محاضرات مادة خرسانة مسلحة /1/

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة مدنية)

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.

٧ – يشترط أن يتولى مهندس نقابي اختصاصي مسؤول أعمال التصميم والحسابات والإشراف على التنفيذ والتحقق، وله أن يستعين بغيره على مسؤوليته.

١–٢– أغراض الكود:

تتلخص أغراض هذا الكود في أن تحقق المنشأة في أجزائها المختلفة ومجموعاتها بصفتها وحدة متكاملة، متطلبات الاستثمار والتشغيل التي أنشئت من أجلها طوال الفترة المفروضة لبقائها صالحة للاستثمار مع توفير معامل أمان كاف ضد الانهيار وعدم الاتزان والتشكل (التشوه) أو التشقق المعيب.

١–٢–١– تحديد معنى حالة الحد أو حالة عدم الصلاحية:

يقال عن إحدى المنشآت إنها بلغت "حالة الحد" أو "حالة عدم الصلاحية" عندما تكف هذه المنشأة في أحد عناصرها أو بعضها أو كلها عن تأدية الوظيفة أو مجموعة الوظائف المعدة لها، فتصل لواحدة من حالات الحدود الآتية:

١–٢–١–١– في نطاق المقاومة:

أ – حالة حد الانهيار (الحد الأقصى):

بتصدع مقطع للمنشأة أو بفقد الثبات في جزء منها أو في مجموعها كما لو كانت جسماً صلداً.

ب – حالة حد عدم الاتزان:

بالتحنيب (الانبعاج) أو بالتشققات أو التشكلات (التشوهات) الهامة التي تغير في الشكل الجيومتري للمنشأة.

١–٢–١–٢– في نطاق الاستثمار:

أ – حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها.

ب – حالة حد التشقق المعيب: التي تسبب صدأ صلب (فولاذ) التسليح مثل مقاطع الخزانات التي تكون فيها السوائل من الجهة المشدودة، وكذلك مقاطع الجدران الاستنادية جهة الردميات المشبعة بالرطوبة أو المغمورة بالمياه الجوفية، والتي يلزم تحقيق الإجهادات الشادة في الخرسانة وفقاً للبند (٣–٢–٣–١٠).

ج – حالة حد التشكل (السهم) المعيب دون ضياع الاتزان، ويدخل فيه الارتجاج (الاهتزاز) غير المقبول.

١–٢–٢– طرائق الحساب:

MANARA UNIVERSITY

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 $f_y = 400$MPa ولا تقل عن $f_y = 240$MPa . في حال زادت قيمة حد المرونة (حد الخضوع الاصطلاحي) للفولاذ المختبر على 400MPa، فيتم قبوله شريطة:

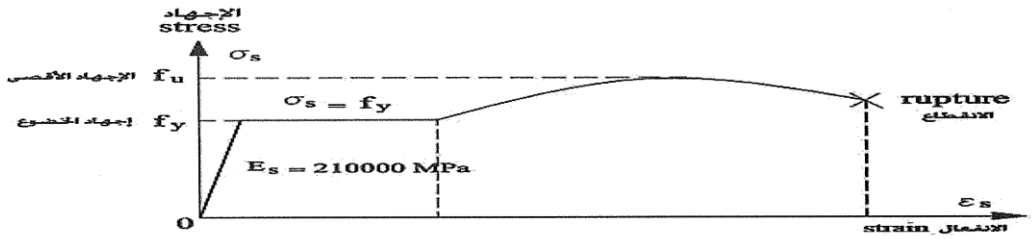
– ألا يقل إجهاد الإنقطاع f_{su} لكل عينة عن 1.25 مرة حد المرونة للعينة ذاتها (حد الخضوع الاصطلاحي أو حد الضمان).

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

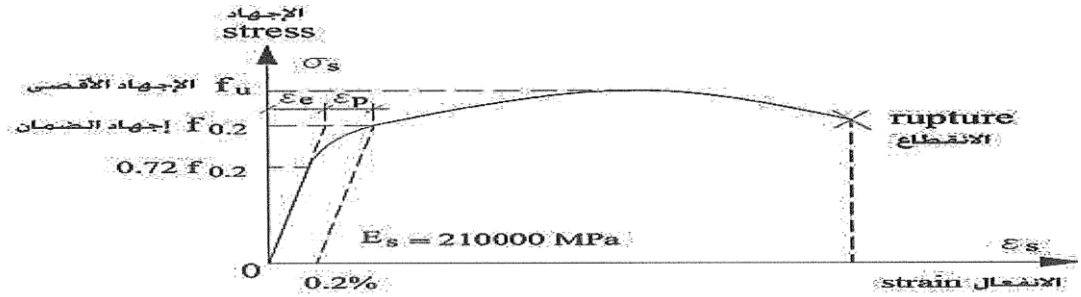
– في حال اختبار عينتين فقط، فيُسمح للتبسيط بأن يكون حد مرونة إحدى العينتين فقط فوق 460MPa.

– 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).

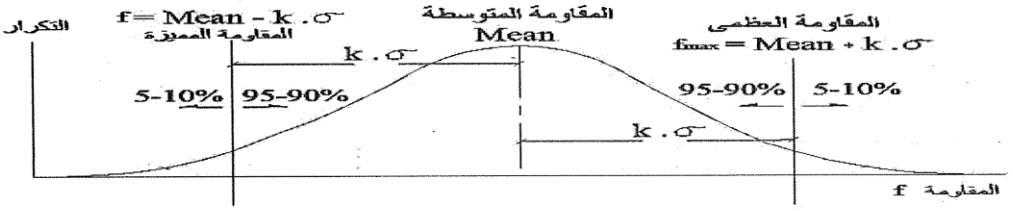
٣ – إن إجهاد الخضوع f_y، هو المقاومة الميكانيكية المميزة للفولاذ في الشد والتي يُبنى التصميم على أساسها. ويجب أن يكون حده الأدنى مكفولاً من البائع أو المنتج، وإلا وجب تحديده على أساس تجارب مخبرية معترف بها، واعتماداً على علم الإحصاء، بحيث لا تزيد نسبة عدد العينات التي يقل إجهاد خضوعها (الحقيقي أو الاصطلاحي)، 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 استعمالها سابقاً)، ألا تقل مقاومتها للضغط، والانعطاف، وقوة التماسك بينها وبين فولاذ التسليح، عن 90% من القيم المناظرة في حالة الخرسانة المجهزة دون إضافات. كما يلزم الانتباه إلى تأثير الإضافات على زمن الأخذ (الشك) الأولي وزمن الأخذ النهائي والديمومة.

٤–٢–٢– الخواص الفيزيائية والكيميائية للخرسانة:

٤–٢–٢–١– الوزن الحجمي:

عند عدم وجود بيانات أكثر دقة، يمكن اعتماد الكتلة الحجمية للخرسانة العادية من دون تسليح كما يلي:

22 kN/m³ (2200 kgf/m³) إذا كان الركام جيرياً (كلسياً).

24kN/m³ (2400 kgf/m³) إذا كان الركام سيليسياً (بازلت، حجر بركاني، رمل وحصى فراتي).

كما يمكن اعتماد الوزن الحجمي للخرسانة المسلحة في الأحوال العادية 25kN/m³ (2500kgf/m³)، وإذا استعملت أنواع خاصة من الركام الثقيل، أو كانت نسبة التسليح كبيرة، يُؤخذ ذلك في الحسبان، بإدخال الإضافة اللازمة في الوزن.

٤–٢–٢–٢– مقاومة الخرسانة للحريق:

أ – **عموميات:**

١) تمر العناصر الخرسانية المسلحة بمرحلة نقصان تدريجي في مقاومتها عندما تتعرض للحريق، وهناك عموماً ثلاثة شروط يجب أخذها بالحسبان أثناء التصميم:

– المحافظة على المقاومة الإنشائية.

– مقاومة انتشار اللهب.

– مقاومة انتقال الحرارة.

يتم تطبيق الشرط الأول على جميع عناصر المنشأة، أما الشرطان الثاني والثالث، فيتم تطبيقهما على الأسقف والجدران، لأن لهما وظيفة الفصل بين الفراغات.

٢) إن أهم العوامل التي تؤثر على مقاومة العنصر الخرساني للحريق، هي:

– نوعية الخرسانة.

– نوعية التسليح.

– سمك الغطاء الخرساني للتسليح.

– أبعاد العنصر وشكله.

– نوع طبقة الحماية وسمكها إن وُجدت.

٣) تتصرف الخرسانة المصنوعة من الركام الجيري (الكلسي)، بالنسبة للحريق، على نحو أفضل من الخرسانة المصنوعة من الركام السيليسي، سواء فيما يتعلق بدرجة الحرارة التي تتحملها

الخرسانة مع المحافظة على مقاومتها، أو بمعدل نقصان المقاومة مع درجة الحرارة، أو بالنسبة لعامل التمدد الطولي الحراري، أو بالنسبة لتفتت الغطاء الخرساني بالحرارة عندما يزيد سمك هذا الغطاء عن حد معين (بحدود 40 mm). وبصورة عامة يمكن القول إن الخرسانة المسلحة تبقى محافظة على مقاومتها في الضغط، حتى درجة حرارة 250° C، وفوق هذه الدرجة تبدأ المقاومة بالتناقص.

٤) يتصرف فولاذ التسليح المشغول على الساخن، في حال الحريق، بصورة أفضل من تصرف فولاذ التسليح المشغول على البارد، إذ إن مقاومة النوع الأخير تنخفض كثيراً مع ارتفاع درجة الحرارة.

وبالنسبة لفولاذ التسليح المشغول على الساخن، فإن إجهادات الخضوع لا تتعرض للنقصان حتى درجة حرارة 400° C، وتتناقص إجهادات الخضوع مع ارتفاع درجات الحرارة حتى تصل لحدود 50% من إجهادات الخضوع في درجات الحرارة الاعتيادية، عندما تصل درجة حرارة فولاذ التسليح إلى 550° C. إن الدرجة 550° C، هي الدرجة الحرجة لفولاذ التسليح، التي يجب العمل على عدم تجاوزها، خلال الفترة التي تعد فيها المنشأة الخرسانية مقاومةً للحريق.

٥) أما الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح، فيتم حسابه بحيث يحمي الفولاذ من ارتفاع درجة الحرارة، لمدة معينة، فوق الدرجة الحرجة لفولاذ التسليح، وذلك لضمان استقرار المنشأة. وعندما يزيد سمك الغطاء الخرساني على 40mm، يجب وضع تسليح إضافي ضمن هذا الغطاء لمسكه من التفتت (خاصة في حال استعمال الركام السيليسي)، وهذا التسليح الإضافي عبارة عن شبكة لا يقل وزنها عن 50 N/m^2 ($5kgf/m^2$)، أي أسلاك قطرها 2mm بتباعدات لا تتعدى 100mm.

٦) عندما يكون سمك العنصر الإنشائي الخرساني أقل من حد معين، فمن الممكن أن تنهار الخرسانة أثناء تعرضها للحريق، قبل وصول فولاذ التسليح لدرجة حرارته الحرجة.

٧) يتم تحديد مقاومة الحريق للعناصر الإنشائية المختلفة. ويُؤخذ بالحسبان أن هذه العناصر تحمل أحمالها الاستثمارية. وتوضح الجداول من (٢-٤) إلى (٦-٤) الأبعاد الدنيا للعناصر المختلفة وهي معرضة لهذه الأحمال. فإذا كانت الأحمال الفعلية على العناصر أقل من الأحمال التصميمية، انعكس ذلك بزيادة مقاومة العناصر للحريق.

ب- سمك التغطية الخرسانية الدنيا لفولاذ التسليح لمقاومة الحريق:

يوضح الجدول رقم (٢-٤) سمك التغطية الخرسانية الدنيا لفولاذ التسليح في الجوائز، لمقاومة الحريق لفترات مختلفة، تتراوح بين نصف ساعة وأربع ساعات، في حال استعمال ركام سيليسي. ويمكن تخفيض الحدود الدنيا المبينة في هذا الجدول، في الحالات التي يُستعمل فيها الحجر الجيري كركام كبير (البحص الكلسي).

ج- الأبعاد الدنيا للعناصر الإنشائية لمقاومة الحريق:

يوضح الجدول (٣-٤) العروض الدنيا للجوائز الخرسانية لمقاومة الحريق لفترات مختلفة تتراوح بين نصف ساعة وأربع ساعات في حالة استعمال الركام السيليسي، كما يوضح الجدول (٤-٤) السمك الأدنى للأسقف الخرسانية. ويوضح الجدول (٤-٥) السمك الأدنى للجدران الخرسانية. وأخيراً يوضح الجدول (٤-٦) الأبعاد الدنيا للأعمدة الخرسانية، وذلك من أجل مقاومة الحريق، لفترات مختلفة تتراوح بين نصف ساعة وأربع ساعات، في حالة استعمال الركام السيليسي.

ويمكن تخفيض الحدود الدنيا المبينة في الجداول السابقة الذكر، في الحالات التي يُستعمل فيها الحجر الجيري كركام كبير (البحص الكلسي).

الجدول (٢-٤): سمك التغطية الخرسانية الدنيا لفولاذ التسليح في الجوائز

وصف الخرسانة	سمك الغطاء الخرساني الأدنى بالميليمتر الذي يحقق مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5 h	1 h	2 h	4 h
خرسانة من دون حماية إضافية	15	25	50	65
خرسانة مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسمك 15mm على شبك تسليح خفيف	15	15	40	50
خرسانة مع طبقة حماية من الأسبستوس سمكها 15 mm	15	15	15	25

الجدول (٣-٤): العروض الدنيا للجوائز الخرسانية لمقاومة الحريق

وصف الخرسانة	العرض الأدنى للكمرة بالميليمتر ليعطي مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5 h	1 h	2 h	4 h
خرسانة من دون حماية إضافية	80	110	180	280
خرسانة مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسمك 15mm مع شبك تسليح خفيف	70	85	170	250
خرسانة مع طبقة حماية من الأسبستوس سمكها 15 mm	60	60	125	170

الجدول (٤ – ٤): السماكات الدنيا للأسقف الخرسانية لمقاومة الحريق

وصف الخرسانة	السمك الكلي الأدنى للسقف بالميليمتر ليعطي مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5 h	1 h	2 h	4 h
أسقف من بلاطات مصمتة أو من وحدات جاهزة على شكل مقطع T أو مجرى U مقلوبة وذات نصف قطر اتصال بين سطحها الأفقي والجزء العلوي للجسد لا يزيد على عمق القطاع.	90	100	125	150
أسقف من وحدات بشكل U مقلوبة وذات نصف قطر اتصال بين سطحها الأفقي والجزء العلوي للجسد (الساق) يزيد على عمق القطاع مسبقة الصب أو مصبوبة في محلها.	65	75	100	150
أسقف من بلوكات مفرغة أو وحدات جاهزة على شكل صندوق أو قطاعات I موضوعة الواحدة بجانب الأخرى.	65	75	90	125

ملاحظة ١: لا يقل سمك الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح الرئيسي عن 25mm لمقاومة فترة 4 ساعات، وعن 15mm لمقاومات لفترات تقل عن 4 ساعات.

ملاحظة ٢: يمكن أن يشمل السمك الكلي طبقة المدّة الإسمنتية (العدسة)، أو طبقة البلاط إن وُجدت.

الجدول (٥ – ٤): السمك الأدنى للجدران الخرسانية المسلحة لمقاومة الحريق

وصف الخرسانة	السمك الأدنى للجدار بالميليمتر ليعطي مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5 h	1 h	2 h	4 h
خرسانة من دون حماية إضافية	75	75	100	175
خرسانة مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسمك 15mm مع شبك تسليح خفيف	65	75	100	175

ملاحظة ١: لا يقل سمك الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح الرئيسي عن 25mm لمقاومة فترة 4 ساعات وعن 15mm لمقاومات لفترات تقل عن 4 ساعات.

ملاحظة ٢: إن الأبعاد المذكورة في الجدول تُطبق في حالة جدران معرضة لحريق من وجه واحد فقط. أما في حال تعرض الجدار لحريق من الوجهين فيعامل الجدار معاملة العمود المعرض للحريق.

الجدول (٦ – ٤): الأبعاد الدنيا للأعمدة الخرسانية لمقاومة الحريق

وصف الخرسانة	القطر أو البعد الأدنى للعمود بالميليمتر ليعطي مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5 h	1 h	2 h	4 h
أعمدة خرسانية من دون حماية إضافية	150	200	300	450
أعمدة خرسانية مع طبقة حماية إسمنتية أو جصية بسمك 15mm على شبك تسليح خفيف مثبت حول العمود	150	175	275	425
أعمدة خرسانية تحوي شبك تسليح من أسلاك مسحوبة ضمن الغطاء الخرساني بحيث لا يقل قطر السلك عن 2.5mm ولا يزيد التباعد عن 150 mm	125	150	225	300

٤ – ٢ – ٢ – ٣ – قوام الخرسانة:

يمثل قوام الخرسانة الخاصة التي تحدد قابليتها للتشغيل، ودرجة حركتها، وطراوتها عند صبها في مكانها.

يتعلق قوام الخرسانة بجملة من العوامل أهمها:

أ – نسبة ماء الخلط إلى الإسمنت.

ب – **نوعية الركام المستعمل:** تركيبه الحبي، درجة نعومته، مقاسه الأعظمي.

ويتعلق اختيار قوام الخرسانة بعدة عوامل، أهمها:

١) الوسائط المستعملة في رج الخرسانة وصبها في مكانها.

٢) أبعاد العناصر المراد صبها أو رجها.

٣) كثافة التسليح وتوضعه في المنشأة.

ويتحدد قوام الخرسانة من اختبار الهبوط القياسي على مخروط ناقص ارتفاعه 300mm وقطره العلوي 100mm والسفلي 200mm (مخروط أبرامز)، أو باستعمال اختبارات أخرى، مثل طاولة الانسياب، أو معامل الرص، أو تجربة VEBE. وفي حالة عدم وجود قيم أخرى من الاشتراطات المحلية، أو الشروط الخاصة بالمشروع، يمكن الاسترشاد بالقيم الآتية المبينة في الجدول (٤ – ٧).

الجدول (٧ – ٤): الحد الأعلى لهبوط المخروط القياسي

الرقم	نوع العنصر الإنشائي الخرساني	الحد الأعلى للهبوط (بالميليمتر mm)
١	الأجزاء الخرسانية السميكة والأرضيات	100

٢	بلاطات الطرق بالخرسانة من دون تسليح	75
٣	الأساسات والجدران بالخرسانة من دون تسليح	125
٤	جدران وركائز الأساسات بالخرسانة المسلحة	75
٥	البلاطات والجيزان والاعمدة والجدران بالخرسانة المسلحة	75

ويمكن أيضاً الاسترشاد بالقيم المبينة في الجدول (٨–٤) التي تُعطي العلاقة بين هبوط المخروط القياسي، ودرجة قوام الخرسانة وقابلية تشغيلها، والمجال المفضل لاستعمالها، علماً بأن القيم المناسبة للحصول على المقاومة المطلوبة قد تتطلب هبوط مخروط أقل من الوارد في الجدول، ويحدد ذلك بالاختبارات.

٤–٢–٢–٤– مقاومة الخرسانة للمواد الكيميائية:

أ – عموميات:

تتأثر المنشآت الخرسانية ببعض المواد الكيميائية مثل: الزيوت النباتية، والدهون، والمحاليل السكرية، ومحاليل الكبريتات والكلوريدات، ومياه البحر، والمياه الجوفية المحتوية على تلك المحاليل. وينشأ من التعرض الطويل لهذه المواد تغير خواص الخرسانة وتلفها تدريجياً.

الجدول (٨–٤): العلاقة بين هبوط المخروط القياسي وقوام الخرسانة والمجال المفضل لاستعمالها

المجال المفضل لاستعمالها	الخرسانة		هبوط مخروط أبرامز (mm)
	قابلية تشغيلها	قوامها	
تستعمل في الأعمال الخرسانية الخاصة ذات المقاومات العالية جداً، ويستعمل رج ميكانيكي قوي جداً	منخفضة جداً	جامد جداً	0-25
تستعمل في القطاعات الخرسانية ذات المقاومات العالية، ويستعمل رج ميكانيكي قوي.	منخفضة	جامد	25-50
تستعمل في القطاعات الخرسانية المسلحة العادية، ويستعمل رج عادي	متوسطة	مائع	50-100
تستعمل في القطاعات الخرسانية الصغيرة أو الكثيفة التسليح غير المناسبة للرج، ويستعمل رج يدوي.	عالية	سائل	100-150

ب– تقليل فعل المواد الكيميائية:

يمكن تقليل فعل المواد الكيميائية على الخرسانة باستعمال ركام صلب غير مسامي، مع العناية التامة بالخرسانة للوصول بها إلى درجة عالية من الكثافة (الاكتناز)، وعدم النفاذية للسوائل، وتحقيق الاشتراطات المتعلقة بالغطاء الخرساني لمقاومة الحريق.

ويمكن استعمال طبقات واقية مناسبة توضع فوق الخرسانة، في حالة تعرضها المباشر والمستمر للمواد الكيميائية المتلفة.

ويمكن أيضاً استعمال الأنواع الخاصة من الإسمنت المقاوم للمواد الكيميائية، إذا توفرت الخبرة الكافية لذلك.

٤–٢–٢–٥– زمن الأخذ (الشك) للإسمنت:

أ – زمن الأخذ الابتدائي:

وهو الزمن الذي يبتدئ عنده التجمّد في عجينة الإسمنت النظامية.

عجينة الإسمنت النظامية: يمكن الحصول عليها بتحديد نسبة الماء إلى الإسمنت التي تُعطي بعد الجبل عجينة تسمح بنفاذ إبرة جهاز فيكا النظامي إلى نقطة تبعد من 5mm إلى 7mm من قاعدة قالب فيكا.

توضع العجينة الموجودة في القالب تحت إبرة جهاز فيكا، وتُنزّل الإبرة ببطء حتى تلامس سطح العجينة ثم تُترك لتسقط حرّة وتنفذ في العجينة تحت تأثير وزنها الذاتي (300g). تُكرّر عملية نفاذ الإبرة في العجينة في مواضع مختلفة، إلى أن تنفذ الإبرة إلى مسافة بين 5-7mm من قاعدة القالب. وبذلك يكون زمن ابتداء الأخذ **(زمن الشك الابتدائي):** هو الفترة الزمنية الواقعة بين لحظة إضافة الماء إلى الإسمنت، ولحظة نفاذ الإبرة في العجينة إلى مسافة لا تزيد على 5mm تقريباً من قاعدة القالب. ويجب الانتباه إلى تحقيق الإسمنت لشرط ألا يقل زمن الأخذ الابتدائي عن المدة المحددة في الشروط الخاصة والتي تعتمد عادة 45 دقيقة للإسمنت العادي.

ب– زمن الأخذ النهائي:

وهو زمن اصطلاحي لبلوغ الإسمنت درجة من التصلب تحدد وفق المواصفات القياسية الخاصة بالإسمنت باستعمال جهاز فيكا. ويجب الانتباه إلى تحقيق الإسمنت لشرط ألا يزيد زمن الأخذ النهائي على المدة المحددة في الشروط الخاصة والتي تعتمد عادة 10 ساعات للإسمنت العادي.

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 (٤ – ٩).

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 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 (٤ – ٩): 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/cm²	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/cm²	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:

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

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):

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

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:

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

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

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

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:

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

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 (١٣-٧-٢).

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 (١٣-٧-٢).

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:

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

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):

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

وتُؤخذ قيمة الانحراف المعياري (s_{15}) في العلاقتين (4-5) و(4-6) 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:

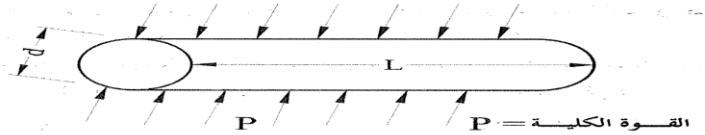
تُحدد المقاومة المميزة للخرسانة في الشد، بإحدى الطريقتين الآتيتين، وتُطبق على كل منهما المعايير الإحصائية ذاتها التي سبق ذكرها في البند (١-٥-٢-٤) لحالة المقاومة المميزة في الضغط.

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:

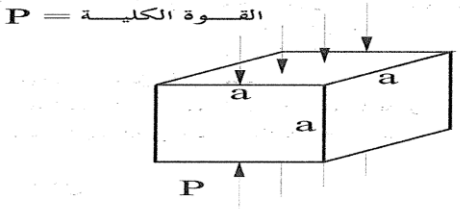
$$f_{ct} = \frac{0.55P}{d.L}$$

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:

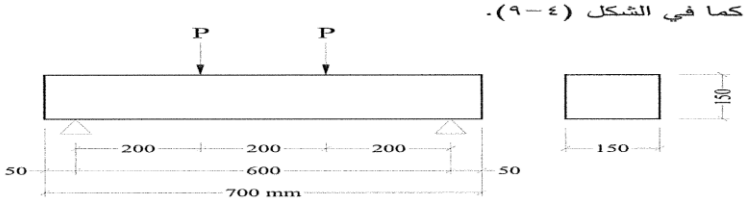
$$f_{ct} = 0.55P/a^2$$



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).



الشكل (٤ – ٩): اختبار مقاومة الشد في الخرسانة بالإنحناء

وبذلك تكون مقاومة الشد في الانحناء f_{cb} لمقطع مربع:

$$f_{cb} = \frac{6M_u}{b^3}$$

حيث: M_u = عزم الانعطاف اللازم لكسر العينة.

b = طول ضلع مقطع العينة.

وتُؤخذ مقاومة الخرسانة في الشد 60 % من مقاومة الشد في الانحناء، أي:

$$f_{cb} = \frac{3.6M_u}{b^3}$$

وعند إجراء أي اختبار من اختبارات الشد لخرسانة ذات عمر مختلف عن 28 يوماً، فإن نتائج الاختبار تُضرب في معامل التصحيح المبين في الجدول (٤ – ١٥).

٤ – ٢ – ٦ – المقاومات الميكانيكية المميزة من دون تصميم خلطة:

في حالة الخرسانة ذات الجودة التي لا تتعدى C25، يمكن في الحالات العادية، اعتماد القيم الواردة في الفقرتين (٤ – ٢ – ٦ – ١) و (٤ – ٢ – ٦ – ٢) للمقاومة الميكانيكية المميزة، شرط أن تكون مركبات الخرسانة، لا سيما كمية مياه الخلط، وطرائق خلطها ونقلها ورجها ثم معالجتها (رشها بالماء بعد الصب)، قد تمت طبق الأصول الفنية، وشريطة ألا يتجاوز مقدار هبوط المخروط القياسي، القيم النظامية المعتمدة في المواصفات القياسية (الجدول ٤ – ٧ أو ٤ – ٨)، أو الشروط الخاصة بالمشروع.

٤ – ٢ – ٦ – ١ – مقاومة الضغط المحتملة في حالة الخرسانة المراقبة بشكل دقيق:

يقصد بمراقبة الخرسانة اتباع الإجراءات الآتية في عملية تصنيع الخرسانة:

أ – تقسيم الركام إلى عدة حجوم: رمل، بحص ناعم، بحص خشن..... الخ.

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/m³		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.

الجدول (٤ – ١٣): قيم معامل التصحيح للأشكال المختلفة لعينات الاختبار

شكل العينة	أبعاد عينة الاختبار بالميليمتر بفرض أنها ذات أسطح مستوية ومتوازية	معامل التصحيح
الاسطوانة	ارتفاع 300 × 150 قطر	1.00
	ارتفاع 200 × 100 قطر	0.97
	ارتفاع 500 × 250 قطر	1.05
الموشور	150 × 150 × 300	1.00
	150 × 150 × 450	1.05
	200 × 200 × 600	1.05
المكعب	100 × 100 × 100	0.78
	150 × 150 × 150	0.80
	200 × 200 × 200	0.83
	300 × 300 × 300	0.90

٤ – ٢ – ٧ – ٢ – التصحيح لأعمار الخرسانة في اختبارات الضغط:

عند إجراء الاختبار لأعمال الخرسانة عند عمر يقل عن 28 يوماً بعد الصب يتم تعديل قيم المقاومة الناتجة قبل إدخالها في الحسابات باستعمال قيم التصحيح الواردة في الجدول (٤ – ١٤) شريطة أن يحقق الإسمنت المواصفات المعتمدة من حيث سرعة التصلب الأولي والنهائي.

أمّا عند إجراء الاختبار لأعمال الخرسانة عند عمر يزيد على 28 يوماً بعد الصب فتؤخذ نتائج المقاومة المميزة الفعلية الناجمة عن الاختبارات وتعالج وفقاً للبند (٣–٣–٧–١٣).

أمّا القيم الواردة في الجدول (٤ – ١٤) لأعمار تزيد على 28 يوماً فهي قيم للاستئناس تبين إمكانية ازدياد المقاومة مع الزمن. وإذا ثبت أن الإسمنت لا يحقق المواصفات النظامية من حيث سرعة التصلب الأولي والنهائي، فيمكن اعتماد النتائج من دون تعديل، من أجل عينات بعمر لا يتعدى 45 يوماً للإسمنت البورتلندي العادي أو سريع التصلب، وبعمر 60 يوماً للإسمنت المقاوم للكبريتات، ويعود تقدير ذلك للمهندس المشرف. وعند أخذ مقاومات بأعمار أكبر من ذلك، تنسب للمقاومات بهذين العمرين (كمقاومات مكافئة للمقاومة النظامية بعمر 28 يوم).

الجدول (٤ – ١٤): قيم معامل التصحيح لنتائج اختبارات الضغط لخرسانة ذات أعمار تختلف عن 28 يوماً

عمر الخرسانة باليوم	3	7	28	60	90	360 أو أكثر
إسمنت بورتلاندي عادي	2.50	1.50	1.00	0.95	0.90	0.80
إسمنت بورتلاندي سريع التصلب	1.80	1.30	1.00	0.97	0.95	0.90

٤ – ٢ – ٧ – ٣ – التصحيح لأعمار الخرسانة في اختبارات الشد:

عند إجراء اختبار من اختبارات الشد، لخرسانة ذات عمر مختلف عن 28 يوماً، يجب تعديل قيم المقاومة الناتجة قبل إدخالها في الحسابات، وذلك حسب الجدول (٤ – ١٥) إذا ثبت أن الإسمنت يحقق المواصفات من حيث سرعة التصلب الأولي والنهائي، وإلا فيمكن اعتماد النتائج من دون تعديل من أجل عينات بعمر لا يتعدى 45 يوماً للإسمنت البورتلاندي العادي أو سريع التصلب و 60 يوماً للإسمنت المقاوم للكبريتات. ويعود تقدير ذلك للمهندس المشرف.

الجدول (٤ – ١٥): معاملات تصحيح نتائج اختبار شد الخرسانة للأعمار المختلفة

عمر الخرسانة باليوم	3	7	28	90	360 أو أكثر
إسمنت بورتلاندي عادي	2.00	1.40	1.00	0.95	0.90
إسمنت بورتلاندي سريع التصلب	1.50	1.20	1.00	0.95	0.90

٤ – ٢ – ٨ – معامل التشوه (التشكل) الطولي (معامل المرونة):

١ – في حالة الأحمال اللحظية أو المتغيرة تغيراً سريعاً، وعندما تكون إجهادات التشغيل أقل من 55% من مقاومة الكسر f'_{cj}، يُؤخذ معامل التشوه (التشكل) الطولي من العلاقة:

$$E_{co} = 5700\sqrt{f'_{cj}}$$

حيث E_{co} = هو معامل التشكل الطولي اللحظي الأولي، مقدراً بـ MPa.

f'_{cj} = مقاومة الخرسانة الاسطوانية في الضغط في تاريخ تقييم معامل التشوه (التشكل) مقدراً بـ (MPa)، (الخرسانة عمرها j يوماً).

وفي النظام المتري تصبح العلاقة السابقة كالآتي $E_{co} = 18000\sqrt{f'_{cj}}$ (kgf/cm^2)

٢– في حالة الأحمال ذات الأجل الطويل والمطبقة بعد فك القوالب مباشرة، وعدم وجود تسليح للضغط في المقاطع المعرضة لعزوم الانحناء (حيث يصل التشوه اللدن إلى ضعفي التشوه المرن، أي يصبح التشوه الكلي ثلاثة أضعاف التشوه المرن)، يجوز أخذه من العلاقة:

$$E_c = 1900\sqrt{f'_{cj}} = \frac{1}{3}E_{co}$$

حيث E_c = معامل التشوه (التشكل) الطولي، طويل الأجل ، مقدراً بـ (MPa).

$$(E_c = 6000\sqrt{f'_c}\ (kgf/cm^2))$$

وفي الأحوال العادية يؤخذ معاير التشكل طويل الأمد مساوياً إلى: E_{co} مقسومة على $(1+\alpha)$ حيث يتم حساب α من العلاقة الواردة في البند (٦–٥–١٠).

٤ – ٢ – ٩ – معامل التكافؤ (النسبة المعيارية):

١ – لتحديد الأبعاد، وحساب الإجهادات بطريقة المرونة، من أجل تبسيط الحسابات العادية، تُؤخذ النسبة المعيارية n ثابتة ومساوية 15، أي: $(n = E_s / E_c = 15)$.

٢ – عند تحديد القيم غير المقررة سكونياً (ستاتيكياً)، وكذلك عند تصميم العناصر الإنشائية التي لا يُسمح فيها بوجود شقوق ناتجة عن الشد (كخزانات المياه)، تُؤخذ النسبة المعيارية n مساوية 10، أي $(n=10)$.

٤ – ٢ – ١٠ – معامل التشوه (التشكل) العرضي للخرسانة (نسبة بواسون):

تُؤخذ نسبة: التشوه العرضي إلى التشوه الطولي في التشوهات المرنة، والمسماة نسبة بواسون مساوية إلى: $\upsilon = 0.2$.

ويعطى معاير القص (G) بالعلاقة الآتية: $$G = \frac{E_c}{2 \cdot (1 + \upsilon)}$$

٤ – ٢ – ١١ – الانفعالات الطويلة الأجل للخرسانة (الزحف):

٤ – ٢ – ١١ – ١ – بالإضافة إلى الانفعالات غير المرنة، الناجمة عن الانكماش، تكون القطع الخرسانية المحملة بأحمال التشغيل، خاضعة لتأثير تشكل لحظي مرن، يسبب انفعالاً قدره $\varepsilon_{ce} = \sigma_c / E_{co}$. فإذا ما بقيت هذه القطع، تحت تأثير كل أحمال التشغيل أو بعضها، لمدة تزيد على يوم واحد، حدثت لها بالإضافة إلى التشكلات اللحظية المرنة، تشكلات إضافية تزيد تدريجياً مع الزمن، وتُسمى الزحف.

٤ – ٢ – ١١ – ٢ – من أهم العوامل المؤثرة على الزحف ما يلي:

أ – مقدار إجهادات التحميل بالنسبة للمقاومة: إذ إن الزحف يكبر بتزايد إجهادات التحميل.

ب – رطوبة المحيط: إذ إن الزحف يتناقص بتزايد هذه الرطوبة.

ج – عمر الخرسانة عند التحميل: إذ إن الزحف يتناقص كلما ازداد عمر الخرسانة عند تحميلها.

د – نسبة الإسمنت في الخرسانة: إذ إن الزحف يكبر بازدياد هذه النسبة.

هـ – نسبة ماء الخلط: إذ إن الزحف يكبر بازدياد كمية ماء الخلط بالنسبة للإسمنت.

و – سمك العنصر الخرساني: إذ إن الزحف يكبر بتناقص السمك.

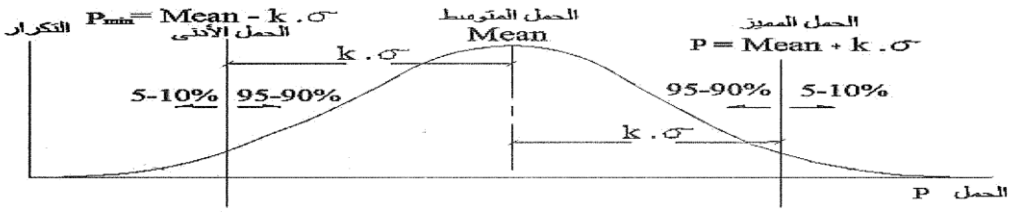
ز – الزمن: إذ إن الزحف يكبر مع مرور الزمن، حتى عمر ثلاث سنوات.

ح – نسبة تسليح الضغط إلى مساحة المقطع العرضي للعنصر (راجع الفقرة ١٠ – ٥ – ٦).

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 (٥ – ١ – 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 المصعّدة 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
المجبول الاسفلتي	2.3	23

أحمال التغطية على البلاطات في المباني: في حال عدم القيام بحساب دقيق تؤخذ أحمال التغطية مساويةً 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 (٢-٥)، الذي يُعطي أحمال الاستعمال الدنيا.

الجدول (٢-٥): 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	غرف		2.0	200	1.4	140
	ممرات خارجية وأدراج		3.0	300	1.8	180
الفنادق	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 عن	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 ومباني 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، فسحات		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 مختلفة	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 سخانات ومضخات 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 للمرآب، وعلى أن يتم ذلك بموجب إقرار يسجل في نقابة المهندسين موقع من قبل الجهتين المالكة و الدارسة للمشروع وُينص 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):

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

تُقسم 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 الاستاتيكية غير المثبّتة والمواد المخزّنة.

٢- أثقال الأشخاص مستعملي المنشأة، شرط أن يُؤخذ بالحسبان في تقدير هذه الأثقال العامل الديناميكي في حال وجوده، كما يحدث في صالات الاجتماعات والمدرجات الرياضية مثلاً.

تدخل هذه الأحمال في الحساب بشكل أحمال موزعة بانتظام على المنشأة، وتحقق أيضاً على حمل مركّز، وتؤخذ قيم هذه الأحمال الموزعة والمركزة وفقاً لما يلي:

في المباني العادية، كمباني السكن والمدارس والمباني التجارية، والمنشآت المذكورة في الجدول (٥-٢)... الخ، وعند عدم وجود كودات بناء أو نصوص خاصة، يمكن اعتماد القيم الواردة في الجدول (٢-٥) والتي أدخل فيها التأثير الديناميكي.

٥-٣-٣- تخفيض الأحمال الإضافية في المباني متعددة الطوابق:

في المباني المُعدّة للسكن ذات الطوابق المتعددة (أكثر من 5)، وفي حال تحميلها بأحمال إضافية متساوية، يُسمح بتخفيض الأحمال الإضافية على عناصر الارتكاز، كالجدران والأعمدة والأساسات وفق الجدول (٣-٥) الآتي، حيث تُمثل P قيمة الحمل الإضافي الكلي على السقف.

الجدول (٣-٥): تخفيض الأحمال الإضافية في المباني متعددة الطوابق

موقع السقف	قيمة الحمل الإضافي
السقف الأعلى أو السطح	P
السقف الأول تحت السطح	P
السقف الثاني تحت السطح	0.9 P
السقف الثالث تحت السطح	0.8 P
السقف الرابع تحت السطح	0.7 P
السقف الخامس تحت السطح	0.6 P
السقف السادس تحت السطح ومادون	0.5 P

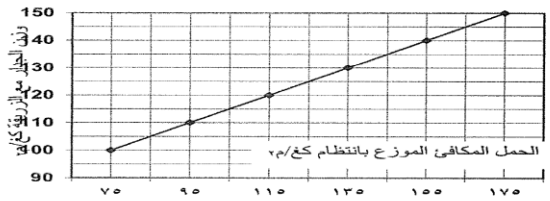
ملاحظة: لا يُسمح بأخذ عامل التخفيض إذا كان عدد الطوابق لا يزيد على خمسة، أو إذا كانت الطوابق تُستعمل مستودعات أو مخازن أو مشاغل أو مدارس أو أماكن عامة أخرى، يمكن أن يفرض استعمالها المتوقع تحميل الطوابق بالأحمال الإضافية القصوى في الوقت ذاته.

٥-٣-٤- الحمل الإضافي المكافئ للجدران الخفيفة على الأسقف المسلحة:

تُعد الجدران الفاصلة الداخلية الموجودة على البلاطات المسلحة خفيفة، إذا كانت أوزانها لا تزيد على 1.5 kN لكل متر مربع من مساحة الجدار. ويمكن الاستعاضة عن حمل الجدار الخفيف

المركز على خط طولي بحمل مكافئ موزع بانتظام على مساحة السقف المسلح الموجود عليها (بعد الأخذ بالحسبان وزن الحائط الفعلي تبعاً لمادته وسمكه وطوله وارتفاعه) طبقاً لما هو مبين في الشكل (٥-١).

إذا كان الحمل الحي أكبر من $6\ kN/m^2$ يُهمل الوزن المكافئ للجدران الخفيفة المتوضعة على هذه المساحة.



الشكل (٥-١): الحمل المكافئ من الحوائط الخفيفة

٥-٣-٥- الحمل الإضافي المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف المسلحة:

تُعد الجدران الفاصلة الداخلية الموجودة على البلاطات المسلحة ثقيلة، إذا كانت أوزانها تزيد على (1.5 kN) لكل متر مربع من مساحة الجدار. ويمكن الاستعاضة عن حمل الجدار الثقيل المركّز على خط طولي، بحمل مكافئ موزع بانتظام على مساحة البلاطة المسلحة الموجود عليها، وفق كل حالة من الحالات التالية:

٥-٣-٥-١- البلاطات المصمتة باتجاه واحد:

أ - الجدار يتوضع بصورة متعامدة مع اتجاه عمل البلاطة، كما هو مبين في الشكل (٥-٢). وتُميز الحالات الآتية:

الشكل (٥-٢): الجدار المتعامد مع مجاز البلاطة

١) البلاطة بسيطة الاستناد: $w_e = 2\frac{W_p}{L}$

٢) البلاطة مستمرة من طرف وبسيطة الاستناد من طرف آخر: $w_e = 1.75\frac{W_p}{L}$

٣) البلاطة مستمرة من الطرفين: $w_e = 1.50\frac{W_p}{L}$

حيث: W_p هو وزن الجدار على كامل الارتفاع، ويضمنه وزن الطينة (kN/m).

L هو المجاز الحسابي للبلاطة (m).

w_e هو الحمل الإضافي المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف المسلحة (kN/m^2).

ب - يتوضع الجدار بصورة موازية لاتجاه عمل البلاطة، حيث يكون طرف البلاطة القريب الموازي للجدار حرّاً، كما في الشكل (٥-٣)، أو مستنداً على جدار أو جائز ساقط يبعد أكثر من $0.3\ L$ عن موقع الجدار.

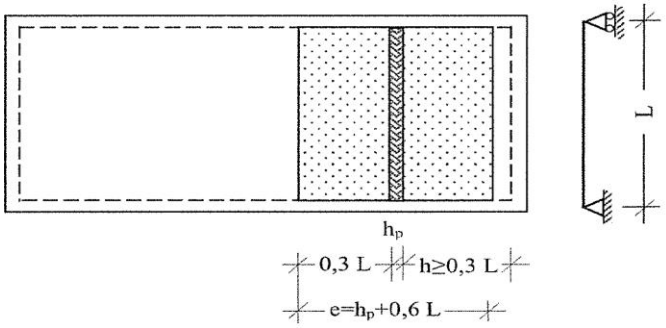
يُحسب العرض الفعال e الواجب أخذه بالحسبان لحساب الحمل الإضافي على الشكل الآتي:

$$e\ (m) = h_p + 0.3\ L + h \leq h_p + 0.6\ L$$

حيث: h = بُعد الجدار عن الطرف الحر للبلاطة.

h_p = سماكة الجدار مقدرة بالمتر.

ويُحدد الحمل الإضافي المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف المسلحة مقدراً بـ $\frac{kN}{m^2}$ على الشكل الآتي: $w_e = \frac{W_p}{e}$



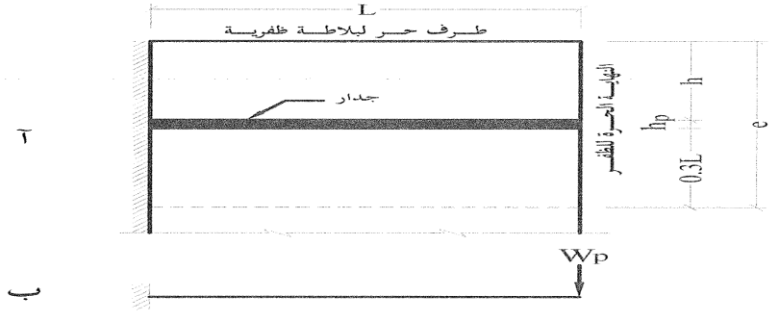
الشكل (٣–٥): جدار محمل قريباً من طرف حر لبلاطة

٥–٣–٥–٢– البلاطات المصمتة الظفرية:

أ – عندما يتوضع الجدار بشكل حمل موزع بانتظام خطياً باتجاه مجاز الظفر للبلاطة الظفرية، كما هو مبين في الشكل (أ) من الشكل (٤–٥)، يُحدد الحمل الإضافي المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف المسلحة مقدراً بـ (kN/m^2) على الشكل الآتي: $w_e = \frac{W_p}{e}$

حيث: $e_{(m)} = h + h_p + 0.3\ L \leq h_p + 0.6\ L$

h = المسافة بين الجدار والطرف الحر الجانبي للبلاطة الظفرية، على ألا تزيد على (0.3L).



الشكل (٥–٤): تحميل جدار على بلاطة ظفرية

ب – أما عندما يكون الجدار مركّزاً بشكل حمل مركّز متعامد مع مجاز الظفر فيؤخذ تأثيره بصفته حملاً مركزاً، كما هو مبين في الشكل (ب) من الشكل (٤–٥).

٥–٣–٥–٣– البلاطات المصمتة باتجاهين:

يُؤخذ وزن جميع الجدران المتوضّعة على البلاطة، ويضمنها أوزان الأحمال الميتة المطبقة أو المعلقة على هذه الجدران، ويضرب بمعامل تكبير مقداره 1.5، ثم يُحدد الحمل الإضافي المكافئ الموزع بانتظام بتقسيم الناتج على مساحة البلاطة بين خطوط الاستناد.

٥–٣–٥–٤– البلاطات المفرغة:

يُحدد الحمل الإضافي المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف المسلحة على شكل بلاطات مفرغة (هوردي) باتجاه واحد تماماً كما هو مبين في الفقرتين (١–٥–٣–٥) و(٢–٥–٣–٥) شريطة تحقق ما يلي:

أ – لا يزيد العرض الفعال e عن ثلاثة أمتار ويحسب وفق إحدى العلاقتين:

$$e_{(m)} = h_p + 0.3\ L + h \leq h_p + 0.6\ L$$
$$e_{(m)} = h + 0.3\ L \leq 0.6\ L$$

ب– يتوجب لحظ عصب تقوية (رابط) لأعصاب البلاطة المفرغة باتجاه واحد، كما هو وارد في البند (٣–٤–٣–٧) أدناه. أما في حالة البلاطات المفرغة باتجاهين فيُحدد الحمل الإضافي المكافئ كما سبق لحالة البلاطات المصمتة في البند (٣–٥–٣–٥).

٥-٣-٦- القوى الأفقية المؤثرة على حواجز الشرفات:

يجب أن تتحمل حواجز حماية الشرفات (درابزين) قوى أفقية عرضية مطبقة في أعاليها تساوي إلى 1 kN/m (100kgf/m)، في المباني العادية، وتساوي إلى 3 kN/m (300kgf/m) في الحواجز الواقية في منافذ الهروب (Panic Barriers). ويجب ألا يقلّ معامل الأمان ضد الانقلاب عن 1.5.

٥-٣-٧- الأحمال الإضافية الديناميكية:

إن الأحمال الإضافية الديناميكية، هي التي تخلق في المنشأة قوى أخرى تُضاف إلى قيم القوى الأساسية وتكون نتيجة التركيز الديناميكي والارتجاج الحاصلين في المنشأة من تحركات الأحمال الديناميكية. وتدخل هذه الأحمال في الحساب بضربها بمعامل خاص تُحسب على أساس نسبة قيمة تردد الحمل الديناميكي وقيمة تردد المنشأة، كما تدخل فيه نسبة قيمة الأحمال الديناميكية إلى قيمة الأحمال الثابتة.

٥-٣-٧-١- الآلات الترددية الثقيلة:

في الحالات العادية، وعند عدم وجود نصوص خاصة، يمكن اعتماد قاعدة تقريبية بزيادة الحمل الإضافي الديناميكي P_d المركّز على عنصر منشأة ما، بمقدار $\alpha\ P_d$.

حيث: α تمثل معامل يساوي:

$$\alpha = \frac{0.4}{1+\frac{L}{5}} + \frac{0.6}{1+\frac{G}{P}}$$

حيث: L = طول عنصر المنشأة الذي يحمل الحمل الإضافي الديناميكي، وتُؤخذ L بالمتر.

G = كامل الأحمال الدائمة على العنصر.

P = كامل الأحمال الإضافية على العنصر (أحمال إضافية مميزة وديناميكية).

٥-٤- تعريف الأحمال المناخية:

هي القوى التي تطبق على المنشأة بفعل العناصر المناخية، وأهمها: الرياح، الثلج.

٥-٤-١- أحمال الرياح:

يتم تقييم أحمال الرياح انطلاقاً من فرضية أساسية هي أن الطاقة الحركية للرياح والناتجة عن سرعتها تتحول إلى طاقة ضغط حركي مكافئ بمجرد اصطدام الرياح بحاجز ثابت ولا نهائي وفقاً للصيغة:

$$w_d = V^2 / 1630 \qquad (kN/m^2)$$

حيث: w_d تساوي الضغط الحركي (الديناميكي) المكافئ لهبّة الرياح الناتجة عن سرعتها، مقدرة بـ (kN/m^2).

V تُمثل سرعة الريح التصميمية، وتُقدر بالمتر في الثانية.

$$\left(w_d = \frac{V^2}{16} \qquad kgf/m^2 \right))$$

يمكن دراسة تأثير الرياح على المباني والمنشآت باستعمال إحدى الطرائق الثلاثة الآتية:

١- **الطريقة الأولى الواردة في هذا الكود**، مع اعتماد سرعة هبة الرياح V_k، وما يتبعها من تعاريف وعلاقات وأشكال وجداول لحساب ضغط الرياح حتى نهاية البند (٣-١-٤-٥) في هذا الكود مع الجدول في الملحق (ج).

٢- **الطريقة الثانية الواردة في الملحق الأول (١) للكود والخاص بالأحمال**، ويعتمد في هذه الطريقة سرعة لهبة الرياح لفترة زمنية تساوي 3 ثوان. ويمكن اعتمادها مساوية 1.15 مرة سرعة هبة الرياح الواردة في الطريقة الأولى، والمعطاة للمناطق في الجمهورية العربية السورية في الملحق (ج). وهذه الطريقة تمثل مقاربة أخرى لتحديد تأثير الرياح على المباني والمنشآت. ويعود للمصمم اختيار إحدى الطريقتين، على أن تؤخذ كل طريقة بشكل كامل، إلا في حالة بعض المباني العالية التي يلزم لها اعتماد الطريقة الثالثة.

٣- **الطريقة الثالثة الواردة في الملحق السادس عشر (١٦) للكود والخاص بتصميم وتنفيذ المباني العالية**، وهذه الطريقة إلزامية الاستعمال لبعض المباني العالية حسب الاشتراطات الواردة في الملحق السادس عشر (١٦).

الطريقة الأولى لتحديد تأثير الرياح على المباني والمنشآت:

تؤخذ قيم سرعات هبّات الرياح V_k من سجلات دوائر الأرصاد الجوية في المنطقة المدروسة، وتستعمل هذه القيم في حساب سرعة الرياح التصميمية V، ولكل اتجاه على حدة وفق

ما يلي:

أ – $V = V_k$ لتصميم المنشآت أو عناصر إكساء الواجهات التي يقل كل من بُعدي واجهتها المدروسة عن 10 m أو ما يُساويه.

ب – $V = V_k / 1.35$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بُعدي واجهتها المدروسة عن 10 m ويقل عن (20 m). ويُدعى بأن هذه السرعة V تقابل القيم المعطاة في الأرصاد الجوية تحت تسمية الرياح العظمى.

ج – $V = V_k / 1.45$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بُعدي واجهتها المدروسة عن 20m أو يُساويه.

تُعرّف الهبّة بأنها: ريح تستمر لمدة أكثر من عشرين ثانية وسرعتها أكثر من 8.5 متر/ ثانية، على أن يكون الفرق في سرعة الريح بين بداية الهبة، وأعظم سرعة فيها أكثر من 4.5 متر/ ثانية.

تعطي دوائر الأرصاد الجوية عادة قيمة سرعة هبّة الرياح القصوى السنوية لمنطقة ما، وكذلك قيم سرعات هبّات الرياح السنوية القصوى للسنين التي تم فيها تسجيل فعلي لحركة الرياح في منطقة ما مدروسة.

اعتماداً على القيم المعتمدة لسرعات هبّات الرياح السنوية القصوى، تعرّف سرعة الرياح المميزة المعتمدة في التصميم بأنها: سرعة هبة الرياح التي لا يمكن تجاوزها أكثر من مرة واحدة خلال خمسين عاماً متتالية ويُرمز لها بالرمز V_k.

أما إذا قلت الفترة المسجلة لسرعات هبّات الرياح القصوى السنوية لمنطقة ما عن خمسين عاماً متتالية، فيمكن تحديد سرعة الرياح المميزة المعتمدة في التصميم باستعمال العلاقات الرياضية المناسبة، وتؤخذ من المراجع المختصة في الأرصاد الجوية، وبحيث لا تقلّ عما هو وارد في الملحق (ج) لهذا الكود الأساس.

وفي حال عدم توفر معطيات إحصائية دقيقة عن سرعات هبّات الرياح القصوى في المنطقة المدروسة يمكن، على نحو افتراضي، تقسيم المناطق تبعاً لسرعات هبّات الرياح المميزة المعتمدة في التصميم على الشكل الموضح في الجدول (٤–٥)، وأخذ قيم الضغط الحركي المكافئ لهبة الريح w_d الواردة في الجدول ذاته.

الجدول (٤–٥): تقسيم المناطق تبعاً لسرعة هبّة الريح على ارتفاع 10 m فوق سطح الأرض

المنطقة	درجة الرياح	سرعة هبة الريح (V_k)		الضغط الستاتيكي المكافئ w_d	
		كم / ساعة	متر / ثانية	kgf/m^2	kN/m^2
الأولى	قوية جداً	175	48.6	148	1.48
الثانية	قوية	150	41.6	108	1.08
الثالثة	معتدلة	125	34.7	75	0.75
الرابعة	ضعيفة	100	27.8	48	0.48

٥–٤–١–١ – الحساب الاستاتيكي للمنشآت على الرياح:

بينت التجارب أن التأثيرات الحركية (الديناميكية) لأحمال الرياح على المنشآت العادية والمباني قليلة الارتفاع (التي لا يزيد ارتفاعها على 50 متراً) والتي لا تزيد النسبة بين ارتفاعها وعرض واجهتها المواجهة للرياح عن 4 مرات صغيرة نسبياً، بحيث يمكن أخذ مفعول الرياح الكلي بصفة حمل ضغط ساكن منتظم وأفقي موزع على كامل عرض الواجهة المعرضة للرياح، ويتأثر بجملة من العوامل التي يتوجب إدخال تأثيرها في الحساب وفق العلاقة الآتية:

$$w_e = \alpha_o \cdot k_h \cdot k_s \cdot w_d$$

حيث: w_e – حمل ضغط الرياح الكلي المكافئ، مقدراً بوحدة kN/m^2، المطبّق على الواجهة المعرضة للرياح، والمفروض توضعه بصفة حمل ساكن (ستاتيكي).

α_o = معامل السطح، ويتعلق بخشونة السطوح وعددها، ويُحدد من الجدول (٥–٥).

الجدول (٥–٥): قيم المعامل α_o

شكل المسقط	عدد أضلاع المسقط n	α_o
مثلث أو مستطيل	$3 \le n \le 4$	1.30
مخمس	$n = 5$	1.05
مضلع منتظم	$5 < n \le 20$	$1.05 - 0.02\,n$
مضلع أو دائرة	$n > 20$	0.65

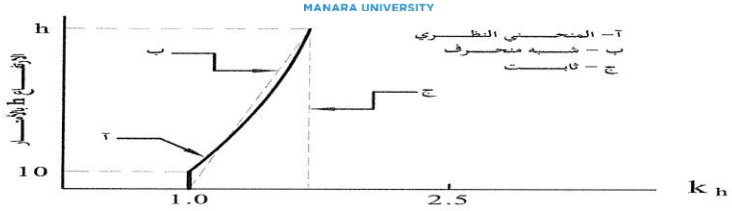
k_h = معامل علو المنشأة بالنسبة لمستوى سطح الأرض، ويُحسب وفق العلاقة الآتية:

$$k_h = 2.5\left(1 - \frac{42}{h + 60}\right)$$

على أن تؤخذ $k_h = 1$ بالنسبة للجزء الذي يقل ارتفاعه عن عشرة أمتار عن مستوى سطح الأرض، كما هو مبين في الشكل (٥–٥).

k_s = معامل الموقع بالنسبة لحماية المنشأة من فعل الرياح أو من تعرضه لها، وتؤخذ قيمته من الجدول الآتي:

الموقع المتعرض للعواصف (شواطىء البحار، رؤوس التلال، الجزر)	$k_s = 1.30$
الموقع الاعتيادي متوسط التعرض (السهول)	$k_s = 1.00$
الموقع المحمي من العواصف سواء بالتلال أو بالعناصر الثابتة الأخرى	$k_s = 0.80$



للتبسيط يمكن أخذ أحد التوزيعين المبسطين (ب) أو (ج) بديلاً عن التوزيع النظري (آ) عندما يكون h أقل من 50 متراً.

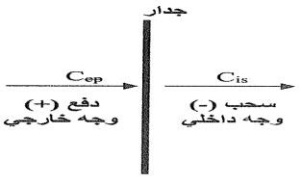
الشكل (٥–٥): تغير عامل الارتفاع k_h مع الارتفاع

٥–٤–١–٢– دراسة الاستقرار والحساب العام للجملة الإنشائية المقاومة للرياح وحساب عناصر الإكساء:

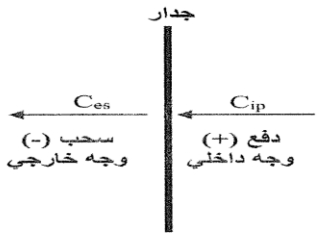
تؤثر الرياح خارجياً على السطوح المواجهة لها بأحمال دفع (+) موزعة، بينما تؤثر على السطوح الأخرى بأحمال سحب (–) موزعة أيضاً.

كما تؤثر داخلياً على الجدران بأحمال دفع أو سحب نتيجةً للفتحات في الجدران.

أ – عند حساب أجزاء المنشأة المعرضة للرياح، كالجدران غير الحاملة و الإكساءات وعناصر الواجهات، يتم تجميع أحمال الدفع على الوجه الخارجي للسطح مع أحمال السحب على الوجه الداخلي للسطح ذاته، كما هو في الشكل (٥–٦)، والتحقق بتجميع أحمال السحب على الوجه الخارجي للسطح مع أحمال الدفع على الوجه الداخلي للسطح ذاته، أي كما هو مبين في الشكل (٥–٧): $(C_{ep} - C_{is})\, k_h\, k_s\, w_d$



الشكل (٥–٦): الدفع الخارجي والسحب الداخلي على الجدار



$(C_{es} - C_{ip})\, k_h\, k_s\, w_d$

الشكل (٥–٧): السحب الخارجي والدفع الداخلي على الجدار

وتؤخذ قيم وإشارات المعاملات: C_{ep} , C_{es} , C_{ip} , C_{is} من الجدول (٥–٦)، وتحسب قيم w_d تبعاً لأبعاد جزء المنشأة المعرض للرياح وفقاً للبند (٥–٤–١).

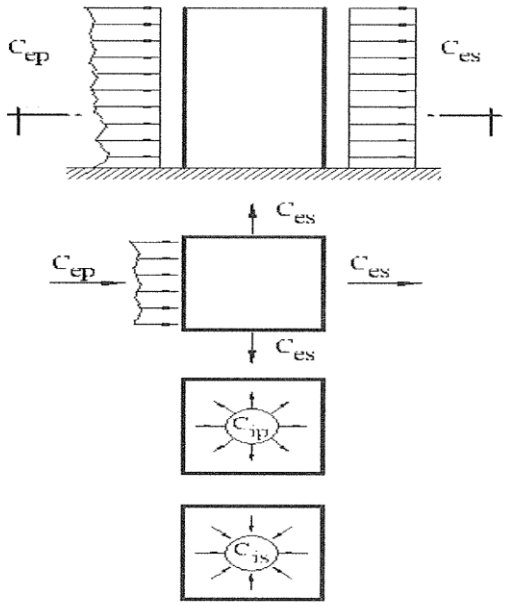
ب– عند دراسة المنشأة (مهما كان شكلها) على أحمال الرياح، يُؤخذ حمل ضغط الرياح المكافئ w_e وفق العلاقة الواردة في البند (٥–٤–١–١)، وتعد مطبقة على المسقط الشاقولي للسطح المواجه للرياح، ولا تطبق أحمال على الوجوه الأخرى. على أنه في حالة المنشآت ذات المساقط الأفقية المستطيلة ذات السطوح المستوية، يمكن افتراض أن المنشأة معرضة لحمل دفع على الوجه الخارجي المواجه للرياح w_{ep} وحمل سحب على الوجه الخارجي الآخر المقابل له w_{es}.

حيث:

$$w_{ep} = + C_{ep}\, k_h\, k_s\, w_d$$

$$w_{es} = - C_{es}\, k_h\, k_s\, w_d$$

وتؤخذ قيم وإشارات المعاملين C_{es} , C_{ep} من الجدول (٥–٦)، وفق الشكل التوضيحي (٥– ٨).



الشكل (٨–٥): عوامل دفع وسحب الرياح على المنشأة من الخارج

وتحدد شدة حمل ضغط الرياح (دفع أو سحب) على الوجوه الداخلية للمنشآت كما يلي، وفق الشكل التوضيحي (٩–٥).

١) المنشآت المغلقة: $w_i = \pm 0.3\ k_h\ k_s\ w_d$

٢) المنشآت المفتوحة الأسطحة المواجهة للرياح: $w_i = +\ 0.8\ k_h\ k_s\ w_d$

٣) المنشآت المفتوحة الأسطحة غير المواجهة للرياح: $w_i = -\ 0.5\ k_h\ k_s\ w_d$

الشكل (٥–٩): عوامل دفع وسحب الرياح على المنشأة من الداخل

الجدول (٥–٦): قيم المعامل C

معامل الدفع على الوجه الخارجي لجزء المنشأة	$C_{ep} = +\ 0.8$
معامل السحب على الوجه الخارجي لجزء المنشأة	$C_{es} = -\ (1.3\ \gamma - 0.8)$
معامل الدفع على الوجه الداخلي لجزء المنشأة	$C_{ip} = 0.6\ (1.8 - 1.3\ \gamma)$
معامل السحب على الوجه الداخلي لجزء المنشأة	$C_{is} = -\ 0.6\ (1.3\ \gamma - 0.8)$

وتؤخذ $\gamma = 1$ في المباني العادية، أما في المباني المرتفعة فيُرجع للمراجع المختصة من أجل تحديد قيمتها.

ج– أما في الحالات الأخرى غير الواردة في البنود أعلاه فيتوجب العودة إلى مرجع مختص يُعالج هذه الحالات، أو يدرسها المهندس المصمم وعلى مسؤوليته.

د – في المنشآت ذات الطابق الواحد كالمستودعات او المعامل ... الخ، ذات السقف المثلثي أو المقوس كما في الشكل (٥–١٠)، وشرط أن يبقى العلو أكبر من ربع الضلع الأصغر ($h > 0.25\ b$) تحدد أحمال ضغط الرياح كالآتي:

١) تعدّ المنشأة مُعرضة لحمل دفع على الوجه الخارجي للجدار المواجه للرياح w_{ep} وحمل سحب على الوجه الخارجي للجدار الآخر المقابل w_{es}.

حيث: دفع $w_{ep} = +\ 0.8\ k_h\ k_s\ w_d$

سحب $w_{es} = -\ 0.5\ k_h\ k_s\ w_d$

٢) تحدد شدة حمل ضغط الرياح على الوجه الخارجي للسقف المائل أو المثلثي أو المقوّس وفق العلاقة الآتية: $w_{ep} = C\ k_h\ k_s\ w_d$

حيث تؤخذ قيم وإشارة المعامل C من الجدول (٥–٧).

الجدول (٧ – ٥): قيم المعامل C وفقاً لزاوية ميل السقف

	السطح المواجه للريح	السطح المعاكس للريح	زاوية ميل السقف انظر الشكل (١٠ – ٥)
	C	C	
السطح المائل أو المثلثي	$-2 \quad (0.25+\frac{/\alpha/}{100})$	$-1.5 \quad (0.333-\frac{/\alpha/}{100})$	$0 \le /\alpha/ < 10$
	$-2 \quad (0.45-\frac{/\alpha/}{100})$	$-0.5 \quad (+0.60+\frac{/\alpha/}{100})$	$10 \le /\alpha/ \le 40$
السطح المقوس	$-1.8 \quad (0.40-\frac{/\alpha/}{100})$ بحيث لا تقل عن 0.80	$-1.8 \quad (0.40-\frac{/\alpha/}{100})$	$0 \le /\alpha/ < 10$
	$-2 \quad (0.50-\frac{/\alpha/}{100})$	$-1.8 \quad (0.40-\frac{/\alpha/}{100})$	$10 \le /\alpha/ \le 40$

الشكل (١٠ – ٥): منشآت ذات سقف مثلثي أو مقوس

٥ – ٤ – ١ – ٣ – الحساب الحركي (الديناميكي) للمنشآت لأحمال الرياح:

تتعرض المنشآت النحيفة (التي لا تنطبق عليها الاشتراطات البعدية الواردة لحسابات أحمال الرياح) إلى تأثيرات حركية (ديناميكية)، بسبب فعل هبّات الرياح يتوجب أخذها بالحسبان. ولأخذ أثرها يتوجب العودة إلى مراجع أو كودات معتمدة متخصصة في هذا المجال، واعتمادها وحسابها.

٥ – ٤ – ٢ – أحمال الثلج:

تقيّم أحمال الثلج في المناطق المختلفة وفق الأسس الآتية:

* الوزن الحجمي للثلج.
* السمك المتوسط الممكن تجمعه فوق المنشأة.
* انحدار السطح الذي يتساقط عليه الثلج.

دلت التجارب على أن الوزن الحجمي يتكيف مع نوعية تكاثف الثلج، ويتراوح بين (1 – 4 kN/m^3)، أي بمعدل وسطي 2.5 kN/m^3 (0.25 tf/m^3).

يؤخذ في الحسبان تجلّد الثلج في بعض الأحيان، إذ ينتج عنه سمك في الجليد قد يبلغ 50 ميليمتراً، ويكون الوزن الحجمي للجليد مساوياً 10 kN/m^3 (1 tf/m^3) أي وزن الماء النوعي.

في الحالات العادية وفي المساحات الأفقية، التي لا يتجاوز انحدارها عن الأفق 25 درجة، وحتى علو قدره 2500m فوق سطح البحر، يمكن اعتماد قيم أفعال الثلج Ps مقدرة بواحدة kN/m^2 كما هي واردة في الجدول (٨ – ٥).

الجدول (٨ – ٥): أحمال الثلج مقدرة بالـ kN/m^2

علو المنشأة عن سطح البحر h بالمتر	أحمال الثلج
$h \le 250$	0
$250 < h < 500$	$\frac{h}{1000} - 0.25$
$500 \le h < 1500$	$\frac{h}{400} - 1$
$1500 \le h \le 2500$	$\frac{h}{250} - 3.25$
تضرب الأحمال بـ 100 في حال الرغبة بتحويلها إلى kgf/m^2	

في الأسقف التي يتجاوز انحدارها 25° تؤخذ القيم المبينة في الجدول (٨ – ٥) مضروبة بمعامل التخفيض المبين في الجدول (٩ – ٥).

الجدول (٩ – ٥): معامل تخفيض أحمال الثلج للأسقف المائلة من أجل $\alpha = 25° - 45°$

قيمة زاوية الانحدار (درجة)	معامل التخفيض $\frac{75-\alpha}{50}$
25	1.00
30	0.90
35	0.80
40	0.70
45	0.60

٥ – ٥ – أفعال الحرارة والانكماش:

٥ – ٥ – ١ – التشوهات (التشكلات) الناتجة عن الحرارة والانكماش (التقلص):

تقسم المنشآت من حيث الحرارة والانكماش إلى قسمين:

١ – المنشآت التي لا يعترض تشكلها الخارجي موانع أو حواجز، ويجري هذا التشكل بحرية تامة: لا يلحق هذا النوع من المنشآت أفعال من جراء الحرارة والانكماش.

٢ – المنشآت التي لا تملك الحرية التامة في التشكل الخارجي، وتعد مقيدة التشكل: ينتج عن ذلك

أفعال من جراء الحرارة والانكماش يمكن تقديرها على الوجه الآتي.

٥ – ٥ – ٢ – التشوهات (التشكلات) والأحمال الناتجة عن الحرارة:

١ – حرارة الجو الخارجي:

في المنشآت المقيدة التشكل والموجودة في الهواء الطلق والتي كتلتها غير كبيرة: يُؤخذ الحمل الناتج عن حرارة الجو الخارجي مساوياً لفعل التغير الأقصى للحرارة خلال سنة كاملة ($\pm\Delta t^{\circ}$).

ويُحسب الانفعال الحاصل من العلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ct} = \alpha_t \ \Delta^{\circ}_t$$

حيث: α_t = تمثل معامل التمدد الحراري للخرسانة، ويُؤخذ 1×10^{-5}.

ε_{ct} = الانفعال الناتج عن تغير الحرارة.

ومن ثم تحسب الإجهادات الناتجة عن هذا الانفعال في الحالات التي يجب فيها الحساب على الحرارة.

عند حساب الإجهادات الناشئة في المبنى أو المنشأة نتيجة تأثيرات الحرارة، يُسمح بتخفيض قيمة عامل المرونة E حتى 0.2E.

٢ – الحرارة الاصطناعية:

أ – في المنشآت المختلفة المعرضة لحرارة اصطناعية مختلفة: يُؤخذ فعل هذه الحرارة الاصطناعية باعتماد معامل التمدد الحراري للخرسانة (10^{-5}).

ب– في المنشآت الكبيرة السمك والمعرضة لحرارة اصطناعية مختلفة على كل من الوجهين: يُؤخذ معامل التمدد الحراري ذاته (10^{-5}) لقياس انفعال التمدد المختلف على الوجهين، وبالنتيجة دوران المقاطع، ومن ثم حسابات عزوم الانحناء في حال وجودها.

٥ – ٥ – ٣ – التشوهات (التشكلات) والأحمال الناجمة عن الانكماش (التقلص):

١ – المنشآت المقيدة التشوه (التشكل) المعرضة للانكماش:

يُؤخذ فعل الانكماش، بشكل انفعال تقصيري منتظم، تحسب قيمه الفعلية حسبما ورد في البند (٥ – ٢ – ٢ – ٤). وينتج عن هذا الانفعال في المنشآت المقيدة التشكل أحمال محورية يتم حسابها.

٢ – المنشآت المقيدة التشوه (التشكل) المعرضة للحرارة والانكماش:

في حال تعرض المنشآت المقيدة التشوه (التشكل) لمفعولي الحرارة والانكماش معاً، يُؤخذ حاصل جميع التحميلات الناتجة عن عنصري الحرارة والانكماش مع تخفيض ما يُعادل (10° C).

٣ – تدرس المباني والمنشآت على حالتي التحميل الآتيتين:

أ – تأثير التغيرات الحرارية بالارتفاع أوبالانخفاض كحالة تحميل مستقلة، وتكون درجات الحرارة المعتمدة لهذه التغيرات الحرارية كما هو وارد في الجدول أدناه.

ب– تأثير انكماش الخرسانة كحالة تحميل مستقلة، ويؤخذ هذا التأثير مكافئاً لانخفاض في درجة الحرارة مقداره 20°C-.

هذا ويمكن دمج حالة تحميل التغيرات الحرارية مع حالة تحميل انكماش الخرسانة بحالة تحميل واحدة، بحيث تتم الدراسة باعتماد درجات حرارة بالارتفاع وبالانخفاض كما هو وارد في الجدول أدناه.

قيم Δt وفقاً لحالة التحميل الحرارية

رطوبة المناخ	حالة التغيرات الحرارية	حالة التغيرات الحرارية مع انكماش الخرسانة	
منطقة عالية الرطوبة	±15°C	+5°C	-25°C
منطقة رطبة	±20°C	+10°C	-30°C
منطقة متوسطة الرطوبة	±25°C	+15°C	-35°C
منطقة جافة	±30°C	+20°C	-40°C

تُعتمد، في كل ما سبق، التغيرات الحرارية المنتظمة في كامل مقاطع العناصر. أما في حالة المباني المكيفة (تدفئة وتبريد) فيجب دراسة حالة تحميل إضافية ناتجة عن تأثير اختلاف درجتي الحرارة بين داخل وخارج المبنى، وتؤخذ بشكل تغير خطي من 10°C+ في الخارج إلى 10°C- في الداخل. كما تؤخذ حالة تحميل أخرى لتغير خطي 10°C- في الخارج إلى 10°C+ في الداخل. ويتم جمع تأثيرات حالتي التحميل هاتين مع تأثيرات حالات التحميل الحرارية الأخرى.

أما في حالة بعض المنشآت الخاصة التي تتعرض إلى تأثيرات حرارية كبيرة بين الداخل والخارج (كالمداخن وبرادات التخزين ...الخ) فيقوم المهندس المصمم بدراسة هذه الحالة حالة تحميل إضافية يلزم أخذها بالحسبان.

٥ – ٥ – ٤ – ترتيبات تتعلق بالمنشآت حرّة التشوه (التشكل):

تُؤخذ الاحتياطات اللازمة لتمكين هذه المنشآت من تشوهها (تشكلها) تحت تأثير الحرارة والانكماش، وتحسب مقادير التشوه (التشكل) كما ورد في البند (٢ – ٥ – ٥) والبند (٣ – ٥ – ٥).

٥ – ٦ – أحمال الزلازل:

تقسم البلدان عادة إلى سبع مناطق تبعاً لشدات الزلازل العظمى التي يمكن أن تتعرض لها وفق مقياس ميركالي المعدل، حسبما يلي:

١ – المنطقة (0): لا تعد معرضة لزلازل تذكر (حتى درجة MM V).
٢ – المنطقة (1): لا تعد معرضة لزلازل قوية مُضرّة (حتى درجة MM VI) أو لتسارع مقداره 0.075g
٣ – المنطقة (2A): معرضة لزلازل متوسطة التسارع، تحدث تهدمات قريبة من المتوسطة (حتى أقل من درجة MM VII بقليل) أو لتسارع مقداره 0.15 g
٤ – المنطقة (2B): معرضة لزلازل متوسطة التسارع، تحدث تهدمات متوسطة (حتى درجة MM VII) أو لتسارع مقداره 0.20g
٥ – المنطقة (2C): معرضة لزلازل متوسطة التسارع، تحدث تهدمات أكثر من المتوسطة (حتى أكبر من درجة MM VII بقليل) أو لتسارع مقداره 0.25 g
٦ – المنطقة (3): تكثر فيها الزلازل، وتُعد معرضة لزلازل عالية التسارع تُحدث تهدمات ملحوظة (حتى درجة MMVIII) أو لتسارع مقداره 0.30g أو أكبر بقليل.
٧ – المنطقة (4): تكثر فيها الزلازل، وتعد معرضة لزلازل عالية التسارع تحدث تهدمات فتاكة (أكبر من درجة MM VIII) أو لتسارع مقداره 0.40g أو أكثر.

ملاحظة: تقدر الشدة الزلزالية وفقاً لمقياس ميركالي المعدل، وتعرف بأنها الشدة التي لا يقل احتمال عدم تجاوزها عن 90% ضمن مدة 50 سنة، كما يقدر التسارع الزلزالي منسوباً للجاذبية الأرضية g، وهو التسارع الذي لا يقل احتمال عدم تجاوزه عن 90% ضمن مدة 50 سنة.

٥ – ٦ – ١ – مجال الاستعمال:

يُعتمد في الجمهورية العربية السورية التصنيف المذكور أعلاه بالنسبة لأحمال الزلازل، وفقاً للخارطة الزلزالية الواردة في الملحق (د) والجدول في الملحق (هـ) من هذا الكود.

وفقاً لهذا الكود يتوجب تصميم وتنفيذ كل منشأة وكل جزء منها لمقاومة قوى أفقية كلية دنيا تمثل قوى الزلازل، وتحسب بالطريقة المناسبة من الطريقة الاستاتيكية المكافئة أو من الطريقة الاستاتيكية المكافئة المطورة أو من إحدى الطرائق الديناميكية الواردة في الملحق رقم (٢) الخاص بالزلازل، مع العلم أنه بالطريقتين الاستاتيكية المكافئة والاستاتيكية المكافئة المطورة تؤثر القوى الأفقية الجانبية باتجاه المحاور الرئيسية للمسقط الأفقي للمنشأة (حيث تؤثر باتجاه كل محور رئيسي وبشكل غير متواقت).

٥ – ٦ – ٢ – تقييم أحمال الزلازل وفق الطريقتين الاستاتيكية المكافئة والاستاتيكية المكافئة المطورة:

تُعتمد الطريقتان الاستاتيكية المكافئة و الاستاتيكية المكافئة المطورة في المناطق الخاضعة للزلازل، لحالة المباني والمنشآت التي تحقق الشروط الواردة في الملحق (٢) الخاص بالزلازل، أي عندما يكون البناء متناظراً أو شبه متناظر للكتل و القساوات في كل من الاتجاهين والتي لا يوجد فيها تراجعات شاقولية أو أفقية تزيد على الحدود المسموحة والموصوفة في الملحق رقم (٢) الخاص بالزلازل، كما لا يزيد ارتفاعها على 73m. يمكن، في هاتين الطريقتين، أخذ أحمال الزلازل على هذه المنشآت بصفة أحمال أفقية مطبقة عند مركز ثقل كل منسوب من مناسيب المنشأة، وتؤثر باتجاه المحاور الرئيسية للمنسوب المدروس وبالاتجاه المدروس.

سيتم في هذا الكود الأساس، شرح مبادئ الطريقة الاستاتيكية المكافئة فقط، وسيتم في الملحق (٢) الخاص بالزلازل تفصيل الطريقتين الاستاتيكية المكافئة والاستاتيكية المكافئة المطورة والطرائق الديناميكية.

تُحسب (في الطريقة الاستاتيكية المكافئة) قوة القص القاعدي V، وهي قوة القص الكلية الأفقية في الاتجاه المدروس، عند منسوب اتصال الأساس مع المبنى أو المنشأة (أي مستوى القاعدة) اعتماداً على عدة بارامترات، وهي:

– معامل التسارع الزلزالي للأرض (Z).
– معامل الأهمية (I).
– معامل السلوك اللا مرن (R).
– الفترة الأساسية للتردد الذاتي للمبنى أو المنشأة (الدور الأساس للاهتزاز T).
– الترابط المشترك والطنين بين المنشأة وتربة تأسيسها، ويتم التعبير عنه بمعامل مقطع التربة S، وبتأثيره على العاملين C_a - C_v.

٥ – ٦ – ٢ – ١ – تقييم معامل التسارع الزلزالي للأرض Z :

يعرف المعامل Z بأنه التسارع الزلزالي للأرض في الموقع المدروس كنسبة مئوية من تسارع الجاذبية الأرضية g (9.81 m/sec^2)، وتؤخذ قيمه من الجدول (٥ – ١٠).

الجدول (٥ – ١٠): قيم المعامل Z

المنطقة	0	1	2A	2B	2C	3	4
قيم المعامل Z	0	0.075	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40

ويعتمد العامل $Z = 0.15$ كحد أدنى في حال كونه أقل في الجدول أو الخارطة الزلزالية.

كما يمكن اعتماد قيم متوسطة للمعامل Z، حسب الخارطة الزلزالية للموقع المدروس، حتى لو زادت على القيمة 0.30 ماعدا المنشآت الخاصة وبناءً على دراسات زلزالية مفصلة للموقع قيد

الدراسة يمكن أن تصل إلى القيمة 0.40. وفي الحالات العادية يمكن اعتماد القيم الواردة في الخارطة الزلزالية لسورية (الملحق د) أو القيم الواردة في جدول الملحق (هـ) من هذا الكود.

في حال اتباع الطريقة الاستاتيكية المكافئة المطورة الواردة في الملحق (ج) من الملحق (٢) الخاص بالزلازل، فيتم تحديد قيمة المعامل Z للمنطقة، من قيمة التسارع الأرضي الأعظمي (PGA) المحسوب وفقاً لتلك الطريقة، وذلك كما ورد أيضاً في الملحق (ج) من الملحق (٢) الخاص بالزلازل.

٥ – ٦ – ٢ – ٢ – تقييم معامل أهمية المنشأة I :

يُعرف البارامتر I بأنه معامل أهمية المنشأة وطبيعة استعمالها، وتؤخذ قيمه من الملحق (٢) الخاص بالزلازل.

٥ – ٦ – ٢ – ٣ – تقييم معامل السلوك اللا مرن (معامل تعديل القوى الزلزالية) R :

يُعرف المعامل R بأنه معامل تأثير السلوك اللا مرن للمباني والمنشآت على الأحمال الزلزالية، ويُسمى اختصاراً معامل السلوك اللا مرن، وتؤخذ قيمه من الملحق (٢) الخاص بالزلازل.

٥ – ٦ – ٢ – ٤ – تقييم الفترة الأساسية للتردد الذاتي للمبنى أو المنشأة (T):

تُعرف الفترة الأساسية للتردد الذاتي للمبنى أو المنشأة (الدور الأساس للاهتزاز T) بأنها تساوي قيمة الدور الأساسي (الأول) للمنشأة (أو المبنى) المهتزة بالاتجاه المدروس، مقدرة بالثانية. يتم تعيين قيمة T كالآتي:

أ – في حال استعمال التحديد المباشر التقريبي لقيمة T يمكن اعتماد العلاقة التجريبية التقريبية الآتية (عند استعمال جدران قصية في التصميم لمقاومة الزلازل):

$$T_{(sec)} = 0.08\ N$$

حيث: N عدد طوابق المنشأة.

ب – أما في حال كون المنشأة منفذة من جمل إطارية فراغية مطاوعة من الخرسانة المسلحة قادرة على امتصاص مجمل القوى الجانبية المتأتية عن الزلازل ولا تتصل مع عناصر صلدة أخرى تمنعها عن الحركة تحت تأثير القوى الجانبية، فيمكن تحديد قيمة الدور الأساسي للمنشأة مقدرة بالثانية وفق العلاقة التجريبية التقريبية الآتية:

$$T = 0.1\ N$$

ج – إضافة لحساب T وفق إحدى العلاقتين الواردتين في أ و ب أعلاه، يلزم حسابها أيضاً وفق العلاقة التقريبية الآتية:

$$T = \gamma_t \cdot (h_n)^{3/4}$$

حيث:

h_n = ارتفاع المنشأة (أو المبنى) من القاعدة حتى أعلى منسوب (أي المنسوب n) مقدراً بالمتر.

$\gamma_t = 0.0853$ للإطارات المعدنية المقاومة للعزوم.

$\gamma_t = 0.0731$ للإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للعزوم وللإطارات المكتفة لا مركزياً.

$\gamma_t = 0.0488$ للمباني الأخرى كافة.

ويمكن، كحل بديل، أخذ قيمة γ_t للمنشآت والمباني الحاوية على جدران قص خرسانية أو حجرية من العلاقة:

$$\gamma_t = 0.0743 / \sqrt{A_c}$$

حيث: A_c = المساحة المكافئة الفعالة المركبة لجدران القص في الطابق الأول من المبنى فوق الأساس، بالمتر المربع، وتحدد قيمتها من العلاقة الآتية:

$$A_c = \Sigma\, A_e\, [\, 0.2 + (D_e/h_n)^2\,]$$

حيث: A_e = المساحة الدنيا للمقطع العرضي لجدار القص (بالمتر المربع) في أي مستوي أفقي في الطابق الأول فوق منسوب الأساس.

D_e: الطول (m) لجدار القص في الطابق الأول بالاتجاه الموازي للقوى المطبقة، بما فيها أطوال الفتحات في الجدار.

يجب ألا تتجاوز قيمة (D/h_n) في العلاقة السابقة القيمة 0.9.

ملاحظة: تؤخذ القيمة الأصغر للدور T الناتجة من تطبيق العلاقة في (ج) أعلاه أو من تطبيق إحدى العلاقتين (أ) أو (ب) (حسب الجملة الإنشائية).

د – في حال حساب قيمة الدور الأساسي للمنشأة (أو المبنى) اعتماداً على خصائصها الحركية (الديناميكية)، يمكن استعمال علاقة ريلاي الآتية، والناجمة عن التحليل الحركي التقريبي للمنشأة (الشكل ٥ – ١١).

$$T = 2\,\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot \delta_i^{\,2} \right) \div g \left[\sum_{i=1}^{n-1} F_i \cdot \delta_i + (F_n + F_t)\delta_n \right]}$$

حيث: W_i وزن المنشأة المركّز عند المنسوب i، أو الناجم عن وزن المنسوب i فقط، ويساوي جزءاً من الوزن الكلي للمنشأة أو المبنى W المعرّف أدناه.

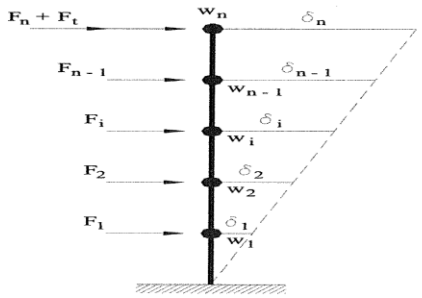
δ_n, δ_i السهم الأفقي الناجم في المنشأة نتيجة تطبيق القوى الأفقية المركّزة عند المناسيب من 1 إلى n والناجمة عن الزلازل، وذلك في المناسيب n,i بالترتيب.

g التسارع الأرضي.

F_n, F_i القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل والمركّزة عند المناسيب المختلفة n,i والمحسوبة

وفق البند (٣-٦-٥).

F_t القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل والمركّزة عند أعلى المنشأة عند المنسوب n والمحسوبة وفق البند (٣-٦-٥).



الشكل (١١-٥): تمثيل المنشأة الطابقية لحساب الدور الأساسي بطريقة ريلاي

ويُذكر أنه لا بُد من استعمال إحدى العلاقات التقريبية في بدء كل تصميم لأن قيمة T تكون مجهولة آنئذ، ثم بالتقريب المتتالي نقترب من القيمة الأدق عن طريق حساب قيمة ذلك الدور اعتماداً على الخصائص الحركية للمنشأة.

ملاحظة ١: عندما تزيد قيمة T (في أي من الاتجاهين) المحسوبة بطريقة ريلاي أو بطريقة دقيقة تعتمد على التحليل الديناميكي على قيمة T المعتمدة من الطرائق التقريبية (الواردة في (أ) و(ب) و(ج) أعلاه)، يسمح بزيادة T التقريبية بما لا يزيد على 40 % من قيمتها (بحيث لا تزيد على قيمة T الناتجة من ريلاي أو من الطريقة الدقيقة).

ملاحظة ٢: يجدر التنويه بأنه حتى في حال استعمال إحدى الطرائق الديناميكية لحساب تأثير الزلازل، فإنه يلزم حساب قوة القص القاعدي بإحدى الطريقتين الستاتيكيتين المكافئة أو المكافئة المطورة الواردتين في الملحق رقم (٢) الخاص بالزلازل (وهي مصعدة بالأصل) وذلك من أجل تحديد قوة القص القاعدي الديناميكية (المصعدة بالأصل) اللازم اعتمادها، كما هو موضح في الملحق رقم (٢).

٥-٦-٢-٥- تقييم الترابط المشترك بين المنشأة وتربة تأسيسها:

يتم تقييم الترابط المشترك بين المنشأة وتربة تأسيسها عن طريق قياس سرعة أمواج القص ضمن تربة التأسيس، حيث يتم تصنيف مقاطع التربة إلى ستة أصناف (S_A-S_B-S_C-C_D-S_E-S_F) وفقاً لسرعة أمواج القص. يتم أخذ تأثير خواص مقاطع التربة خلال الزلازل على المنشآت بإجراء تعديلات على قيم التسارع الأرضي الزلزالي، كما هو مبين في الملحق (٢).

٥-٦-٢-٦- تقييم الوزن الإجمالي W:

يعرف الوزن الإجمالي W بأنه يساوي مجمل الأحمال الميتة في حالة المباني والمنشآت العادية، أما في حالة المستودعات والمصانع وما شابهها، فيؤخذ 25% من مجمل الأحمال الحية غير المخفضة المطبقة على المنشأة. وفي حالة الخزانات فيلزم أخذ كامل وزن السائل بالحسبان. على أنه، في جميع الحالات، يلزم إدخال الأحمال الحية في تصميم العناصر، وفق التراكيب الواردة في الباب السادس.

٥-٦-٣- توزيع القوى الجانبية:

١- حالة المنشآت ذات الأشكال المنتظمة أو المؤلفة من جمل إطارية: توزع قوة القص الكلية الأفقية V على كامل ارتفاع المنشأة وفقاً للعلاقة الآتية:

$$V = F_t + \sum_{i=1}^{n} F_i$$

أما القوة المركزة المطبقة في أعلى المنشأة F_t فتُحسب طبقاً للعلاقة الآتية:

$$F_t = 0.07\ T\ V$$

وتُعد هذه القوة المركزة مكافئة لتأثير الأطوار بعد الطور الأساسي

تؤخذ قيمة القوة F_t بحيث لا تزيد على $0.25V$، ويمكن افتراض أن القوة $F_t = 0$ عندما تكون T أصغر من أو تساوي 0.7 ثانية.

أما بقية القوة القاصة الكلية $V-F_t$ فتوزع على كامل ارتفاع المنشأة وفقاً للعلاقة الآتية:

$$F_x = \frac{(V - F_t)W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i}$$

حيث: W_x = الحمولة الشاقولية المركّزة عند المنسوب x والناجمة عن وزن هذا المنسوب فقط.

h_x = ارتفاع المنسوب x عن القاعدة السفلية للمنشأة.

h_i = ارتفاع المنسوب i عن القاعدة السفلية للمنشأة.

تُطبق القوة الجانبية F_x عند المنسوب x وفي مركز ثقل هذا المنسوب وبالاتجاه المدروس.

٤- أما إذا كان المسقط الأفقي للمنشأة غير منتظم على نحو كبير في الطابق الواحد، أو كان هناك

اختلاف كبير في الصلابة بين طابقين متجاورين، ففي هذه الحالة يتوجب التحليل المُعتمِد على الخصائص الحركية (الديناميكية) الفعلية للمنشأة المدروسة.

٥ – ٦ – ٤ – توزيع القوى الجانبية في الطابق الواحد:

تُوزع القوة الجانبية في الطابق الواحد على العناصر المقاومة للأحمال الجانبية على الشكل الآتي:

١ – إذا كان مركز الثقل لمسقط الطابق المدروس ينطبق مع مركز قساوته، يشارك كل عنصر بأخذ قوة جانبية مساوية نسبة قساوته النسبية إلى مجموع القساوات النسبية للعناصر المقاومة في هذا الطابق، مضافاً إليها قوى جانبية إضافية تأخذ بالحسبان وجود عزم فتل إضافي، ناتج عن لامركزية تساوي 0.05 بُعد المبنى المتعامد مع اتجاه القوة الجانبية المأخوذة في الدراسة.

٢ – إذا كان مركز الثقل لمسقط الطابق المدروس لا ينطبق مع مركز قساوته، يشارك كل عنصر بأخذ قوة جانبية تأخذ بالحسبان تأثير عزم الفتل الناتج عن اللامركزية بين مركزي الثقل والقساوة للطابق المدروس، وبحيث لا تقل اللامركزية عن 0.05 بُعد المبنى المتعامد مع اتجاه القوة الجانبية المأخوذة في الدراسة.

٥ – ٦ – ٥ – حساب عزم الانقلاب:

يتوجب حساب كل منشأة أو مبنى ليقاوم عزم الانقلاب الناجم عن الأحمال الجانبية (أحمال الرياح أو الزلازل، أيهما أخطر). ويُحسب عزم الانقلاب الناجم عن الزلازل من العلاقة:

$$M = F_t h_n + \sum_{i=x}^{n} F_i h_i$$

أما عزم الانعطاف (عزم الانقلاب) من الزلازل الناتج عند كل منسوب (x) فيحسب من العلاقة:

$$M = F_t (h_n - h_x) + \sum_{i=x}^{n} F_i (h_i - h_x)$$

ملاحظة ١: في المباني التي يزيد ارتفاعها على 50m في المنطقة الزلزالية (3)، حسب تصنيف هذا الكود، يفضل استعمال جملة إطارية تقاوم جزءاً من القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل لا يقل عن 25% من مجمل هذه القوى.

ملاحظة ٢: في جميع المباني التي استعملت فيها قيم المعامل $R > 4.5$ (جمل مختلطة)، يتوجب تصميم الجمل الإطارية المقاومة للعزوم (المطاوعة) من الخرسانة المسلحة المصبوبة في المكان كما هو وارد في الملحق (ز).

ملاحظة ٣: عادة يحصل انقلاب المنشأة حول أساساتها، ولكن بعض المنشآت النحيفة يخشى من انقلابها حول مناسيب أخرى على ارتفاع المنشأة، لذلك يحسب عزم الانقلاب عند سويات مختلفة. والمقصود بعزم الانقلاب عند منسوب معين هو قيمة مجموع العزوم الزلزالية المؤثرة عند هذا المنسوب والتي تتوزع على جميع العناصر المقاومة للزلازل عند هذا المنسوب والتي تحدد قيمها بموجب تحليل إنشائي لكامل المنشأة وفق ما سيرد في الباب الثامن.

ملاحظة ٤: في حال زيادة ارتفاع المنشأة على 73m يتوجب استعمال إحدى طرائق التحليل الحركي (الديناميكي) لتحديد تأثير الزلازل عليها واستعمال الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم سواء في الجمل الإطارية أو الجمل المختلطة.

٥ – ٦ – ٦ – تحديد القوى الجانبية المطبقة على أجزاء من المنشأة:

تُحدد القوى الجانبية المطبقة على أجزاء من المنشأة الحاملة أو غير الحاملة بغية تأمين تثبيتها الكافي عند حدوث الزلازل وعدم حصول الانهيارات الجزئية والمؤذية في فترة تعرّض المنشأة إلى فعل الزلازل، وذلك في الملحق ٢.

٥ – ٦ – ٧ – اشتراطات إضافية بخصوص الزلازل:

١ – يتوجب تسليح جميع الجدران الحجرية، أو الخرسانية التي تقع في المناطق 4,3,2 من مناطق التقسيم الزلزالي.

٢ – يتوجب لحظ فواصل زلزالية كافية بين الكتل المتجاورة، بحيث تسمح بالحركة الحرة لكل كتلة منفصلة، دون معوقات ناجمة عن الكتل المجاورة لها لتجنب التصادم بين الكتل المتجاورة.

٣ – يتوجب حساب السهم النسبي لطابق واحد من المنشأة، والناجم عن القوى الأفقية المتأتية من الزلازل، ويجب ألا يزيد هذا السهم المرن (من دون اللدونة) من حمل الاستثمار للزلازل (من دون تصعيد) على ارتفاع الطابق مقسوماً على 360، بغية منع تكسير العناصر غير الحاملة في المنشأة، خاصة النوافذ والأبواب والواجهات الخفيفة.

٤ – يتوجب الاهتمام بطبيعة وصل الواجهات الخارجية المسبقة الصنع غير الحاملة، بحيث يُسمح لها بالحركة على نحو ينسجم مع الحركة الأفقية المتوقعة للمبنى، من دون تعرضها إلى قوى إضافية لا تستطيع تحملها، أو انكسار هش للوصلات، وبالتالي انهيارها بسبب الحركة الأفقية للمبنى الناجمة عن الزلازل.

٥ – في حال وجود تراجع في الأدوار العليا لا يزيد على 25% من المساحة الأفقية للدور المتكرر، يُؤخذ المبنى في الحساب كاملاً. أما إذا كان التراجع يزيد على 25%، يُؤخذ القسم المتراجع، ابتداءً من مستوى التراجع، كما لو كان مبنى مستقلاً لوحده، يستند بشكل وثاقة على أعلى المبنى الذي تحته، بوضع ردود أفعال القسم المتراجع العلوي كقوى مؤثرة في أعلى المبنى السفلي.

٦- ويجدر التنويه إلى أن استعمال الدراسة المطورة الواردة في الملحق (ز) من هذا الكود ليس إلزامياً، باستثناء ما ورد في الفصل (ز-٧) عن تصميم عقد الإطارات، وفي الفصل (ز-٩) عن جدران القص الخاصة وجوائز الربط بين الجدران، وفي الفصل (ز-١١) عن الأحجبة (الديافرامات) الإنشائية والجوائز الشبكية، وفي الفصل (ز-١٣) عن العناصر غير المصممة كجزء من الجملة المقاومة للقوى الزلزالية.

٥-٧- الاحتياطات في طرائق الإنشاء والتسليح في المباني المقاومة للزلازل:

يجب تحقيق الاحتياطات والاشتراطات في اختيار المواد وتفاصيل التسليح للإطارات والجوائز والأعمدة الواردة في نهاية الباب السابع.

٥-٨- أحمال طرائق الإنشاء:

يجب أن يُؤخذ بالحسبان، تأثير الأحمال الناشئة عن طرائق الإنشاء والتنفيذ للأقسام التي ستنفذ، على الأقسام التي تكون قد نُفِّذَت، فيعود عليها تحمّل الأقسام المطلوب تنفيذها، وذلك في مختلف مراحل التنفيذ.

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 مُحقَّقاً 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:

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

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

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

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.