومحققة لاشتراطات الكود العربي السوري (والمواصفات والمقاييس السورية)، خاصة من حيث الخواص الميكانيكية والكيميائية.

٢- يجب أن تكون قضبان التسليح العالي المقاومة من النوع المضلع (محزز او ذي نتوءات) المسحوب على الساخن، ولا تتغير خواصه باللحام، ولا يُسمح باستعمال الفولاذ المسحوب على البارد في حالة الحاجة إلى اللحام.

٤-٢- الخرسانة:

٤-٢-١- مكونات الخرسانة:

تتكون الخرسانة من خليط من الركام والإسمنت والماء، وأحياناً بعض الإضافات الأخرى.

٤-٢-١-١- الركام (الرمل والبحص):

أ- يتكون الركام عادة من خليط من الركام الصغير (رمل - نحاتة) والركام الكبير (البحص).

ب- إما أن يكون الركام من الصحراء، أو من مجاري الأنهار، أو من كسر الصخور، أو من أي نوع من الحصويات المعتمدة في المواصفات القياسية السورية، أو من مواد مصنعة مثل: الطين المحروق أو خبث الحديد أو غيرها. كما يجوز استعمال رمال شواطئ البحار، بعد إجراء تجارب ناجحة في مختبر معترف به.

ج- يجب أن تكون حبيبات الركام صلبة وقوية ونظيفة، وذات تركيب حبي مناسب، وخالية من المواد الغريبة كأوراق الشجر أو نفايات الأخشاب أو قطع الجبس والمونة ...الخ. كما يجب أن تكون خالية تقريباً من المعلّقات الملتصقة والمواد الضارة، كالأتربة والأملاح والشوائب والمواد العضوية، التي تؤثر تأثيراً ضاراً على زمن الأخذ (الشك) أو زمن التصلب، أو على قوة الخرسانة أو على مدى تحملها مع الزمن، أو تضر بفولاذ التسليح.
كما يجب ألا تزيد نسبة المواد الناعمة، والمواد الأخرى، على القيم التي يحددها للخرسانة دفتر الشروط الخاص بالمشروع. وفي جميع الأحوال يجب ألا تزيد نسبة البودرة (المارة من المنخل 200 الذي قياس فتحته 75 ميكرون) على 5% من وزن الرمل الطبيعي أو 7% من وزن الرمل الناتج عن تكسير الحجر، وألا تزيد هذه النسبة على 1% من وزن البحص.

د- يجب أن تكون مقاومة مادة الركام المستعمل، أكبر من ضعف مقاومة الخرسانة المطلوبة.

هـ- يشترط في المقاس الإسمي (الافتراضي) الأكبر، للركام الكبير، أن يكون أقل من ربع المقاس الأصغر للجزء المطلوب صبه، وكذلك أقل من أصغر مسافة بين قضبان التسليح، وأن يكون شكله مناسباً، وبعيداً عن الأشكال المفلطحة والإبرية.

و- يجب أن يكون الركام متدرجاً، بحيث تكون الخرسانة المصنوعة منه سهلة التشغيل، وألا يتكون بداخلها فراغات، وتحتاج إلى أقل كمية لازمة من ماء الخلط.

ز- يتم تحديد منحنيات التدرج الحبي المناسبة للركام في كل مشروع، بناءً على أبحاث وتجارب تُجرى لهذه الغاية. ويمكن في الحالات العادية اعتماد منحنيات التدرج الواردة في الملحق (ب).

٤-٢-١-٢- الإسمنت:

أ- يستعمل في الخرسانة الإسمنت البورتلاندي من أحد الأنواع الآتية: العادي، السريع التصلب،

الأبيض، المخلوط، خبث الأفران، المقاوم للكبريتات.

ب— يستعمل في الخرسانة المسلحة عادة الإسمنت البورتلاندي العادي، ويمكن استعمال كل نوع آخر، إذا توفرت الخبرة السابقة في استعماله بنجاح، عدا الإسمنت العالي الألومين، الذي لا يُسمح باستعماله إلا في حالات خاصة، وبعد تبرير ذلك تقنياً.

ج— يجب أن يفي الإسمنت المستعمل، بالاشتراطات والمواصفات القياسية المعترف بها، والمحددة في الشروط الخاصة بالمشروع.

د— يُورَّد الإسمنت في أكياس محكمة، أو مستودعات مغلقة، ويُخزن بحيث لاتصل إليه الرطوبة، ويجب استعماله قبل انتهاء فترة صلاحيته.

٤ — ٢ — ١ — ٣ — ماء الخلط:

أ — يجب أن يكون الماء المستعمل في خلط الخرسانة وغسل الركام، نظيفاً وخالياً من المواد الضارة، مثل الزيت والأحماض والقلويات والأملاح الأخرى التي قد تؤثر تأثيراً متلفاً على الخرسانة أو فولاذ التسليح.

ب— ويُشترط في الماء ألا تزيد أملاح الكلوريدات الذائبة فيه على 0.5 غرام في الليتر، وأملاح الكبريتات على 0.3 غرام في الليتر، والأملاح الكلية على 2 غرام في الليتر.

ج— إن الماء الصالح للشرب مناسب في جميع الأحوال لخلط الخرسانة.

د — يمكن استعمال الماء غير الصالح للشرب في خلط الخرسانة إذا كان:

١) زمن الأخذ (الشك) الابتدائي لعينات الإسمنت المجهزة بهذا الماء، لا يزيد بأكثر من 30 دقيقة على زمن الأخذ (الشك) الابتدائي، لعينات من الإسمنت ذاته المخلوط بالماء الصالح للشرب، وبحيث لا يقل زمن الأخذ (الشك) الابتدائي عن 45 دقيقة في كل الأحوال.

٢) مقاومة الضغط بعد 7 أيام، أو 28 يوماً، للعينات القياسية التي يُستعمل في خلطها هذا الماء، لا تقل عن 90% من مقاومة الضغط، لعينات مماثلة خُلطت بماء صالح للشرب.

هـ— ولا يُسمح باستعمال ماء البحر لخلط الخرسانة المسلحة، وإن كان يجوز استعماله عند الضرورة في الخرسانة العادية دون تسليح، مع زيادة كمية الإسمنت، للوصول إلى الدرجة المطلوبة في مقاومة الخرسانة. وتُحدد كمية الزيادة بموجب تجارب نظامية خاصة بذلك. وفي كل الحالات يجب إجراء تجارب أولاً، وفي حال نجاحها يتم السماح باستعمال ماء البحر.

٤ — ٢ — ١ — ٤ — الإضافات:

يُشترط في الإضافات المستعملة ألا يكون لها تأثير ضار على الخرسانة أو صلب التسليح. ويجب تحديد الحد الأقصى للكمية المستعملة من كل الإضافات، مقدراً كنسبة مئوية من وزن الإسمنت. ويُشترط في الخرسانة المحتوية على الإضافات (بعد التأكد من حسن نتائج

٤ — ٢ — ٣ — الخواص الميكانيكية المميزة للخرسانة:

٤ — ٢ — ٣ — ١ تعداد الخواص:

إن الخواص الميكانيكية المميزة للخرسانة هي:

أ — مقاومة الضغط.

ب— مقاومة الشد.

ج— معامل التشكل الطولي (معامل المرونة).

د — معامل التشكل العرضي (نسبة بواسون).

هـ— الزحف.

٤ — ٢ — ٣ — ٢ — تحديد المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط وفي الشد:

تحدد المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط والشد من نتائج اختبارات الضغط والشد والانفلاق على عينات قياسية (Ø 150 X 300) عمرها 28 يوماً، محفوظة تحت الماء في درجة حرارة 2± 20 درجة مئوية. ويجب ألا يزيد عدد الاختبارات المحتمل أن تنخفض مقاومتها عن المقاومة المميزة، على 10%، طبقاً للمعايير الإحصائية.

٤ — ٢ — ٤ — تصنيف درجات جودة الخرسانة:

يقوم المهندس المصمم للمنشأة بافتراض درجة جودة الخرسانة، التي تمثل المقاومة الاسطوانية المميزة لها بالضغط (f'_c)، وبما يتناسب مع طبيعة المنشأة المراد تنفيذها، ويقوم المهندس المنفذ بالتحقق من الوصول إليها بتصميم الخلطات المناسبة واختبارها.

وبصورة عامة يمكن تصنيف درجات جودة الخرسانة واستعمالاتها (على سبيل المثال) كما هو مبين في الجدول (٩ — ٤).

ولا تستعمل خرسانة من درجة جودة أعلى من C45 إلا في حالة الخرسانة المسبقة الإجهاد، أو لأغراض إنشائية خاصة وبشرط إجراء اختبارات خاصة، وأن يتم تدقيقها من جهة متخصصة والتأكد من ضمان استمرارية المحافظة على الجودة أثناء التنفيذ، وعلى أن تُتخذ في التصميم والتنفيذ جميع الإجراءات التقنية اللازمة لضمان هذه الجودة، وهي من التزامات المهندس المسؤول. علماً

MANARA UNIVERSITY

بأنه يمكن اعتماد قيم مقاومة مميزة خارج المقاومات المذكورة أعلاه، وخاصةً عند تحقيق المنشآت القائمة، حيث تؤخذ المقاومة المميزة التي نتجت بالاختبارات وفقاً لتقدير المهندس المسؤول.

الجدول (٩–٤): درجات جودة الخرسانة واستعمالاتها المناسبة

درجة الجودة		C 5	C 8	C 10	C 12
المقاومة المميزة بالضغط f'_c	Mpa	5	8	10	12
	kgf/cm^2	50	80	100	120
مجال الاستعمال		خرسانة ردمية	خرسانة للنظافة تحت الأساسات	خرسانة عادية (أساسات – جدران .... الخ)	

درجة الجودة		C15	C 18	C 20	C 25	C 30	C 35	C40	C45
المقاومة المميزة بالضغط f'_c	MPa	15	18	20	25	30	35	40	45
	kgf/cm^2	150	180	200	250	300	350	400	450
مجال الاستعمال		خرسانة مسلحة			خرسانة مسلحة وخرسانة مسبقة الإجهاد				

كذلك لا تُستعمل خرسانة من درجة جودة أدنى من C18 في الخرسانة المستعملة للمباني والمنشآت التي ستنفذ من الخرسانة المسلحة في مناطق الزلازل.

٤–٢–٥– تصميم خلطات الخرسانة للحصول على المقاومات الميكانيكية المميزة المطلوبة:

٤–٢–٥–١– التصميم للمقاومة المميزة في الضغط:

أ – **إن المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية**، هو تحديد الكميات المثالية اللازمة من الإسمنت والماء والرمل والبحص (الناعم والخشن)، لإنتاج متر مكعب من خرسانة ذات قابلية تشغيل معينة، وذات مقاومة متوسطة في الضغط (f'_{cm})، تُعطي مقاومة مميزة (f'_c)، اعتماداً على مبادئ علم الإحصاء الرياضي، وذلك كما يلي:

$$f'_{cm} = f'_c + k.s \qquad .... (4.1)$$

حيث:

k: مُعامل يتوقف على عدد الاختبارات، وعلى احتمال أن تكون نسبة 10% من الاختبارات أقل من المقاومة المميزة، وقيمه مبينة في جدول الملحق (أ).

ويمكن اعتماد القيمة $k = 1.31$، إذا كان عدد الاختبارات لا يقل عن الثلاثين.

واعتماد القيمة $k = 1.34$، إذا كان عدد الاختبارات لا يقل عن خمسة عشر.

s: الانحراف المعياري. ويُحسب من العلاقة الآتية (4.2):

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(f'_i - \bar{f})^2}{n-1}} \qquad ....(4.2)$$

حيث:

f'_i = مقاومة العينة الاسطوانية (ϕ150 x 300) بعد 28 يوماً من الصب.

n = عدد عينات الاختبار، بحيث لا يقل عن خمس عشرة عينة في حالة تصميم الخلطة ولا يقل عن ثلاثين عينة في حال ضبط الجودة خلال التنفيذ.

$\bar{f}$ = وسطي مقاومات العينات الاسطوانية = $\frac{\Sigma f'_i}{n}$

ب– تُستعمل العلاقات السابقة ضمن المعطيات الآتية:

١) إذا كان تصنيع خرسانة المنشأة يتم بواسطة مجبل مركزي، يحوي سجلات لنتائج كسر عينات اسطوانية، بعدد لا يقل عن ثلاثين اسطوانة، مأخوذة من خرسانة مصنوعة من نفس المواد التي سيتم استعمالها، وضمن فترة لا تزيد على ستة أشهر، وتحت إشراف مماثل، فيمكن استعمال النتائج بالنسبة لخرسانة ذات درجة جودة لا تقل عن C15، لحساب الانحراف المعياري s من العلاقة أعلاه، على أن يتحقق الشرط:

$$s \geq 3 \text{ MPa} \qquad (30 kgf/cm^2)$$

ومن ثم يجري حساب المقاومة المتوسطة، التي يجب الحصول عليها من العلاقة (4.1) التي تصبح:

$$f'_{cm} = f'_c + 1.31 \cdot s_{30} \qquad ... (4.3)$$

حيث s_{30}: الانحراف المعياري لعدد من العينات لا يقل عن ثلاثين.

٢) أما إذا كان إنتاج الخرسانة لا يتم بمجبل مركزي، أو كان يتم بمجبل مركزي لا يحوي سجلات لنتائج الكسر، تُحقق الشروط الواردة في الفقرة أعلاه، فيمكن حساب المقاومة المتوسطة التي يجب الحصول عليها لخرسانة ذات جودة لا تقل عن C15 من العلاقة:

$$f'_{cm} = f'_c + 8 \quad MPa \qquad ... (4.4)$$
$$(f'_{cm} = f'_c + 80 \ kgf/cm^2)$$

وكبديل عن هذه العلاقة يمكن اعتماد المقاومة المتوسطة المطلوبة مساوية إلى 1.25 مرة من المقاومة المميزة المطلوبة.

ج– تُصنع ثلاث جبلات تجريبية مختلفة من الخلطة الخرسانية التي تم تصميمها باستعمال مواد من النوعية التي ستُستعمل ذاتها، وبشروط إنتاج الخرسانة المتوقعة ذاتها. فإذا تعذر ذلك يمكن للمهندس المسؤول السماح بتصنيع الجبلات في المخبر بالطريقة الواردة بالبند (١٣–٢–٧).

تؤخذ ثلاث عينات اسطوانية على الأقل من كل جبلة للاختبار بعد 28 يوماً من الصب، كما يمكن أن تؤخذ ثلاث عينات اسطوانية أخرى على الأقل من كل جبلة للاختبار بعد 7

أيام من الصب. يجري تحضير الأسطوانات وحفظها حتى وقت الاختبار ضمن الشروط النظامية ومن ثم اختبارها طبقاً لما سيرد في البند (٢-٧-١٣).

تكون نسب الخلطة التصميمية مقبولة، إذا كان متوسط نتائج الأسطوانات المختبرة بعد 28 يوماً من الصب $\overline{f'_{28}}$، وعددها لا يقل عن خمس عشرة، مُحققاً لما يلي:

$$\overline{f'_{28}} \geq f'_c + 1.34s_{15} \quad \ldots (4.5)$$

حيث s_{15}: الانحراف المعياري لعدد من العينات لا يقل عن خمس عشرة.

كما يمكن في بعض الحالات الخاصة، التي يعود تقديرها للمهندس المسؤول، قبول نسب الخلطة التصميمية، إذا كان متوسط نتائج الأسطوانات المختبرة بعد 7 أيام من الصب $\overline{f'_7}$، وعددها لا يقل عن خمس عشرة أيضاً، مُحققاً لما يلي (وذلك للخرسانة المصنعة من الإسمنت البورتلاندي العادي ذي التصلب الطبيعي):

$$\overline{f'_7} \geq 0.7(f'_c + 1.34s_{15}) \quad \ldots (4.6)$$

وتُؤخذ قيمة الانحراف المعياري (s_{15}) في العلاقتين (5-4) و(6-4) أعلاه، من تطبيق العلاقة (4.2) للأسطوانات موضوع الاختبار لعدد من العينات لا يقل عن خمس عشرة. وكبديل عن هاتين العلاقتين، يمكن قبول نسب الخلطة إذا كان:

$$\overline{f'_{28}} \geq 1.25 \quad (f'_c)$$

$$\overline{f'_7} \geq 1.25\ (0.7\ f'_c)$$

٤-٢-٥-٢- المقاومة المميزة في الشد:

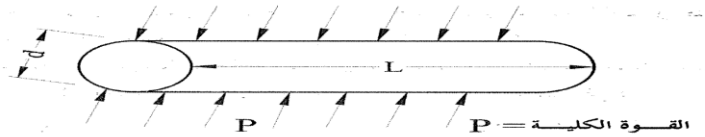
تُحدد المقاومة المميزة للخرسانة في الشد، بإحدى الطريقتين الآتيتين، وتُطبق على كل منهما المعايير الإحصائية ذاتها التي سبق ذكرها في البند (١-٥-٢-٤) لحالة المقاومة المميزة في الضغط.

أ - اختبار الشد بالفلق:

يجري الاختبار على قوالب قياسية أسطوانية قطرها 150 mm، وطولها 300 mm، وعمرها 28 يوماً، وذلك بتعريضها للفلق، بوساطة حملي ضغط متساويين، يعملان على رأسين متقابلين، على طولي مولدين متقابلين للأسطوانة، كما في الشكل (٤-٧). وتُحسب مقاومة الخرسانة للشد بالفلق من العلاقة:

$$f_{sp} = 2P/(\pi.d.L)$$

حيث يرمز بـ P إلى حمل الكسر المستعمل، ويرمز بـ L إلى طول عينة الاختبار (L= 300 mm).



الشكل (٤-٧): اختبار الشد في الخرسانة بفلق الأسطوانة

وتكون مقاومة الخرسانة للشد مساوية إلى 0.85 من مقاومة الفلق، أي:

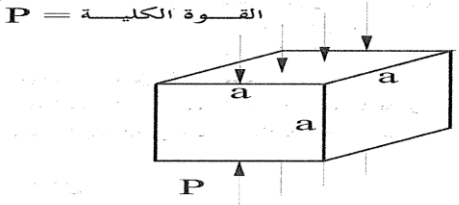
$$f_{ct} = \frac{0.55P}{d.L}$$

وإذا كانت العينة الخاضعة للاختبار مكعبية (الشكل ٤-٨)، تُحسب مقاومة الخرسانة للشد بالفلق من العلاقة: $f_{sp} = 2P/(\pi.a^2)$

حيث a طول ضلع المكعب.

وتكون مقاومة الخرسانة للشد في هذه الحالة أيضاً، مساوية إلى 0.85 من مقاومة الفلق، أي:

$$f_{ct} = 0.55P/a^2$$



الشكل (٤-٨): اختبار الشد في الخرسانة بفلق المكعب

ب - اختبار الشد بالانحناء البسيط:

يمكن أن تُستبدل بالاختبارات السابقة تجارب الانعطاف (الانحناء)، التي تُجرى على عينات موشورية مقطعها 100mm x 100mm وطولها 550mm، أو مقطعها 150mm x 150mm وطولها 700mm، تُحمّل بحملين متساويين ومتماثلين، يبعد كل منهما 150mm أو 200mm عن الركيزة، كما في الشكل (٤-٩).

ب– استعمال العيارات الوزنية، بحيث يكون منحني التدرج الحبي ضمن حزمة المنحنيات المبينة في الملحق (ب).

ج– قياس نسبة رطوبة الركام قبل استعماله في تصنيع الخلطات، وأخذ هذه النسبة في حساب كمية الماء في الخلطة.

د– وجود إشراف دائم على عملية التصنيع، بدءاً من العيارات الوزنية وانتهاء بمعالجة الخرسانة بعد صبها (رش الماء...الخ)، ويشمل ذلك أخذ عينات اسطوانية لضبط الجودة وحفظ هذه الاسطوانات واختبارها وتقويم نتائجها طبقاً للشروط الواردة في (٣–٧–١٣). إذا تم تصنيع الخرسانة ضمن شروط المراقبة الواردة أعلاه يمكن اعتماد القيم الواردة في الجدول (١٠–٤).

الجدول (١٠–٤): مقاومة الضغط المميزة الدنيا في حالة الخرسانة المراقبة بشكل دقيق*

كمية الإسمنت kg/m³		300	350	400		450**		
درجة جودة الخرسانة		C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45
المقاومة الاسطوانية المميزة الدنيا f'_c	MPa	18	20	25	30	35	40	45
	kgf/cm²	180	200	250	300	350	400	450

* يمكن الحصول بكميات الإسمنت المذكورة في الجدول على مقاومات تزيد عن مقاومة الضغط المميزة الدنيا المذكورة وذلك في حال استعمال خلطات مصممة لذلك وخاصة عند استعمال الملدنات.

** مع ضرورة إضافة ملدنات عالية الجودة super plasticizer وسيليكا فيوم silica fume. ويمكن استعمال مقاومات أعلى لأغراض إنشائية خاصة وبشرط إجراء اختبارات خاصة وأن يتم تدقيقها من جهة متخصصة والتأكد من ضمان استمرارية المحافظة على الجودة أثناء التنفيذ.

٤–٢–٦–٢– مقاومة الضغط المحتملة في حالة الخرسانة غير المراقبة بشكل دقيق:

يُقصد بالخرسانة غير المراقبة بشكل دقيق، الخرسانة المصنعة بإهمال واحد أو أكثر من إجراءات مراقبة تصنيع الخرسانة الواردة في البند (١–٦–٢–٤). في حالة الخرسانة غير المراقبة بشكل دقيق يمكن اعتماد مقاومات الضغط الواردة في الجدول (١١–٤)، ولكن عند إجراء تجارب مراقبة وضبط الجودة للخرسانة غير المراقبة بشكل دقيق، يتم أخذ العينات وحفظها واختبارها وتقويم نتائجها، طبقاً للشروط الواردة في البند (٣–٧–١٣).

كمية الإسمنت kg/m ³		100	150	200	250	300	350	400	450*
درجة جودة الخرسانة		C5	C8	C10	C12	C15	C18	C20	C25
المقاومة الاسطوانية المميزة المحتملة f'_c	MPa	5	8	10	12	15	18	20	25
	kgf/cm²	50	80	100	120	150	180	200	250
مجال الاستعمال		ردم	نظافة تحت الأساسات	خرسانة عادية		خرسانة مسلحة			

* مع ضرورة إضافة ملدنات عالية الجودة super plasticizer وسيليكا فيوم silica fume.

وفي جميع الأحوال ينصح بتأمين مراقبة كافية للحصول على قيم تزيد عما ورد في هذا الجدول.

٤–٢–٦–٣– مقاومة الشد المميزة المحتملة:

تُؤخذ مقاومة الضغط في هذه الحالة أساساً لحساب مقاومة الشد، ويُمكن اتخاذ العلاقة الآتية أساساً للتقدير:

$$f_{ct} = 0.44\sqrt{f'_c}$$
$$(f_{ct} = 1.4\sqrt{f'_c}) \quad (kgf/cm^2)$$

ويُبين الجدول (١٢–٤) مقاومة الشد المميزة المحتملة محسوبة على أساس الجدولين (١٠–٤) و(١١–٤).

الجدول (١٢–٤): مقاومة الشد المميزة المحتملة

درجة جودة الخرسانة		C10	C12	C15	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45
المقاومة المحتملة للخرسانة في الشد	MPa	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
	kgf/cm²	14	15	17	19	20	22	23	24	25	26

٤–٢–٧– تصحيح نتائج الاختبار لأشكال العينات وأعمار الخرسانة:

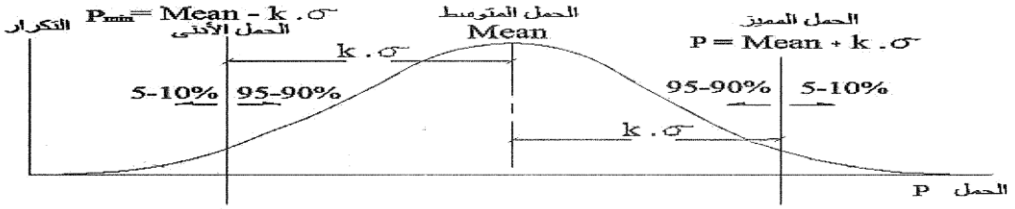
٤–٢–٧–١– التصحيح لأشكال العينات في اختبارات الضغط:

عند إجراء الاختبار على أشكال أخرى من القوالب غير الاسطوانية القياسية (قطر 150mm بارتفاع 300mm)، لأعمال الخرسانة المسلحة، يجب ضرب قيم المقاومات الناتجة بمعامل التصحيح الواردة قيمه في الجدول (١٣–٤) للأشكال المختلفة لعينات الاختبار، وذلك قبل إجراء أي معالجة إحصائية، أو مقارنة لهذه المقاومات.

٥ – تقييم الأفعال

٥ – ١ – تعريف الأفعال:

يعرف الفعل المميز (أو الحمل المميز) بأنه الفعل (أو الحمل) الذي لا يمكن تجاوزه بأكثر من نسبة احتمال معينة (تؤخذ عادة 10% وأحياناً 5%) خلال العمر التصميمي للمبنى أو المنشأة (الذي يؤخذ عادة 50 عاماً)، وبتعبير آخر هو الحمل الذي لا يمكن تجاوزه في نسبة 90% (أحياناً تؤخذ 95%) من الحالات، خلال العمر التصميمي للمبنى أو المنشأة. هذا ويبين الشكل (٥–١–أ) منحني جاوس للتوزع الطبيعي (الشبيه بشكل الجرس) ومبين عليه الحمل المميز والحمل المتوسط والحمل الأدنى.



الشكل (١ – ٥–أ): منحني جاوس مبين عليه الحمل المميز والحمل المتوسط والحمل الأدنى الإحصائي

تعرف الأفعال بأنها مجموعة القوى التي تصمم المنشأة لتحملها ويقصد بها:

٥ – ١ – ١ – الأفعال المباشرة:

أي القوى التي تخضع لها المنشأة مباشرة بطبيعتها، وهي:

١ – الأحمال الدائمة.

٢ – الأحمال الإضافية.

– غير الحركية (غير الديناميكية).

– الحركية (الديناميكية).

٣ – الأحمال المناخية.

وبما أن هذه الأفعال جميعها تنتقل بوساطة المنشأة إلى الأساسات، فإنها تُدعى أفعالاً مباشرة.

٥ – ١ – ٢ – الأفعال غير المباشرة (أفعال التشوهات (التشكلات) المفروضة):

وهي الأفعال التي قد تتعرض لها المنشأة كالقوى الداخلية الناتجة عن التمدد أو التقلص الحراريين والانكماش وتغيرات الرطوبة والزحف (السيلان) في المواد المكونة للعنصر الإنشائي والإجهاد المسبق وتحركات الركائز وحدوث التشقق، أو مجموعة منهم.

٥ – ١ – ٣ – مجال الاستعمال:

يجري تحديد هذه الأفعال على مختلف أنواعها فور اختيار المنشأة، وقبل المباشرة بدراستها. وفي حال وجود اشتراطات خاصة محلية معتمدة، يمكن اعتماد تلك الاشتراطات. أما في حال عدم توفرها، فيمكن الاعتماد على أسس تقييم أفعال الاستثمار غير المصنّفة بعوامل الأمان (الباب السادس).

٥ – ٢ – الأحمال الدائمة:

٥ – ٢ – ١ – تعريف الأحمال الدائمة:

الأحمال الدائمة هي القوى الدائمة الناتجة عن الجاذبية الأرضية، كالأوزان على مختلف أنواعها، سواء منها الأوزان الذاتية للمنشأة أو أوزان العناصر الثابتة فوقها، أو القوى الجانبية الدائمة المطبقة على المنشأة بشكل مباشر أو غير مباشر.

يدخل ضمن هذا التعريف الأوزان الذاتية للمنشأة، وأوزان العناصر المركزة عليها بصورة مستديمة كالقواطع والجدران والبلاط والتوريق (الطينة)، والبياض وتمديدات التجهيزات والتربة المحمولة ... الخ.

٥ – ٢ – ٢ – تقييم الأحمال الدائمة:

١ – تُقيّم الأحمال الدائمة حسب أحجامها وأوزانها الحجمية، الأكثر ملاءمة في ظروف استعمالها.

إن القياسات والأبعاد والمسافات الملحوظة في التصميم تكفي إجمالاً لتقدير الأحجام، إلا في بعض الحالات الخاصة، كالأغشية الرقيقة، حيث ينتج عن زيادة ضئيلة في السمك (زيادة من درجة عشرات الميليمترات)، أثقال ذاتية إضافية هامة نسبياً. في هذه الحالة يجب أخذ هذه الزيادة في الحسبان، خاصة فيما يتعلق بالقوى المحورية المؤثرة على الأغشية

المقوسة.

قد تتغير الأوزان الحجمية في بعض الأحيان حسب حالات المحيط وظروف استعمال المنشأة. وقد يحدث أن يكون الوزن الحجمي الواجب حسابه هو الوزن الأقل، كما يحصل مثلاً في الجدران الساندة (الاستنادية) التي يجب أخذ أوزانها الذاتية عند حساب مقاومة الانزلاق الناتج عن ضغط التربة.

٢ – في حال عدم وجود معلومات خاصة، أو قيم مستخلصة من أنظمة البناء، يمكن اعتماد الأوزان الحجمية الواردة في الجدول (٥–١)، والمعطاة وفقاً لطبيعة مادة العنصر موضوع التقييم. كما يمكن العودة إلى الملحق رقم (١).

الجدول (٥–١): الأوزان الحجمية لبعض المواد الأكثر استعمالاً

المادة	الوزن الحجمي (tf / m^3)	الوزن الحجمي (kN/m^3)
الخرسانة العادية من دون التسليح	2.4	24
الفولاذ	7.85	78.5
الخرسانة المسلحة (نسبة تسليح 1%)	2.5	25
الحجر البازلتي (حجم مليء)	3	30
الحجر الغرانيتي (حجم مليء)	2.8	28
الحجر الكلسي (حجم مليء)	2.7	27
الحجر الرملي (حجم مليء)	2.3	23
البلوك (الطوب) المجوف	1.9 –1.4	19-14
البحص الزلط (حجم طبيعي غير مدكوك)	1.8 –1.5	18-15
الرمل (حجم طبيعي غير مدكوك)	1.8 – 1.5	18-15
الإسمنت (فلت)	1.2 – 1	12-10
البناء العادي بالمونة (البناء بالبلوك المليء)	2 – 1.8	20-18
الخرسانة الخفيفة الوزن	2 – 1.2	20-12
البناء بالحجر المجوف الخرساني	1.4	14
البناء بالبلوك (الطوب) المجوف	1.4	14
بلاط الرخام أو السيراميك	2.5 –2.4	25-24
الطينة (بحيث لا يقل سمك الطين عن 20 mm من كل جهة من الحوائط)	2	20
المجيول الاسفلتي	2.3	23

أحمال التغطية على البلاطات في المباني: في حال عدم القيام بحساب دقيق تؤخذ أحمال التغطية مساوية إلى 2 kN/m^2 (200 kgf/m^2) عند عدم وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط، وتزاد إلى 3 kN/m^2 (300 kgf/m^2) عند وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط. أما تغطيات السطح النهائي فتحسب، على ألا تقل عن 3 kN/m^2 (300 kgf/m^2).

٥–٣– الأحمال الإضافية:

٥–٣–١– تعريف الأحمال الإضافية:

إن المهندس المسؤول عن المشروع هو الذي يُعيّن بادئ ذي بدء، الأحمال الإضافية. وفي حال عدم تعيينها يمكن أخذها من أنظمة المباني الخاصة. وفي حال عدم وجود هذه الأخيرة يمكن أخذها من الجدول (٥–٢)، الذي يُعطي أحمال الاستعمال الدنيا.

الجدول (٥–٢): الأحمال الإضافية غير الديناميكية المميزة الموزعة بانتظام والمركزة على المنشأة

الغرض من استعمال المبنى			شدة الحمل الموزع		الحمل المركز المطبق على مربع ضلعه 300mm (١)	
			kN/m^2	kgf/m^2	kN	kgf
السطوح	غير مستعملة (لا يمكن الوصول إليها)	أفقية أو مائلة حتى 10 درجات	1.0	100		
		مائلة أكثر من 10درجات	0.5	50		
	مستعملة (يمكن الوصول إليها)		مثل الطابق المتكرر ولا تقل عن 2.0	مثل الطابق المتكرر ولا تقل عن 200		
الشرفات	مباني خاصة		4.0	400		
	مباني عامة		5.0	500		
المباني السكنية الفنادق	غرف		2.0	200	1.4	140
	ممرات خارجية وأدراج		3.0	300	1.8	180
	غرف نوم		2.5	250	1.8	180
	ممرات خارجية وأدراج		5.0	500	4.5	450
المدارس	غرف صفوف وإدارة		3.0	300	2.7	270
	ممرات خارجية وأدراج		5.0	500	4.5	450
المشافي	غرف نوم		2.5	250	1.8	180
	ممرات خارجية وأدراج		4.0	400	4.5	450
	غرف عمليات		تحسب (٢) ولا تقل	تحسب (٢) ولا تقل عن	4.5	450

			عن 3.0	300	
المكاتب	غرف	مباني عامة	3.0	300	2.7	270
		مباني خاصة	2.0	200	2.7	270
	أضابير		تحسب ولا تقل عن 5.0	تحسب ولا تقل عن 500	تحسب	تحسب
	غرف حاسوب		تحسب ولا تقل عن 4.0	تحسب ولا تقل عن 400	تحسب	تحسب
	ممرات خارجية وأدراج	مباني عامة	4.0	400	4.5	450
		مباني خاصة	3.0	300	4.5	450
المكتبات	غرفة مطالعة دون تخزين كتب		3.0	300	4.5	450
	غرفة مطالعة مع تخزين كتب		5.0	500	4.5	450

الصالات (القاعات والمدرجات)	مقاعد ثابتة	5.0	500		
	مقاعد متحركة	6.0	600	3.6	360
	رقص وجمباز *	*6.0	*600	*3.0	*300
	غرف إسقاط	6.0	600	3.6	360
	مدرجات رياضية *	*6.0	*600	*3.0	*300
	منصة مسرح*	*6.0	*600	*3.6	*360
	متاحف وقاعات فن وعرض	تحسب ولا تقل عن 5.0	تحسب ولا تقل عن 500	تحسب	تحسب
المخازن والمستودعات	مخازن سلع (عرض وبيع)	5.0	500	3.6	360
	مخازن كتب	2.4 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 7.0	240 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 700	4.5	450
	مخازن ورق وقرطاسية للمطابع	تحسب ولا تقل عن 4.0 لكل متر ارتفاع	تحسب ولا تقل عن 400 لكل متر ارتفاع	تحسب	تحسب
	برادات خزن	5.0 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 15	500 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 1500	تحسب	تحسب
	مستودعات مصانع ومبانٍ مشابهة	5.0-10.0 حسب المواد والآلات	500-1000 حسب المواد والآلات	تحسب	تحسب
أماكن التجمع العامة	دور عبادة	5.0	500	4.5	450
	أبهاء عامة، قسحات	5.0	500	4.5	450
	مسارح، سينما	5.0	500	4.5	450
الورشات وموائف السيارات	ورش تصليح	تحسب ولا تقل عن 6.0	تحسب ولا تقل عن 600	أسوأ وضع ممكن لأحمال العجلات	
	مواقف وممرات سيارات ومنحدرات لسيارات أقل من وزن 25 kN	6.0	600	9.0	900

	مواقف وممرات ومنحدرات لسيارات بوزن أكثر من 25 (2.5 ton) kN	تحسب ولا تقل عن 6.0	تحسب ولا تقل عن 600	تحسب ولا تقل عن 9.0	تحسب ولا تقل عن 900
استعمالات متنوعة	مرافق صحية	2.0	200	–	–
	مطابخ عامة، مختبرات	تحسب ولا تقل عن 3.0	تحسب ولا تقل عن 300	–	–
	مصابغ، غرف غسيل	تحسب ولا تقل عن 3.0	تحسب ولا تقل عن 300	4.5	450
	غرف سعانات ومحتبسات ومراجل	7.5	750	4.5	450
	ستوديو	4.0	400	تحسب	
	مطابع	تحسب ولا تقل عن 20.0	تحسب ولا تقل عن 2000	تحسب	

- تصعد قيم الأحمال للمدرجات الرياضية وصالات الرقص ومنصات المسارح بعامل ديناميكي لا يقل عن 1.1، كما ويحسب للمرائب، ولا يقل عن 1.3. وفي حالة المرائب العائدة لتجمعات مراقبة، يُسمح بتخفيض قيم الأحمال الموزعة إلى ثلثي القيم الواردة في الجدول أعلاه، بشرط ألا يكون من الممكن وقوف سيارات ذات وزن أكبر من 3 طن. والمقصود بغير الممكن أن المدخل لا يسمح بدخول مثل تلك السيارات أو وجود مراقبة لأحمال السيارات الداخلة للمرأب، وعلى أن يتم ذلك بموجب إقرار يسجل في نقابة المهندسين موقع من قبل الجهتين المالكة و الدارسة للمشروع ويُنص فيه أن ذلك على مسؤولية الجهة المالكة من حيث ضمان الإلتزام بعدم إدخال سيارات بوزن أكبر من 3 طن.

ملاحظات خاصة بالجدول (٢ – ٥):

ملاحظة ١: عندما يتوقع أن الحمل المركز قد يولد إجهادات أو انفعالات موضعية يزيد تأثيرها على تأثير الحمل الموزع بانتظام، يتوجب التحقق من تأثير هذا الحمل المركز وذلك بتطبيقه في الموضع الأكثر خطورة للمنشأة.

ملاحظة ٢: يقصد بكلمة "تحسب" أن القيم يجب أن تقرر من واقع الأحمال الفعلية المتوقع تطبيقها على المنشأة، بناءً على الاستعمال المخطط له.

ملاحظة ٣: تم اعتماد عوامل التحويل الآتية للتبسيط (علماً أن القيم الدقيقة تختلف قليلاً بنسبة تم الاتفاق على إهمالها):

$$100\ kgf/m^2 = 1\ kN/m^2$$
$$1\ tf = 10\ kN$$

تقسم الأحمال الإضافية إلى نوعين رئيسين:

* الأحمال الإضافية غير الديناميكية.
* الأحمال الإضافية الديناميكية.

٥ – ٣ – ٢ – الأحمال الإضافية غير الديناميكية:

تُعرّف الأحمال الإضافية غير الديناميكية بما يلي:

١ – الأثقال الاستاتيكية التي تنقل من مكانها من وقت إلى آخر، كأثاث المنازل والأجهزة، والآلات

٦- تحديد الأمان

٦-١- أسس تحقيق الأمان:

يتحقق الأمان عندما تكون المقاومة الداخلية للمواد المستعملة في العناصر المختلفة للإنشاءات الخرسانية، وهي الخرسانة وفولاذ التسليح، أكبر بنسبة مُحددة من القوى الداخلية الناجمة عن الأحمال والأفعال الأخرى المباشرة أو غير المباشرة المتوقعة، وبحيث تبقى المنشأة في كل جزء من أجزائها صالحة للاستثمار أثناء وطوال الفترة المفترضة تصميماً، لبقائها قيد الاستثمار.

٦-٢- تحديد القيم المميزة:

٦-٢-١- تحديد الأفعال المميزة:

تؤخذ القيم المميزة للأفعال وتدعى "**الأفعال المميزة**" استناداً إلى نظرية الاحتمالات في حال توفر الإحصائيات الكافية، وتحدد بالقيم العظمى لها (راجع منحني غاوس في الشكل (١-٥-أ))، وهي القيم التي لا يتعدى احتمال تجاوزها 5% أو 10%(حسب الحمل والكود) خلال العمر التصميمي للمبنى أو المنشأة والبالغ عادة 50 سنة، والمرتبطة باحتمال تعرّض المنشأة المدروسة لأفعال أشد منها (بنسبة 10% - 5% حسب الحمل والكود)، مقبولاً تبعاً لنتائج الدراسات الإحصائية المناسبة، ودرجة أهمية المنشأة المدروسة.

وفي حال عدم وجود الإحصائيات الكافية تؤخذ قيم الأفعال كما يلي، وتُدعى عندئذ "**الأفعال المميزة الاسمية**".

١- **في الأحمال الثابتة:** نتائج حسابات الحجم والوزن الحجمي لعناصر الإنشاء والإكساء الثابتة. وعندما لا تتوفر معلومات أكثر دقة يمكن أن يُعتمد في الحساب على الأسس الواردة في البند (٥-٢-٢).

٢- **في الأحمال الإضافية:** المقادير والقيم المنصوص عليها في شروط استثمار المنشأة أو في القوانين والنظم المحلية السارية المفعول. وعندما لا تتوفر مثل هذه المعلومات يمكن أن تعتمد في الحساب المقادير والقيم الواردة في البند (١-٣-٥).

٣- **فـي الأحمـال الحركيـة (الديناميكيـة):** بإدخـال عامـل حركـي (ديناميكي) مناسـب. ويمكـن فـي الحالات العادية، وعند عدم وجود نصوص خاصة في شروط استثمار المنشأة، يمكن أن تؤخذ قيمة المعامل الحركي وفق ما ورد في البند (٧-٣-٥).

٤- **فـي التشـوهات (التشـكلات) المفروضـة:** بإدخـال القيم المحسوبة (أو بنـاءً علـى تقدير قيمها اعتماداً على الخبرة المتراكمة والحس الهندسي) الناتجة عن التشوهات (التشكلات)، والتي يمكن أن تفرض على المنشأة خلال عمرها الاستثماري.

٦-٢-٢- تحديد المقاومات المميزة:

٦-٢-٢-١- المقاومة المميزة لفولاذ التسليح:

تؤخذ المقاومة المميزة لفولاذ التسليح مساوية إلى:

* إجهاد الخضوع الفعلي (f_y) للفولاذ الطبيعي.
* إجهاد الضمان ($f_{0.2}$) للفولاذ المشغول على البارد وفقاً للبند (٤-١-٥-٢).

٦-٢-٢-٢- المقاومة المميزة للخرسانة:

تحدد المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط أو الشد وفق ماورد في الباب الرابع.

٦-٣- تحقيق الأمان في حالة الحد الأقصى:

٦-٣-١- الأسس العامة لتحقيق الأمان في حالة الحد الأقصى:

١- يُعد الأمان مُحقَقاً في حالة الحد الأقصى عندما تكون المقاومة المميزة للعنصر أو لكل مقطع منه R_u مضروبة بمعامل تخفيض المقاومة Ω المبين في البند (٣-٣-٦)، لا تقل عن القوة الداخلية الناجمة عن الأفعال القصوى U، أي: الأفعال المميزة مضروبة بمعاملات تصعيد الأفعال وفقاً لما هو مبين في البند (٢-٣-٦)، أي وفق المتراجحة الآتية:

$$U \leq \Omega \cdot R_u$$

وتحسب R_u استناداً إلى المقاومات المميزة للمواد.

٢- يتوجب تصميم المقاطع الحرجة في العناصر، بحيث يكون نمط انهيارها مطاوعاً، أي أن يسبق مرحلة الانهيار، ظهور علامات إنذار وتشوهات ملحوظة تنذر بالخطر مسبقاً، إن كان ذلك ممكناً. ويتوجب بالآتي تحاشي التصميم الذي ينجم عنه نمط انهيار هش ومفاجئ، لا يسبق مرحلة الانهيار فيه ظهور علامات إنذار وتشوهات ملحوظة.

٣- يكون الانهيار مطاوعاً في العناصر أو المقاطع المعرضة لانحناء بسيط أو لقوى لا محورية، إذا كان الانفعال الفعلي في فولاذ التسليح المشدود، في مرحلة الانكسار للمقطع الحرج للعنصر، أكبر من المقاومة المميزة للفولاذ في الشد مقسومة على معامل مرونة الفولاذ $(\varepsilon_s > \frac{f_y}{E_s})$.

٤- يكون الانهيار هشاً ومفاجئاً في العناصر أو القطاعات المعرضة لانحناء بسيط أو لقوى لا محورية إذا كان الانفعال الفعلي في فولاذ التسليح المشدود في مرحلة الانكسار للمقطع الحرج للعنصر أصغر من المقاومة المميزة للفولاذ في الشد مقسومة على معامل مرونة الفولاذ $(\varepsilon_s \leq \frac{f_y}{E_s})$.

٥- يكون الانهيار هشاً في العناصر أو المقاطع المعرضة لإجهادات ضغط على كامل سطح المقطع أو معظمه، وكذلك المقاطع المعرضة للقص والفتل أو أحدهما، إذا لم تكن هذه المقاطع مزودة بالتسليح المناسب. ويمكن في هذه الحالات تحسين نمط الانهيار الهش والمفاجئ بالالتزام بمساحات ونسب التسليح الطولي والعرضي الدنيا المعتمدة في نصوص هذا الكود $\mu_s \geq \mu_{s\min}$.

٦-٣-٢- تحديد الأفعال القصوى:

تُحدد قيم الأفعال القصوى U، المأخوذة في التصميم، وتراكيبها الممثلة كما يلي:

٦-٣-٢-١- التراكيب الأساسية للأفعال القصوى:

أ - عندما يقتصر تأثير الأفعال المؤثرة على الأحمال المميزة (أو الاسمية) الثابتة D، والأحمال المميزة (أو الاسمية) الإضافية L (وبضمنها المعامل الحركي (الديناميكي) إن وُجد)، تُحسب الأفعال القصوى وفق التركيبين الآتيين:

$$U = 1.4\ D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(a)$$
$$U = 1.4\ D + 1.7\ L \quad \ldots..(b)$$

ب- عندما يتوجب أخذ أثر ضغط الريح W في الحسبان، تحسب الأفعال القصوى وفق التركيبين الآتيين، وتعتمد النتائج الأخطر منهما في كل مقطع:

$$1.2\ D + 1.6\ (Lr \text{ or } S) + (f_1\ L \text{ or } 0.8\ W) \quad \ldots.. (c)$$
$$1.2\ D + 1.3\ W + f_1\ L + 0.5\ (L_r \text{ or } S) \quad \ldots.. (d)$$

حيث:

W : تمثل قيمة الأفعال الناتجة عن ضغط الريح بقيمها المميزة (أو الاسمية).

f_1: تساوي (1.00) للأسقف المتكررة في المواقع ذات التجمعات العامة وفي الأماكن التي تتجاوز فيها الأحمال الحية $(5\,kN/m^2)$ وفي الأحمال الحية لمرائب السيارات، وتساوي (0.5) لباقي الأحمال الحية.

f_2: وتساوي (0.7) للأسقف النهائية ذات الأشكال الخاصة (مثل سقف سن المنشار) والتي لا تسمح بطرح الثلج بعيداً عن المنشأة (التخلص منه)، وتساوي (0.2) لباقي الأشكال من الأسقف النهائية.

ج- عندما يتوجب أخذ أثر الزلازل في الحسبان باستعمال الطريقة الستاتيكية المكافئة الواردة في الملحق (٢) الخاص بالزلازل، تُحسب الأفعال القصوى وفق التراكيب الواردة في ذلك الملحق (٢)، وهي الآتية:

$$1.32\,D + 1.1\,E + 1.1\,(f_1 L + f_2 S) \quad \ldots\ldots (e)$$
$$0.99\,D \pm (1.1\,E \text{ or } 1.3\,W) \quad \ldots\ldots (f)$$

د- أما إذا تم أخذ أثر الزلازل في الحسبان باستعمال الطريقة الستاتيكية المكافئة المطورة، الواردة في الملحق (ج) من الملحق (٢) الخاص بالزلازل، فتستعمل التراكيب الواردة في ذلك الملحق.

ملاحظة: لا يُجمع أثر الزلازل مع أثر الرياح، بل يُؤخذ الأثر الأسوأ بينهما.

٦-٣-٢-٢- التراكيب الثانوية للأفعال القصوى:

تعرّف الرموز **F** (حمل سوائل)، **H** (ضغط جانبي للتربة والماء ضمنها)، **P** (وزن حمل تجمع المياه على السطح الأخير)، **T** (قوى ذاتية ناتجة عن الحرارة والانكماش وغيرها)، كما ورد في الباب الثالث. في حال تأثير هذه الأحمال **(T, P, H, F)** في التصميم، فإنها يجب أن تضاف إلى التراكيب السابقة بعد تصعيدها (ضربها) بالعوامل الآتية:

$$1.2\,T,\ 1.2\,P,\ 1.6\,H,\ 1.3\,F$$

٦-٣-٣- معاملات خفض المقاومة:

يُحدد معامل خفض المقاومة Ω المشار إليه في البند (٦-٣-١) كما يلي:

١- للمقاطع المعرّضة للانحناء البسيط أو لقوى شد محورية أو لا محورية $\Omega = 0.9$.

٢- للمقاطع المعرّضة لقوى الضغط المحوري $\Omega = 0.65$.

٣- للمقاطع المعرّضة لقوى ضغط لا محورية:

$$0.90 \geq \Omega = 0.9 - 0.5\,(\frac{N_u}{N_c}) \geq 0.65$$

حيث: N_u = قوة الضغط المصعدة المطبقة على المقطع العرضي.

N_c = مقاومة المقطع الخرساني لوحده $(0.85\ f'_c\ A_c)$

ويمكن كبديل عن العلاقة الواردة أعلاه تحديد قيمة Ω كما يلي:

عندما تزيد قوة الضغط المحورية المطبقة على المقطع N_u على $(0.1\ A_c\ f'_c)$، تؤخذ Ω مساوية إلى 0.65، وعندما تنخفض قوة الضغط المحورية المطبقة على المقطع من $(0.1\ A_c\ f'_c)$ إلى الصفر، يمكن زيادة معامل خفض المقاومة Ω خطياً من 0.65 إلى 0.9 بالنسبة والتناسب.

٤- للقص أو الفتل أو أحدهما $\Omega = 0.75$ ، وتساوي 0.85 إذا كانت القوة أو الفتل من الأحمال الشاقولية فقط.

٦-٣-٤- معاملات زيادة الإجهاد المسموح للتربة من الأحمال القصوى التي تشمل الزلازل:

يسمح بزيادة الإجهادات المطبقة على التربة والمحسوبة من الأحمال القصوى التي تشمل تأثير الزلازل (بأي طريقة واردة في هذا الكود الأساس أو في الملحق (٢)) بحيث تُصعد الإجهادات المسموحة على التربة بالمعاملات الآتية:

- بالمعامل 1.6 إذا كان توزع الإجهادات المطبقة على التربة تحت الأساس منتظماً (أي أن النسبة بين الإجهادين الأعظمي والأصغري عند طرفي مقطع الأساس تساوي 1).
- وبالمعامل 2.0 عندما لا تقل النسبة بين الإجهادين الأعظمي والأصغري عند طرفي مقطع الأساس عن 2. وفي حال وجود شد تحت الأساس (حيث يلزم حذف هذا الجزء المشدود تحت الأساس من الحساب) تعد النسبة أكبر من 2.
- ويمكن أخذ قيمة متوسطة لمعامل التصعيد تكون بين 1.6 و2 حسب تغير النسبة بين الإجهادين من 1 إلى 2.

٦-٤- تحقيق حدود الأمان في حالات حدود الاستثمار:

٦-٤-١- الأسس العامة لتحقيق الأمان في حالات حدود الاستثمار:

يكون الأمان مُحققاً في حالة حدود الاستثمار، عندما تكون الإجهادات الفعلية الناجمة عن أفعال الاستثمار غير المصعّدة في أسوأ وضعيات التحميل، غير متجاوزة الإجهادات المسموح بها للمواد المستعملة في العنصر أو في مقطع منه، وعندما لا تتجاوز عروض الشقوق المتوقعة أو السهوم المحسوبة، القيم التي تعيب استثمار المنشأة.

٦-٤-١-١- تحقيق الأمان في حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها:

أ - يتم أو يمكن التحقق من الأمان في حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها، في الحالات الواردة في البند (٣-١٠)، وحيث تصمم أو تحقق العناصر أو مقاطعها الحرجة، تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

ب- يُفترض في تحقيق الأمان الكافي، ألا تتجاوز الإجهادات الفعلية في المقاطع الحرجة، في كل من الخرسانة في الضغط، وفولاذ التسليح في الشد والضغط، الإجهادات المسموح بها، والتي يُحددها هذا النظام في الباب العاشر. على أساس أن كلاً من الخرسانة في الضغط وفولاذ التسليح في الشد والضغط، يسلكان مسلك المواد المرنة، وتعتمد الفرضيات الأساسية المبينة في الباب العاشر.

ج- تؤخذ الإجهادات المسموح بها بقيمها المبينة في الباب العاشر إذا كان العنصر أو المقطع معرضاً لأثر الأحمال الثابتة D والإضافية L وبضمنها الأثر الحركي (الديناميكي) إن وُجد، و / أو أثر ضغط التربة H أو أثر ضغط السوائل F في حال وجود أحدهما.

د- أما إذا شملت الأحمال المؤثرة ضغط الرياح W أو أثر التشوهات (التشكلات) المفروضة T، فيمكن زيادة الإجهادات المسموح بها، في كل من الخرسانة وفولاذ التسليح بنسبة 25%، على القيم المبينة في الباب العاشر، على أن يتم التحقق دوماً من دون هذه الآثار، حسبما ورد في (ج) أعلاه.

هـ- أما إذا شملت الأحمال المؤثرة ضغط الرياح W وأثر التشوهات (التشكلات) المفروضة T معاً، فيمكن زيادة الإجهادات المسموح بها، في كل من الخرسانة وفولاذ التسليح بنسبة 33%، على القيم المبينة في الباب العاشر، على أن يتم التحقق دوماً من دون هذه الآثار، حسبما ورد في (ج) أعلاه.

و- في حال وجوب التحقيق لأثر الزلازل، يُرجع للبند (٤-١-٣-١٠).

ز- في جميع الأحوال، يتم تصميم أو تحقيق العنصر أو المقطع على تراكب الآثار التي تعطي أكبر قيمة للإجهاد المحسوب في المقطع المدروس، أو التراكب الأسوأ بالنسبة لاستقرار المنشأة، وبضمن ذلك، إن لزم، الحالات الخاصة التي قد يُؤدي فيها حسبان قيمة لآثار الأحمال الإضافية (الأحمال الحية) L = 0 إلى وضع أكثر خطورة، بالنسبة للإجهادات المتولدة في العنصر أو المقطع، أو بالنسبة لاستقرار المنشأة أو أحد أجزائها.

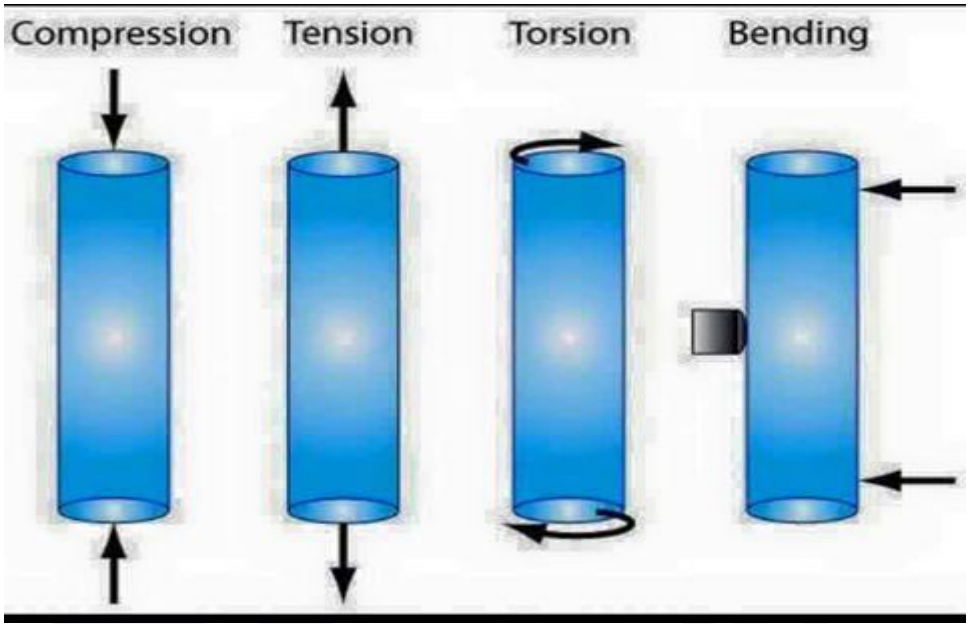
٦-٤-١-٢- تحقيق الأمان في حالة حد التشقق المعيب:

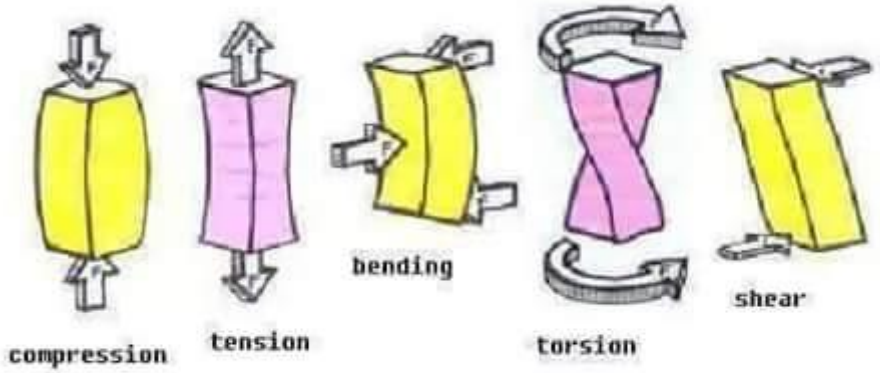
يتم التحقق من الأمان في حالة حد التشقق المعيب، طبقاً لما هو وارد في الفصل (١٠-٤)، وذلك تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

٦-٤-١-٣- تحقيق الأمان في حالة حد التشوه (التشكل) المعيب:

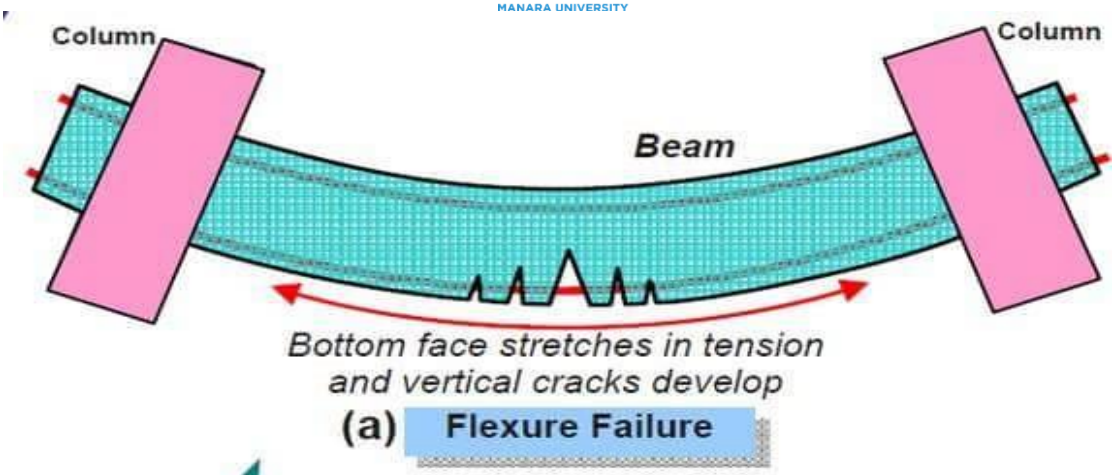
يتم التحقق من الأمان في حالة حد التشوه (التشكل) المعيب، طبقاً لما هو وارد في البند (١٠-٥)، وذلك تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

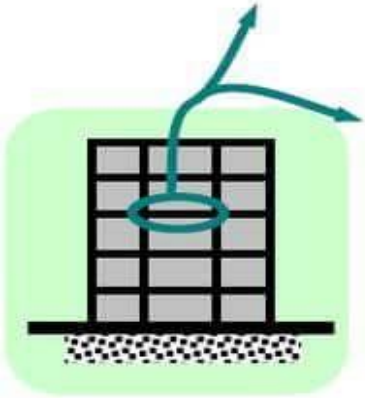
قوى المقطع في العناصر الخرسانية المسلحة

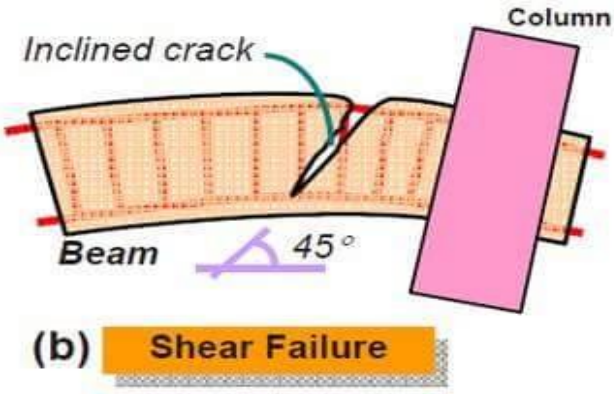




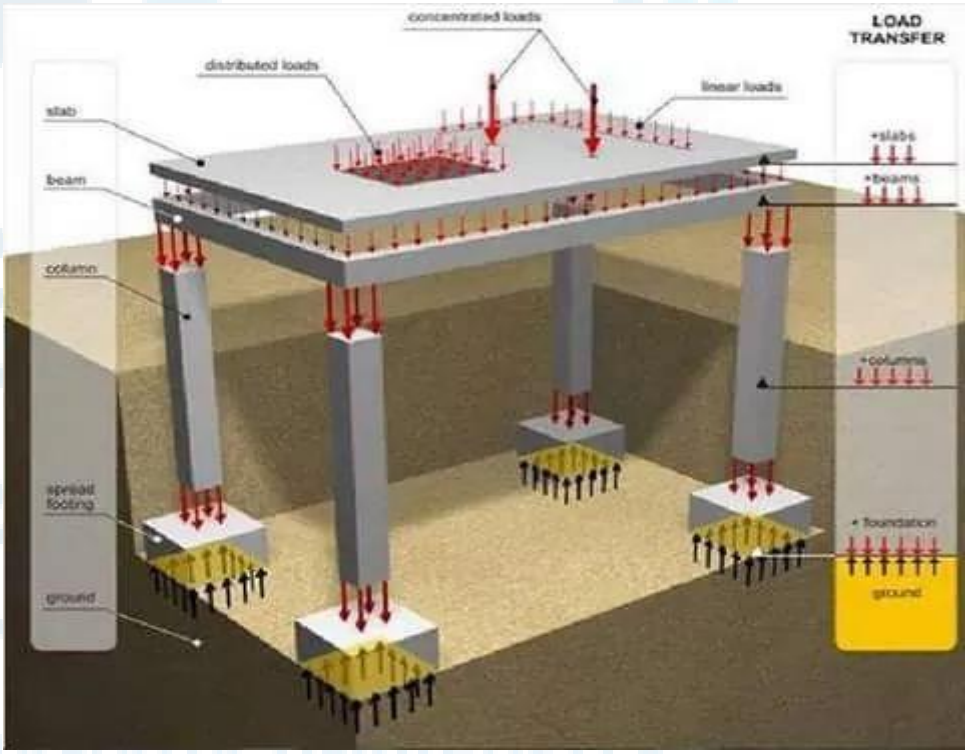
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY


Column
Column
Beam
Bottom face stretches in tension
and vertical cracks develop
(a) Flexure Failure

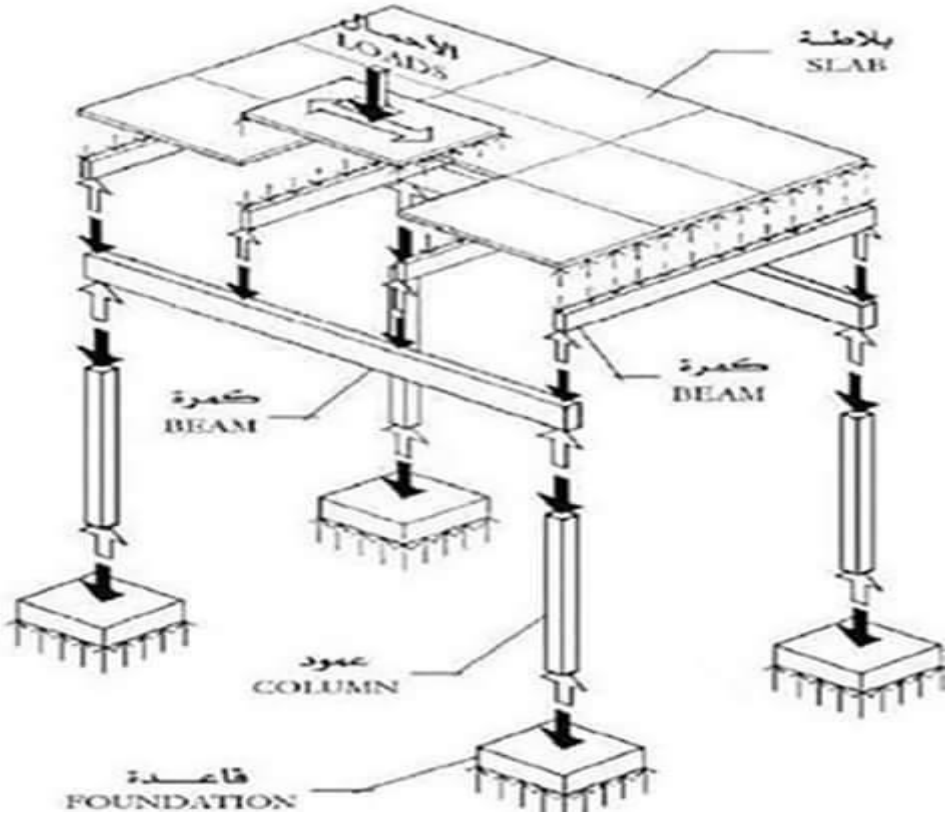


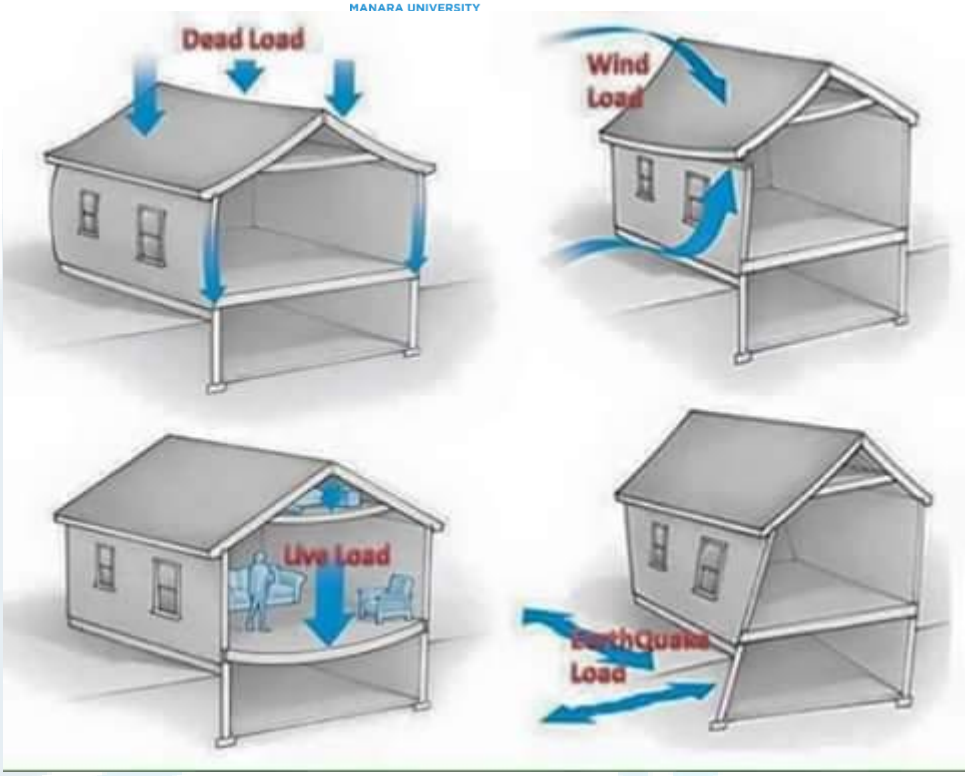

Column
Inclined crack
Beam
45°
(b) Shear Failure

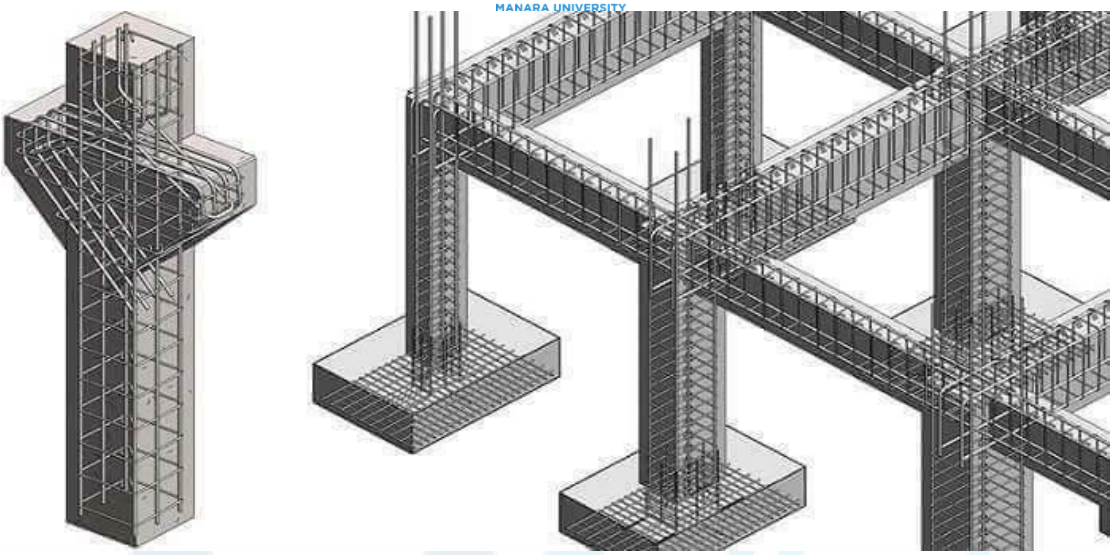
نقل الحمولات بين العناصر المختلفة



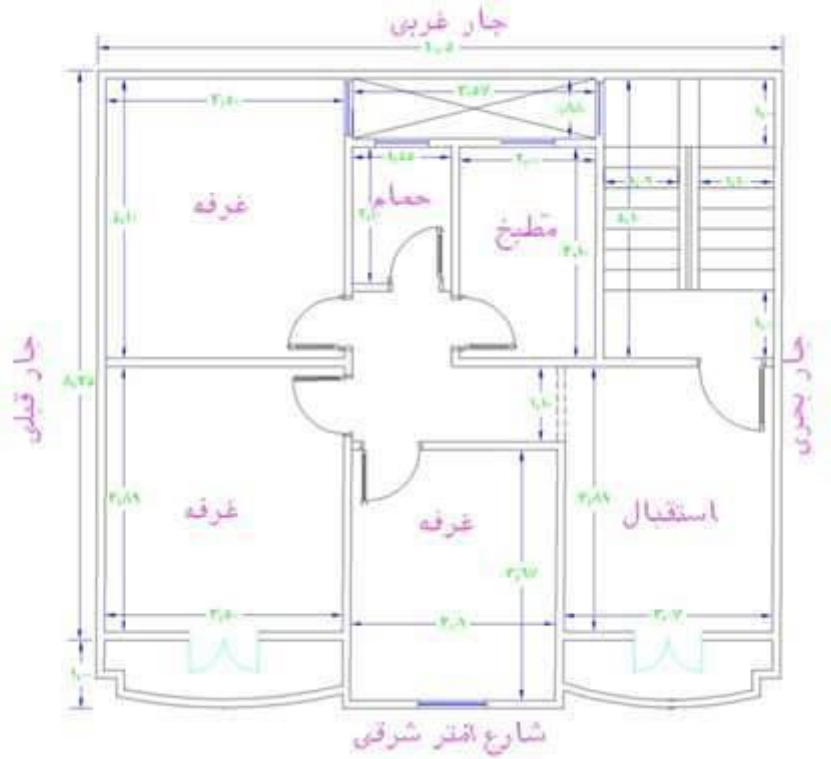
S9
S6
S5
S4
S1
S2
S3

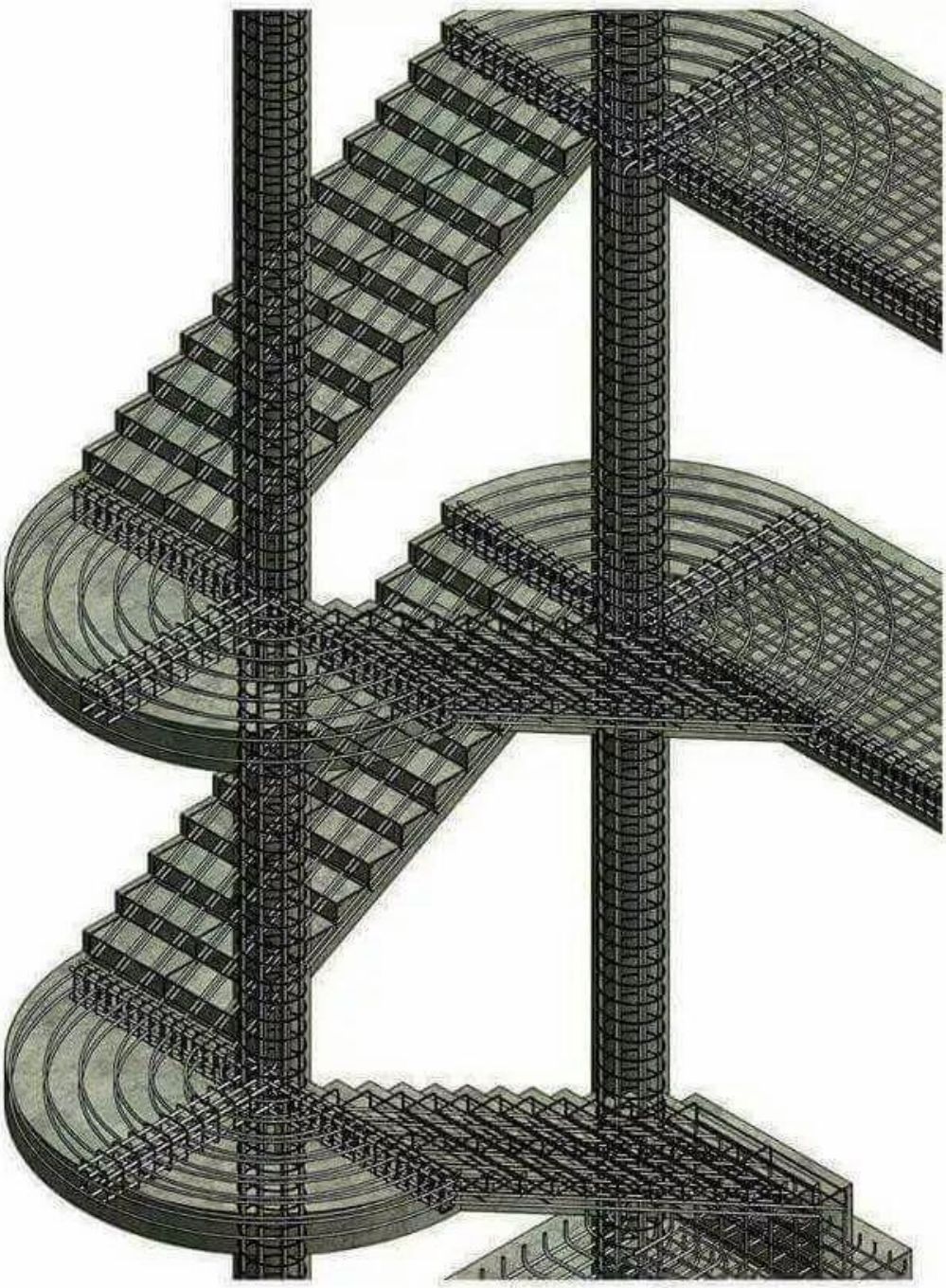

الأحمال
LOADS
بلاطة
SLAB
كمرة
BEAM
كمرة
BEAM
عمود
COLUMN
قاعدة
FOUNDATION


Dead Load
Wind Load
Live Load
EarthQuake Load



التعاون بين المهندس المعماري والانشائي يؤدي الى نتيجة مرضية





MANARA UNIVERSITY

Colocación de peldaños

3D Animation of the construction of a Multi Story - 360P.mp4