كلية هندسة العمارة – جامعة المنارة

إعداد

أ.د. بسام حويجة

6- الأفعال و مفهوم الأمان وفق الكود السوري

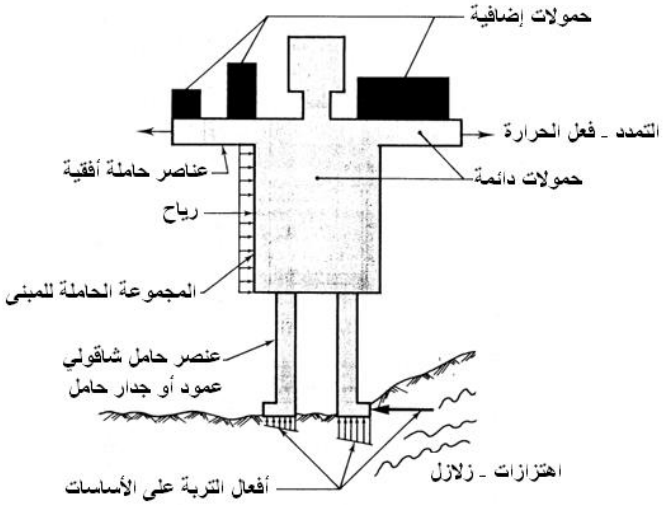
6-1- تقييم الأفعال وفقا للكود السوري

6-1-1- مقدمة:

يجري تحديد الأفعال على مختلف أنواعها فور اختيار المنشأة ولدى المباشرة بدراستها. والأفعال هي مجموعة القوى التي تصمم المنشأة لتحملها (الشكل 6-1)، وتقسم إلى نوعين:

- **أفعال مباشرة:** هي مجموعة القوى التي تخضع لها المنشأة مباشرة بطبيعته، وهي: الحمولات الدائمة، الحمولات الإضافية العادية (ديناميكية أو غير ديناميكية) والحمولات الإضافية الاستثنائية الممثلة بالأفعال المناخية (رياح – ثلج) وقوى الزلازل. ويدعى هذا النوع من الأفعال أفعال مباشرة لأنها تنتقل بواسطة المنشأة إلى الأساسات.

أفعال غير مباشرة: هي جملة الأفعال التي قد تتعرض لها المنشأة كالقوى الناتجة عن الحرارة، الانكماش والزحف، الإجهاد المسبق، تحركات الركائز وحدوث التشققات. ويمكن أن تسمى هذه الأفعال بأفعال التشوهات المفروضة.



الشكل (6-1): أنواع الحمولات المطبقة على منشأة ما

ويتحقق الأمان عندما تكون المقاومة الداخلية للمواد المستعملة في العناصر المختلفة للمنشآت البيتونية المسلحة، وهي البيتون وفولاذ التسليح، أكبر بنسبة محددة من القوى الداخلية الناجمة عن الحمولات والأفعال الأخرى المباشرة أو غير المباشرة المتوقعة وبحيث تبقى المنشأة صالحة للاستثمار أثناء الفترة المفترضة وطوالها تصميماً لبقائها قيد الاستثمار.

6-1-2- تقييم الحمولات الدائمة (G or DL):

الحمولات الدائمة هي القوى الناتجة عن الجاذبية الأرضـية، كالأوزان على مختلف أنواعها، سـواء منها الأوزان الذاتية للمنشـأة أو أوزان العناصـر الثابتة فوقه، أو القوى الجانبية المطبقة على المنشـأة بشـكل مباشـر أو غير مباشـر. ويتم تقييم الحمولات الدائمة حسب أحجامها أو أوزانها الحجمية المعطاة في الجدول (6-1)، وفقا لطبيعة المادة.

المادة	الوزن الحجمي (kgf/m^3)	الوزن الحجمي (kN/m^3)
الفولاذ	7850	78.50
البيتون العادي	2400	24
البيتون المسلح بنسبة تسليح متوسطة (1%)	2500	25
الحجر البازلتي (حجم مالئ)	3000	30
الحجر الغرانيتي (حجم مالئ)	2800	28
الحجر الكلسي (حجم مالئ)	2700	27
الحجر الرملي (حجم مالئ)	2300	23
البلوك المجوف	1900–1400	19–14
البحص غير المرصوص	1800–1400	18–14
الرمل غير المرصوص	1800–1500	18–15
الإسمنت (فلت)	1200–1000	12–10
البناء العادي بالمونة	2000–1800	20–18
البناء بالحجر المجوف البيتوني	1400	14
الرخام أو السيراميك	2500–2400	25–24
الزجاج	2500 – 2300	25 – 23
المجبول الإسفلتي	2000	20
الطينة الإسمنتية (لا تقل سماكتها عن 20 mm)	2300	23

الجدول (6-1): الوزن الحجمي لبعض مواد البناء

وفي حال عدم القيام بحساب دقيق تؤخذ أحمال التغطية مساوية:

- ($2\ kN/m^2$) عند عدم وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط.
- ($3\ kN/m^2$) عند وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط، أو في حالة السطح النهائي فتحسب ولا تقل عن ($3\ kN/m^2$).

6-1-3- تقييم الحمولات الإضافية غير الديناميكية (P or LL):

يشمل هذا النوع من الحمولات القوى التالية:

- الأوزان الستاتيكية التي تنقل من مكانها من وقت إلى آخر كأثاث البيوت والأجهزة والآلات الستاتيكية غير المثبتة والمواد المخزنة.
- أوزان الأشخاص مستعملي المنشأ، شرط أن يؤخذ بالحسبان في تقدير هذه الأوزان، العامل الديناميكي، في حال وجوده، كما يحدث في صالات الاجتماعات ومرائب السيارات مثلا.

ومن الجدير بالذكر أنه من النادر أن تبت المواصفات عموماً بأمر الحمولات الإضافية العادية غير الديناميكية للمستودعات وللمنشآت الصناعية أو الخاصة، وإنما يقوم المهندس بالاستقصاء عن طبيعة وأوزان تلك الحمولات.

وتتغير هذه الحمولات بصورة عامة، تبعا لطبيعة المنشأة. وندرج في الجدول (6-2) بعض قيم الحمولات الإضافية العادية غير الديناميكية المعتبرة وفق الكود السوري.

الغرض من استعمال البناء		شدة الحمل الموزع (kgf/m^2)	شدة الحمل الموزع (kN/m^2)
السطوح	غير مستعملة أفقية أو مائلة حتى 10درجات	100	1
	غير مستعملة مائلة أكثر من 10درجات	50	0.5
	مستعملة (يمكن الوصول إليها)	200 أو مثل الطابق المتكرر	2 أو مثل الطابق المتكرر
الشرفات	أبنية خاصة	400	4
	أبنية عامة	500	5
	غرف	200	2

أبنية سكنية	ممرات وأدراج	300	3
فنادق	غرف نوم	250	2.5
	ممرات وأدراج	500	5
مدارس	غرف صفوف وإدارة	300	3
	ممرات وأدراج	500	5
مشافي	غرف نوم	250	2.5
	ممرات وأدراج	400	4
	غرف عمليات	تحسب ولا تقل عن 300	تحسب ولا تقل عن 3
	غرف أبنية خاصة	200	2
	أضابير	تحسب ولا تقل عن 500	تحسب ولا تقل عن 5
	ممرات وأدراج أبنية عامة	400	4
	ممرات وأدراج أبنية خاصة	300	3
	غرفة مطالعة مع تخزين كتب	500	5

الجدول (6-2): الحمولات الإضافية العادية P ، تبعاً لطبيعة الإشغال

في الأبنية المعدة للسكن ذات الطوابق المتكررة، يسمح بتخفيض الحمولات الإضافية على العناصر الحاملة كالجدران والأعمدة والأساسات وفق الجدول (6-3) حيث تمثل (P) قيمة الحمولة الإضافية الكلية على السقف. ونشير هنا إلى أنه لا يسمح بأخذ عامل التخفيض إذا كان عدد الطوابق لا يزيد عن خمسة، أو إذا كانت الطوابق تستعمل مستودعات أو مخازن أو مشاغل أو مدارس أو أماكن عامة يمكن أن يفرض استخدامها المتوقع تحميل الطوابق بالحمولات الإضافية القصوى في نفس الوقت.

موقع السقف	قيمة الحمولة الإضافية
السقف الأعلى أو السطح	P
السقف الأول تحت السطح	P
السقف الثاني تحت السطح	0,9P
السقف الثالث تحت السطح	0,8P
السقف الرابع تحت السطح	0,7P
السقف الخامس تحت السطح	0,6P
السقف السادس تحت السطح وما دون	0,5P

الجدول (6-3): نسب تخفيض الحمولات الإضافية العادية P

ملاحظة: نشير هنا إلى أن الكود السوري سمح بإهمال أوزان الجدران والقواطع الخفيفة المتوضعة على بلاطات خاضعة لحمولة إضافية أكبر من $6kN/m^2$. ويعتبر القاطع أو الجدار خفيف عندما لا يزيد وزن المتر المربع من مساحته عن ($\leq 1.5\ kN/m^2$).

6-1-4- تقييم الحمولات الإضافية الديناميكية (Pd) :

إن هذا النوع من الحمولات يولد قوى أخرى تضاف إلى قيم القوى الأساسية وتكون نتيجة التركيز الديناميكي والارتجاج الحاصلين من تحركات الحمولات الديناميكية، وتدخل هذه الحمولات في الحساب بضربها بعامل خاص (δ) يسمى "عامل الزيادة الديناميكي"، يتم حسابه على أساس نسبة قيمة تردد الحمل الديناميكي وقيمة تردد المنشأة، كما تدخل فيه نسبة قيمة الحمل الديناميكي إلى قيمة الحمل الثابت.

ففي حالة الآلات الترددية الثقيلة المثبتة على بلاطات، أو بلاطات جسر طرقي و أرضيات المرائب والكراجات المعرضة لصدمات عند مرور المركبات حيث هذه الصدمات تكون مهمة وتزداد بازدياد سرعة المركبات، وفي هذه الحالة تتولد جهود أكبر بكثير من تلك التي تسببها عند الوقوف.

ويتم تحديد قيمة عامل الزيادة الديناميكي بالعلاقة التالية:

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4\frac{G}{P}}$$

حيث: L: طول عنصر المنشأة الذي يحمل الحمل الإضافي مقدراً بالمتر.

G: كامل الحمولة الدائمة على العنصر.

P: كامل الحمولة الإضافية على العنصر.

تطبيق: لدينا بلاطة من البيتون المسلح طولها 5 m، وعرضها 3 m، بسماكة قدرها 20 cm. تخضع هذه البلاطة لحمولة إضافية متدحرجة 100 kN ، والمطلوب حساب قيمة عامل الزيادة الديناميكي(δ).

- تحديد G : $G = 0,2 \times 3 \times 5 \times 25 = 75\ kN$
- تحديد δ :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 5} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{75}{100}} = 1,35$$

بالتالي، تدخل قيمة الحمولة الإضافية بالحساب معادلة لـ: $P_d = 1,35 \times 100 = 135\ kN$

أخيراً، وعند حساب العناصر الحاملة للمصاعد الكهربائية، والحمولات المشابهة لها، يمكن اعتماد عامل زيادة ديناميكي مقداره 200% للحمولة المعتبرة.

<u>ويمكننا الرجوع إلى الملحق رقم /1/ من الكود الأساس عند تقييم هذا النوع وغيره من الحمولات الإضافية.</u>

6-1-5- حمولات الرياح (W) :

وفقاً للكود السوري، يمكننا دراسة تأثير الرياح على الأبنية والمنشآت باستعمال إحدى الطريقتين التاليتين، ويعود للمصمم اختيار إحداهما، على أن تؤخذ كل طريقة بشكل كامل.

- **الطريقة الأولى:** واردة في الكود الأساس، مع اعتماد سرعة هبة الرياح V_k ، وما يتبعها من تعاريف وعلاقات وأشكال وجداول لحساب ضغط الرياح، مع الجدول في الملحق (ج) من الكود الأساس.

- **الطريقة الثانية:** وهي الواردة في الملحق رقم /1/ 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 سوريا في الملحق (ج) من الكود الأساس.

يتم تقييم حمولات الرياح انطلاقا من فرضية أساسية هي أن الطاقة الحركية للرياح والناتجة عن سرعتها تتحول إلى طاقة ضغط ديناميكي مكافئ بمجرد اصطدام الرياح بحاجز ثابت ولا نهائي وفقا للصيغة:

$$W_d = \frac{V^2}{1630} \quad \left(kN / m^2\right)$$

حيث: W_d : الضغط الديناميكي المكافئ لهبة الرياح الناتجة عن سرعتها،

V : سرعة الريح التصميمية وتقدر بالمتر في الثانية.

ونبين فيما يلي الخطوات الهامة في تحديد كل من سرعة هبة الريح و الضغط الكلي المكافئ كما هو وارد في الطريقة الأولى الواردة في الكود الأساس:

أ- تحديد سرعة هبة الريح:

تؤخذ قيم سرعات هبات الرياح V_k من سجلات دوائر الأرصاد الجوية في المنطقة المدروسة، ومن ثم تحدد سرعة الرياح التصميمية V ، ولكل اتجاه على حده وفق ما يلي:

- $V = V_k$ لتصميم المنشآت أو عناصر إكساء الواجهات التي يقل كل من بعدي واجهتها المدروسة عن 10 m أو يساويه.
- $V = \frac{V_k}{1,35}$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بعدي واجهتها المدروسة عن 10m و يقل عن 20m ، مع الإشارة إلى أن السرعة V تقابل القيم المعطاة في الأرصاد الجوية تحت تسمية الرياح العظمى.
- $V = \frac{V_k}{1,45}$ لتصميم المنشآت التي يزيد أحد بعدي واجهتها المدروسة عن 20m أو يساويه.

تعرف الهبة بأنها ريح تستمر لمدة أكثر من عشرين ثانية وسرعتها أكثر من $8.5\,m/\sec$ ، على أن يكون الفرق في سرعة الريح بين بداية الهبة وأعظم سرعة فيها أكثر من $4.5\,m/\sec$.

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

واعتماداً على القيم المعتمدة لسرعات هبات الرياح السنوية القصوى، تعرف سرعة الرياح المميزة المعتمدة في التصميم بأنها: سرعة هبة الرياح التي لا يمكن تجاوزها أكثر من مرة واحدة خلال خمسين عاما متتاليا ويرمز لها V_k .

أما إذا قلت الفترة الزمنية المسجلة لسرعات هبات 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 تقل عما هو وارد في الملحق (ج) من الكود السوري الأساس.

ونبين في الجدول (6-4) القيم الخاصة لسرعة الهبة لبعض المواقع في سوريا.

المحطة أو الموقع	سرعة الهبة $V_k\ (m/\sec)$
دمشق (المزة)	48
حلب	40
حماه	46
طرطوس	44
صلنفة	58
اللاذقية	42
حمص (قطينة)	50

الجدول (6-4)

وفي حال عدم توفر معطيات إحصائية دقيقة عن سرعات هبات الرياح القصوى في المنطقة المدروسة، فيمكننا اعتماد القيم الموجودة في الجدول (6-5)، والذي يمثل تقسيم المناطق تبعاً لسرعة هبة الريح على ارتفاع 10 متر فوق سطح الأرض، ويخدم في تحديد الضغط الديناميكي W_d المكافئ لهبة الريح المميزة (الاعتبارية) V_k.

المنطقة	درجة الرياح	سرعة هبة الريح (V_k)		الضغط المكافئ (W_d)
		كم/ساعة	متر/ثانية	kN/m^2) kgf/m^2
الأولى	قوية جدا	175	48.6	(1.48) 148
الثانية	قوية	150	41,6	(1.08) 108
الثالثة	معتدلة	125	34,7	(0.75) 75
الرابعة	ضعيفة	100	27,8	(0.48) 48

الجدول (6-5)

ب- الحساب الستاتيكي للمنشآت على الرياح:

بينت التجارب أنه بالإمكان اعتبار مفعول الرياح الكلي على المنشآت العادية والأبنية قليلة الارتفاع $(H \le 50m)$ ، والتي لا تزيد النسبة بين ارتفاعها وعرض واجهتها المواجهة للرياح عن أربع مرات $\frac{H}{D} \le 4$ (التأثيرات الديناميكية صغيرة

نسبيا)، بصفة حمل ضغط استاتيكي منتظم وأفقي W_e ، موزع على كامل عرض الواجهة المعرضة للرياح، ويحدد هذا الضغط بالعلاقة التالية:

$$W_e = \alpha_0 . K_h . K_s . W_d$$

حيث:

W_e: ضغط الرياح الكلي المكافئ مقدراً بالـ (kN/m^2)، المطبق على الواجهة المعرضة للرياح والمفروض تركيزه بصفة حمولة استاتيكية.

α_0: عامل السطح، ويتعلق بخشونة السطوح وعددها، ويحدد من الجدول (6-6).

شكل المسقط	عدد أضلاع المسقط n	α_0
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

الجدول (6-6)

K_h: عامل علو المنشأ بالنسبة لمستوى سطح الأرض، ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$K_h = 2{,}5\left(1 - \frac{42}{h + 60}\right) \quad ; \quad h \ge 10\,m$$

وتؤخذ قيمة هذا العامل $K_h = 1$ بالنسبة للجزء الذي يقل ارتفاعه عن عشرة أمتار.

K_s: عامل الموقع بالنسبة لحماية المنشأ من فعل الرياح أو من تعرضه لها. ويحدد من الجدول (6-7).

الموقع المتعرض للعواصف (شواطئ 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

الجدول (6-7)

في الواقع، تؤثر الرياح خارجيا على السطوح المواجهة للرياح بأحمال دفع موزعة بينما تؤثر على السطوح الأخرى بأحمال سحب موزعة أيضاً. كما تؤثر داخليا على الجدران بأحمال دفع أو سحب نتيجة لنفاذية الجدران، ويمكن للمهندس

المصـــمم العودة إلى الكود الأســـاس وملحقة رقم /1/، أو المراجع والكودات العالمية المختصـــة لمعالجة ودراســـة الحالات السابقة.

ج- الحساب الديناميكي للمنشآت على الرياح:

تتعرض المنشـــآت النحيفة، التي لا تنطبق عليها الاشـــتراطات البعدية الواردة في الفقرة الســـابقة، إلى تأثيرات ديناميكية بسبب فعل هبات الرياح. ويتم الرجوع إلى الكودات العالمية والمراجع المتخصصة لأخذ هذه التأثيرات بالحسبان واعتمادها في الحساب.

6-1-6- حمولات الثلج (P_s) :

يتم تقييم حمولات الثلج في المناطق المختلفة وفق الأسس التالية:

- الوزن الحجمي للثلج: يتغير الوزن الحجمي مع نوعية تكاثف الثلج، ويتراوح بين ($1-4\ kN/m^3$)، أي بمعدل وسطي $2.50\ kN/m^3$. ويؤخذ في الحسبان تجلد الثلج في بعض الأحيان، إذ ينتج عنه سماكة في الجليد قد تبلغ خمسين ميليمترا، ويكون الوزن الحجمي للجليد مساويا لوزن الماء النوعي ($10\ kN/m^3$).
- السماكة المتوسطة الممكن تجمعها فوق المنشأ.
- انحدار السطح الذي يتساقط عليه الثلج: في الحالات العادية والمساحات الأفقية التي لا يتجاوز انحدارها عن الأفق 25°، وحتى علو قدره 2500 m فوق سطح البحر يمكن اعتماد قيم أفعال الثلج كما هي واردة في الجدول (6-8).

علو المنشأ عن سطح البحر بالمتر (h)	حمولة الثلج P_s (kgf/m^2)	حمولة الثلج P_s (kN/m^2)
$h \le 250$	0	0
$250 < h < 500$	$\frac{h}{10} - 25$	$\frac{h}{1000} - 0.25$
$500 \le h < 1500$	$\frac{h}{4} - 100$	$\frac{h}{400} - 1$
$1500 \le h \le 2500$	$\frac{h}{2.5} - 325$	$\frac{h}{250} - 3.25$

الجدول (6-8)

وفي الســـقوف التي يتجاوز انحدارها 25°، تؤخذ القيم المبينة في الجدول (6-2)، مضـــروبة بعامل التخفيض المبين في الجدول (6-9).

قيمة زاوية الانحدار α	عامل التخفيض $\frac{75-\alpha}{50}$
25	1.00
30	0.90
35	0.80
40	0.70
45	0.6

الجدول (6-9)

6-1-7- الأفعال الناتجة عن آثار الحرارة والانكماش (T) :

تقسم المنشآت من حيث الحرارة والانكماش إلى قسمين:

- المنشآت التي لا يعترض تشوهها الخارجي موانع أو حواجز، ويجري هذا التشوه بحرية تامة، بالتالي لا يلحق هذا النوع من المنشآت أفعال من جراء الحرارة والانكماش. وتشير معظم القواعد والكودات العالمية إلى أنه يمكن في حسابات الأبنية العادية من البيتون المسلح عدم الأخذ بالحسبان الآثار الناجمة عن الحرارة والانكماش من أجل العناصر الإنشائية الواقعة بين فواصل التمدد، التي يحدد تباعدها الأعظمي على النحو التالي:

  25m في المناطق المعرضة لتقلبات كبيرة في درجة الحرارة (الجافة والصحراوية)،

  35m في المناطق المعرضة لتقلبات حرارية معتدلة (متوسطة الرطوبة)،

  45m في المناطق الرطبة (الساحل السوري مثلا).

  أما في حال تجاوز تلك الحدود العظمى فيجب الأخذ بالحسبان آثار الانكماش والحرارة في الحسابات.

- المنشآت التي لا تملك الحرية التامة في التشوه الخارجي، وتعد مقيدة التشوه، فينتج عن ذلك أفعال يتوجب اعتبارها أثناء التصميم. ويتم تحديدها عندما نتطرق لدراسة التشوهات في البيتون.

6-1-8- الأفعال الناتجة عن طرائق الإنشاء :

يؤخذ بالحسبان تأثير طرائق الإنشاء على الأقسام والعناصر المنفذة، وذلك في مختلف مراحل التنفيذ.

6-1-9- الأفعال الناجمة عن الزلازل:

تصمم جميع المباني والمنشآت وأية أجزاء منها لمقاومة القوى الأفقية والشاقولية المكافئة لتأثير الزلازل وفق الشروط الخاصة الواردة في الكود المعتمد، وخلافاً لذلك يسمح باستعمال نظريات إنشائية خاصة مستندة إلى مراجع مختصة أو أبحاث منشورة، تأخذ بالحسبان الاستجابة الديناميكية للمنشأة وقدرتها على امتصاص الطاقة الناتجة عن الزلازل وتخميدها. هذا ويراعى مقارنة قيم التأثيرات الناتجة عن كل من قوى الزلازل وقوى الرياح وتصميم المنشأة لمقاومة التأثيرات الأكثر خطورة.

6-2- عوامل وخواص أساسية للبيتون مفيدة في التحليل

أ- عامل المرونة الطولاني للبيتون (E_C):

لقد أثبتت التجارب بأن عامل مرونة البيتون يتغير بصورة كبيرة، ويرتبط بعوامل مختلفة، أهمها: مقاومة البيتون على الضغط، طبيعة الحمولة المطبقة ومكونات البيتون... وتتراوح القيم العملية لهذا العامل بين 15000 – 37500 MPa .

ويمكننا حساب قيمة هذا العامل استنادا للعلاقات التجريبية التالية:

- في حالة الأحمال اللحظية أو المتغيرة تغيراً سريعاً، وعندما تكون إجهادات التشغيل أقل من 55% من مقاومة الكسر f'_{cj} (عمر البيتون j يوم) ، يؤخذ من العلاقة التالية:

$$E_{co} = 5700\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa)$$

- في حالة الأحمال ذات الأجل الطويل وعدم وجود تسليح للضغط في المقاطع المعرضة لعزوم انعطاف يجوز أخذه من العلاقة التالية:

$$E_c = 1900\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa)$$

$$E_c = \frac{1}{3}E_{co}$$

- في حالة الحساب على حالة الحد من السهم المعيب، يمكننا اعتماد العلاقة التالية:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_{cj}} \quad \left(kg/cm^2\right) \quad ; \quad E_c = 4750\sqrt{f'_{cj}} \quad (MPa))$$

ب- عامل بواسون (υ):

إذا حدث في البيتون المضغوط أو المشدود تغير ما في الاتجاه الذي يؤثر فيه الجهد، يحدث في هذا البيتون في الوقت نفسه تغير عرضاني إشارته تعاكس إشارة التغير الطولاني. فإذا كان ε_ℓ التشوه الطولاني و ε_t التشوه العرضاني فتمثل النسبة بين هذين التشوهين : $\upsilon = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_\ell}$ ، عامل بواسون.

وقد بينت التجربة أنه من أجل جهد ضغط أصغر من نصف جهد الانكسار بالضغط، تكون التغيرات العرضانية عكوسة بكاملها. ومتى ازداد جهد الضغط فوق هذا الحد تظهر تغيرات عرضانية غير عكوسة، ويرجع السبب في ظهورها إلى التشققات التي تحدث في البيتون في هذه المرحلة من التحميل. وهكذا يقابل عامل بواسون الخاص بالمجال الذي يستعمل فيه البيتون المسلح التغيرات المرنة فقط. وتتراوح قيمته بين 0,1 و 0.3، وتزداد بقدر ما يكون عمر البيتون صغير ومقاومته ضعيفة. وتكون قيمة هذا العامل مساوية للصفر أثناء الحساب بالطريقة الحدية.

ج- عامل القص (G):

وتعطى قيمة هذا العامل بالعلاقة: $G = \frac{E_C}{2(1+\upsilon)} \approx 0.42E_C$

د- ثابت الفتل (J):

تؤخذ قيمتها للمقاطع المستطيلة من العلاقة التالية:

$$J = \left(1 - 0.63\frac{x}{y}\right).\frac{x^3 y}{3}$$

حيث: x : البعد الأصغر للمستطيل ، و y البعد الأكبر للمستطيل.

وبالنسبة للمقاطع غير المستطيلة تؤخذ قيمة هذا الثابت من المراجع المختصة.

3-6- التشوهات في البيتون

تصاب قطعة من البيتون، خاضعة لفعل مباشر أو غير مباشر، بتغيرات آنية وأخرى بطيئة. ويتم شرح العلاقة بين الإجهادات المطبقة والتغيرات الحاصلة بواسطة عامل يسمى عامل التشوه (E_c).

وتتأثر هذه التغيرات (التشوهات) بعدة عوامل أهمها:

- نوعية الإجهادات المطبقة: نلاحظ بأن تشوه البيتون يزداد في حالة الانعطاف عن حالة الضغط، ويكون أكبر ما يمكن في حالة الشد المباشر.
- سرعة التشوهات أو التحميل: يتغير شكل المنحني (σ-ε) عندما يتم تحميل المادة بسرعات كبيرة حيث يكبر المجال المرن وتصبح المادة أكثر هشاشية، ويزداد عامل التشوه.
- عمر البيتون، الظروف المناخية وخواص مكونات البيتون وأبعاد العنصر المدروس.

6-3-1- التقلص والتمدد الحراريين:

ينجم التقلص الحراري عن انخفاض في درجة الحرارة بسبب البرودة الحاصلة التي تعقب عملية تميه الإسمنت في الساعات الأولى، وكذلك بسبب سعة تغير حرارة الوسط المحيط وأهميتها، ويضاف أحيانا أثر هذين السببين إلى بعضهما. كما يمكن أيضاً حدوث تمدد حراري أثناء ارتفاع درجة الحرارة. وبصورة عامة تكون قيمة التقلص الحراري الإجمالية التي تضاف إلى قيمة التقلص الهيدروليكي (الانكماش) الطارئة أكثر أهمية من التمدد الحراري.

ويمكن تحديد قيمة التقلص الحراري اعتماداً على عامل التمدد الحراري للبيتون، علماً أن قيمة هذا العامل صعبة التحديد وأنها تعتمد على طبيعة وحجم الحصويات وعلى نوعية البيتون. إذ علمنا مقدار التغيرات الحرارية نستطيع تحديد التقلص الحراري كما يلي:

$$\varepsilon_{ct} = \alpha_t . \Delta T_t^{\circ}$$

حيث: Δ_t° : مقدار تغير الحرارة،

$\alpha_t = 0{,}6\times10^{-5} \rightarrow 1{,}4\times10^{-5}$: عامل التمدد الحراري للبيتون.

يأخذ عامل التمدد الحراري للبيتون قيمة كبيرة عند استعمال بحص ورمل سيليسيين، وقيمة صغيرة عند استعمال بحص ورمل كلسيين أو غضاريين. ويمكن في حال عدم التأكد أخذه مساوياً إلى: 1×10^{-5} .

وليس نادراً حصول فروق في درجات الحرارة بين الصيف والشتاء تصل إلى $\pm 50^{\circ} C$ أو أكثر التي ينتج عنها تغير في طول البيتون قيمته:

$$\varepsilon_{ct} = 1\times10^{-5}\times50 = 500\,\mu/m = 0{,}5\,mm/m$$

بفرض أن لهذا البيتون عامل مرونة : $E_c = 15000\,MPa$ ، فإننا نستطيع حساب الإجهادات المطبقة استنادا لقانون هوك:

$$\sigma = E_c . \varepsilon$$

$$\sigma = 15000\times500\times10^{-6} = 7.5\ MPa$$

إن هذه القيمة كبيرة جدا ويمكن اعتبارها الحد الأعلى عملياً لمقاومة البيتون على الشد.

ومن ناحية أخرى نحن نعلم أنه يرافق تفاعلات تميه الإسمنت تحرر كمية من الحرارة منذ بداية التجمد. وبسبب رداءة الناقلية الحرارية للبيتون، تتبدد هذه الحرارة ببطء مما يؤدي إلى توليد إجهادات أثناء فترة تبريد المنشأ وظهور تشققات في الأماكن التي تتجاوز فيها الإجهادات مقاومة البيتون على الشد. وتختلف كثيرا كمية حرارة التميه المنطلقة تبعا لنوع الإسمنت المستعمل وعياره.

ويعود السبب في كثير من التشققات التي تحصل في المنشآت الكتلية أو حتى تلك التي تكون سماكتها 10 أو 20 cm، إلى التقلص الحراري. ثم يجيء التقلص الهيدروليكي ليوسع أكثر تلك الشقوق مع الزمن.

ويمكننا اتخاذ الإجراءات التالية للحد من هذا النوع من التقلص:

- اختيار نوع إسمنت ذي حرارة تميه ضعيفة.
- عيار إسمنت معتدل، مع تركيب حبي مدروس بصورة جيدة في النتيجة.
- تخفيض حرارة البيتون عند إعداده (أي مكوناته).
- استخدام قالب كبير الناقلية للحرارة، كالفولاذ مثلا.

6-3-2- التقلص والتمدد الهيدروليكيين (الانكماش والانتفاخ):

يجب التمييز بين حادثتي التقلص والتمدد الهيدروليكيين (الانكماش والانتفاخ) اللتين يسببهما نقص أو زيادة لكمية الماء في البيتون، وبين حادثتي التقلص والتمدد الحراريين اللتين لا يتطلب حدوثهما أية خسارة أو ربح في كمية الماء، وإنما يرجع السبب فيهما إلى فروق درجات الحرارة التي تسبب تغيرات في حجم البيتون كما ذكرنا سابقاً.

6-3-2-1- التقلص الهيدروليكي (الانكماش):

منذ نهاية التجمد وخلال أشهر طويلة، ينقص حجم البيتون تلقائيا دون خضوعه لحمولات خارجية، وينجم هذا التغير التلقائي الذاتي في الحجم عن تبخر ماء الجبل الزائد الذي لم يدخل في تركيب الإسمنت، إذ من أجل جعل البيتون قابل للتشغيل، يجب إضافة كمية ماء إلى الإسمنت أكبر بكثير من تلك الضرورية لتميهه (يلزم بحدود 25% من وزن الإسمنت). على العكس من ذلك، يصاب العنصر البيتوني المحفوظ في الماء بالإنتفاخ الذي يرافقه تغير طفيف في الوزن. أما قبل التجمد فيمكن أن يصاب البيتون بتقلص مهم يبدأ بعد الصب مباشرة. ويمكن أن تكون قيمة هذا التقلص الهيدروليكي الذي يحصل قبل التجمد عدة ميلمترات في المتر، ولكن بما أنه يطبق على بيتون قابل للتغير، فهو لا يولد إجهادات خطيرة، مع ذلك لا يوجد أي مجال للشك في أنه يسبب حدوث تشققات في العناصر البيتونية الرقيقة. ومن الممكن تجنب ذلك باتخاذ التدابير التي تمنع تبخر الماء من السطوح.

يأخذ الانكماش بعد التجمد قيمة أصغر، ولكن بما أنه يطبق على بيتون متصلب، فهو قادر على توليد إجهادات مرتفعة. تتراوح قيمة هذا التقلص بين 0,2mm (رطوبة عالية) و 0,5 mm (مناطق جافة) في المتر ، والنتائج الرئيسية التي تنجم عنه هي التالية:

- خلق توترات داخلية وتشققات شعرية (في العجينة الإسمنتية وبين الحصويات مثلا). ينتج عن هذا انخفاض في المقاومة وخصوصاً على الشد للبيتون. ويمكن لهذه الأعراض أن تختلف في السطوح الخارجية عن الداخل لذلك فهي تتعلق بالشكل الهندسي للمنشأ البيتوني.

- توليد تشـــقـقات خارجية مرئية تســـيئ إلى المظهر الخارجي وإلى قدرة البيتون على الديمومة. أما إذا كانت هذه التشـقـقات عريضة وتصل إلى قضبان التسليح فهي تسبب صدأ هذه القضبان. ومن الجدير بالذكر أنه لا يمكن إلغاء هذه العيوب بصورة كاملة ولكن باتخاذ عدد من التدابير يمكن الحد من آثارها.

ويمكن تلخيص العوامل المؤثرة على الانكماش على النحو التالي:

- يقل الانكماش بزيادة رطوبة الجو المحيط.
- يزداد الانكماش بزيادة نسبة الماء إلى الاسمنت.
- يزداد الانكماش مع انخفاض سماكة العنصر البيتوني.
- يزداد الانكماش مع الزمن، ويتم الجزء الأكبر منه خلال الأشهر الأربعة الأولى، وتتوقف هذه الزيادة بمضي ثلاث سنوات.
- يزداد الانكماش كلما خف الوزن النوعي للركام.

ويمكننا تقدير التشوهات الناجمة عن الانكماش باستعمال العلاقة التجريبية التي يعطيها الكود السوري الأساس:

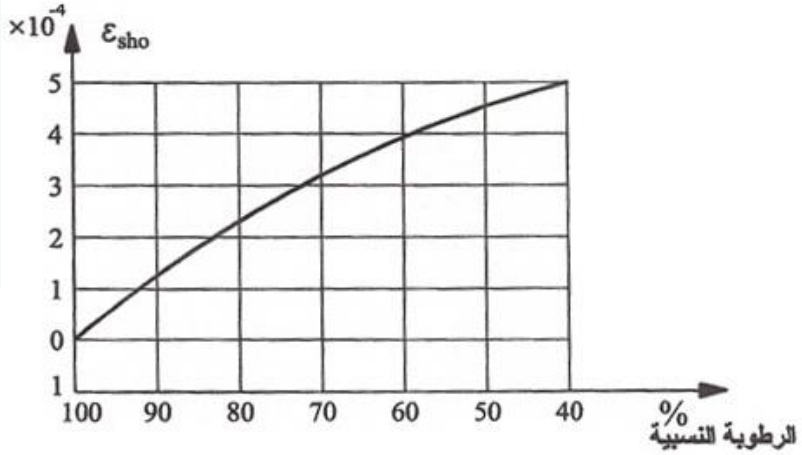
$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{sh0}.k_b.k_d.k_p.k_t$$

حيث:

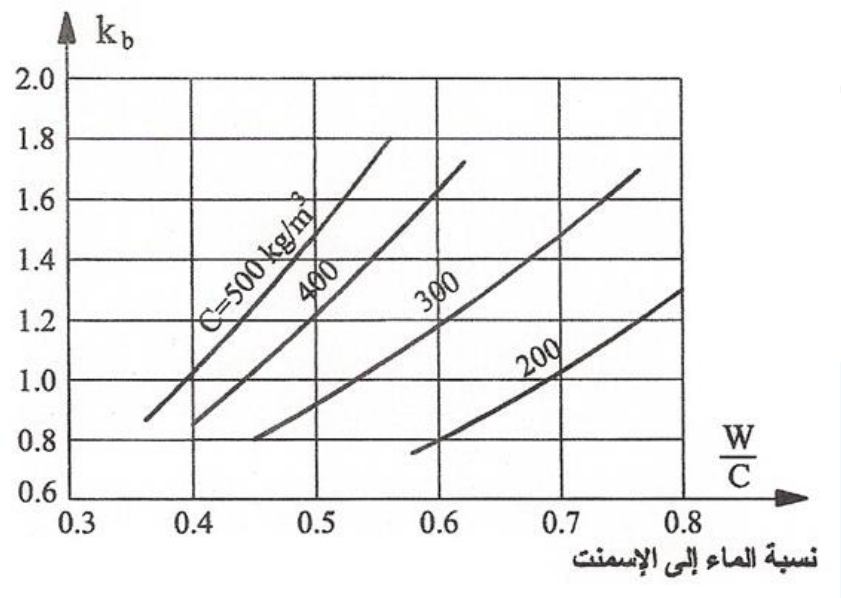
ε_{sh0}: الانكماش الأساسي $\left(\varepsilon_{sh0} = 0 - 5\times10^{-4}\right)$، ويبين الشكل (2-6) تأثير الرطوبة النسبية للوسط المحيط على قيمة هذا الانكماش.

k_b: عامل يرتبط بعيار الاسمنت (C) للمتر المكعب من البيتون، وبالنسبة $\left(\frac{W}{C}\right)$، ويؤخذ من الشكل (3-6).

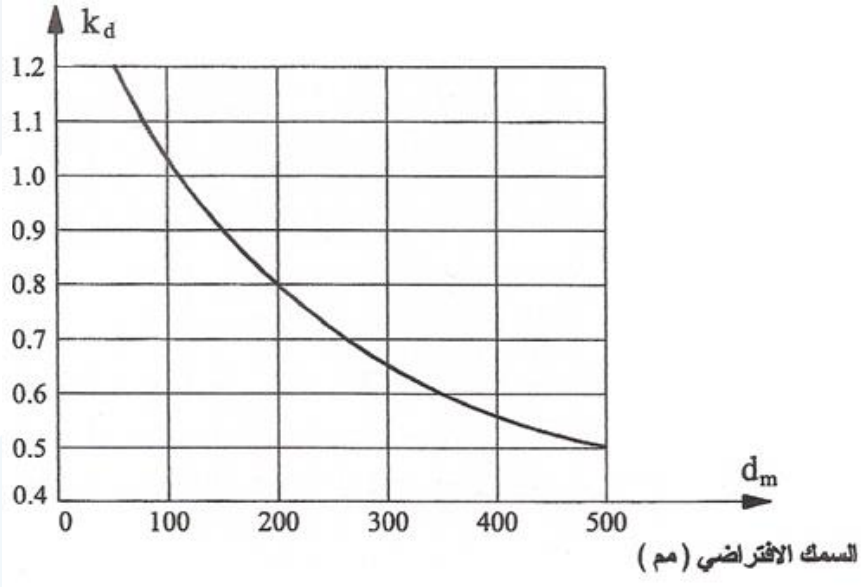
k_d: عامل يتعلق بالأبعاد الهندسية للعنصر البيتوني المسلح، ويؤخذ من الشكل (4-6).



الشكل (6-2): تأثير الرطوبة النسبية على الانكماش



الشكل (6-3): العامل k_b كتابع لعيار الإسمنت ونسبة الماء للإسمنت



الشكل (6-4): تأثير السمك الافتراضي للعنصر على العامل k_d

يعرف السمك الافتراضي (d_m) بأنه النسبة بين مساحة المقطع العرضي للعنصر ونصف محيطه المعرض مباشرة للوسط الخارجي، ويمكن تحديده من الجدول (6- 10).

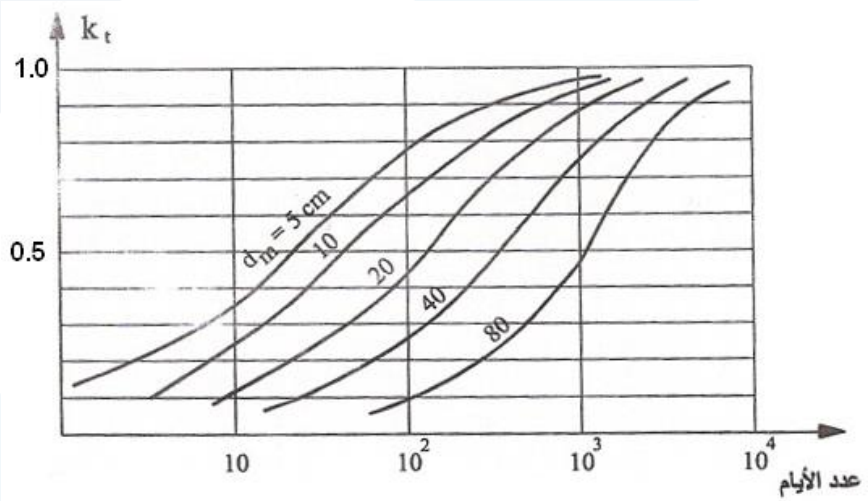
شكل المقطع	السمك الافتراضي (d_m)
مقطع دائري مصمت نصف قطره (R)	$d_m = R$
مقطع حلقي سماكته (e)	$d_m = e$
مقطع مربع ضلعه (a)	$d_m = 0.5a$
مقطع مستطيل $(b\,h)$	$d_m = b.h/(b+h)$
بلاطة رقيقة بسماكة (t)	$d_m = t$

الجدول (6-10)

k_p : عامل يتعلق بنسبة التسليح الطولي μ ، ويحسب من العلاقة التالية:

$$k_p = \frac{1}{1+n\mu} = \frac{1}{1+20\mu}$$

k_t : عامل يتعلق بعمر المنشأة و بالأبعاد الهندسية، ويؤخذ من الشكل (6- 5).



الشكل (6-5): العامل k_t كتابع للسمك الافتراضي للعنصر ولعمره بالأيام

6-3-6-2- الانتفاخ في البيتون:

يؤدي الانتفاخ الزائد للبيتون في بعض الحالات إلى ظهور عيوب في المنشـــآت كانخفاض المقاومة الميكانيكية، وحدوث تشـقـقات ونقص في الكتامة وبالتالي إمكانية تغلغل المؤثرات الخارجية الفتاكة، وكذلك تفتت كامل للبيتون. وعلى العكس من ذلك نبحث أحيانا على إحداث تمدد محدود من أجل إملاء الفراغات كما هي الحالة بالنسبة للحقن، كما نبحث أيضا

عن تخفيف الوزن (البيتون المسامي) أو إلغاء آثار الانكماش، وأخيرا إحداث نوع من الإجهاد الذاتي في البيتون عن طريق شد قضبان التسليح فيه.

إن البيتون ينتفخ بوجود الماء، بوجود الجبس والكلس الحي وأكسيد المنغنزيوم الحر، وكذلك بتأثير المواد القلية والمواد المضافة على شكل بودرة معدنية. ولكي نتجنب الانتفاخ في البيتون يتوجب أن يحتوي الإسمنت على نسب ضئيلة من المواد المذكورة سابقا. وتعاكس قضبان التسليح الانتفاخ بقدر ما تكون نسبتها مرتفعة.

أما بخصوص الانتفاخ في البيتون الناجم عن التفاعل مع الوسط الخارجي، كالمياه الفتاكة الحاوية على كبريتات، يكون الحل كما يلي:

- استخدام اسمنت مقاوم للكبريتات، مستقر وحاوي على نسب صغيرة من ألومينات الكالسيوم الثلاثية أو حاوي بكثرة على خبث المعادن أو على خليط من الخبث والرماد المتطاير.
- صنع بيتون بعيار إسمنت كاف، ونسبة (W/C) منخفضة، مع صب نشيط وفعال بحيث يتم الحصول في النتيجة على بيتون مكتنز غير قابل للامتصاص الشعري.

6-3-3- الجريان (الزحف):

منذ عام 1905 م، لوحظ أن قطعة من البيتون تتشوه ببطء عندما يطبق عليها حمولة تدوم لفترة طويلة. يدعى هذا التشوه البطيء الذي يتنضد فوق التغير الآني، أثناء تطبيق الحمولة بالجريان أو الزحف أو التشوهات طويلة الأمد، كما هو مبين في الشكل (6- 6).

ومن الصعب تحليل التغييرات الناجمة عن الحمولات في البيتون باعتباره مادة غير متجانسة تتغير خواصه تبعاً لشروط الوسط المحيط. كما تتعقد دراسة هذه الظاهرة أكثر بسبب تنضد الآثار لأفعال أخرى كتلك التي تنجم مثلاً، عن التقلصات والانتفاخات.

تظهر بعض مساوئ الجريان في حالة القطع الرقيقة المجهدة بصورة كبيرة، وفي البيتون مسبق الإجهاد بسبب انخفاض قوة الشد التي يولدها في الكابلات.

ونورد فيما يلي أهم نتائج الأبحاث التي أجريت في هذا المجال:

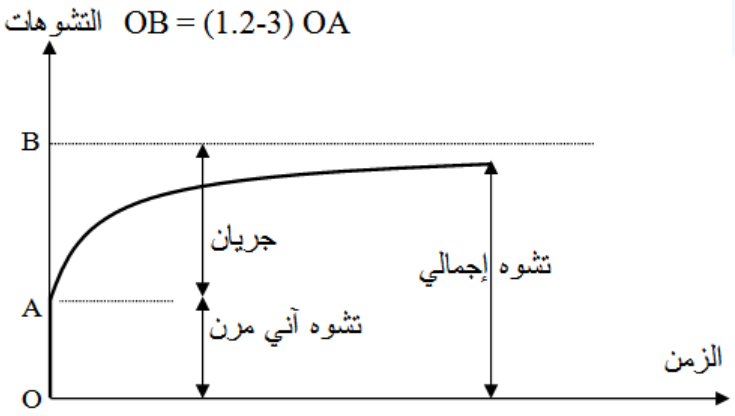
- يتناسب الجريان مع الحمولة المطبقة.
- يكبر الجريان كلما زادت نسبة الاسمنت، ويزداد مع نسبة ماء الخلط.
- يتأثر الجريان بطريقة حفظ البيتون، ويكون أكبر بثلاث إلى خمس مرات للبيتون المحفوظ في الماء. وهذا يعني بأن حادثة الجريان تظهر في البيتون المحفوظ في الهواء إضافة إلى التقلص.

- يزداد الجريان مع الزمن ولكن يوجد حد يقف عنده ولا يتعداه (بين 2 و 5 سنوات).
- يتأثر الجريان بالتركيب الحبي للبيتون واكتنازه، فكلما كان عامل المرونة للحصويات ضعيفا كلما كان الجريان كبيراً.
- يكون الجريان أكبر في حالة البيتون منخفض المقاومة مقارنة مع البيتون عالي المقاومة،
- يزداد الجريان بتناقص سماكة العنصر البيتوني.

وإن للجريان أضراراً كثيرة نذكر منها:

- انعدام الأمان في المنشأ.
- تشويه المنظر العام للمنشأ لأنه عاهة دائمة، مثلاً ازدياد السهم في الجوائز.

ويظهر الجريان في البيتون واضحاً في الأيام الأولى بعد الصب، ولذلك يجب عدم تحميل المنشآت من البيتون فور صبها بل يجب الانتظار مدة كافية ليأخذ فيها البيتون حده النهائي.



الشكل (6- 6): التشوهات في البيتون مع الزمن

بالتالي، إضافة إلى التشوهات غير المرنة الناجمة عن الانكماش، وعندما تخضع العناصر البيتونية لحمولات التشغيل الكلية أو جزء منها لمدة تزيد عن /24 ساعة/ فإن هذه العناصر تخضع لتشوهات إضافية تزداد مع الزمن ناجمة عن ظاهرة الجريان، فضلاً على التشوهات اللحظية المرنة (ε_{ce}) ، الناجمة عن حمولات التشغيل مباشرة.

ويمكننا تقدير التشوهات الناجمة عن الجريان، وفقاً لما هو وارد في الكود السوري الأساس:

أ- حالة العناصر المضغوطة:

عندما يخضع العنصر لإجهاد ضغط مرن مقداره $(\sigma_c \le 0.5 f'_c)$ ، ولتشوهات مقابلة (ε_{ce}) ، يحسب التشوه الناجم عن الجريان بالعلاقة التالية: $(\varepsilon_{cr} = \phi \varepsilon_{ce})$ ، حيث ϕ يمثل عامل الزحف.

ويكون التشوه الكلي مساوياً لـ: $\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{ce} + \varepsilon_{cr} = \varepsilon_{ce}(1+\phi)$

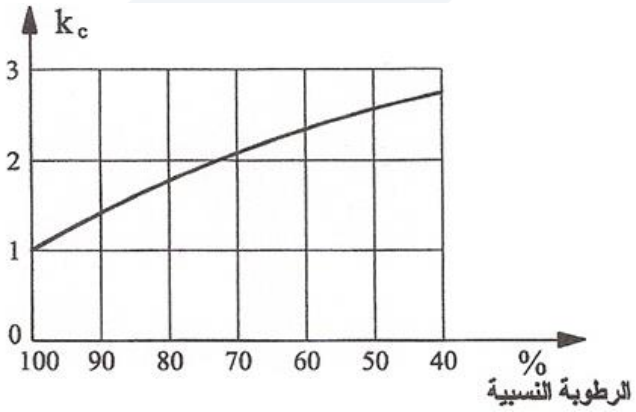
وتحدد قيمة عامل الزحف بالعلاقة التجريبية التالية: $\phi = k_c.k_a.k_b.k_d.k_t$

حيث:

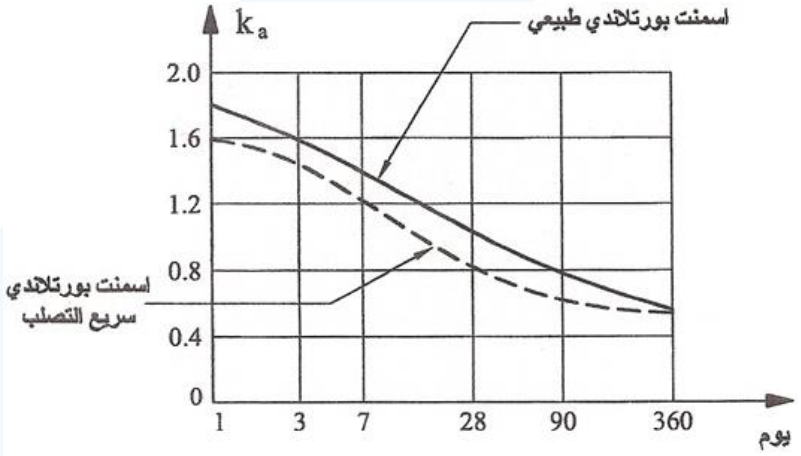
k_c: عامل يرتبط بالرطوبة النسبية للوسط المحيط بالبيتون عند تحميله، ويؤخذ من الشكل (6- 7).

k_a: عامل يرتبط بعمر البيتون بالأيام عند التحميل، ويؤخذ من الشكل (6- 8).

k_b: عامل يرتبط بعيار الاسمنت (C) للمتر المكعب من البيتون، وبالنسبة $\left(\frac{W}{C}\right)$ ، ويؤخذ كما في حالة الانكماش.



الشكل (6- 7): تأثير الرطوبة النسبية للمحيط على العامل k_c



الشكل (6- 8): تأثير عمر البيتون عند التحميل على العامل k_a

k_d: عامل يتعلق بالأبعاد الهندسية للعنصر البيتوني المسلح، ويؤخذ كما في حالة الانكماش.

k_t: عامل يتعلق بعمر المنشأة و بالأبعاد الهندسية، ويؤخذ كما في حالة الانكماش.

تطبيق:

لدينا عمود من البيتون المسلح مقطعه $(a\times a=60\times 60cm\Rightarrow d_m=300mm)$ ، طوله $(l=6m)$ ،خاضع لحمولة طويلة الأمد مسببة إجهاد ثابت مقداره $(\sigma_c=8.5MPa)$.

إذا علمت أن :

- المقاومة المميزة للبيتون: $f'_c=28MPa$
- $E_c=4750\sqrt{f'_{cj}}=4750\sqrt{28}=25135MPa$
- الرطوبة النسبية للوسط المحيط: 90% ، 55%
- عمر البيتون عند التحميل: 40 يوم،
- عيار الاسمنت (اسمنت بورتلاندي عادي): $(C=400kg/m^3)$ ، مع $(W/C=0.5)$

يطلب تحديد تقاصر هذا العمود بعد ثلاث سنوات من الخدمة:

في البداية نحسب قيمة عامل الجريان كتابع لجملة العوامل المحددة سابقاً:

$$\phi=k_c.k_a.k_b.k_d.k_t$$
$$\phi=1.45\times 1\times 1.2\times 0.67\times 0.90=1.05$$
$$\sigma_c=8.5Mpa\le 0.5\times 28=14MPa\ O.K.$$
$$\varepsilon_{ct}=\frac{\Delta l}{l}\Rightarrow \Delta l=\varepsilon_{ct}.l$$
$$\varepsilon_{ct}=\varepsilon_{ce}+\varepsilon_{cr}=\varepsilon_{ce}(1+\phi)=\frac{\sigma_c}{E_{co}}(1+\phi)$$
$$\varepsilon_{ct}=\frac{8.5}{25135}(1+\phi)=0.00034(1+1.05)\approx 0.0007$$
$$\therefore \Delta l=0.0007\times 6000=4.2mm$$

وإذا افترضنا أن الرطوبة النسبية للوسط المحيط 55% ، يكون التقاصر الكلي:

$$\phi=k_c.k_a.k_b.k_d.k_t$$
$$\phi=2.5\times 1\times 1.2\times 0.67\times 0.90=1.81$$
$$\varepsilon_{ct}=\frac{8.5}{25135}(1+\phi)=0.00034(1+1.81)\approx 0.00096$$
$$\therefore \Delta l=0.00096\times 6000=5.76mm$$

ب- حالة العناصر الخاضعة لانعطاف:

يمكننا حساب السهم طويل الأمد الناجم عن الجريان، بضرب السهم اللحظي بالعامل (α) ، وسيتم تحديده لاحقاً عند دراسة حالة الحد من السهم المعيب في العناصر الخاضعة لانعطاف.

6-4- تحقيق الأمان وفق الكود السوري الأساس

تتلخص أغراض الكود السوري في أن تحقق المنشأة البيتونية المسلحة في أجزائها ومجموعاتها المختلفة بصفتها وحدة متكاملة، متطلبات الاستثمار والتشغيل التي أنشئت من أجلها طوال الفترة المفروضة لبقائها صالحة للاستثمار مع توفير عامل أمان كاف ضد كل حالة من حالات الحدود التالية:

- في نطاق المقاومة:

- حالة حد الانهيار (الحالة الحدية القصوى): وتكون بتصدع أي مقطع في المنشأة أو بفقد الثبات في جزء منها أو في مجموعة كما لو كان جسما صلداً.
- حالة عدم الاتزان: وتكون بالتحنيب أو بالتشققات أو التشوهات المهمة التي تغير في الشكل الهندسي للمنشأة.

- في نطاق الاستثمار:

- حالة حد تجاوز الاجهادات المسموح بها: ويعتبر أن كلاً من البيتون في الضغط، وفولاذ التسليح في الضغط والشد مواد ذات سلوك مرن.
- حالة حد التشقق المعيب: وهي الحالة الحدية التي تسبب صدأ فولاذ التسليح.
- حالة حد السهم المعيب دون ضياع الاتزان، ويدخل فيها الاهتزاز غير المقبول.

6-4-1- تحقيق الأمان في الحالة الحدية القصوى:

يعتبر الأمان محققا في الحالة الحدية القصوى عندما تكون قدرة تحمل العنصر أو لكل مقطع منه، والتي يرمز لها (R_U) ، مضروبة بعامل تخفيض يسمى عامل تخفيض المقاومة (Ω) ، لا تقل عن القوة الداخلية الناجمة عن الأفعال القصوى (U) التي تمثل الحمولات المصعدة. ويترجم ذلك بالمتراجحة التالية:

$$U \leq \Omega\, R_U$$

ويمكن أن تمثل (U) عزوم الانعطاف، عزوم الفتل، قوى محورية أو جهود قاطعة.

ويجب تصميم المقاطع الحرجة في العناصر بحيث يكون نمط انهيارها مطاوعاً بحيث نتحاشى الانهيار الهش والمفاجئ.

6-4-2- تحديد الأفعال القصوى (الحمولات المصعدة U) :

تحدد الأفعال القصوى (U) المأخوذة بالتصميم وتراكيبها الممثلة كما يلي:

أ- التراكيب الأساسية للحمولات المصعدة :

نبين فيما يلي التراكيب الأساسية للحمولات المصعدة التي يجب على المصمم اعتبارها أثناء الدراسة واختيار التركيب الأخطر، مع الانتباه إلى ضرورة توزيع الحمولات الإضافية (L or P) في أسوأ حالات التحميل بالنسبة للعنصر أو المقطع المدروس.

- الأفعال المؤثرة: حمولات عادية دائمة (G or D) وإضافية (P or L) متضمنة عامل الزيادة الديناميكي إن وجد :

$$U = 1{,}4G + 1{,}7P$$

وتؤخذ بقية التراكيب كما هو وارد في الكود الأساس.

ملاحظة: لا تجمع حمولة الزلازل مع الرياح بل نأخذ الحالة الأسوأ بينهما.

ب- التراكيب الثانوية للحمولات المصعدة:

في الحالات الخاصة التي تؤدي فيها الحمولات الشاقولية إلى زيادة استقرار المنشأة أو مقاومتها ضد الضغوط أو التأثيرات الجانبية، يتوجب على المصمم تقديرها وتحقيق المقطع أو العنصر أو المنشأ على واحد أو أكثر من التراكيب الثانوية الملائمة والمنصوص عنها في الكود الأساس.

6-4-3- تراكب الأفعال وفق ملحق الكود رقم /2/ - حالة الحد الأقصى

في حالة تحديد القوى الزلزالية وفق الطريقة الستاتيكية الثانية أو الطرائق الديناميكية (ملحق الكود رقم /2/)، يتم تصميم المباني والمنشآت البيتونية وكل الأجزاء المكونة لمقاومة الأفعال القصوى وفق التراكيب التالية :

- **التراكيب الأساسية للأفعال الزلزالية:**

$$1.1(1.2D \pm 1.0E + f_1 L + f_2 S)$$

$$1.1(0.9D \pm 1.0E)$$

حيث:

D،L،S: الأفعال الناتجة عن الأحمال الميتة والحية والثلج على الترتيب.

f_1 : تساوي 1.0 للأسقف في المواقع ذات التجمعات العامة وفي الأماكن التي تتجاوز فيها الأحمال الحية $5kN/m^2$ وتساوي 0.5 لباقي المواقع.

f_2 : تساوي 0.7 للأسقف النهائية ذات الأشكال الخاصة والتي لا تسمح بطرح الثلج بعيداً عن المنشأ وتساوي 0.2 لباقي أشكال الأسقف النهائية .

E : الأفعال الناتجة عن الزلازل وتحدد بالعلاقة التالية:

$$E = \rho E_h + E_v$$

E_h : الأفعال الناتجة عن الهزة الأرضية وتحسب من القص القاعدي V.

ρ : عامل الوثوقية وعدم التقرير.

E_v : الأفعال الناتجة عن المركبة الشاقولية للهزة الأرضية وتعطى بالعلاقة التالية:

$$E_v = 0.5C_a ID$$

بالتالي تصبح العلاقات التي تعطي التراكيب الأساسية كما يلي:

$$1.1[(1.2 \pm 0.5C_a I)D \pm \rho E_h + f_1 L + f_2 S]$$

$$1.1[(0.9 \pm 0.5C_a I)D \pm \rho E_h]$$

وفي حال تأثير الحمولات التالية (T, P, H, F) في التصميم فإن كل حمولة يجب أن تضاف إلى التراكيب السابقة بعد تصعيدها بالعوامل التالية: $(1.2T, 1.2P, 1.6H, 1.3F)$.

حيث :

T : القوة المشوهة ذاتياً والتأثيرات الناتجة عن التقلص والتمدد الحراريين...

P : وزن الأحمال الناتجة عن تجمع المياه فوق السطح الأخير.

H : الضغط الجانبي للتربة، ولتأثير الماء إن وجد.

F : الحمل الناتج عن السوائل.

- **التراكيب الخاصة للأفعال الزلزالية:**

في بعض الحالات الخاصة كتلك الناتجة عن احتواء المنشأة عدم انتظام من النوع الرابع الشاقولي أو المسقط الأفقي، الممثل بانقطاع في مسار الأحمال (جداول (3-4 و 3-5) من ملحق الكود رقم /2/) فإن كافة العناصر الساندة لمثل هذه الجمل يجب أن تحقق أيضاً حالات تراكب الأحمال الزلزالية الخاصة التالية :

$$1.2D \pm 1.0E_m + f_1 L$$

$$0.9D \pm 1.0E_m$$

حيث :

$$E_m = \Omega_o E_h$$

Ω_0 : معامل تكبير القوة الزلزالية يحدد من ملحق الكود رقم /2/ حسب نوع الجملة الإنشائية ويأخذ بالحسبان المقاومة الإنشائية الإضافية (المتبقية في المنشأ بعد تشكل أو مفصل لدن فيه).

- **التراكيب الأساسية للأفعال الأخرى مع عدم وجود زلازل:**

تؤخذ تراكيب الحمولات المصعدة بعواملها المحددة للعناصر البيتونية وفقاً لما ورد في الكود الأساس بحيث لا تتضمن القوى الزلزالية.

6-4-4- تحديد عامل تخفيض المقاومة (Ω):

بهدف تلافي خطر تغير خواص المواد (البيتون والفولاذ) الميكانيكية والفيزيائية، اختلاف ظروف عمل المنشأ ككل وظروف عمل عناصره على حده تبعا للوظيفة الإنشائية لكل عنصر وكذلك ظروف التنفيذ المختلفة من عنصر لآخر في المنشأ الواحد، يؤخذ عامل قيمته أقل من الواحد يسمى عامل تخفيض المقاومة Ω. ويحدد تبعا لطبيعة الجهود المؤثرة في المقاطع كما يلي:

- المقاطع المعرضة للانعطاف البسيط أو لقوى شد محورية أو لامحورية: $\Omega = 0{,}9$
- المقاطع المعرضة للضغط البسيط (ضغط محوري): $\Omega = 0{,}65$
- المقاطع المعرضة للقص و الفتل أو أحدهما (دون زلازل) : $\Omega = 0{,}85$
- المقاطع المعرضة للقص و الفتل أو أحدهما (مع زلازل): $\Omega = 0{,}75$
- المقاطع المعرضة لقوى ضغط لامحورية:

$$0{,}9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{N_U}{N_C}\right) \geq 0{,}65$$

حيث:

N_U : قوة الضغط المطبقة على المقطع العرضي

N_C : مقاومة المقطع البيتوني لوحده $\left(0.85\, f'_C\, A_C\right)$

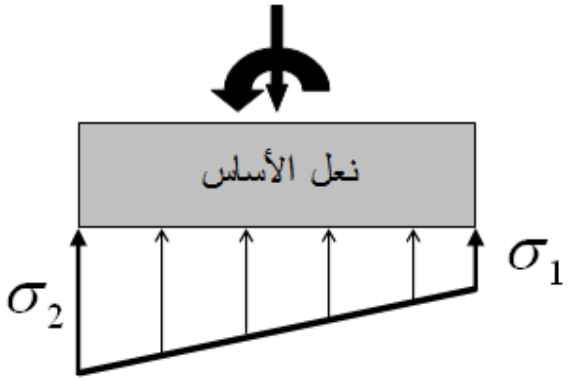
6-4-5- عامل زيادة الاجهاد المسموح للتربة في حالة الأفعال المصعدة:

يتم وفق الكود السوري تصميم جميع العناصر الإنشائية على الحالة الحدية القصوى عندما يؤخذ تأثيرات الزلازل بالحسبان، وبالتالي تكون الحمولات المطبقة على الأساسات هي الحمولات المصعدة.

ولما كانت مقاومة التربة المعتمدة في تقارير التربة تعطي أكبر إجهاد مسموح تطبيقه على هذه التربة من حمولات الاستثمار (غير المصعدة) والمسمى $(\bar{\sigma}_s)$ ، لذا لا بد من توضيح طريقة التحقق من تربة التأسيس في حالة الزلازل (انظر الشكل 6-9).

- حالة التوزع المنتظم والخطي القريب من المنتظم للإجهادات المطبقة تحت الأساس $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 2$: يكون الإجهاد المسموح مساويا: $1.6(\bar{\sigma}_s)$
- حالة التوزع الخطي للإجهادات المطبقة تحت الأساس $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 2$ ، وفي حال وجود شد تحت الأساس (حيث يلزم حذف هذا الجزء المشدود تحت الأساس من الحساب): يكون الإجهاد المسموح مساويا: $2.0(\bar{\sigma}_s)$

ملاحظة: يمكن أخذ قيمة متوسطة لعامل التصعيد تكون بين 1.6 و 2.0 حسب النسبة بين الاجهادين.



الشكل 6-9

6-5- تحقيق الأمان في حالات نطاق الاستثمار

6-5-1- عموميات:

يتحقق الأمان في حالات حدود الاستثمار عندما تكون الإجهادات الفعلية الناجمة عن أفعال الاستثمار غير المصعدة في أسوأ حالات التحميل لا تتجاوز الإجهادات المسموحة للبيتون في الضغط والفولاذ في الشد والضغط، أو عندما لا تتجاوز سعة التشققات المتوقعة أو قيم السهوم المحسوبة القيم التي تعيب استثمار المنشأ. ويتم تصميم أو تحقيق المقاطع أو العناصر على تراكب الحمولات التي تعطي أكبر قيمة للإجهادات أو التراكب الأسوأ بالنسبة لاستقرار المنشأ أو أحد عناصره.

ويشير الكود السوري إلى أنه يمكن الاستغناء عن التحقق من حالة حد تجاوز الإجهادات المسموحة عندما يتم التحقق على حالات الحدود في نطاق المقاومة، والتي تم شرحها سابقاً، باستثناء الحالات التالية:

- العناصر والمقاطع المعرضة لضغط السوائل (E) عندما لا تتخذ احتياطات كافية لحمايتها من تسرب السوائل عبر الشقوق أو احتمالات صدأ الفولاذ، وفي هذه الحالة يتم التحقق على مرحلة ما قبل التشقق (حد سعة التشقق المعيب).
- المنشآت المعرضة لحمولات ديناميكية متكررة تسبب ظاهرة التعب في فولاذ التسليح، كالجسور مثلاً. وتعدل قيم الإجهادات المسموحة وفق الكود المعتمد.
- بعض المنشآت الخاصة كالمداخن، والمنشآت المنفذة من البيتون مسبق الإجهاد.

أما التحقق من حالات الحدود الأخرى في نطاق الاستثمار والمتمثلة بحد سعة التشقق أو حد السهم المعيب فيبقى ضرورياً في الحالات الموجبة له، وفق الاشتراطات الخاصة بها.

أخيراً، من الجدير أن نذكر بأن الكود السوري ينص على أنه في حال إدخال أفعال الزلازل في الحساب يصبح التحقق من مقاومة المقاطع والعناصر تحت تأثير حالات التحميل المختلفة وفق الحالة الحدية القصوى إلزامياً.

6-5-2- فرضيات التصميم وفق حالات حدود الاستثمار:

نذكر فيما يلي الأسس المعتمدة في حساب مقاطع البيتون المسلح أو التحقق منها، وفقاً لحالات حدود الاستثمار:

- اعتماد التحليل الخطي المرن: يسلك البيتون والفولاذ سلوك المواد المرنة، وبذلك يكون توزيع الإجهادات في المقطع خطياً. ويستند التحليل الخطي المرن في تحقيق المقاطع إلى الفرض بأن الإجهادات الفعلية في المقاطع الحرجة في كل من البيتون والفولاذ يجب ألا تزيد عن الإجهادات المسموحة.
- اعتماد نظرية برنولي – نافييه: المقاطع المستوية قبل الانعطاف تظل مستوية بعده، أي إن التشوه في كل من البيتون والفولاذ يتناسب مع البعد عن المحور السليم.
- إهمال البيتون المشدود في التحليل والتصميم، ويعمل الفولاذ لوحده على موازنة محصلة إجهادات الشد.
- اعتماد القيم التالية للنسبة المعيارية $n=\left(\frac{E_s}{E_c}\right)$ ، والمسماة بعامل التكافؤ:

$n=15$ حالة حد تجاوز الإجهادات المسموحة،

$n=10$ حالة حد التشقق المعيب،

ويمكن تخفيض قيمة عامل التكافؤ عند استخدام بيتون بنوعية جيدة: $f'_c \geq 250 kg/cm^2$

$n=\left(\frac{E_s}{E_c}\right)$ حالة حد السهم.

6-5-3- ملاحظات مهمة:

- إذا شملت الحمولات المؤثرة ضغط الرياح W أو أثر التشوهات المفروضة T معا، فيمكن زيادة الإجهادات المسموحة في كل من البيتون والفولاذ بنسبة 25% . على أن يتم التحقق دوماً دون هذه الأثار، أي بالتراكب (G+P) أو ((G+P+(E or F) في حال وجود ضغط التربة أو السوائل.
- إذا شملت الحمولات المؤثرة ضغط الرياح W و أثر التشوهات المفروضة T معا، فيمكن زيادة الإجهادات المسموحة في كل من البيتون والفولاذ بنسبة 33%. على أن يتم التحقق دوماً دون هذه الأثار، أي بالتراكب (G+P) أو (G+P+(E or F)) في حال وجود ضغط التربة أو السوائل.
- يطبق ما ورد في الملاحظتين السابقتين على الإجهاد المسموح به للتربة $\bar{\sigma}_s$.

6-6- معايير التصميم المقاوم للأفعال الزلزالية وأسسه

أ- يجب أن تصمم المنشأة لتحقق المقاومة والاستقرار والثبات، منعاً لأي انهيار جزئي أو كلي، وتجنباً لحدوث خسائر بشرية كارثية، وذلك عند تعرضها لزلزال مدمر شدته معتدلة إلى عالية، ويحتمل حدوثه مرة واحدة في عمر المنشأة الافتراضي. ويمكن السماح بحدوث شقوق في الأعضاء غير الإنشائية، ولكن لا يسمح بحدوث شقوق خطيرة في الأعضاء الإنشائية. أما إذا تعرضت المنشأة ذاتها لزلزال كارثي شدته عالية جداً نسبة إلى الشدة المحتمل حدوثها مرة واحدة في عمرها، فيسمح بظهور شقوق كبيرة نسبياً في عناصرها الإنشائية وغير الإنشائية، شريطة بقاء المنشأة مترابطة ومستقرة أثناء هذا الزلزال، و لا يسمح بحدوث انهيار فيها تنجم عنه خسائر في الأرواح. و من أجل تحقيق ذلك يجب أن تصمم المنشآت لمقاومة زلزالية لا تقل عن القوى الزلزالية المحددة من قبل الكود السوري الأساس وملحقاته.

ب- تُحدد الأسس والجمل المتبعة في تصميم المنشآت مع الأخذ بالحسبان المناطق الزلزالية الرئيسية وخصائص الموقع والإشغالات والشكل والجمل الإنشائية والارتفاع وذلك وفق ما هو وارد في الكود السوري الأساس وملحقاته.

ت- تصمم المنشآت بحيث يوفر لها المقاومة الكافية لتحمل الإزاحات الجانبية الناتجة عن حركة الأرض التصميمية الأساسية، مع الأخذ بالحسبان الاستجابة اللدنة للمنشأة والمقاومة الناجمة من عدم التقرير والمقاومة الزائدة في مرحلة اللدونة والمرونة الخاصة بجملة مقاومة القوى الجانبية.

ث- يجب ألا تقل المقاومة التصميمية الدنيا المأخوذة حسابياً، عن القوى لتصميمية الزلزالية المحددة في الكود الأساس وملحقاته.

ج- التحقق من مقاومة المنشأة أو المبنى للانزلاق والانقلاب عند منسوب تربة التأسيس، ومقاومة تأثيرات الزلازل (عزوم انحناء- عزوم فتل- قوى قص- قوى ناظمية) في المناسيب المختلفة، وكذلك التحقق من الإجهادات عند منسوب التأسيس، ويلزم كذلك التحقق من قيم السهوم الأفقية عند مناسيب الطوابق.

ح- يتم استعمال حالة الحد الأقصى في تصميم أعضاء المنشأة باستعمال تراكيب الأحمال الخاصة بها.

خ- يجب تصميم وتنفيذ كل المنشأة، وكل جزء منها، لمقاومة قوى أفقية دنيا تمثل قوى الزلازل، وهي عبارة عن قوى أفقية جانبية، تؤثر باتجاه المحاور الرئيسية للمنشأة، حيث تؤثر باتجاه كل محور رئيسي بصورة مستقلة في حالة المنشآت المتناظرة. أما في حالة المنشآت غير المتناظرة، أو غير المنتظمة، فيلزم دراسة المنشأة لتأثير الزلازل باتجاهي المحورين معاً، ويتم تجميع آثار الاتجاهين المتعامدين باستعمال إحدى الطريقتين SRSS أو CQC لحالة المنشأة الفراغية بحيث تؤخذ كامل القيمة بأحد الاتجاهين و80% من القيمة للاتجاه الآخر.

د- يسمح الكود باستعمال طرائق تحليل إنشائي بديلة معتمدة، شريطة إنجاز تطوير محلي لها، يأخذ بالحسبان الشروط المحلية الزلزالية.

في الواقع، إن الغاية من تصميم المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل تتمثل بما يلي:

- منع الخسائر البشرية.
- استمرار خدمات المباني الهامة والمنشآت الحيوية قدر الإمكان.
- حماية المباني والمنشآت من الانهيارات التي تسبب خسائر في الأرواح والممتلكات.
- تقليل الأضرار في الممتلكات والمباني.

7-6- ملاحظات مهمة مرتبطة بمتطلبات النمذجة (التمثيل الرياضي)

- يجب أن يتضمن النموذج الممثل للمنشأة الفيزيائية كافة العناصر المساهمة بجملة مقاومة القوى الجانبية.
- يجب أن يتضمن هذا النموذج صلابة ومقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى.
- كما يلزم أن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل و الصلابات في المنشأة.
- عند تحديد خصائص الصلابة للعناصر البيتونية المسلحة، يجب أن يؤخذ بالحسبان تأثيرات المقاطع المتشققة وانخفاض الصلابة، ويمكننا اعتماد القيم التالية:

- في حالة الأعمدة وجدران القص: تخفض عزوم العطالة حتى (60%) من قيم عزوم العطالة للمقاطع الأساسية (غير متشققة، ومع إهمال التسليح) عندما تكون معرضة لضغط لامركزي مع لامركزية كبيرة، وتخفض حتى (80%) في حالة اللامركزية صغيرة.
- في حالة الجوائز: يحسب عزم العطالة المكافئ للمقطع المتشقق في منتصف المجاز، أو يؤخذ (60%) من قيمة عزم العطالة للمقطع الأساسي غير المتشقق، مع إهمال التسليح.
- في حالة الجوائز الرابطة لجدران القص والجوائز المعرضة لانعطاف يصل إلى الطاقة النظرية: يؤخذ (40%) من قيمة عزم العطالة للمقطع الأساسي غير المتشقق، مع إهمال التسليح.
- في حالة الجوائز بمقاطع (T)، يمكننا أخذ عزوم العطالة دون جناحين ودون تخفيض.
- ويخفض ثابت الفتل للمقاطع (J) (المأخوذ قيمته في حالة المقاطع المستطيلة بالعلاقة $J=\left(1-0.63\frac{x}{y}\right).\frac{x^3y}{3}$)، ليأخذ القيمة $(0.5J)$ في العناصر التي يكون الفتل أساسياً في تأمين الاستقرار للجملة. وفي حال عدم أخذ الفتل بالحسبان أو كان غير أساسي في تأمين الاستقرار فيمكن اعتماد $(J=0)$. وفي

كل الأحوال وعندما يرى الدارس ضرورة إدخاله في الحساب فيجب ألا تتجاوز قيمته $(0.5J)$ بحيث يتم تصميم العناصر على تأثير الفتل.

6-8- تحقيق الأمان وتقييم المباني القائمة

ضمن إطار المراقبة الدورية للمنشآت وبهدف تحديد سلامتها الإنشائية، يعمل المهندس على إجراء بعض الاختبارات النوعية للتحقق من أن المواد المكونة لعناصر هذه المنشآت لا تخضع إلى إجهادات تزيد عن المسموحة المحددة من قبل القواعد والكودات الناظمة. هذا وقد يضطر المهندس في مرحلة التنفيذ لاستخدام طرائق ووسائل نوعية لا تعتمد على كسر العينات حيث لا يوجد عدد كاف منها لتحديد المقاومة الفعلية للمادة أو أنه تم تحضير العينات أو حفظها بشكل غير نظامي. بالتالي سواء كان المقصود مراقبة جودة البيتون أثناء التنفيذ أو في مرحلة الاستثمار ، فإن المهندس يحتاج إلى استخدام كل أو بعض من طرائق القياس النوعي من أجل الحصول على بعض المعطيات الأساسية لإنجاز دراسته:

أ- تحديد المقاومة من دون تخفيض في كفاءة العنصر المدروس: اختبار مطرقة الصدم (السكليرومتر) وهي تجربة غير مخربة (غير متلفة).

ب- تحديد مقاومة البيتون الفعلية مع احتمال تخفيض الكفاءة : تجربة الجزرات البيتونية وهي تجربة مخربة.

ت- تقدير درجة تضرر المواد المكونة لعناصر المنشأ : اختبار الأمواج فوق الصوتية: تجربة غير مخربة (غير متلفة).

ث- التحقق من عدم وجود أخطاء تنفيذية خاصة بكمية وترتيب التسليح في العناصر الإنشائية: جهاز الكشف على قضبان التسليح بطريقة السيالة المغناطيسية.

ج- التشوهات والأسهم و السلامة الإنشائية: تجربة التحميل للمنشآت.

ونبين فيما يلي مراحل تنفيذ تجربة التحميل المعتمدة من قبل الكود السوري الأساس، والموافقة لما ورد في الكود الأمريكي (ACI) :

1. تطبيق الحمولة الدائمة المتممة : (ΔG) تحمل وتترك لمدة 24 ساعة من بدأ التجربة، وتؤخذ القراءات (قياس الأسهم) حيث يمكننا اعتماد الصفر الاعتباري عند البدء بتطبيق هذه الحمولة. ونأخذ السهم الأعظمي لهذه المرحلة والناجم عن (ΔG) بعد الـ 24 ساعة ولتكن (δ_1).
2. تطبيق حمولة التجربة النظامية ومقدارها $(W = 0.15DL + 1.5LL)$ ، والتي تطبق على أربع دفعات على الأقل، لتترك بعد ذلك 24 ساعة أخرى، وعندها نأخذ القراءات لهذه المرحلة ولتكن (δ_2) ، وبالتالي نحدد قيمة السهم الأعظمي للتجربة $(\delta_{MAX} = \delta_2 - \delta_1)$.

3. تفريغ حمولة التجربة، وأخذ القراءات بعد 24 ساعة من التفريغ (δ_3)، لنحدد السهم الراجع (المختفي): $(\delta_E = \delta_{MAX} - \delta_3)$.

4. يقبل العنصر المجرب إذا تحقق الشرط التالي: $\delta_{MAX} \le \frac{L^2}{20000h}$ ، أو $\delta_E = 0.75\delta_{MAX}$

بحيث لا تظهر علامات ضعف أو انهيار أو تشققات معيبة في العنصر المجرب.

حيث: (L): المجاز الحر للعنصر المجرب، ويؤخذ $(L = 2L)$ في حالة الظفر.

(h): الارتفاع الكلي للعنصر المجرب.

في حال فشل التجربة، يمكن إعادتها لمرة واحدة فقط، وذلك بعد 3 أيام من التفريغ ونحسب السهم الراجع الجديد وعندها يجب تحقيق الشرط التالي: $\delta_{E2} = 0.80\delta_{MAX\,2}$ ، وإذا لم تتحقق يكون العنصر غير مقبول.

أخيراً، وعند تقييم المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل سواء كانت منفذة على الهيكل فقط أو كانت مكسوة، يمكن اعتماد عامل تخفيض لقوة القص القاعدي V ، تبعا لمقاومة البيتون الفعلية في المنشأ وفقا للجدول التالي.

مقاومة البيتون على الضغط (MPa)	قيمة عامل التخفيض
$f'_c \ge 18$	0,75
$f'_c \ge 16.5$	0,80
$f'_c \ge 15$	0,85