ف. بايكوف، ي. سيجالوف

الانشاءات الخرسانية المسلحة

الجزء الاول

مقاومة الخرسانة المسلحة وقطع الانشاءات الخرسانية المسلحة

ترجمة الدكتور داود سليمان المنير

В. Н. Байков
Э. Е. Сигалов

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Стройиздат, Москва

На арабском языке

١٩٨٤

تمهيد

ان هذه الطبعة العربية الاولى للكتاب مترجمة عن الطبعة الروسية الثالثة المنقحة والمزيدة بالمقارنة مع الطبعة الروسية الاولى (١٩٦٢) والطبعة الروسية الثانية (١٩٧٦٠ – ١٩٧٧) . وقد صدرت الطبعة الروسية الاخيرة بحيث تتماشى مع منهاج دراسة الانشاءات الخرسانية المسلحة بصورة اساسية وكذلك لتشمل الخبرة العملية المكتسبة عن الطبعتين السابقتين .

ويعتمد الكتاب على محاضرات مؤلفيه التى القيت فى معهد الهندسة المدنية فى موسكو لمدة طويلة من الزمن . وقد قدمت مواد الكتاب العلمية بصورة تؤكد على مسألة استخدام الخرسانة المسلحة السابقة الصنع ذات درجة التصنيع العالية . كما اعير اهتمام كبير للانشاءات السابقة الصنع (الجاهزة) التى بحثت ضمن فصول الانشاءات الخرسانية المسلحة العادية ، لان ذلك افضل من بحثها فى فصول منفردة .

يقسم الكتاب الى جزءين اساسيين . الجزء الاول مكرس لدراسة النظرية الاصلية للخرسانة المسلحة ، ويتطرق الى وصف الخواص الاساسية للخرسانة ، قضبان التسليح الفولاذية والخرسانة المسلحة ، ويوضح المبادىء التصميمية للقطع الخرسانية المسلحة . اما الجزء الثانى فقد خصص لدراسة الخبرة السوفييتية العملية فى تصميم الانشاءات والمبانى الخرسانية المسلحة ، وتعريف القراء بمبادىء تصميم الانشاءات الحاملة والانشاءات الهيكلية (الاطارية) ، الارضيات ، الانشاءات الاطارية ، الاساسات وغيرها من الانشاءات الاخرى .

ان المبادىء النظرية والمبادئ التصميمية للانشاءات الخرسانية المسلحة ، تتفق مع المواصفات القياسية الحديثة التى وضعت موضع التنفيذ فى الاتحاد السوفييتى ابتداء من شهر كانون الثانى (يناير) عام ١٩٧٧ وهى منسجمة مع التعليمات الدولية الخاصة بتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة التى اصدرتها المنظمة الاوروبية لابحاث الخرسانة .

وقد استخدم فى الكتاب النظام الدولى لوحدات القياس (SI) . يعتبر هذا الكتاب بمثابة كتاب دراسى (مقرر) لطلبة كليات ومعاهد الهندسة المدنية ، ويمكن لطلبة المعاهد الهندسية الاخرى وللمهندسين المدنيين وغيرهم الاستفادة من الكتاب ايضا فى مجال التطبيق العملى .

المؤلفان

ف. بايكوف و ى. سيجالوف

الرموز الأساسية المستخدمة فى الكتاب

القوى والاجهادات الناجمة عن الاحمال الخارجية والاجهاد المسبق المقطع العرضى للقطع الانشائية :

M = bending moment — عزم الالتواء

N = longitudinal force — القوة الطولية

Q = shearing force — قوة القص

T = torque — عزم الالتواء

N_0 = resultant of the force — محصلة القوى فى القضبان السابقة الاجهاد قبل انضغاط الخرسانة ، او فى القضبان السابقة الاجهاد والقضبان غير السابقة الاجهاد عندما يكون اجهاد الخرسانة مساويا للصفر

خواص المواد الانشائية

R_{pr}, R^b_{pr} = design and basic axial compressive strength of concrete (prism-crushing strength), respectively — المقاومة التصميمية والمقاومة الاصلية للانضغاط المحورى فى الخرسانة (مقاومة الموشور للتهشّر)

R_{ten}, R^b_{ten} = design and basic tensile strength of concrete, respectively — مقاومة الشد التصميمية والاصلية للخرسانة

R_s, R^b_s = design and basic strength of tensile longitudinal and transverse steel in the inclined-section analysis of bending members — المقاومة التصميمية والمقاومة الاصلية لقضبان التسليح الطولية المشدودة والمستعرضة ، عند حساب الانحناء فى المقطع المائل

$R_{s,tr}$ = design strength of transverse steel in shear-strength analysis — المقاومة التصميمية لقضبان التسليح المستعرضة عند حساب قوة القص

$R_{s,com}$ = design strength of compressive steel — المقاومة التصميمية لقضبان التسليح المضغوطة

E_c = tangent modulus of elasticity of concrete in compression and tension — معاير المرونة الابتدائى للخرسانة فى حالتى الانضغاط والشد

E_s = modulus of elasticity of steel — معاير مرونة قضبان التسليح

$n = E_s/E_c$

خواص المقاطع العرضية للقطع الانشائية

b = width of a rectangular section; width of the rib of a T- or I- section; double thickness of the wall of a circular or box section — عرضُ المقطع المستطيل ؛ عرض الضلع القائم للمقطع T او المقطع I ؛ السمك المزدوج لجدار المقطع الدائرى او الصندوق

h = depth of a rectangular, T-or I-section — ارتفاع المقطع المستطيل T او المقطع I

b_f, h_f = width and depth of the flange in the tension zone of a T-or I-section, respectively — عرض وارتفاع الشفة فى منطقة الشد للمقطعين T و I على التوالى

b_f, h_f = width and depth of the flange in the compression zone of a T-or I-section — عرض وارتفاع الشفة فى منطقة الانضغاط للمقطعين T و I على التوالى

F = total cross-sectional area of concrete — المساحة الكلية للمقطع العرضى للخرسانة

F_c = cross-sectional area of concrete in compression — مساحة المقطع العرضى للخرسانة فى منطقة الانضغاط

F_{tr} = cross-sectional area of a transformed section — المساحة الكلية للمقطع العرضى المحول (المكافىء)

I_{tr} = moment of inertia of a transformed section — عزم القصور الذاتى للمقطع المحول (المكافىء)

F_s = cross-sectional area of longitudinal steel: all steel in axially loaded members; tensile steel in bending members; steel at the tensile or less compressed face in eccentrically compressed members; steel nearest to the longitudinal force in members subjected to eccentrical tension — مساحة مقطع قضبان التسليح الطولية : مساحة كافة القضبان فى القطع المحورية الانضغاط والشد ؛ مساحة القضبان المشدودة فى القطع المعرضة للانحناء ، مساحة القضبان فى الجانب المشدود او فى الجانب الاقل انضغاطا فى القطع اللامحورية الانضغاط ؛ مساحة القضبان الاكثر قربا من القوة الطولية فى القطع اللامحورية الشد

F_{pr} = same for prestressed steel — كالسابق تماما بالنسبة لقضبان التسليح السابقة الاجهاد

F'_s = cross-sectional area of longitudinal steel: compressive steel in bending members; steel at the most compressed face in eccentrically compressed members; steel most distant from the longitudinal force in members subjected to eccentrical tension — مساحة مقطع قضبان التسليح الطولية : مساحة القضبان المضغوطة فى القطع المعرضة للانحناء ، مساحة القضبان فى الجانب الاكثر انضغاطا فى القطع المحورية الانضغاط ؛ مساحة القضبان الاكثر بعدا من القوة الطولية فى القطع المحورية الشد

F'_{pr} = same for prestressed steel — كالسابق تماما بالنسبة لقضبان التسليح السابقة الاجهاد

a and a′ = distance from the tensile and compressive resultant in the steel to the nearest side of a cross section, respectively — المسافة بين محصلة القوى (الاجهادات) فى قضبان التسليح المناظرة واقرب جانب من المقطع العرضى للقطعة

h_0 or h'_0 = effective depth of a cross section, equal to h-a or h-a′, respectively — الارتفاع الفعال للمقطع العرضى للقطعة، الذى يساوى h-a او h-a′ على التوالى

x = depth of the compression zone of a cross section	ارتفاع منطقة الانضغاط فى المقطع العرضى
ξ = relative depth of the compression zone of a cross section	الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط فى المقطع العرضى
z_1 = distance from the compressive to tensile resultant in a section (the arm of the internal couple)	المسافة بين محصلتى قوى الانضغاط وقوى الشد فى المقطع (ذراع الازدواج الداخلى للقوى)
z_c = distance from the centroid of concrete in compression to the resultant of the forces in the steel of area F_s or F_{pr}	المسافة بين مركز ثقل منطقة الانضغاط فى الخرسانة ومحصلة القوى (الاجهادات) فى قضبان التسليح الفولاذية F_s أو F_{pr}
e and e' = distance from the point of application of the longitudinal force to the resultant of the forces in the steel of area F_s or F'_s, respectively	المسافة بين نقطة تأثير القوة الطولية ومحصلة القوى (الاجهادات) فى قضبان التسليح التى مقطعها F_s و F'_s على التوالى
e_0 = eccentricity of the longitudinal force, N, with respect to the centroid of a transformed section	لا تمركزية القوى الطولية N ، بالنسبة لمركز ثقل المقطع المحول (المكافىء)
$e_{0,pr}$ = eccentricity of the prestressing force, N_0, with respect to the centroid of a transformed section	لا تمركزية قوة الانضغاط المسبق N_0 ، بالنسبة لمركز ثقل المقطع المحول (المكافىء)
$e_{0,tot}$ = eccentricity of the resultant of the longitudinal force, N, and prestressing force, N_0, with respect to the centroid of a transformed section	لا تمركزية محصلة القوة الطولية N ، وقوة الانضغاط المسبق N_0 ، بالنسبة لمركز ثقل المقطع المحول
$e_{0,\,tot}$ = eccentricity of the resultant of the longitudinal force, N, and prestressing force, N_0, with respect to the centroid of the steel of area F_s	لا تمركزية محصلة القوة الطولية N ، وقوة الانضغاط الطولى المسبق N_0 ، بالنسبة لمركز ثقل مساحة مقطع قضبان التسليح الفولاذية F_s
$e_{s,\,pr}$ = eccentricity of the prestressing force, N_0, with respect to the centroid of the steel of area F_s	لا تمركزية قوة الانضغاط المسبق N_0 ، بالنسبة لمركز ثقل مساحة مقطع قضبان التسليح الفولاذية F_s

مقدمة

١ – طبيعة الخرسانة المسلحة

ان الخرسانة كما اثبتت التجارب هى مادة جيدة المقاومة للانضغاط ، كما أنها تقاوم الشد بدرجة أقل من ذلك بكثير . والعتبة الخرسانية غير المسلحة (concrete beam) المحمولة على مسندين والمعرضة للانحناء الجانبى ، تتعرض للشد فى المنطقة الواقعة تحت الطبقة المتعادلة (محور التعادل) كما مبين فى الشكل (١ – أ) . ان مثل هذه العتبة تتميز بسعة حملية صغيرة (carrying capacity) نتيجة لمقاومة الخرسانة الضعيفة للشد .

ولو زودنا نفس هذه العتبة بقضبان تسليح فولاذية (steel rein forcement) توضع فى منطقة الشد (شكل ١ – ب) ، لاصبحت سعتها الحملية عالية ، اكبر بكثير من السعة الحملية للعتبة الخرسانية الى حد يصل الى ٢٠ مرة .

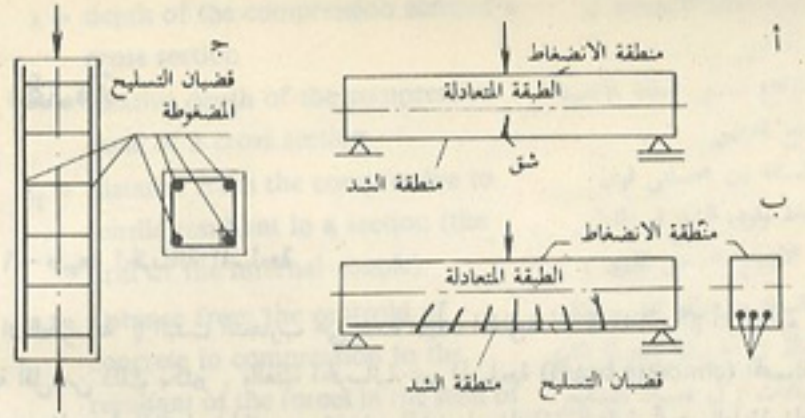
ان القطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانضغاط ، مثل الاعمدة (columns) (شكل ١ – جـ) تسلح كذلك بقضبان فولاذية . ولما كان الفولاذ يتميز بمقاومة عالية لكل من الشد (tension) والانضغاط (compression) نجد ان وجوده داخل الخرسانة على هيئة قضبان تسليح او هياكل تسليح ، يرفع كثيرا من السعة الحملية للقطعة الانشائية المنضغطة .

ان العمل الموحّد لكل من الخرسانة وقضبان التسليح الفولاذية فى وقت واحد ، ينجم عن الاقتران الناجح للخواص الميكانيكية والطبيعية للمادتين المذكورتين ، التى تتلخص فيما يلى :

١) عند تصلب الخرسانة تنشأ بينها وبين قضبان التسليح الفولاذية قوى تلاصق كبيرة جدا ، ونتيجة لذلك تتشوه سوية كلتا المادتين المكونتين للقطع الخرسانية المسلحة الواقعة تحت تأثير الاحمال .

٢) تقوم الخرسانة الكثيفة (المحتوية على كمية كافية من الاسمنت) بوقاية القضبان الفولاذية الموجودة فى داخلها من التأكل او الصدأ (corrosion) وكذلك تحمى قضبان التسليح من التعرض المباشر للنار .

٣) ان معاملى التمدد الحرارى الطولى لكل من الفولاذ والخرسانة متقاربان من حيث القيمة العددية ، لذلك عند تغير درجة الحرارة فى حدود تصل الى ١٠٠ مئوية ، تنشأ فى كلتا المادتين اجهادات أولية (initial stresses) قليلة الاهمية ولا يلاحظ اى انزلاق لقضبان التسليح الفولاذية داخل الخرسانة .



شكل ١ . سلوك القطع الانشائية تحت تأثير الحمل

لقد انتشر استخدام الخرسانة المسلحة على نطاق واسع فى مختلف الانشاءات بفضل خواصها الايجابية الجيدة مثل : التحملية (gurability) ، مقاومة النيران ، الصمود للمؤثرات الجوية المحيطة ، المقاومة العالية للاحمال الدينامية ، التكاليف القليلة اللازمة لصيانة المبانى والانشاءات وغير ذلك . ونظرا لوجود الأخلاط الناعمة والخشنة (aggregates) فى كل مكان تقريبا ، وهى التى تستخدم بكميات كبيرة فى انتاج الخرسانة ، اصبحت الخرسانة المسلحة متوفرة لاجل الانشاء فى كل انحاء العالم تقريبا .

ان الخرسانة المسلحة تعتبر اعلى مقاومة واكثر متانة من بقية مواد البناء الاخرى . وعند الاستثمار الصحيح للانشاءات الخرسانية المسلحة ، يمكنها البقاء والخدمة لمدة طويلة غير محدودة من الزمن ، دون انخفاض سعتها الحملية . ويعود ذلك الى ان مقاومة (متانة) الخرسانة تزداد بمرور الزمن ، خلافا لبقية المواد الاخرى ، اما القضبان الفولاذية الموجودة فى داخلها فتكون محمية من التأكل .

ومقاومة الخرسانة المسلحة للنار ، تتميز بأنه فى حالة نشوب الحرائق المتوسطة التى تستمر لبضع ساعات فقط ، تبدأ الانشاءات الخرسانية المسلحة التى رتبت فيها قضبان التسليح بحيث تعلوها طبقة واقية ضرورية من الخرسانة ، بالتلف من السطح وتقل سعتها الحملية بصورة تدريجية .

ان القطع الخرسانية المسلحة المعرضة لتأثير الاحمال ، تتميّز بظهور الشقوق فى خرسانة منطقة الشد . وعرض فتحة هذه الشقوق عند تأثير احمال التشغيل (service loads) يكون قليلا فى كثير من القطع ولا يؤثر على استثمارها بصورة عادية . ولكن فى التطبيق العملى (وخاصة عند استخدام مواد عالية المقاومة) غالبا ما تدعو الضرورة الى منع

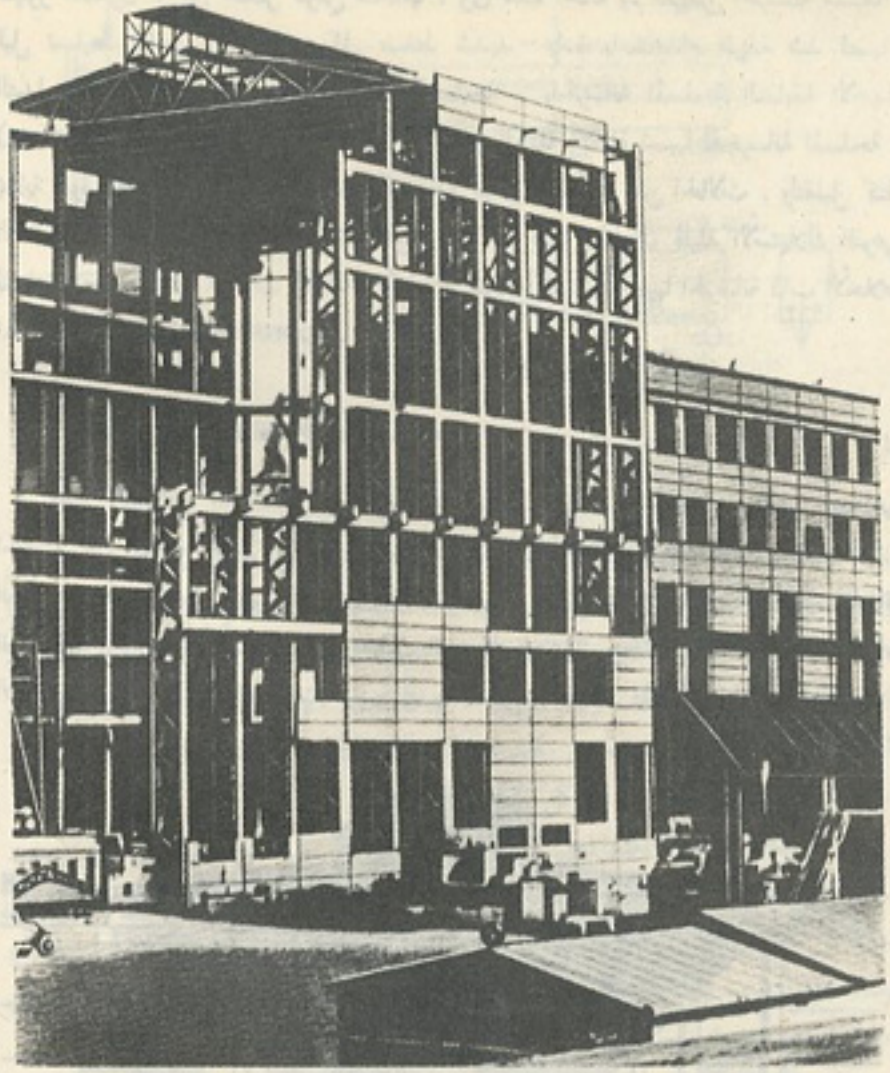
ظهور الشقوق او الى حصر عرض فتحاتها ؛ وفى هذه الحالة يتم تعريض الخرسانة مسبقا ، قبل تسليط الحمل الخارجى ، الى ضغط شديد – عادة باستخدام طريقة شد قضبان التسليح . وتسمى مثل هذه الخرسانة المسلحة ، بالخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد (prestressed reinforced concrete) . وتعتبر الكتلة الثقيلة نسبيا للخرسانة المسلحة ، بمثابة ميزة ايجابية فى ظروف معينة ، ولكنها غير مرغوبة فى كثير من الحالات . ولتقليل كتلة الانشاءات الخرسانية المسلحة ، تستخدم تصاميم رقيقة الجدران قليلة الاستهلاك النوعى للمادة وتصاميم ذات فجوات (voids) وكذلك تصاميم تستخدم فيها الخرسانة ذات الأخلاط المسامية (porous aggregates) .

٢ – مجالات استخدام الخرسانة المسلحة

تعتبر التصاميم الخرسانية المسلحة بمثابة قاعدة مهمة للانشاءات والمبانى الصناعية الحديثة على سطح الارض وتحتها . وتستخدم الخرسانة المسلحة فى اقامة وانشاء المبانى الصناعية ذات الطابق الواحد والمتعددة الطوابق (شكل ٢) ، محطات توليد الطاقة الكهربائية الحرارية (شكل ٣) ، مختلف انواع المستودعات والمخازن ، المبانى المدنية المتنوعة الاغراض بما فى ذلك العمارات السكنية (شكل ٤) ، المنشآت الزراعية وغيرها .



شكل ٢ . الانشاء التصميمى لمبنى صناعى ذى طابق واحد



شكل ٣ . الانشاء التصميمى لمحطة توليد الطاقة الكهربائية الحرارية

وتستخدم الخرسانة المسلحة ايضا فى انشاء السقوف الرقيقة الجدران (التصاميم القشرية – shells) للمبانى الصناعية والمدنية ذات المجازات او الابواع الطويلة (spans) كما مبين فى الشكل ٥ . كما تستخدم الخرسانة المسلحة على نطاق واسع فى الانشاءات والمبانى الهندسية مثل : صوامع الغلال (silos) ، مخازن الوقود (bunkers) ، خزانات المياه ،

المداخن (smoke stacks) وغيرها . وتستخدم الخرسانة المسلحة على نطاق واسع فى منشآت النقل والمواصلات الخاصة بالقطارات تحت الارضية (القطارات الجوفية) ، الجسور والكبارى والانفاق على طرق السيارات والسكك الحديدية ؛ وفى منشآت الطاقة الخاصة بالمحطات الكهربائية المائية لتوليد القدرة ، محطات الطاقة الذرية والمفاعلات الذرية ؛ وفى منشآت الرى الخاصة بانظمة رى الاراضى الزراعية ؛ وفى صناعة التعدين لاجل اقامة المنشآت العلوية للمناجم واسناد وتقوية الانفاق تحت الارضية وغير ذلك من المنشآت الاخرى .

ان كمية الفولاذ المستهلكة فى انتاج القطع الخرسانية المسلحة الطولية تقل بمقدار يتراوح بين ٢ – ٣ مرات عما هى عليه فى الانشاءات المعدنية .

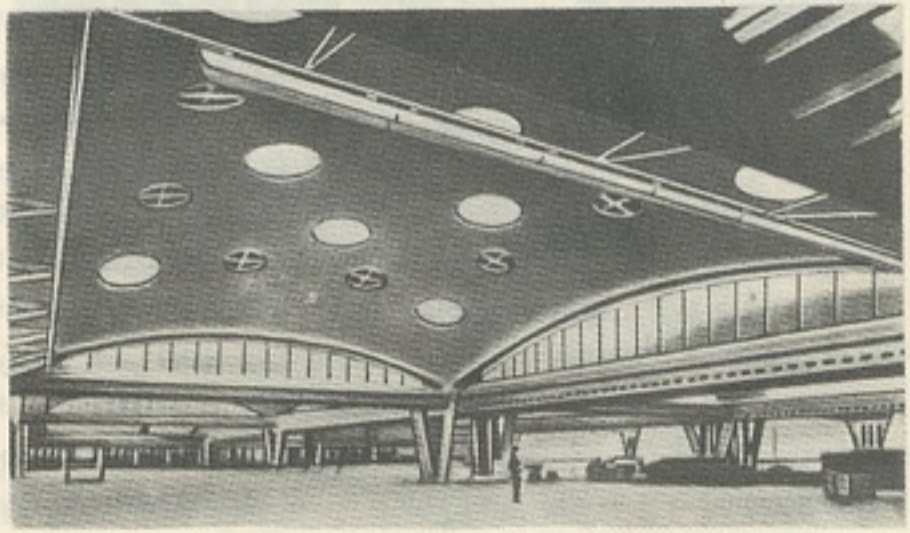
وتقل كمية الفولاذ المستخدمة فى انتاج الارضيات ، المواسير ، مخازن الوقود وغيرها من الانشاءات الخرسانية المسلحة الاخرى ، بمقدار عشر مرات عما هى عليه فى الانشاءات اللوحية الفولاذية المناظرة .

ان الجمع المنطقى بين استخدام القطع الخرسانية المسلحة ، والقطع المعدنية وغيرها من القطع الاخرى ، والاستفادة الصحيحة من افضل خواص كل مادة انشائية ، يعتبر ذا اهمية كبيرة بالنسبة للاقتصاد الوطنى .

ومن حيث طريقة الانتاج هناك انواع مختلفة من الانشاءات الخرسانية المسلحة هى : القطع الخرسانية المسلحة السابقة الصنع (precast) التى تنتج فى مصانع خاصة ثم تركب فى مواقع البناء ؛ الانشاءات الخرسانية المسلحة المصبوبة فى الموقع ، التى تقام فى موضع الانشاء المخصص لذلك والانشاءات الخرسانية المسلحة المركبة (composite) المؤلفة من قطع خرسانية مسلحة سابقة الصنع ومن خرسانة مصبوبة فى نفس الوقت . ان الانشاءات المؤلفة من قطع خرسانية مسلحة سابقة الصنع تفى الى اقصى درجة بمتطلبات تصنيع البناء . واستخدام الخرسانة المسلحة السابقة الصنع يساعد بصورة جوهرية على تحسين نوعية الانشاءات وتقليل الجهود المبذولة فى البناء عدة مرات بالمقارنة مع الانشاءات المقامة من الخرسانة المصبوبة فى الموقع ، كما يقلل ، بل ينفى فى حالات كثيرة كل حاجة الى المواد المستهلكة فى اقامة الاسقالات المؤقتة (scaffolds) والقوالب المؤقتة (formworks) ، وكذلك يختصر المواعيد الزمنية للانشاء بصورة حادة . ان عملية البناء باستخدام الخرسانة المسلحة السابقة الصنع يمكن ان تجرى على مدار السنة دون توقف ، بما فى ذلك فصل الشتاء دون زيادة ملحوظة فى تكاليف الانشاء ، فى الوقت الذى نجد فيه أن عملية الانشاء باستخدام الخرسانة المسلحة المصبوبة فى الموقع ، تتميز بطابع فصلى (تبعا لفصول السنة) وهى تحتاج فى الشتاء الى تكاليف اضافية باهضة (تتعلق بتدفئة الخرسانة فى مرحلة تصلبها وغير ذلك) .



شكل ٤ . الانشاء التصميمى لعمارة سكنية



شكل ٥ . الانشاء التصميمى لاحد المبانى الخرسانية المسلحة القشرية

ونظرا لاعمال الانشاء الهائلة النطاق التى تتم فى كافة انحاء العالم تقريبا ، اخذت الحاجة تدعو الى استخدام طرق انشاء اكثر تقدما ، تتميز بانتاجية عالية .

ان القرار الذى اتخذته اللجنة المركزية للحزب الشيوعى السوفييتى ومجلس الوزراء فى الاتحاد السوفييتى عام ١٩٥٤ حول « تطوير انتاج التصاميم والقطع الخرسانية المسلحة السابقة الصنع لاغراض البناء » والاجراءات اللاحقة المتخذة فى هذا المجال ، بينت ملامح التطور السريع لانتاج التصاميم والقطع الانشائية فى المصانع . وقد ساعد تطور الصناعة الثقيلة وكثافة انتاج المكنات والآليات الاخرى على توفير الصناعة الانشائية (صناعة البناء) باستخدام المكنات والآليات لانتاج وتركيب التصاميم والقطع الخرسانية المسلحة السابقة الصنع . وقد ادى ذلك الى حدوث تغييرات جذرية فيما يتعلق باستخدام الخرسانة المسلحة السابقة الصنع ووضع أساس متين لمرحلة جديدة فى البناء .

وخلال فترة زمنية قصيرة ، تم فى الاتحاد السوفييتى خلق فرع جديد لصناعة البناء — انتاج الخرسانة المسلحة السابقة الصنع فى المصانع والمعامل . ومن حيث مستوى انتاج الخرسانة المسلحة السابقة الصنع ، نجد ان الاتحاد السوفييتى يشغل المكان الاول فى العالم فى هذا المضمار . وفى عام ١٩٧٥ على سبيل المثال ، وصل معدل انتاج الخرسانة المسلحة السابقة الصنع الى ١١٤ مليون متر مكعب .

واستنادا الى القرارات اللاحقة التى اتخذتها الحكومة السوفييتية ، يتم فى الوقت الحاضر اتقان انتاج الانشاءات الخرسانية السابقة الصنع فى عملية البناء ، والانتقال الى استخدام الانشاءات الاكثر تقنية والاخف مادة ، بما فى ذلك الانشاءات الرقيقة الجدران ، مع استخدام الخرسانة المحتوية على اخلاط مسامية ، قضبان تسليح فولاذية عالية المقاومة ، انواع خاصة من الاسمنت وغير ذلك .

٣ — نبذة تاريخية مختصرة عن نشوء وتطور الخرسانة المسلحة

ان نشوء وتطور التصاميم الانشائية بما فى ذلك الانشاءات الخرسانية المسلحة ، على صلة وثيقة بظروف الحياة المادية للمجتمع وتطور القوى المنتجة والعلاقات الانتاجية . ويتفق ظهور الخرسانة المسلحة مع مرحلة النمو المطرد للصناعة ، التجارة والمواصلات فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر ، عندما برزت الحاجة الى انشاء عدد كبير من المعامل والمصانع والجسور والكبارى والموانىء وغيرها من المنشآت الاخرى .

وقد كانت الامكانيات الفنية لانتاج الخرسانة المسلحة قد توفرت فى ذلك الوقت ، حيث كانت صناعة الاسمنت وصناعة الحديد والفولاذ متطورتين بما فيه الكفاية .

مرحلة نشوء الخرسانة المسلحة (١٨٥٠ – ١٨٨٥).ان هذه المرحلة تتميز بظهور الانشاءات الاولى من الخرسانة المسلحة بالقضبان الفولاذية فى فرنسا (لامبو – ١٨٥٠ ، كوانيه – ١٨٥٤ ، فونيه ١٨٦٧ – ١٨٨٠) وفى انجلترة (ويلكنسون – ١٨٥٤) وفى الولايات المتحدة الامريكية (جيات ١٨٥٥ – ١٨٧٧) .

مرحلة استيعاب الخرسانة المسلحة (١٨٨٥ – ١٩١٧).فى هذه المرحلة استخدمت الخرسانة المسلحة فى حالات خاصة فى البلدان المتطورة اقتصاديا مثل انجلترة ، فرنسا ، الولايات المتحدة الامريكية ، المانيا ، روسيا . وقد استخدمت الخرسانة المسلحة فى ارضيات وسقوف المبانى الصناعية ، المواسير المطمورة (buried pipes) ، الآبار ، الجدران ، خزانات المياه ، الجسور والكبارى ، المعابر الفوقية (overpasses) ، الجسور المنصبية القائمة على مناصب (trestles) ، الانشاءات التحصينية وغيرها .

ان خلق المبادىء النظرية الاولى لحساب وتحليل الخرسانة المسلحة وقواعد تصميمها ، اصبح ممكنا بفضل ابحاث كل من الباحثين والمهندسين : كونسيدير ، جينيبيك (فرنسا) ؛ كيونين ، ميورش (المانيا) وغيرهم من المهندسين الآخرين . وبحلول نهاية القرن التاسع عشر ، تكونت بصورة عامة نظرية حساب وتصميم الخرسانة المسلحة بواسطة الاجهادات المسموح بها (allowable stresses) والمبنيّة على طرق مقاومة المواد المرنة .

وفى روسيا تطورت الإنشاءات والتصاميم الخرسانية المسلحة بتأثير الخبرة الاجنبية والممارسة العملية فى الداخل . وفيما يتعلق بالممارسة العملية فى روسيا ، فقد كانت هناك اهمية كبيرة للتجارب والاختبارات النموذجية التى اجراها الاستاذ المهندس ن . بيليليوبسك عام ١٨٩١ لمجموعة من التصاميم الانشائية المنوعة (البلاطات – slabs ، خزانات المياه ، العقود – arches ، المواسير ، صومعة الغلال السابقة الصنع ، الجسر القنطرى – arch bridge) ؛ وكذلك كانت على درجة كبيرة من الاهمية تلك الآراء والاقتراحات الخاصة باتقان الاشكال التصميمية للخرسانة المسلحة ، وخاصة الابحاث التى يقوم بها الاستاذ ن . أبراموف فيما يتعلق بالتسليح الحلزونى للاعمدة على هيئة « خرسانة داخل اطواق » وكذلك ابحاث الاستاذ ف . نيكراسوف الخاصة بالتسليح غير المباشر للقطع المعرضة للانضغاط ؛ ابحاث الاستاذ أ . ستراوس المتعلقة بانتاج الخوازيق (الركائز) الخرسانية والخرسانية المسلحة المدقوقة فى الارض ؛ ابحاث الاستاذ أ . لوليت الخاصة بتصميم وحساب الارضيات الخالية من العوارض او العتبات (qirderless floors) فى عام ١٩٠٩ ؛ واعمال الاستاذ ن . مولوتيلوف فيما يتعلق بالبلاطات الخرسانية المسلحة السابقة الصنع المسطحة (المصمتة والمجوفة القلب) المستخدمة فى الارضيات والسقوف ؛ والابحاث الفريدة فى نوعها

التى اجراها الاساتذة ى . بودولسكى ، ج . بيريديرى ، س . دروجينين ، ج . كريفوشيين والكثير غيرهم .

المرحلة الاولى لاستخدام الخرسانة المسلحة فى الاتحاد السوفييتى (١٩١٨ – ١٩٤٥) . فى هذه المرحلة انتشر استخدام الخرسانة المسلحة على نطاق واسع جدا فى الصناعة وفى الانشاءات الهيدرولية .

وبعد ثورة اكتوبر حدثت تغييرات جذرية فى الاقتصاد الوطنى . فقد وضعت امام الشعب السوفييتى مهام اعادة بناء الوطن وانجاز خطط ومشاريع الانشاءات الرئيسية . ان انجاز الخطط المذكورة ارتبط باستخدام الخرسانة المسلحة على اوسع نطاق .

وفى نهاية العشرينات من القرن الحالى شكلت هيئات تخطيطية على نطاق الاتحاد السوفييتى ، قامت بوضع تصاميم المصانع الضخمة فى البلاد . وفى الوقت نفسه ، أسست معاهد ومختبرات للابحاث العلمية الخاصة بمشاريع البناء ، وقد اجريت فيها ابحاث كثيرة بالنسبة للخرسانة المسلحة والخرسانة العادية .

ونظرا لنطاق الانشاء الواسع فى الخطة الخمسية الاولى ومسائل الاقتصاد فى المعدن استخدمت الخرسانة المسلحة على نطاق واسع كبديل للانشاءات المعدنية . وفى تلك المرحلة الزمنية بسطت الخرسانة المسلحة نفوذها فى مجال المبانى والانشاءات الصناعية . وفى تلك الاثناء كانت تنتج الارضيات والسقوف العتبية (ذات العوارض) المتواصلة المصبوبة فى الموقع ، الانشاءات الاطارية المتعددة الابواع (multispan) والمتعددة الطوابق (multistage) ، العقود وغيرها من الانشاءات والتصاميم المماثلة لتستخدم فى بناء ورشات عدد من المصانع المقامة فى مختلف انحاء الاتحاد السوفييتى ، وكذلك فى اقامة المنشآت الهندسية المعقدة التصاميم (المصاعد ، صوامع الغلال وغيرها) . وفى عام ١٩٢٨ ظهرت اولى الانشاءات والتصاميم الخرسانية المسلحة السابقة الصنع . التى استخدمت فى بناء المصانع المختلفة فى موسكو والاورال واوكرانيا بالاضافة الى المحطة الهيدروكهربائية لتوليد القدرة فى نيجنيسفيرسك . كما تم البدء فى استخدام التصاميم السقفية المجسمة الرقيقة الجدران المصبوبة : مثل القبب (القبة الفلكية الاصطناعية فى موسكو ١٩٢٩ ، المسارح فى نوفوسيبيرسك ١٩٣٤ وفى موسكو ١٩٣٩) ، الطيات (folds) ، الانشاءات القشرية الاسطوانية (مجمع صناعة الالومنيوم فى دنيبروبتروفسك) والمظلات فوق مداخل العمارات (marquee) .

ان استيعاب واتقان الحلول التصميمية الحديثة اقترن بوضع مبادىء نظرية حساب وتصميم العتبات والانشاءات الاطارية المتعددة الابواع (المهندسان إ . رابينوفج ،

ب . جيموجكين وغيرهما) ، تصميم الانشاءات القشرية (المهندسون ف . فلاسوف ، أ . جفوزديف ، ب . باستيرناك وغيرهم) ، تصميم البلاطات ، الالواح (plates) وغيرها من التراكيب الانشائية الاخرى .

وقد جرى تعميم خبرة انشاء المبانى من الخرسانة المسلحة السابقة الصنع فى عام ١٩٣٣ ضمن « التعليمات المؤقتة الخاصة بالانشاءات الخرسانية المسلحة » التى وضعت فى ذلك الوقت ، مع الاخذ فى الاعتبار تصنيع عملية البناء ، توحيد مقاييس القطع الانشائية للمبانى الصناعية استنادا الى المقاييس المقررة للابواع (وهى ١٢، ١٥، ١٨، ٢١، ٢٤، ٢٧، ٣٠ م) مع وجود خطوة (فسحة طولانية) موحدة (longitudinal spacing) للانشاءات الحاملة قدرها ٦ م .

وقد تم شرح الانجازات الاولى فى حقل الخرسانة المسلحة السابقة الصنع فى عدد من الابحاث العلمية ، الرسائل العلمية ذات الموضوع الواحد والكتب الدراسية التى نشرت فى ذلك الوقت لكل من الاساتذة س . دافيدوف ، أ . فاسيليف ، ك . ساخنوفسكى ، ف . بوشكوف وغيرهم .

وقد تطورت كثيرا طرق الانتاج الصناعية للخليط الخرسانى وطرق نقله وصبه (أبحاث الاساتذة ن . بيليايف ، ب . بكرامتايف ، إ . الكساندرين وغيرهم) كما وضعت اساليب وطرق التغطية بالخرسانة فى فصل الشتاء ، ووحدت مقاييس القوالب المؤقتة لصب الخرسانة .

وبتطور اعمال الانشاء اتضحت للعيان عيوب حساب وتصميم الخرسانة المسلحة كمادة مرنة حسب شروط الاجهادات المسموح بها . ولازالة هذه العيوب ، وضع الاستاذ أ. لوليت فى نهاية عام ١٩٣١ المبادىء الاساسية للنظرية الحديثة لحساب وتصميم الخرسانة المسلحة بواسطة قوى الانهيار (collapsing forces) . وتنص هذه المبادىء على انه عند انحناء العتبة الخرسانية المسلحة ، تصل الاجهادات فى كل من قضبان التسليح الفولاذية والخرسانة الى قيمتها القصوى فى مرحلة الانهيار نتيجة لتطور الانفعالات او التشوهات اللدنة (plastic strains) الامر الذى يحدد كذلك قيمة عزم الانهيار (collapsing moment) . وللتأكد من صحة النظرية الجديدة ، اجريت فى مختبر الانشاءات الخرسانية المسلحة الحكومى ، تجارب واسعة وابحاث نظرية شاملة ، ساعدت على وضع نظرية حديثة مبدئيا لحساب وتسليح الانشاءات الخرسانية المسلحة . وقد شملت طريقة التصميم بحساب السعة الحملية ، القطع الخرسانية المسلحة اللامركزية الانضغاط (ابحاث الاستاذ م . بوريشانسكى) والانشاءات الخرسانية المسلحة ذات قضبان التسليح الجاسئة (ابحاث الاستاذ أ. فاسيليف) .

وقد اصبحت هذه النظرية أساسا للمواصفات القياسية والفنية الجديدة الصادرة عام ١٩٣٨ ، والتى بموجبها سبق الاتحاد السوفييتى غيره من الدول بعشرات السنوات ، باستخدامه لاول مرة طريقة تصميم القطع الخرسانية المسلحة بحساب مراحل الانهيار .

وبالنسبة لتطور نظرية تصميم الخرسانة المسلحة وتطبيقاتها فى الاتحاد السوفييتى ، فقد لعبت دورا كبيرا الابحاث العلمية الهامة للعلماء السوفييت (أ . جفوزديف ، ف . موراشوف ، ب . باسترناك ، ف . ميخائيلوف ، و . بيرج ، ى . ستولاروف وغيرهم) .

ان ابحاث هؤلاء العلماء الخاصة ، وابحاث جماعة المهندسين الذين اشرف عليهم العلماء المذكورون ، ساعدت على حل الكثير من المسائل المعقدة .

ان فكرة البحث عن خرسانة مسلحة سابقة الاجهاد ، اكثر مقاومة وتحملا ، كانت قد طرحت من قبل فى نهاية القرن الماضى ، واكتسبت فى الثلاثينات من القرن الحالى اهمية عملية بفضل ابحاث الاستاذين فريسينيه (فرنسا) وهو بير (المانيا) وغيرهما من الاساتذة الآخرين . ويعود تاريخ ظهور الخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد فى الاتحاد السوفييتى الى عام ١٩٣٠ ، عندما بدأ الاستاذ ف . ميخائيلوف باجراء ابحاث تجريبية واسعة . وسرعان ما بدأ الكثير من العلماء والمهندسين السوفييت فى ذلك الوقت (مثل أ . جفوزديف ، س . دميتريف ، أ . كوروفكين وغيرهم) فى بحث ودراسة مسائل نظرية حساب وتصميم الانشاءات السابقة الاجهاد .

وابتداء من عام ١٩٤٠ اخذ ف . موراشوف يبنى نظرية مقاومة الخرسانة المسلحة للتشقق والجسوءة التى كانت قد حصلت على اعتراف شامل .

المرحلة الثانية – وهى مرحلة الاستخدام الواسع النطاق للخرسانة المسلحة ، التى بدأت فى الاتحاد السوفييتى بعد الحرب العالمية الثانية (١٩٤٥) ولا تزال مستمرة لحد الآن .

لقد اصبحت الخرسانة المسلحة أساسا ليس للانشاءات الصناعية والهندسية الهيدرولية فحسب ، بل وكذلك للانشاءات والمبانى السكنية والمدنية ، طرق المواصلات والنقل ، منشآت الطاقة الحرارية ، المنشآت الخاصة بالاغراض الزراعية وغيرها . وباستخدام الخرسانة المسلحة السابقة الصنع ، حدث انقلاب فى الهندسة الانشائية (هندسة البناء) . وبفضل ذلك انجزت مهمات انشاء المبانى الرئيسية ، المقررة فى الخطط الخمسية لتطوير الاقتصاد الوطنى فى الاتحاد السوفييتى . وظهرت صناعة وانتاج القطع الخرسانية المسلحة فى المصانع . كما ارتفعت مقاومة ومتانة مواد البناء المستخدمة فى ذلك . وتم تشكيل حظيرة للمعدات الآلية لتركيب واقامة المبانى . واحرز تقدم كبير ايضا فى مجال حساب وتصميم الانشاءات الخرسانية

المسلحة غير المحددة استاتيا (statically indeterminate) مع الاخذ فى الاعتبار الانفعالات (التشوهات) غير المرنة بطريقة التوازن الحرج (النهائى) . ومن العلماء الذين عملوا فى هذا المجال فى الاتحاد السوفييتى الاستاذ أ . جفوزديف والاستاذ س . كريلوف وغيرهما .

ان الابحاث الخاصة بنظرية زحفان الخرسانة (concrete creep) التى قام بها الاساتذة السوفييت : إ . اوليتسكى ، م . أروتونيان ، أ . شيكين ، ن . بودانوف وغيرهم ، تقدمت بصورة جوهرية فيما بعد بفضل الابحاث التى اجراها العلماء السوفييت : أ . جفوزديف ، ب . فاسيليف ، س . الكساندروفسكى وغيرهم .

وقد اغتنت خبرة حساب وتصميم الانشاءات تحت الارضية – مثل منشآت القطارات الجوفية والانفاق المختلفة الاغراض – بالآراء والنظريات الجديدة التى تضمنتها ابحاث الاستاذ س . دافيدوف وغيره . وفى الخمسينات من القرن الحالى ، وضعت نظرية حساب وتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة الصامدة للحرارة (المقاومة للنيران) فى حالة تعرضها لدرجات الحرارة العالية (ف . موراشوف ، أ . ميلوفانوف وغيرهما) . وفى هذه المرحلة تعرضت الاشكال التصميمية لتغيرات كبيرة نظرا للتحول الى الانشاءات من القطع السابقة الصنع وبناء على استيعاب واتقان الاجهاد المسبق للقطع الانشائية ، وهو ما يتبع الآن فى كافة المصانع التى تنتج فيها هذه القطع تقريبا . وظهرت تصاميم حديثة للمبانى الخرسانية المسلحة الهيكلية واللوحية المتعددة الطوابق ، المكونة من قطع انشائية سابقة الصنع فى المصانع الخاصة بها ، ووضعت نظرية جديدة لحساب هذه الانشاءات وتصميمها .

وقد نظمت عملية تصميم الانشاءات النموذجية ووضعت سلسلة من اصناف القطع الخرسانية المسلحة النموذجية السابقة الصنع لاجل الانتاج العام والاستخدام فى عمليات البناء ..

اما التطور اللاحق فى نظرية الخرسانة المسلحة فى الاتحاد السوفييتى ، فقد تمثل فى وضع واستخدام طريقة موحدة لحساب وتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة بواسطة الحالات الحدية (النهائية) وذلك منذ عام ١٩٥٥ . وقد اختتم وضع هذه الطريقة بظهور المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى لعام ١٩٦٢ ، التى تمت اعادة النظر فيها جزئيا فى عام ١٩٦٨ .

وقد عممت فى هذه المواصفات القياسية ، نتائج أبحاث كل من الاستاذين ك . ميخائيلوف و ن . مولين الخاصة بالانواع الجديدة من قضبان التسليح الفولاذية ، هذا بالاضافة الى الابحاث الاخرى المشار اليها سابقا ، وابحاث الاستاذ س . دميتريف وغيره ، المتعلقة بحساب وتصميم القطع الخرسانية المسلحة ، وابحاث الاستاذين أ . فاسيليف و ج . بيرديجيفسكى وغيرهما المتعلقة بالحلول التصميمية للانشاءات وابحاث الاساتذة

س . ميرونوف ، ف . موسكفين و إ . فرينكل الخاصة بطرق صناعة وانتاج الخرسانة الثقيلة ، وابحاث الاستاذ نيكراسوف المتعلقة بالخرسانة الصامدة للحرارة (المقاومة للنيران) ، وابحاث الاستاذ ج . بوجيفيج المتعلقة بالخرسانة الخفيفة ، وابحاث الاستاذ ماكاريجيف الخاصة بالخرسانة ذات الخلايا الهوائية ، اى الخرسانة المهوّاة (cellular concrete) وكذلك ابحاث الكثير من العلماء السوفييت الآخرين .

وتتميز هذه المرحلة بمشاركة المعاهد الواسعة فى وضع وتطبيق استخدام انواع حديثة من الانشاءات الخرسانية المسلحة ووضع وتطبيق نظريات جديدة للخرسانة المسلحة . وعلى سبيل المثال : فى معهد الهندسة المدنية فى موسكو (ف . بايكوف – السلوك الموحّد للقطع الانشائية السابقة الصنع فى الانظمة الانشائية المستوية ؛ ب . دروزدوف و ا . سيجالوف – نظرية حساب وتصميم العمارات المدنية ذات الطوابق العديدة ؛ ك . أنطونوف – اقتصاديات الانشاءات الخرسانية المسلحة فى مرحلة تصميمها ؛ إ . تريفونوف – السلوك الحيزّى (spatial) للابواع فى الجسور المنصية والقناطر ؛ ن . بوبوف – الانشاءات الخرسانية المسلحة عند تعرضها لتأثير الاحمال الدينامية الدفعية) ؛ وفى معهد مهندسى النقل والمواصلات فى موسكو (س . دافيدوف – الخرسانة المبلمرة والانشاءات التى تدخل فى تركيبها هذه الخرسانة) ؛ وفى المعهد العالى للفنون التطبيقية بالمراسلة فى موسكو (أ . أفيجكين – تصميم القبب بواسطة الحالات الحدية) ؛ وفى معهد الهندسة المدنية فى لينينغراد (ن . بانارين – مسائل زحفان الخرسانة ؛ أ . بافلوف – حالات الاجهاد فى بعض السقوف المجسمة ؛ ن . أنوفريف – الانظمة المستخدمة فى تعزيز الانشاءات الخرسانية المسلحة) ؛ وفى معهد الهندسة المدنية فى بلتافيا (م . توريانيك – الانحناء غير المتماثل والانضغاط اللامحورى) ؛ وفى المعهد العالى للفنون التطبيقية فى شليابينسك (أ . أوتول – تلاصق قضبان التسليح الفولاذية مع الخرسانة) وفى غيرها من المعاهد السوفييتية الاخرى فى انحاء البلاد .

وفى الفترة بين ١٩٧١ – ١٩٧٥ اجريت تنقيحات جذرية على المواصفات القياسية للبناء ، حيث احتوت بعد ذلك على مجمل النتائج التطبيقية للتصاميم والابحاث العلمية .

وقد احتوى برنامج اللجنة المركزية للحزب الشيوعى السوفييتى الخاص بذلك على مسائل التطور السريع والاتقان الفنى لصناعة البناء وصناعة مواد البناء والوصول بهما الى الحد الذى يؤمن حاجة الاقتصاد الوطنى فى مرحلة خلق القاعدة المادية الصناعية لبناء الشيوعية . ان حل هذه المسائل يتم بواسطة التقدم الصناعى (التكنيكى) ، استيعاب وتطوير صناعة البناء ، استخدام القطع الانشائية الخرسانية المنتجة فى المصانع لاغراض البناء ، زيادة حجم الانشاءات والمبانى الرئيسية وتحسين نوعيتها وخفض تكاليفها . ويرتبط انجاز هذه الاجراءات

والمهمات بتطور الانشاءات الخرسانية المسلحة ، بالابحاث الحديثة فى نظرية الخرسانة المسلحة ، بالبحث عن اشكال تصميمية اكثر تطورا فى المستقبل ، باستيعاب واتقان تكنولوجية انتاج وتركيب الانشاءات الخرسانية المسلحة .

وقد نصّت « الاتجاهات الاساسية لتطوير الاقتصاد الوطنى فى الاتحاد السوفييتى للفترة بين ١٩٧٦ – ١٩٨٠ » التى اقرها المؤتمر الخامس والعشرون للحزب الشيوعى السوفييتى ، على الاسراع فى سير التقدم العلمى التكنيكى ، نمو انتاجية العمل ، تحسين نوعيته فى كافة مرافق الاقتصاد الوطنى . وأشير الى العمل فى المستقبل على رفع مستوى تصنيع البناء ، درجة الاتقان الصناعى للتصاميم الانشائية ، توسيع نطاق التطبيق العملى للانشاءات فى القطع الانشائية السابقة الصنع وتركيبها فى المبانى الصناعية والمدنية ، بما فى ذلك اللجوء الى استخدام الانشاءات الهيكلية المجسمة ، الانشاءات الخرسانية المسلحة الفعالة المنتجة من انواع الخرسانة العالية المقاومة والخرسانة المنتجة من أخلاط مسامية خفيفة .

الفصل الاول

الخواص الطبيعية والميكانيكية الاساسية للخرسانة وقضبان التسليح والخرسانة المسلحة

البند الاول
الخرسانة

١ – الخرسانة المستخدمة فى الانشاءات الخرسانية المسلحة

ان الخرسانة باعتبارها مادة داخلة فى تركيب الانشاءات الخرسانية المسلحة ، يجب ان تتميز بخواص ميكانيكية وطبيعية محددة تماما ومعلومة سلفا ، مثل : المقاومة (المتانة) المطلوبة ، التلاصق الجيد مع قضبان التسليح ، الكثافة الكافية (السدودية للماء) لحماية قضبان التسليح من التأكل .

واستنادا الى مهمة الانشاء الخرسانى المسلح وظروف استثماره وتشغيله ، يجب ان تفى الخرسانة بالمتطلبات الخاصة التالية ، بالاضافة الى ما سبق : الصمود للصقيع (frost resistance) عند عمليات التجمد والذوبان المتتالية المتكررة (على سبيل المثال ، فى الواح الجدران الخارجية للمبانى ، فى الانشاءات المكشوفة وغيرها) ، الصمود للحرارة فى حالة تعرض الانشاء لدرجات الحرارة العالية لفترة زمنية طويلة ، مقاومة التأكل فى حالة وقوعها فى بيئة اكالة (corrosive enviroment) وغير ذلك .

وتقسم الخرسانة الى عدة انواع تبعا للعوامل التالية :

أ – من حيث **التركيب** (البنية) تقسم الى : خرسانة كثيفة ، وفيها تكون الفراغات الموجودة بين حبيبات الاخلاط ، مملوءة تماما بالمادة الرابطة ؛ خرسانة كبيرة المسامات ، اى مؤلفة من اسمنت وحصباء (no-fines concrete) تحتوى على كمية قليلة من الرمل او خالية منه تماما ؛ خرسانة ذات مسامات مستحثّة (induced-porisity-concrete) اى خرسانة تحتوى على أخلاط وعلى مادة رابطة متجمدة تستحث فيها المسامات بطريقة اصطناعية ؛ خرسانة مهواة ، تحتوى على مسامات مغلقة تشكل بطريقة اصطناعية .

ب – من حيث **معدل الكثافة** (وحدة الوزن الحجمى – bulk unit weight) تقسم الى : خرسانة ثقيلة جدا يزيد معدل كثافتها على ٢٥٠٠ كجم /م^{٣} ؛ خرسانة ثقيلة يزيد معدل كثافتها على ٢٢٠٠ كجم /م^{٣} ويصل الى ٢٥٠٠ كجم /م^{٣} ؛ خرسانة متوسطة

الوزن يزيد معدل كثافتها على ١٨٠٠ كجم /م٣ ويصل الى ٢٢٠٠ كجم /م٣ ، خرسانة خفيفة الوزن يزيد معدل كثافتها على ٥٠٠ كجم /م٣ ويصل الى ١٨٠٠ كجم /م٣ .

جـ – من حيث **نوعية الاخلاط** ، تقسم الى : خرسانة ذات اخلاط مصمتة (غير مسامية) ؛ خرسانة ذات أخلاط مسامية ؛ خرسانة ذات اخلاط خاصة تفى بمتطلبات وشروط الوقاية البيولوجية ، الصمود للحرارة وغير ذلك .

د – من حيث **التركيب الحبيبى** ، تقسم الى : خرسانة خشنة الحبيبات (coarse concrete) ذات اخلاط خشنة ودقيقة ؛ خرسانة دقيقة الحبيبات (fine concrete) ذات اخلاط دقيقة (fine aggregates) .

ه – من حيث **ظروف التصلب** ، تقسم الخرسانة الى : خرسانة طبيعية التصلب ؛ خرسانة معرضة للمعاملة بالحرارة والترطيب وهى المعاملة التى تسمى الانضاج بالترطيب (moist curing) عند الضغط الجوى العادى ؛ خرسانة معرضة للمعاملة بالبخار ، وهى المعاملة التى تسمى الانضاج بالبخار (steam curing) عند ضغط عال .

ولاجل الاختصار اطلقت الاسماء التالية على انواع الخرسانة المستخدمة فى الانشاءات الخرسانية المسلحة الحاملة ، فى الاتحاد السوفييتى :

الخرسانة الثقيلة – وهى خرسانة كثيفة البنية (مصمتة) وثقيلة ، تدخل فى تركيبها الاخلاط المصمتة ، خشنة الحبيبات ، مادتها الرابطة من الاسمنت ، وتتصلب فى مختلف الظروف .

الخرسانة ذات الاخلاط المسامية – وهى خرسانة كثيفة البنية مصمتة ، متوسطة الوزن او خفيفة ، تدخل فى تركيبها الاخلاط المسامية ، خشنة الحبيبات ، مادتها الرابطة هى الاسمنت ، تتصلب فى مختلف الظروف .

ومن الاخلاط المستخدمة فى تركيب الخرسانة الثقيلة ، هو الدبش (rubble) المتكون من كسارة الصخور المختلفة – الحجر الرملى ، الجرانيت ، الديابيز (صخر نارى محبب) وغير ذلك ، والرمل الكوارتزى الطبيعى (quartz sand) .

والاخلاط المسامية قد تكون طبيعية – مثل البيرليت ، الخفاف (اى الزجاج البركانى المتحجر) ، الصخور الصدفية وغيرها ، او تكون اصطناعية – مثل الكيرامزيت ، الخبث وغير ذلك . وتوجد انواع متعددة من الخرسانة تبعا لنوع الاخلاط المسامية المستخدمة ، ومنها خرسانة الكيرامزيت ، خرسانة الخبث ، خرسانة البيرليت وغير ذلك .

ان الخرسانة ذات المسامات المستحثة والخرسانة المهواة (اى المحتوية على خلايا هوائية) وكذلك الخرسانة ذات الاخلاط الخفيفة ، التى يبلغ معدل كثافتها ١٤٠٠ كجم /م٣ واقل ، تستخدم على الاغلب فى انشاء الجدران المحيطة (الاسوار) . اما انواع الخرسانة

الثقيلة جدا ، فتستخدم فى الانشاءات الخاصة بالوقاية البيولوجية من الاشعاعات . وتستخدم انواع الخرسانة الدقيقة الحبيبات بصورة اساسية للفواصل فى الانشاءات من القطع الخرسانية السابقة الصنع . ولاجل الحصول على خرسانة تتميز بالمقاومة المطلوبة وتفى بشروط المتانة او التحملية اللازمة ، يتم اختيار المواد التركيبية (المركبات) التالية تبعا لنسبها الكمية وهى : انواع الاسمنت المختلفة ، الاخلاط الخشنة والناعمة الحبيبات ، المواد الاضافية المنوعة التى تساعد على سهولة صب الخرسانة او الصمود للصقيع (frost resistance) وغير ذلك .

وهناك عوامل كثيرة تؤثر على مقاومة الخرسانة ، منها : التركيب الحبيبى (ويتم اختياره بحيث يكون حجم الفراغات فى المزيج الخرسانى اقل ما يمكن) ، مقاومة الاخلاط وطبيعة سطحها الخارجى ، ماركة الاسمنت (cement grade) وكميته ، كمية الماء المضاف وغير ذلك .

وعندما يكون السطح الخارجى للاخلاط خشنا وذا نتوءات بارزة ، تزداد درجة تلاصقها مع الملاط الاسمنتى (cement mortar) ، لذلك نجد أن انواع الخرسانة التى يدخل فى تركيبها الدبش اى كسارة الحجارة تكون اعلى مقاومة من انواع الخرسانة التى يدخل فى تركيبها الحصى (gravel) .

ان المسائل الخاصة باختيار تركيب الخرسانة ، تبحث فى الكتب الدراسية لمواد البناء (building materials) . ويتم التوصل الى المقاومة الضرورية للخرسانة ، باختيار التركيب الحبيبى ، بالرصّ الجيد للمزيج الخرسانى عند صبّه او تشكيله فى القوالب وباستخدام كمية كافية من الاسمنت ، تتراوح بين ٢٥٠ – ٥٠٠ كجم /م٣ . ان زيادة كثافة الخرسانة تؤدى الى زيادة مقاومتها ايضا . وللتقليل من كمية الاسمنت المستهلكة ، يجب ان تكون ماركته (صنفه) اعلى من درجة المقاومة المطلوبة للخرسانة .

٢ – بنية الخرسانة وتأثيرها على مقاومتها وسلوكها عند الاجهاد والانفعال

لبنية الخرسانة تأثير كبير على مقاومتها وسلوكها عند الاجهاد والانفعال . ولايضاح هذه المسألة ، نبحث مخطط العملية الكيميائية الطبيعية لتكوين الخرسانة .

عندما يؤدى الماء المضاف الى تصلب المزيج المؤلف من الاخلاط والاسمنت ، تبدأ العملية الكيميائية لاتحاد معادن الاسمنت مع الماء ، ونتيجة لهذه العملية يتكون الجلّ (gel) – مادة غروانية هلامية القوام ، مسامية الكتلة ، مع وجود دقائق اسمنتية معلقة فى الماء لم تدخل فى التفاعل الكيميائى بعد ، ومركبات كيميائية كثيرة على هيئة بلورات . واثناء عملية

خلط المزيج الخرسانى ، يقوم الجل بتغليف دقائق الاخلاط المنفردة ، ثم يتصلب تدريجيا ، اما البلورات فتتحد بالتدريج مكونة كتلا مختلطة بلورية (conglomerates) متنامية بمرور الزمن .

ويتحول الجل المتصلب الى حجر اسمنتى ، يربط حبيبات الاخلاط الدقيقة والخشنة مع بعضها البعض محولا اياها الى مادة صلبة متراصة تسمى بالخرسانة .

ومن العوامل البالغة الاهمية المؤثرة فى بنية الخرسانة ومقاومتها ، هى كمية الماء المستخدمة فى تحضير المزيج الخرسانى ، التى تقدر بنسبة الماء الى الاسمنت W/C (نسبة وزن الماء الى وزن الاسمنت فى وحدة حجم المزيج الخرسانى) . ولكى يتم الاتحاد الكيميائى بين الماء والاسمنت يجب ان تكون النسبة W/C مساوية لـ ٠,٢ تقريبا ، أى W/C=0,2 . ولكن تبعا لبعض الاعتبارات التكنولوجية – للحصول على سيولة (سيوبة) كافية للمزيج الخرسانى وجعله مناسبا للصب – تؤخذ كمية الماء بحيث تزيد قليلا عن الكمية المحسوبة . وهكذا نجد انه بالنسبة للمزيج الخرسانى السيال ، الذى يصب فى القالب او فى موضع الصب بتأثير السيولة وحدها ، تكون النسبة W/C فى هذه الحالة فى حدود ٠,٥ – ٠,٦ ، اما بالنسبة للمزيج الخرسانى الجاسىء ، الذى يصب فى القالب بواسطة الاهتزاز الميكانيكى (باستخدام الهزازات) ، فان النسبة W/C تكون فى هذه الحالة فى حدود ٠,٣ – ٠,٤ .

ان قسما من الماء الزائد غير المتحد كيميائيا ، يدخل فيما بعد فى اتحاد كيميائى مع دقائق الاسمنت الاقل فعالية ، والقسم الآخر يملأ المسامات العديدة والاوعية الشعرية الموجودة فى الحجر الاسمنتى ، ويملأ الفجوات الواقعة بين حبيبات الخلط الخشن وقضبان التسليح الفولاذية ، ثم يتبخر تدريجيا ويخرج من تلك الفجوات . واستنادا الى معطيات الابحاث الخاصة ، يبلغ حجم المسامات ثلث حجم الحجر الاسمنتى تقريبا ؛ وبانخفاض النسبة W/C تقل مسامية الحجر الاسمنتى وتزداد مقاومة الخرسانة . ولهذا السبب عند انتاج القطع الخرسانية المسلحة فى المصانع ، تستخدم على الاغلب انواع جاسئة من المزيج الخرسانى ، مع تقليل النسبة W/C حسب الامكان . ان الخرسانة المنتجة من انواع المزيج الجاسىء ، تتميز بمقاومة اكبر وتحتاج الى كمية أقل من الاسمنت والى مواعيد زمنية أقل لضبط المنتجات فى قوالب الصب .

وهكذا نجد ان بنية الخرسانة هى بنية غير متجانسة للغاية : حيث انها تتكون على هيئة شبكة حيزية (فراغية) من الحجر الاسمنتى ، مملوءة بحبات الرمل وكسارة الحجارة من مختلف الحجوم والاشكال ، ويخترقها عدد كبير من المسامات الدقيقة والشعيرات التى تحتوى على ماء غير متحد كيميائيا (غير مقيد) وعلى أبخرة الماء والهواء .

ومن الناحية الفيزيائية نجد ان الخرسانة هى عبارة عن مادة مسامية شعرية ، تحتوى على ثغرات فى كتلتها غير المصمتة وتتمثل فيها كافة الاطوار الثلاثة : طور الصلابة ، طور السيولة والطور الغازى . ويتميز الحجر الاسمنتى كذلك ببنية غير متجانسة ويتألف من كتلة مختلطة بلورية مرنة ومن مادة الجل اللزجة التى تملأ فجواته .

ان العمليات المستديمة التى تحدث فى مثل هذه المادة – مثل تغير التوازن المائى ، تقلص حجم الجل اللزج المتجمد ، نمو حجم الكتل المختلطة البلورية المرنة – تضفى على الخرسانة خواصها المرنة اللدنة الفريدة فى نوعها . وهذه الخواص تتجلى بوضوح فى طبيعة سلوك الخرسانة عند الاجهاد والانفعال عند تعرضها للحمل ، وفى تبادل الفعل مع النظام الحرارى والرطوبى للبيئة (enviroment) .

لقد اثبتت الابحاث ان نظريات المقاومة الموضوعة للمواد المرنة ، لا يمكن تطبيقها بالنسبة للخرسانة . ان العلاقة بين كل من تركيب الخرسانة ، بنيتها الداخلية ، مقاومتها وسلوكها عند الاجهاد والانفعال ، هى المسألة التى تحظى باهتمام الباحثين فى الوقت الحاضر . ان المعطيات المتوفرة حاليا حول مقاومة الخرسانة وسلوكها عند الاجهاد والانفعال ، مبنية على عدد كبير من التجارب التى اجريت فى المختبرات وفى الظروف الطبيعية .

٣ – انكماش الخرسانة والاجهادات الاولية

تتميز الخرسانة بقابليتها لتقليص حجمها عند تصلبها فى المحيط الجوى العادى ، اى لها خاصية الانكماش ، كما يزداد حجمها عند تصلبها داخل الماء ، وهى خاصية الانتفاخ . ان الخرسانة المحضرة من الاسمنت الخاص (الذى يتمدد او لا ينكمش) لا تتعرض للانكماش . وانكماش الخرسانة كما اثبتت التجارب يعتمد على عدد من الاسباب هى :

١) كمية ونوع الاسمنت – كلما زادت كمية الاسمنت فى وحدة حجم الخرسانة ، زاد الانكماش ، وهنا نجد ان انواع الاسمنت الشديدة الفعالية واسمنت الألومينا (alumina cement) تتميز بانكماش اكبر .

٢) كمية الماء – كلما زادت نسبة الماء الى الاسمنت W/C ، زاد الانكماش ايضا .

٣) حجم الاخلاط – عند استخدام الرمال الناعمة الحبيبات وكسارة الحجارة المسامية يكون الانكماش اكبر .

ويكون تأثير الاخلاط على تقليل الانكماش أشد ، كلما زادت قابليتها لمقاومة الانفعال ، أى كلما زادت قيمة معاير مرونتها (modulus of elasticity) . وعند اختلاف حجم حبيبات الاخلاط وصغر حجم الفجوات ، يكون الانكماش أقل ايضا ، وان مختلف

انواع المخاليط الهيدرولية الاضافية والمواد المعجلة للتصلب (مثل كلوريد الكالسيوم) تؤدى عادة الى زيادة الانكماش .

ويحدث الانكماش فى الخرسانة عادة بصورة اكثر شدة فى مرحلة التصلب الابتدائية وخلال السنة الاولى ، ويخمد تدريجيا بعد ذلك . وتعتمد سرعة الانكماش على رطوبة البيئة – كلما قلت الرطوبة ، زادت انفعالات الانكماش (shrinkage stresses) وزادت سرعة نموها . ان انكماش الخرسانة المعرضة لتأثير الحمل مع الضغط المستمر ، يزداد سرعة ، وفى حالة الشد المستمر ، تقل سرعته ، بعكس الحالة الاولى .

ويرتبط انكماش الخرسانة بالعمليات الفيزيائية والكيميائية للتصلب وبتقلص حجم الجل الاسمنتى وبفقدان الماء الزائد المصروف فى عملية التبخر فى الهواء وفى عملية الاماهة مع دقائق الاسمنت غير المتفاعلة بعد . وبقدر تجمد الجل الاسمنتى وتقلص حجمه وظهور الكتل المختلطة البلورية ، يخمد انكماش الخرسانة . وان الظواهر الشعرية في الحجر الاسمنتى ، الناجمة عن الماء الزائد ، تؤثر كذلك على انكماش الخرسانة – حيث يؤدى الشد السطحى للسطوح الهلالية للماء فى الشعيرات ، الى توليد ضغط على جدران الشعيرات ، وحدوث انفعالات (تشوهات) حجمية .

ان انكماش الحجر الاسمنتى فى مرحلة تصلب الخرسانة يعرقل الاخلاط ، التى تصبح بمثابة اربطة داخلية تؤدى الى نشوء اجهادات شد اولية فى الحجر الاسمنتى . وعلى قدر تجمد الجل ، تصبح الكتل المختلطة البلورة الموجودة فيه ، أربطة من نفس النوع ايضا . ويؤدى الجفاف غير المنتظم للخرسانة الى انكماشها غير المنتظم ، الذى يؤدى بدوره الى نشوء اجهادات الانكماش الاولية . وان الطبقات السطحية المكشوفة السريعة الجفاف فى الخرسانة ، تتعرض للشد ، فى الوقت الذى تكون فيه الطبقات الداخلية الاكثر رطوبة ، والمقاومة للانكماش ، معرضة للانضغاط . والظاهرة التى تنجم عن حدوث مثل اجهادات الشد الاولية هذه ، تتمثل فى تكوين شقوق الانكماش فى الخرسانة .

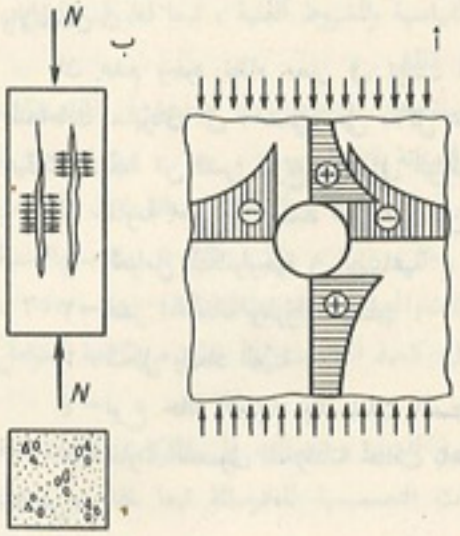
ان الاجهادات الاولية ، الناشئة نتيجة لتأثير انكماش الخرسانة ، لا تؤخذ فى الاعتبار مباشرة عند حساب مقاومة الانشاءات الخرسانية المسلحة ؛ الا انها تؤخذ فى الاعتبار بواسطة معاملات حسابية (تصميمية) تشمل مجموعة متكاملة من مسائل المقاومة ، وكذلك بواسطة الاجراءات التصميمية المتخذة عند تسليح القطع الخرسانية ، ويمكن تقليل اجهادات الانكماش الاولية فى الخرسانة ، بواسطة الطرق التكنولوجية – مثل اختيار مركبات الخرسانة ، ترطيب الوسط مع المعاملة الحرارية للخرسانة المتصلبة ، ترطيب سطح الخرسانة وغير ذلك ، وايضا بواسطة الطرق التصميمية – مثل تنظيم وصلات انكماشية (shrinkage joints) فى التصاميم الخرسانية المسلحة .

٤ – مقاومة الخرسانة

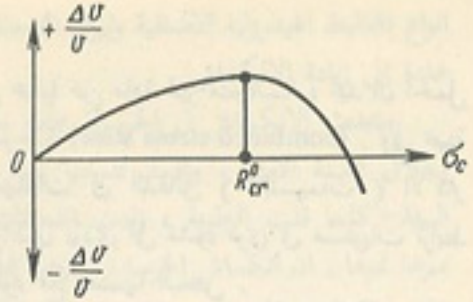
مبادىء المقاومة . بما ان الخرسانة هى عبارة عن مادة غير متجانسة ، نجد ان الحمل الخارجى المؤثر عليها يخلق فيها حالة اجهاد موحدة (combined stress state) . وفى عينة الخرسانة المعرضة للانضغاط ، تتركز الاجهادات فى الدقائق (الجسيمات) الاكثر جسوءة ، التى لها معايير مرونة كبير ، الامر الذى يؤدى الى نشوء قوى فى مستويات ترابط هذه الدقائق ، تحاول الاخلال بالترابط الموجود مع بعضها البعض .

وفى الوقت نفسه ، تتركز الاجهادات فى المواضع الضعيفة بسبب وجود المسامات والفجوات فيها . والمعروف من نظرية المرونة ، ان الثقوب والفتحات الموجودة فى المادة المعرضة للانضغاط ، يلاحظ حولها تركز لاجهادات الانضغاط واجهادات الشد . والاجهادات الاخيرة تؤثر فى المستويات الموازية لقوة الانضغاط (شكل ١ – ١ ، أ) . وبما ان الخرسانة تحتوى على كثير من المسامات والفجوات ، لذا فان اجهادات الشد الموجودة عند فجوة او مسامة واحدة تتراكب مع الاجهادات الموجودة عند الفجوة المجاورة لها . ونتيجة لذلك ، تنشأ فى العينة الخرسانية المعرضة للانضغاط المحورى (axial compression) اجهادات انضغاط طولية واجهادات شد جانبية (lateral tensile stresses) – اى ما يسمى بالمجال الثانوى للاجهادات .

وقد بينت التجارب ان انهيار العينة المضغوطة ، ينشأ نتيجة تمزق الخرسانة فى الاتجاه الجانبى (المستعرض) . ففى البداية تنشأ على امتداد الحجم برمته شقوق تمزقية



شكل ١ – ١ . الرسم التخطيطى لحالة الاجهاد فى العينة الخرسانية عند الانضغاط :
أ – تركز الاجهادات عند المسامات الدقيقة والتجاويف ؛
ب – شقوق تمزق (تصدع) الخرسانة فى الاتجاه العرضى عند الانضغاط المحورى



شكل ١ – ٢ . الرسم التخطيطى لتحديد اجهادات الانضغاط فى الخرسانة عند حدود الانهيارات (الشقوق) الميكروسكوبية R^0_{cr} بواسطة المقاييس فوق السمعية

ميكروسكوبية دقيقة للتمزّق . وبزيادة الحمل تتوحد شقوق التمزق الدقيقة مكون بذلك شقوقا واضحة للعين ، متجهة بصورة موازية لاتجاه قوى الانضغاط او مائلة عنها قليلا (شكل ١ – ١، ب) . وبعد ذلك تتفتح الشقوق بحيث يبدو ان حجم العينة الخرسانية قد ازداد ظاهريا . واخيرا يحدث الانهيار النهائى للعينة .

ان حدود تكون الانهيارات (التصدعات) الميكروسكوبية البنيوية ، الحاصلة فى الخرسانة المعرضة للحمل ، يمكن ان تعيّن بواسطة المقاييس فوق السمعية (ultrasonic tests) . وان سرعة الموجات (الذبذبات) فوق السمعية ٧ – المنتشرة باتجاه عمودى على خطوط تأثير اجهادات الانضغاط ، تقل مع تطور الشقوق الميكروسكوبية فى الخرسانة . واجهاد الانضغاط فى الخرسانة R^0_{cr} ، الذى تبدأ عنده الشقوق الميكروسكوبية بالظهور ، يناظر بداية انخفاض سرعة الصوت فوق السمعى على المنحنى المبين فى الشكل (١ – ٢) . وتبعا لقيمة R^0_{cr} يتم تقدير خواص مقاومة الخرسانة وسلوكها عند الاجهاد والانفعال .

ان عدم وجود نظام معين فى ترتيب الدقائق المؤلفة للخرسانة وفى ترتيب وحجم المسامات ، يؤدى الى الحصول على دلائل مختلفة للمقاومة – تنوع المقاومة ، عند اختبار عينات منتجة من نفس المزيج الخرسانى الواحد .

ان مقاومة الخرسانة تعتمد على عدد من العوامل ، اهمها :

١ – العوامل التكنولوجية (الصناعية) ؛

٢ – عمر الخرسانة وظروف تصلبها ؛

٣ – شكل وابعاد العيّنة ؛

٤ – نوع حالة الاجهاد والعمليات المستمرة .

ان المقاومة القصوى للخرسانة تختلف باختلاف الاجهادات المؤثرة – الانضغاط ، الشد والقص .

الماركات التصميمية للخرسانة . ان الماركة التصميمية للخرسانة هى قيمة الخواص المعتمدة لنوعية الخرسانة ، المعطاة عند تصميم الانشاء . ونجد ان الماركات التصميمية للخرسانة تبعا لطبيعة ووظيفة الانشاء ، تعيّن استنادا الى العوامل الدليلية التالية : مقاومة الانضغاط المحورى ، مقاومة الشد المحورى ، الصمود للصقيع ،السدودية ،اللانفاذية للماء ، (water tightness) . ويتم الحصول على الماركة التصميمية المعنية للخرسانة ، بالاختيار المناظر لتركيب المزيج الخرسانى ، مع اختبار العينات الخرسانية المعتمدة فيما بعد . وان مقاومة الخرسانة العالية للانضغاط ، هى اهم خواصه قيمة ، وتستخدم على نطاق واسع فى الانشاءات الخرسانيّة المسلحة . بالاضافة الى ذلك ان مقاومة الانضغاط هى الخاصية التى يكون تحديدها اسهل من تحديد بقية خواص المقاومة الاخرى . واستنادا الى هذه الاعتبارات ، تعتبر مقاومة الانضغاط بمثابة الخاصية الاساسية من بين كافة خواص المقاومة الاخرى .

ان المقاومة القصوى لانضغاط المكعبات الخرسانية التى يبلغ طول ضلعها ١٥ سم ، والمختبرة بعد مرور ٢٨ يوما على حفظها عند درجة حرارة قدرها ٢٠ ± ٢° مئوية (مع تطبيق الشروط الاخرى حسب المواصفات القياسية) ، تسمى بالماركة التصميمية للخرسانة تبعا لمقاومتها للانضغاط المحورى كجم /سم² (حسب المواصفات القياسية السوفييتية) . وتحدد المدة الزمنية لتصلب الخرسانة ، بحيث يتم التوصل الى مقاومة الخرسانة المطلوبة ، بحلول اللحظة التى يتم فيها تسليط الحمل التصميمى على الانشاء . وبالنسبة للانشاءات الخرسانية المصبوبة فى الموقع والتى حضرت خرسانتها من اسمنت بورتلاند العادى (portland cement) نجد ان تلك المدة الزمنية ، تبلغ عادة ٢٨ يوما . وبالنسبة لقطع الانشاءات السابقة الصنع المجهزة فى المصانع ، قد تكون المقاومة المقررة (المعتمدة) للخرسانة اقل من الماركة المصممة ، ويتم تحديدها طبقا للمواصفات القياسية والشروط الفنية ، تبعا لظروف النقل ، التركيب ، المدد الزمنية لتحميل الانشاء وغير ذلك .

ان الماركات التصميمية للخرسانة تبعا لمقاومتها للانضغاط ، المحددة فى المواصفات القياسية السوفييتية ، هى كما يلى : لانواع الخرسانة الثقيلة – ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ ، ٢٥٠ ، ٣٠٠ ، ٣٥٠ ، ٤٠٠ ، ٤٥٠ ، ٥٠٠ ، ٦٠٠ ، ٧٠٠ ، ٨٠٠ ، ولانواع الخرسانة ذات الاخلاط المسامية – ٣٥ ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ ، ٢٥٠ ، ٣٠٠ ، ٣٥٠ ، ٤٠٠ . وبالنسبة لانواع الخرسانة الثقيلة يسمح باستخدام الماركات المصممة المتوسطة التالية – ٢٥٠ ، ٣٥٠ ، ٤٥٠ ، اذا كان ذلك يؤدى الى الاقتصاد فى كمية الاسمنت ولا يقلل من اهمية العوامل الاقتصادية الهندسية الاخرى للانشاء المصمم .

وبالنسبة للانشاءات المعرضة فى الغالب للشد ، تضاف الى الماركات التصميمية للخرسانة تبعا لمقاومتها للانضغاط ، الماركات التصميمية للخرسانة تبعا لمقاومتها للشد

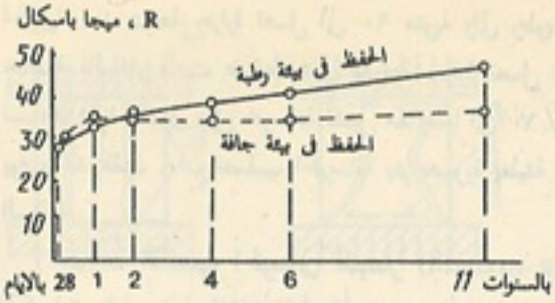
المحورى ايضا ، وهى : للخرسانة الثقيلة : P-10 ، P-15 ، P-20 ، P-30 ، P-35 ، P-40 ؛ وللخرسانة ذات الاخلاط المسامية : P-10 ، P-15 ، P-20 ، P-25 ، P-30 ، وهى الماركات التى تبين خصائص مقاومة الخرسانة القصوى للشد (كجم ق /سم² حسب المواصفات القياسية السوفييتية) .

وللانشاءات المعرضة مرارا لعمليتى التجمد والذوبان فى مناطق الانشاء ذات درجة الحرارة المنخفضة ، وللانشاءات المكشوفة فى المناطق ذات التناوب المتكرر للتجمد والذوبان وكذلك للاسوار المحيطة (السياجات) ، تعين ماركة الخرسانة المصممة تبعا لصمودها للصقيع وهى تتراوح بين Mp3500—Mp325 ، اى حسب عدد الدورات المضبوطة للتجمد والذوبان المتناوبين فى حالة التشبع بالماء . وبالنسبة للانشاءات المعرضة لضغط الماء (مثل خزانات الماء ، مواسير تصريف الماء وغيرها) تعيّن ماركة الخرسانة المصممة تبعا لعدم الانفاذية (اللاانفاذية) للماء—وتتراوح بين B-2 و B-12 ، اى طبقا للضغط الاقصى للماء ، الذى لا يلاحظ عنده بعد اى ارتشاح للماء خلال العينة المختبرة (المفحوصة) .

ويتم اختيار الماركة التصميمية المثلى للخرسانة ، استنادا الى الاعتبارات الاقتصادية الهندسية تبعا لنوع الانشاءات الخرسانية المسلحة ، حالة الاجهاد فيها ، طريقة انتاجها ، ظروف تشغيلها واستثمارها وغير ذلك . وينصح باستخدام الماركة التصميمية للخرسانة التى لا تقل عن ٢٠٠ ، بالنسبة للقطع المحورية المنضغطة المنتجة من الخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية . وللانشاءات المعرضة لقوى الانضغاط الكبيرة—مثل الاعمدة ، العقود وغيرها—من الملائم استخدام الماركات التصميمية للخرسانة العالية نسبيا—٣٠٠ و ٤٠٠ ؛ وللانشاءات السابقة الاجهاد ، من الملائم استخدام الماركات التصميمية للخرسانة التى تتراوح بين ٣٠٠—٥٠٠ ، تبعا لنوع قضبان التسليح السابقة الاجهاد ؛ وللقطع المعرضة للانحناء غير السابقة الاجهاد—مثل البلاطات ، العتبات وغيرها—من الملائم استخدام الماركة التصميمية ٢٠٠ .

ان انواع الخرسانة ذات الاخلاط المسامية والرابط الاسمنتى ، التى تتساوى ماركاتها التصميمية تبعا للمقاومة ، الصمود للصقيع ، واللاانفاذية للماء ، تستخدم فى الانشاءات الخرسانية المسلحة السابقة الصنع والمصبوبة فى الموقع ، على حد سواء مع انواع الخرسانة الثقيلة . وتعتبر بالنسبة لعديد من الانشاءات بمثابة ماركات فعالة للغاية ، تؤدى الى تخفيف كتلة الانشاءات بالذات .

تأثير الزمن وظروف التصلب على مقاومة الخرسانة . ان مقاومة الخرسانة تزداد على مدى زمن طويل ، ولكن زيادتها الاكثر حدة تلاحظ فى مرحلة التصلب الابتدائية . وتزداد



شكل ١ – ٣ . زيادة مقاومة الخرسانة بمرور الزمن

مقاومة الخرسانة المنتجة من اسمنت بورتلاند ، زيادة شديدة فى الايام الـ ٢٨ الاولى ، اما مقاومة الخرسانة المنتجة من اسمنت بورتلاند الممزوج بالبزولان والممزوج بالخبث ، فتزداد بصورة ابطأ فى الايام الـ ٩٠ الاولى . ولكن فى المستقبل ، عند توفر الظروف الملائمة للتصلب مثل درجة الحرارة الموجبة ، والوسط الرطب يمكن ان تزداد مقاومة الخرسانة لمدة زمنية طويلة للغاية ، تقاس بالسنوات . وسبب هذه الظاهرة ، هو العملية الطويلة لتحجّر الملاط الاسمنتى—تجمّد الجل ونمو البلورات . واستنادا الى المعطيات التجريبية ، فقد تبين ان مقاومة عينات الخرسانة المحفوظة خلال ١١ سنة ، فى وسط رطب قد تضاعفت ، اما العينات المحفوظة فى وسط جاف فقد زادت بمقدار ١٫٤ مرة فقط ؛ وفى حالة اخرى ، توقفت زيادة المقاومة بحلول نهاية السنة الاولى (شكل ١ – ٣) . واذا بقيت الخرسانة جافة ، وهذا ما يحدث غالبا عند استثمار اكثر الانشاءات الخرسانية المسلحة ، عندئذ لا يمكن توقع أية زيادة لاحقة فى المقاومة بعد انتهاء السنة الاولى .

ان زيادة مقاومة الخرسانة المنتجة من اسمنت بورتلاند فى ظروف درجة حرارة التصلب الموجبة (حوالى ١٥° مئوية) ووجود الوسط الرطب يمكن التعبير عنها بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$R_t = R \lg t / \lg 28 = 0{,}7\, R \lg t \qquad (I\text{-}1)$$

حيث R_t – مقاومة الانضغاط القصوى للمكعب الخرسانى الذى عمره t يوم ؛ R – كالسابق للمكعب الخرسانى الذى عمره ٢٨ يوما .

وهذه الصيغة تعطى نتائج قريبة الى حد كاف من نتائج التجارب العملية عندما تكون $t \geqslant 7$ (يوم) .

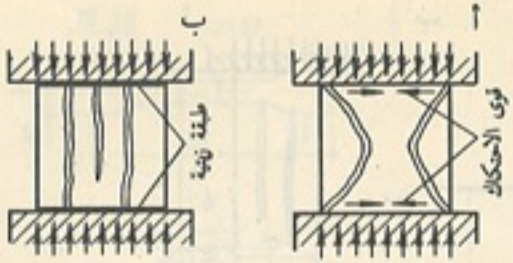
ان عملية تصلب الخرسانة تتعجل كثيرا فى حالة ارتفاع درجة الحرارة ووجود الوسط الرطب . ولهذا الغرض ، يتم تعريف المنتجات الخرسانية المسلحة فى المصانع الى المعاملة

الحرارية عند درجة حرارة تصل الى ٩٠ مئوية والى رطوبة تصل الى ١٠٠ ٪ او تعرض لمعاملة خاصة بالبخار تحت ضغط عال ودرجة حرارة تصل الى ١٧٠ مئوية تقريبا . وهذه الطرق تساعد فى الحصول على خرسانة تصل مقاومتها الى ٧٠ ٪ تقريبا من المقاومة المصممة ، خلال يوم واحد فقط . ان تصلب الخرسانة يتم بصورة بطيئة للغاية او يتوقف عند درجات الحرارة السالبة .

مقاومة المكعب الخرسانى للتهصر (cube crushing strength) . فى حالة تعرض المكعبات الخرسانية للانضغاط المحورى ، نجدها تنهار نتيجة تمزق الخرسانة فى الاتجاه العرضى (شكل ١ – ٤ ، أ) . ويعتمد ميل شقوق التمزق على قوى الاحتكاك التى تتطور عند سطوح التلامس بين صينيتى مكنة اختبار الانضغاط السطحى للمكعب . ان قوى الاحتكاك المتجهة الى الداخل ، تعرقل الانفعالات الجانبية الحرة (التشوهات الجانبية) للمكعب الخرسانى وتؤدى الى نشوء الظاهرة الطوقية (grip effect) . وتقل قيمة التأثير الاحتجازى لقوى الاحتكاك كلما ابتعدنا عن الحافات الطرفية للمكعب ، ولهذا السبب نجد ان المكعب بعد انهياره ، يكتسب شكل الاهرام الناقصة ، التى تتداخل قواعدها مع بعضها البعض . ولو قمنا عند تعريض المكعب الخرسانى للانضغاط المحورى ، بالتخلص من تأثير قوى الاحتكاك وذلك بتزييت سطحى التلامس ، فسوف تظهر الانفعالات الجانبية بصورة حرة ، وتصبح شقوق التمزق رأسية الاتجاه وموازية لخط تأثير قوة الانضغاط ، اما المقاومة القصوى فسوف تقل الى النصف تقريبا (شكل ١ – ٤ ، ب) . وتبعا للمواصفات القياسية ، يتم اختبار المكعبات الخرسانية بدون تزييت سطحى التلامس .

وقد اثبتت التجارب العملية ان مقاومة الخرسانة ذات التركيب الواحد ، تعتمد على حجم المكعب : مثلا ، اذا بلغت مقاومة الانضغاط القصوى للخرسانة ، بالنسبة للمكعب القياسى الذى يبلغ طول ضلعه ١٥ سم ، قيمة تساوى R ، فانها ستقل عن ذلك ، بالنسبة للمكعب الذى طول ضلعه ٢٠ سم وتصبح مساوية للمقدار 0,95R تقريبا ، اما بالنسبة للمكعب الذى طول ضلعه ١٠ سم ، فانها سوف تزداد وتصبح مساوية للمقدار 1,1R تقريبا .

وعند تغير حجم المكعب المصبوب من الخرسانة ذات الانحلاط المسامية الخفيفة ، تتغير مقاومته بصورة أقل بعض الشىء ، وتصبح مساوية للمقدار 0,97R و 1,03R على التوالى تقريبا . وسبب ذلك هو تغير الظاهرة الطوقية بتغير حجم المكعب والمسافة بين حافاته . ان مقاومة العينات الخرسانية المستخدمة فى بعض البلدان الاخرى ، والتى تكون على هيئة اسطوانة ارتفاعها ٣٠٫٥ سم وقطرها ١٥٫٢ سم تتراوح بين 0,75 و 0,7 من المقاومة القصوى للمكعب الذى طول ضلعه ١٥ سم .



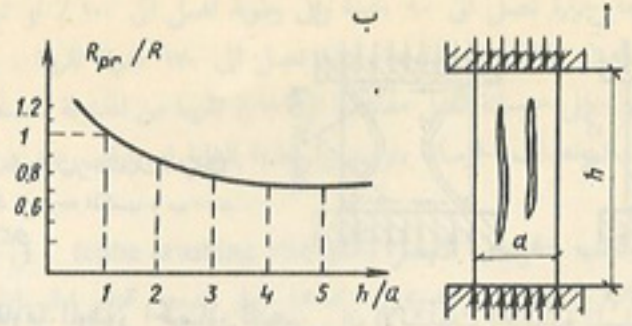
شكل ١ – ٤ , طبيعة انهيار المكعبات الخرسانية :
أ – عند الاحتكاك مع اوجه المكعب ، ب – عند عدم وجود الاحتكاك

تغير مقاومة الموشور الخرسانى للتهصر . ان الانشاءات الخرسانية المسلحة تختلف عن المكعبات من حيث الشكل ، ولهذا السبب لا يمكن اعتبار مقاومة المكعب للتهصر صالحة مباشرة للاستخدام فى حسابات مقاومة القطع الانشائية . والخاصية الاساسية لمقاومة الخرسانة فى القطع المعرضة للانضغاط ، هى مقاومة الموشور للتهصر (prism crushing strength) التى يرمز لها بالرمز R_{pr} – وهى المقاومة القصوى للانضغاط المحورى ، التى تبديها المواشير الخرسانية . وقد أثبتت التجارب التى اجريت على المواشير الخرسانية ، التى يبلغ طول ضلع قاعدتها المربعة a وارتفاعها h ، ان المقاومة التى يبديها الموشور الخرسانى اقل من مقاومة المكعب الخرسانى ، وانها تقل بازدياد النسبة h/a . والمنحنى المبين فى الشكل (١ – ٥) يوضح علاقة النسبة R_{pr}/R مع النسبة h/a حسب المعطيات التجريبية المتوسطة .

ان تأثير قوى الاحتكاك على اطراف الموشور يقل بزيادة ارتفاعه ، وعندما تبلغ النسبة المقدار التالى h/a = 4 ، نجد ان قيمة R_{pr} تصبح مستقرة تقريبا ومساوية للمقدار 0,75R تقريبا . ولم ينعكس تأثير لدونة العينة الخرسانية اثناء تلك التجارب ، ذلك لانه لا يبدو واضحا الا عند النسبة $h/a \geqslant 8$.

وتستخدم R_{pr} ايضا بمثابة خاصية لمقاومة خرسانة منطقة الانضغاط فى القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، وفى هذه الحالة ، يستخدم الرسم البيانى الاصطلاحى المربع للاجهادات بدلا من الرسم البيانى المنحنى الحقيقى لاجهادات الخرسانة فى منطقة الانضغاط فى الحالة الحدية (شكل ١ – ٦) .

مقاومة الخرسانة للشد . ان مقاومة الخرسانة للشد (tensile strength) تعتمد على مقاومة الحجر الاسمنتى للشد وعلى الاحتكاك الموجود بينه وبين حبيبات الانحلاط . واستنادا الى معطيات التجربة ، فان مقاومة الخرسانة للشد هى اقل من مقاومتها للانضغاط بمقدار ١٠ – ٢٠ مرة ، علما بان المقاومة النسبية للشد تقل كلما زادت المماركة التصميمية للخرسانة . ويلاحظ فى التجارب ان تنوع المقاومة فى حالة الشد هو اكثر مما هو عليه فى حالة الانضغاط . ويمكن التوصل الى زيادة مقاومة الخرسانة للشد بزيادة كمية الاسمنت المستهلكة ، تخفيض النسبة W/C واستخدام كسارة الحجارة ذات السطوح الخشنة .



شكل ١ – ٥ . الرسم البيانى للعلاقة بين مقاومة الموشور الخرسانى للتبصر والنسبة بين ابعاد العينة المختبرة

ويمكن تحديد مقاومة الخرسانة القصوى للشد المحورى ، باستخدام الصيغة الوضعية التالية :

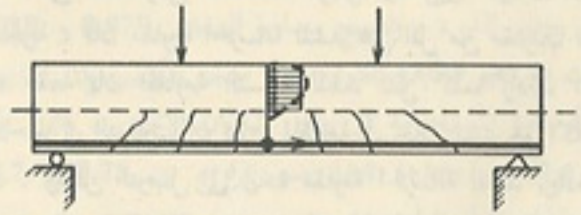
$$R_{ten} = 0{,}5\sqrt[3]{R^2} \qquad (I\text{-}2)$$

ونتيجة لعدم تجانس بنية الخرسانة ، نجد ان هذه الصيغة لا تعطى دائما القيمة الصحيحة للمقدار R_{ten} . لذلك تحدد القيمة الحقيقية للمقدار R_{ten} باختبار التمزق (rupture test) الذى يجرى على عيّنات خرسانية على شكل اسطوانة معرضة الطرفين ، (على شكل الرقم 8) واختبار الانفلاق (splitting test) للعينات الخرسانية التى على شكل اسطوانة عادية ، واختبار الانحناء (bending test) للعتبات (شكل ١ – ٧) . وتحدد مقاومة العتبة الخرسانية بالنسبة لعزم الانهيار ، بواسطة الصيغة التالية :

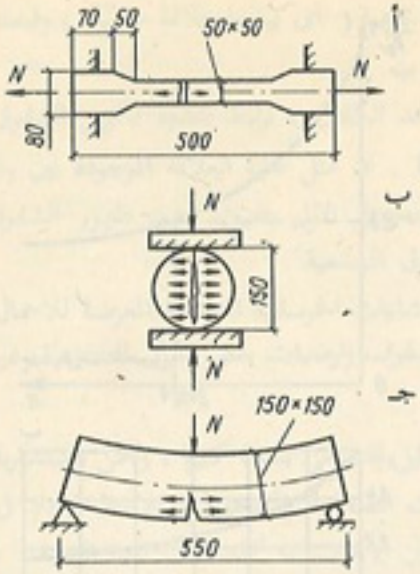
$$R_{ten} = M_r/\gamma W = 3{,}5M_r/bh^2 \qquad (I\text{-}3)$$

حيث $W = bh^2/6$ – عزم المقاومة للمقطع المستطيل ، $\gamma = 1{,}7$ – عامل ضرب يأخذ فى الاعتبار الطبيعة المنحنية للرسم البيانى للاجهادات فى خرسانة المنطقة المشدودة فى المقطع ، نتيجة لتطور الانفعالات غير المرنة .

مقاومة الخرسانة للقص والانفلاق . ان ظاهرة القص (shear) من الناحية المبدئية ، تتمثل فى انقسام القطعة الى قسمين من المقطع الذى سلطت فيه قوى القص . وفى هذه



شكل ١ – ٦ . حالة الاجهاد فى خرسانة منطقة الانضغاط عند انحناء العتبة الخرسانية المسلحة



شكل ١ – ٧ . الرسوم التخطيطية الثلاثة (أ ، ب ، جـ) لاختبار العينات الخرسانية وتحديد مقاومة الشد فى الخرسانة

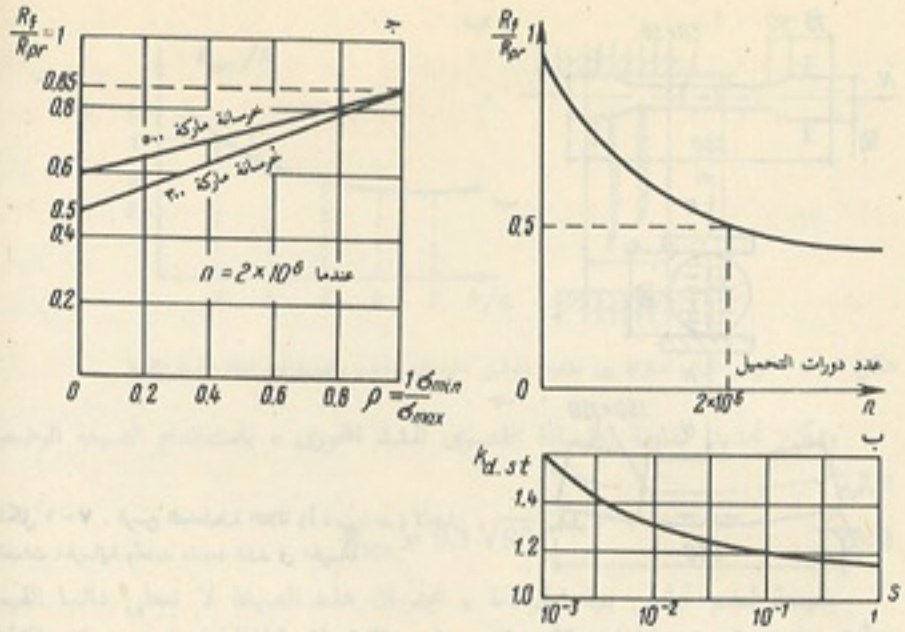
الحالة ، تلعب دورا هاما للغاية مقاومة القص فى حبيبات الاخلاط الخشنة ، التى تظهر وكأنها مسامير خارجة من مستوى القص وعندما يحدث القص ، يعتبر توزيع الاجهادات على سطوح المقاطع ، توزيعا منتظما . ويمكن تحديد مقاومة القص القصوى للخرسانة بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$R_{sh} = 0{,}7\sqrt{R_{pr}R_{ten}} \quad \text{او} \quad R_{sh} = 2R_{ten} \qquad (I\text{-}4)$$

وفى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، نادرا ما تصادفنا حالة القص الخالص ، وعادة يكون ذلك القص مصحوبا بتأثير القوى الطولية .

ان مقاومة الخرسانة للانفلاق تنشأ عند انحناء العتبات الخرسانية المسلحة ، قبل ظهور الشقوق المائلة فيها . ان اجهادات الانفلاق تتغير على ارتفاع المقطع تبعا لقانون القطع المكافىء التربيعى (quadratic parabola) . واستنادا الى معطيات التجارب العملية ، نجد ان مقاومة الانفلاق القصوى فى حالة الانحناء R_{sp} ، تكون اكبر من مقاومة الشد R_{ten} بمقدار ١٫٥ – ٢ مرة .

مقاومة الخرسانة لتأثير الحمل المستمر . استنادا الى معطيات التجارب العملية ، نجد انه عند تعرض الخرسانة لتأثير الحمل المستمر مع وجود اجهادات عالية ، بسبب تأثير الانفعالات غير المرنة الكبيرة المتطورة والتغيّرات البنيوية ، تنهار الخرسانة عند اجهادات اقل من المقاومة القصوى للانضغاط المحورى R_{pr} . واستنادا الى المعطيات التجريبية ، نجد ان قيمة المقاومة المستمرة القصوى للانضغاط المحورى فى الخرسانة ، قد تصل الى $R_{lt} = 0{,}85R_{pr}$



شكل ١ – ٨ . العلاقة بين المقاومة القصوى للخرسانة وكل من :
أ – عدد دورات التحميل n ؛ ب – خواص دورة التحميل ρ المحددة عند $n = 2 \times 10^6$ ؛ جـ – العلاقة الخاصة بتحديد معامل التقوية الدينامية للخرسانة

واقل من ذلك . واذا كان مستوى الاجهادات σ_c/R_{pr} ينخفض تدريجيا عند استثمار او تشغيل الانشاء فى ظروف ملائمة لزيادة مقاومة الخرسانة ، عندئذ يمكن الا يظهر اى أثر سلبى لعامل التحميل المستمر .

مقاومة الخرسانة لتأثير الاحمال الكثيرة التكرار . عند تأثير الاحمال الكثيرة التكرار ، التى تتكرر لعدة ملايين دورة ، تنخفض مقاومة الخرسانة للانضغاط نتيجة لتطور الشقوق الميكروسكوبية . وكما تبين المعطيات التجريبية ، فان حد الكلال (batique limit) للخرسانة R_f عند تعريضها لتأثير الاحمال الكثيرة التكرار يعتمد على عدد دورات التحميل وازالة الحمل وعلى النسبة بين الاجهادات الصغرى والقصوى التى تظهر بالتناوب او على طبيعة دورة التحميل $\rho = \sigma_{min}/\sigma_{max}$. وفى الشكل (١ – ٨ ، أ) وضع على الاحداثى السينى لمنحنى الكلال ، عدد دورات التحميل n ، ووضعت على الاحداثى قيمة حد كلال الخرسانة ، المتغيرة دوريا R_f . ونجد انه بزيادة عدد الدورات n تنخفض قيمة R_f ؛ ويسمى الاجهاد الواقع على القسم الافقى للمنحنى عندما $n \to \infty$ بحد الكلال المطلق . اما من الناحية العملية فنجد ان حد الكلال الفعلى R_f (عند قاعدة محدودة هى $n = 2 \times 10^6$) يعتمد

على خصائص دورة التحميل ρ بصورة خطية تقريبا (اى بينهما علاقة خطيّة) وقيمته الصغرى هى $R_f = 0{,}5R_{pr}$ (شكل ١ – ٨ ، ب) .

وقد اثبتت الابحاث ان القيمة الصغرى لحد الكلال ، ترتبط بحدود تكوين الشقوق الميكروسكوبية البنيوية ، بحيث تكون R_f R^0_{cr} . ان مثل هذه العلاقة الموجودة بين R_f و R^0_{cr} تساعد على ايجاد حل الكلال منذ التحميل الاول بتعيين حدود ظهور الشقوق الميكروسكوبية البنيوية بواسطة اجهزة الاختبار فوق السمعية .

ان قيمة R_f ضرورية لحساب الكلال للانشاءات الخرسانية المسلحة المعرضة للاحمال الدينامية – مثل عتبات سكك المرفاع المتنقل ، سقوف وارضيات بعض المبانى الصناعية وغير ذلك .

التقوية الدينامية للخرسانة . عند تأثير الحمل الدينامى بشدة كبيرة ، ولكن باستمرارية قليلة ، وهو التأثير الذى يتطور نتيجة للمؤثرات الصدمية والتفجيرية ، يلاحظ ازدياد فى مقاومة الخرسانة القصوى – التقوية الدينامية . وتبين الابحاث انه كلما قلت المدة الزمنية τ لتعرض العينة الخرسانية لتأثير الحمل الدينامى المعين (او بنفس المعنى ، كلما زادت سرعة نمو الاجهادات المقاسة بـ MPa/s اى ميجاباسكال /ثانية) زادت قيمة معامل التقوية الدينامية للخرسانة $k_{d.st}$. وهذا المعامل يساوى نسبة المقاومة الدينامية القصوى للانضغاط R_d الى مقاومة الموشور R_{pr} (شكل ١ – ٨ ، جـ) . وعلى سبيل المثال ، اذا بلغت مدة تأثير حمل الانهيار الدينامى 0,1s ، عندئذ سنجد ان $k_{d.st} = 1{,}2$. وتفسر هذه الظاهرة بقابلية امتصاص الطاقة من قبل الخرسانة ، التى تسلك خلال تحميلها بحمل دينامى لفترة قصيرة من الزمن ، سلوكا مرنا فقط .

٥ – سلوك الخرسانة عند الاجهاد والانفعال

انواع الانفعالات . يوجد فى الخرسانة نوعان اساسيان من الانفعالات هما : الانفعالات الحجمية (volume strains) التى تتطور فى كافة الاتجاهات بتأثير الانكماش وتغير درجة الحرارة ؛ والانفعالات الناجمة عن الاجهادات ، التى تتطور بالدرجة الاساسية بمحاذاة اتجاه تأثير القوى . ومن الانفعالات المناظرة للانفعالات الطولية الناجمة عن الاجهادات ، هى بعض الانفعالات الجانبية المعينة ، والمعامل الابتدائى للانفعال الجانبى للخرسانة $\mu = 0{,}2$ (نسبة بواسون) . ان الخرسانة هى عبارة عن مادة مرنة لدنة . وابتداء من الاجهادات الصغيرة ، تتطور فيها بالاضافة الى الانفعالات (التشوهات) المتجددة المرنة ، انفعالات متخلفة (residual strains) غير مرنة او انفعالات لدنة . ولهذا

السبب ، تقسم الانفعالات الناجمة عن الاجهادات ، تبعا لطبيعة تسليط الحمل ومدة تأثيره ، الى ثلاثة انواع من الانفعالات هى : الانفعالات الناجمة عن تأثير التحميل القصير الاجل ، الانفعالات الناجمة عن التأثير المستمر للحمل والانفعالات الناجمة عن الحمل الكثير التكرار .

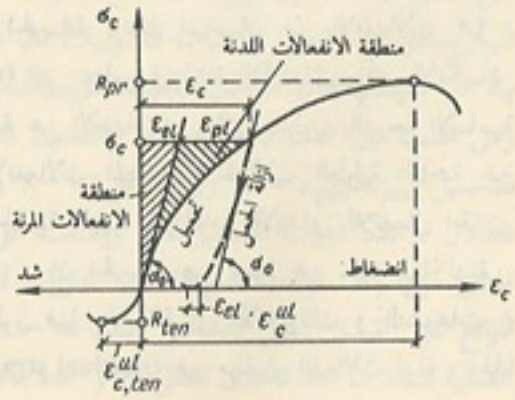
الانفعالات الحجمية . ان الانفعالات الناجمة عن انكماش الخرسانة ، تتغير ضمن نطاق واسع لحد ما : استنادا الى المعطيات التجريبية ، يبلغ ذلك الانفعال فى الخرسانة الثقيلة $\varepsilon_{sh} \approx 3 \times 10^{-4}$ واكثر ، اما للخرسانة ذات الاخلاط المسامية فهو يساوى $\varepsilon_{sh} \approx 4{,}5 \times 10^{-4}$. وان انفعال الخرسانة الناجم عن الانتفاخ ، يقل عن الانفعال الناجم عن الانكماش بمقدار يتراوح بين ٢ – ٥ مرات .

ان الانفعالات الناجمة عن تغير درجة الحرارة تعتمد على معامل التمدد الحرارى الطولى للخرسانة $\alpha_{c.t}$. وعندما تتغير درجة حرارة البيئة فى حدود تتراوح بين −٥٠ و +٥٠ مئوية ، نجد ان القيمة المذكورة ستكون بالنسبة للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية المحتوية على رمل كوارتزى ، مساوية للمقدار $\alpha_{c.t} = 1 \times 10^{-5}/°C$. وهذا المعامل يعتمد على نوع الاسمنت ، نوع الاخلاط ودرجة رطوبة الخرسانة ويمكن ان يتغير ضمن حدود قدرها ± ٣٠ ٪ . وهكذا نجد ان القيمة المذكورة بالنسبة للخرسانة ذات الاخلاط المسامية المحتوية على رمل مسامى (porous sand) تساوى $\alpha_{c.t} = 0{,}7 \times 10^{-5}/°C$.

الانفعالات الناجمة عن التحميل احادى التكرار بحمل قصير الاجل . عند تعرض العينة الخرسانية الموشورية لتأثير حمل احادى قصير الاجل ، يكون الانفعال مساويا لما يلى :

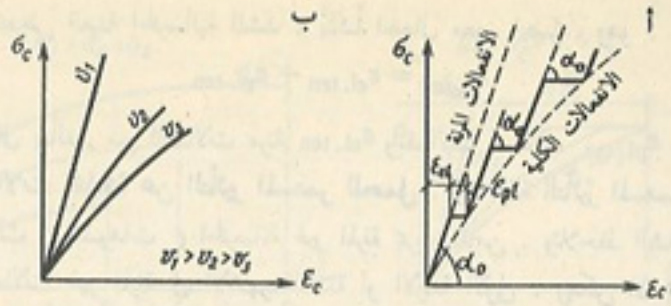
$$\varepsilon_c = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} \qquad (I\text{-}5)$$

اى انه يتألف من الانفعال المرن ε_{el} والانفعال اللدن ε_{pl} كما مبين فى الشكل (١ – ٩) . وهناك قسم صغير من الانفعالات غير المرنة يتجدد بعد مروره فترة زمنية



شكل ١ – ٩ . الرسم البيانى العام للعلاقة بين الاجهادات والانفعالات فى الخرسانة

أ ب



شكل ١ – ١٠ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات فى الخرسانة فى حالة الانضغاط ، تبعا لكل من :
أ – عدد مراحل التحميل ، ب – سرعة التحميل

معينة تعقب التحميل (يبلغ ١٠ ٪ تقريبا) . ويطلق على هذا القسم من الانفعالات اسم الانفعال المرن الزوال (elastic recovery strain) – $\varepsilon_{el.r}$. ولو تم تحميل العينة المختبرة على مراحل وقيست الانفعالات فى كل مرحلة مرتين (بعد تسليط الحمل مباشرة وبعد مضى فترة معينة على تعرض العينة لتأثير الحمل) فسوف نحصل فى الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ على خط مدرج ، مبين فى الشكل (١ – ١٠ ، أ) . ان الانفعالات المقاسة بعد تسليط الحمل ، تكون مرنة وترتبط مع الاجهادات بقانون خطى (علاقة خطية) ، أما الانفعالات المتطورة خلال فترة تعرض العينة للحمل ، فتكون غير مرنة ، وتزداد بزيادة الاجهادات وتكون على هيئة مساحات افقية على الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$. وفى حالة العدد الكبير من درجات التحميل ، يمكن ان تصبح العلاقة بين الاجهادات والانفعالات على هيئة منحنى سلس . وكذلك فى حالة ازالة الحمل ، اذا قمنا بقياس الانفعالات مرتين عند كل درجة تحميل (بعد ازالة الحمل وبعد فترة معينة من تعرض العينة للحمل) فسوف يمكننا الحصول على خط مدرج ، يمكن عند عدد كبير من درجات ازالة الحمل ، استبداله بمنحنى سلس ، ولكنه فى هذه الحالة سيكون مقعرا (لاحظ الشكل ١ – ٩) .

وهكذا نجد ان انفعالات الخرسانة المرنة ، لا تناظر الا سرعة لحظية لتحميل العيّنة ، فى الوقت الذى تتطور فيه الانفعالات غير المرنة (اللدنة) بمرور الزمن ، وتعتمد على سرعة تحميل العينة v المقاسة بـ MPa/s (اى ميجا باسكال / ثانية) . وبزيادة سرعة التحميل مع ثبات قيمة الاجهادات σ_c ، تنخفض قيمة الانفعالات غير المرنة . ولمختلف سرعات التحميل $v_1 > v_2 > v_3$ ، نجد ان منحنيات علاقة الاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ موضحة جميعها فى الشكل (١ – ١٠ ، ب) .

وعند تعرض العينة الخرسانية للشد ، ينشأ انفعال معين ايضا ، وهو :

$$\varepsilon_{c.\,ten} = \varepsilon_{el.\,ten} + \varepsilon_{pl.\,ten} \qquad (I\text{-}6)$$

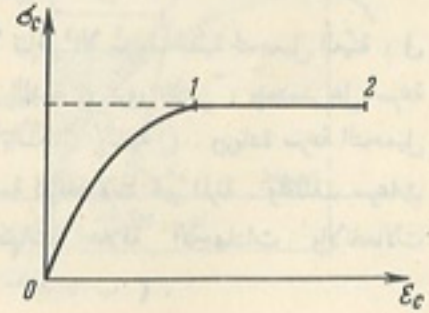
وهذا الانفعال يتألف من انفعالات مرنة $\varepsilon_{el.\,ten}$ وانفعالات لدنة ، $\varepsilon_{pl.\,ten}$.

الانفعالات الناجمة عن التأثير المستمر للحمل . فى حالة التأثير المستمر للحمل ، تزداد انفعالات (تشوهات) الخرسانة غير المرنة بمرور الزمن . وتلاحظ الشدة القصوى لزيادة الانفعالات غير المرنة فى الاشهر الثلاثة او الاربعة الاولى ، ويمكن ان تستمر لعدة سنوات . وعلى الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات ، نجد ان القسم 1-0 يبين طبيعة الانفعالات الناجمة عن التحميل ، ويعتمد تقوس (انحناء) هذا القسم على سرعة التحميل ؛ والقسم 2-1 يبين طبيعة زيادة الانفعالات غير المرنة فى حالة ثبات قيمة الاجهادات (شكل ١ – ١١) .

ان خاصية الخرسانة التى تبيّن طبيعة زيادة الانفعالات غير المرنة فى حالة التأثير المستمر للحمل ، تسمى بزحفان الخرسانة . وقد تكون انفعالات الزحفان اكبر من الانفعالات المرنة بمقدار ٣ – ٤ مرات . وفى حالة التأثير المستمر للحمل الدائم ، اذا زاد نمو انفعالات الزحفان بصورة طليقة ، تبقى قيمة الاجهادات فى الخرسانة ثابتة كما هى . اما اذا كانت الاربطة الموجودة فى الخرسانة (مثل قضبان التسليح الفولاذية) تعرقل التطور المطلق للزحفان ، عندئذ سينحسر الزحفان ، وعندئذ سوف لا تبقى الاجهادات فى الخرسانة ثابتة بعد ذلك .

واذا سلطنا على العيّنة الخرسانية بعض الاجهاد الاولى مثل σ_c^0 والانفعال الاولى ε_c^0 ، وبعد ذلك استبعدنا امكانية حدوث انفعالات اخرى بوضع الاربطة ، فسوف نجد ان الاجهادات الناشئة فى الخرسانة سوف تقل بمرور الزمن .

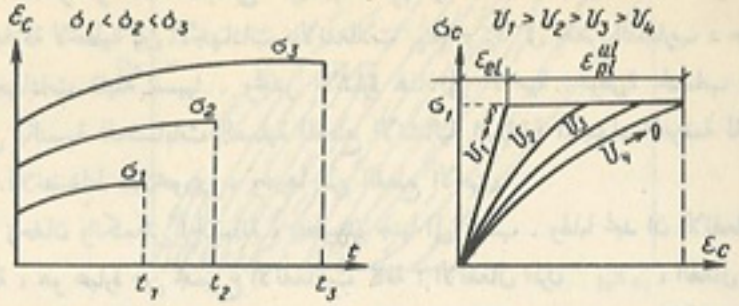
ان خاصية الخرسانة التى تبين طبيعة تناقص الاجهادات بمرور الزمن ، مع وجود انفعال اولى ثابت ، تسمى باسترخاء الاجهادات (relaxation of stresses) . ان كلتا خاصيتى الخرسانة – الزحفان والاسترخاء – تتميّزان بطبيعة مشتركة واحدة ، وتؤثران تأثيرا جوهريا على مقاومة الانشاءات الخرسانية المسلحة للاحمال المؤثرة عليها .



شكل ١ – ١١ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات فى حالة التحميل المستمر للعينة الخرسانية

ب

أ



شكل ١ – ١٢ . انفعالات زحفان الخرسانة تبعا لكل من :
أ – سرعة التحميل الابتدائى ؛ ب – مدة التعرض للحمل t والاجهادات σ_c

وتبين التجارب التى اجريت على المواشير الخرسانية ، أنه بغض النظر عن مدى سرعة التحميل v التى نجمت عنها قيمة الاجهاد σ_{c1} ، فان انفعالات الزحفان النهائية المناظرة لهذا الاجهاد ستكون متساوية (شكل ١ – ١٢ ، أ) . وبزيادة الاجهادات يزداد زحفان الخرسانة ؛ والعلاقة بين الانفعالات والزمن عند الاجهادات التالية $\sigma_{c3} > \sigma_{c2} > \sigma_{c1}$ مبينة فى الشكل (١ – ١٢ ، ب) . ان الخرسانة المعرضة للحمل فى عمر مبكر ، تتميّز بزحفان اكبر من زحفان الخرسانة الاقدم عمرا . وان زحفان الخرسانة فى البيئة الجافة ، اكبر كثيرا من زحفانها فى البيئة الرطبة . وهناك عوامل تكنولوجية معينة تؤثر بدورها على زحفان الخرسانة : مثلا بزيادة النسبة W/C وزيادة كمية الاسمنت فى وحدة حجم المزيج الخرسانى ، يزداد الزحفان ايضا ، وبزيادة مقاومة حبيبات الانخلاط ، يقل الزحفان ؛ كما انه بزيادة مقاومة الخرسانة ورفع ماركتها المصممة ، يقل الزحفان . ان انواع الخرسانة ذات الانخلاط المسامية ، تتميّز بزحفان اكبر قليلا من انواع الخرسانة الثقيلة .

ان طبيعة زحفان الخرسانة تتضح من بنيتها ومن العملية المستمرة للتبلور وانخفاض كمية الجل عند تصلب الحجر الاسمنتى . وعند تأثير الحمل تحدث عملية اعادة توزيع الاجهادات من مادة الجل ذات التسيّل اللزج ، اى الكتلة المختلطة البلورية وحبيبات الانخلاط . وفى نفس الوقت نجد ان الظواهر الشعرية المرتبطة بتحركات الماء الزائد داخل المسامات الميكروسكوبية والشعيرات بتأثير الحمل ، تساعد على تطور انفعالات الزحفان . ومع مرور الزمن ، تخمد عملية اعادة توزيع الاجهادات وتتوقف الانفعالات فى الخرسانة .

ويقسم الزحفان الى نوعين : الزحفان الخطى (linear creep) الذى تكون عنده العلاقة بين الاجهادات والانفعالات ، علاقة خطية تقريبا ؛ والزحفان اللاخطى . وعند قيم الاجهادات التى تزيد على حدود تكوين الشقوق الميكروسكوبية البنيوية R_{cr}^0 ، يبدأ التطور المتسارع

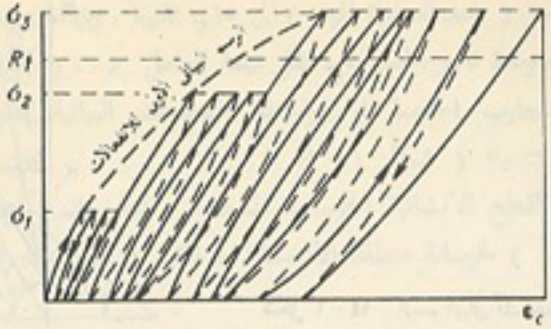
للانفعالات ، او الزحفان اللاخطى . ويعتبر تقسيم الزحفان هذا تقسيما اصطلاحيا ، وذلك لظهور علاقة لاخطية بين الاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ فى بعض التجارب ، حتى عند وجود اجهادات قليلة نسبيا . وتجدر الاشارة هنا الى الاهمية الجوهرية لحساب الزحفان اللاخطى بالنسبة للحسابات العملية للقطع الانشائية السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء ، والمعرضة للانضغاط اللامحورى ، وغيرها من القطع الاخرى .

ان زحفان وانكماش الخرسانة ، يتطوران جنبا الى جنب . ولهذا نجد ان الانفعال الكلى للخرسانة ، هو عبارة عن مجموع الانفعالات كافة : الانفعال المرن ε_{el} ، انفعال الزحفان ε_{cr} وانفعال الانكماش ε_{sh} . ولكن فى الوقت الذى يتميز فيه الانكماش بطابع الانفعال الحجمى نجد ان الزحفان يتطور بشكل رئيسى فى اتجاه تأثير القوة .

انفعالات الخرسانة عند تأثير الحمل كثير التكرار . ان التكرار الكثير لدورات التحميل وازالة الحمل بالنسبة للمواشير الخرسانية ، يؤدى الى التراكم التدريجى للانفعالات غير المرنة فيها . وبعد عدد كبير كاف من الدورات ، نجد ان هذه الانفعالات غير المرنة ، المناظرة للمستوى المعين من الاجهادات ، تتناقص تدريجيا ، ويصل الزحفان الى قيمته القصوى ثم تبدأ الخرسانة بالسلوك المرن . ويبين الشكل (١ – ١٣) كيف تتراكم الانفعالات غير المرنة مع كل دورة تحميل لاحقة ، اما منحنى الاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ فانه يستقيم تدريجيا الى ان يصبح مستقيما يبين سلوك الخرسانة المرن . ان مثل طبيعة الاجهادات والانفعالات هذه ، لا تلاحظ الا فى حالة الاجهادات التى لا تزيد على حد الكلال ، اى عند $\sigma_c \leqslant R_f$. وعند الاجهادات الكبيرة ، بعد عدد معين من الدورات ، تبدأ الانفعالات غير المرنة بالنمو اللامحدود ، الامر الذى يؤدى الى انهيار العينة الخرسانية ، وهنا يغير انحناء الخط $\sigma_c - \varepsilon_c$ علامته ، وتتناقص تدريجيا زاوية ميله على الاحداثى السينى .

وعند تأثير الاحمال الاهتزازية مع عدد التكرار الكبير فى كل دقيقة واحدة (٢٠٠ – ٦٠٠ مرة) يلاحظ التطور المتسارع فى زحفان الخرسانة ، ويسمى بالزحفان الاهتزازى (vibrational creep) ، او بالزحفان الدينامى

الانفعالات القصوى للخرسانة . ان الانفعالات القصوى للخرسانة قبل الانهيار ، اى قابلية الانضغاط القصوى ε_c^{ul} وقابلية الشد القصوى $\varepsilon_{c.\,ten}^{ul}$ ، تعتمد على مقاومة الخرسانة ، ماركتها ، تركيبها والفترة الزمنية لتأثير الحمل . فبزيادة ماركة الخرسانة ، تنخفض الانفعالات القصوى ، ولكن بزيادة مدة تأثير الحمل فانها تزداد ايضا . وفى التجارب العملية عند الانضغاط المحورى للعينات الموشورية الخرسانية ، تصل قابلية الانضغاط القصوى للخرسانة الى ما يلى : $\varepsilon_c^{ul} = (0{,}8 - 3)10^{-3}$ ، وتؤخذ فى المعدل مساوية لما يلى :



شكل ١ – ١٣ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات فى حالة التكرار الكثير لتحميل العينة الخرسانية

$\varepsilon_c^{ul} = 2 \times 10^{-3}$. وتلاحظ فى منطقة انضغاط القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، قابلية انضغاط اكبر مما هى عليه فى المواشير الخرسانية المضغوطة ، وقابلية الانضغاط القصوى ، المعتمدة على شكل المقطع العرضى والارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط تساوى ما يلى : $\varepsilon_c^{ul} = (2{,}7 - 4{,}5)10^{-3}$ ، وعند تقليل عرض المقطع العرضى من الاعلى الى الاسفل وفى المقاطع على الشكل T ، تقل قيمة ε_c^{ul} ، اما عند تقليل الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط ، تزداد قيمة ε_c^{ul} .

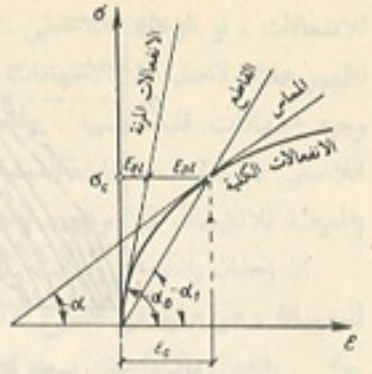
ان قابلية الشد القصوى للخرسانة اقل من قابلية الانضغاط القصوى بـ ١٠ – ٢٠ مرة ، وتؤخذ فى المعدل مساوية للمقدار $\varepsilon_{c.\,ten}^{ul} = 1{,}5 \times 10^{-4}$. ان انواع الخرسانة ذات الانخلاط المسامية ، تتميز بقابلية شد قصوى اكبر من ذلك بقليل . ان قابلية الشد القصوى تؤثر بصورة جوهرية على مقاومة تكوّن الشقوق فى مناطق الشد الموجودة فى الانشاءات الخرسانية المسلحة .

٦ – معايير المرونة والزحفان النوعى للخرسانة

ان معايير المرونة الابتدائى للخرسانة عند الانضغاط E_c يناظر فقط الانفعالات المرنة ، الناجمة فى حالة التحميل اللحظى ، ويعيّن من الناحية الهندسية ، باعتبارة مساويا لظل زاوية ميل مستقيم الانفعالات المرنة (شكل ١ – ١٤) :

$$E_c = \operatorname{tg} \alpha_0 \qquad (I\text{-}7)$$

ان معايير المرونة المماسى (tangent modulus of elasticity) عند الانضغاط E_c يناظر الانفعالات الكلية (بما فى ذلك الزحفان) ويعتبر قيمة متغيّرة ، ويحدد هندسيا باعتباره مساويا لظل زاوية ميل المماس والمنحنى $\sigma_c - \varepsilon_c$ فى النقطة ذات



شكل ١ – ١٤ . الرسم البيانى المستخدم لتحديد معايير المرونة للخرسانة

الاجهاد المحدد :

$$E'_c = d\sigma_c / d\varepsilon_c = \operatorname{tg}\alpha \qquad (I\text{-}8)$$

وكان فى الامكان تحديد انفعال الخرسانة بواسطة معايير المرونة المتغيّر وذلك باخذ تكامل الدالة التالية :

$$\varepsilon_c = \int (1/E'_c) d\sigma_c$$

ولكن مثل هذه الطريقة لتحديد الانفعالات تعتبر صعبة ، وذلك لان العلاقة التحليلة بالنسبة للمقدار E'_c مجهولة . ولهذا السبب ، فعند تصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة ، يستخدم المعاير المتوسط او معاير المرونة واللدونة للخرسانة ، الذى هو عبارة عن ظل زاوية ميل القاطع على المنحنى $\sigma_c - \varepsilon_c$ فى نقطة الاجهادات المعلومة :

$$E'_c = \operatorname{tg}\alpha_1 \qquad (I\text{-}9)$$

ولما كانت الزاوية α تتغير تبعا للاجهادات ، نجد ان معاير المرونة واللدونة يعتبر ايضا بمثابة قيمة متغيرة ، اصغر من معاير المرونة الابتدائى .

ويمكن تحديد العلاقة بين معاير المرونة الابتدائى للخرسانة ومعاير المرونة واللدونة ، اذا عبرنا عن نفس الاجهاد الواحد فى الخرسانة σ_c بواسطة الانفعالات المرنة ε_{el} والانفعالات الكلية ε_c :

$$\sigma_c = \varepsilon_{el} E_c = \varepsilon_c E'_c$$

ومنها ينتج ان :

$$E'_c = \nu E_c \qquad (I\text{-}10)$$

حيث $\nu = \varepsilon_{el}/\varepsilon_c$ – تمثل معامل الانفعالات المرنة للخرسانة ، الذى يساوى نسبة الانفعالات المرنة الى الانفعالات الكلية . واستنادا الى المعطيات التجريبية ، نجد ان المعامل

ν يتغير من الواحد (عند السلوك المرن) الى ١٥,. تقريبا . وبزيادة مستوى الاجهادات فى الخرسانة σ_c/R_{pr} ومدة تأثير الحمل t ، تقل قيمة المعامل ν . ويمكن تحديد قيمة $\nu(t)$ من معطيات التجارب الخاصة او بواسطة المنحنيات البيانية المتوسطة للاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ (شكل ١ – ١٥) .

عند انحناء القطع الانشائية الخرسانية المسلحة ، يمكن ان تكون قيمة E'_c (من المعطيات التجريبية) لخرسانة منطقة الانضغاط ، اكبر مما هى عليه فى حالة الانضغاط المحورى بنسبة ١٥ – ٢٠ ٪ .

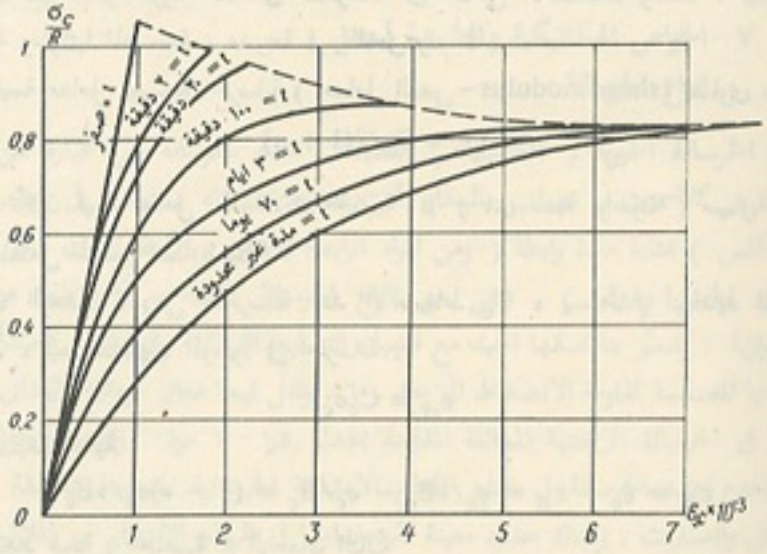
وعند تعرض القطع الانشائية للشد ، نجد ان معامل مرونة ولدونة الخرسانة يساوى ما يلى :

$$E'_{c,\,ten} = \nu_{ten} E_c \qquad (I\text{-}11)$$

حيث $\nu_{ten} = \varepsilon_{el,\,ten}/\varepsilon_{c,\,ten}$ – تمثل معامل الانفعالات المرنة للخرسانة فى حالة الشد . وعندما تقترب قيمة اجهاد الشد فى الخرسانة من قيمة المقاومة القصوى للشد المحورى ، اى $\sigma_{c.\,ten} \to R_{ten}$ ، عندئذ تصبح القيمة التجريبية المتوسطة للمعامل المذكور ، مساوية لما يلى : $\nu_{ten} = 0{,}5$.

ان قابلية الشد القصوى للخرسانة ، تبعا لمقاومة الشد القصوى تساوى ما يلى :

$$\varepsilon^{ul}_{c,\,ten} = R_{ten}/E'_{c,\,ten} = 2R_{ten}/E_c \qquad (I\text{-}12)$$



شكل ١ – ١٥ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات عند المدد الزمنية المختلفة لتحميل العينة الخرسانية

ويمكن تحديد معاير المرونة الابتدائى للخرسانة فى حالتى الانضغاط والشد E_c' ، من التجارب الخاصة للمواشير الخرسانية فى حالة المستوى المنخفض للاجهادات ، ويساوى $\sigma_c / R_{pr} \leqslant 0{,}2$. وتوجد صيغ وضعية مختلفة ، تحدد فيها العلاقة بين معاير المرونة الابتدائى وماركة الخرسانة . وفى المواصفات القياسية للخرسانة الثقيلة ذات التصلب الطبيعى ، وضعت للاستخدام الصيغة الوضعية التالية :

$$E_c = 550\,000\ R/(270 + R) \qquad (I\text{-}13)$$

ان قيمة E_c عند المعاملة الحرارية للخرسانة ، تنخفض بنسبة ١٠ ٪ ، وعند معاملة (انضاج) الخرسانة بالبخار ، تنخفض بنسبة ٢٥ ٪ . وتتميز الخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، باعتبارها اكثر قابلية للانفعال ، بوجود معاير مرونة ابتدائى يقل بمقدار ١٫٥ – ٢ مرة عما هو عليه فى بقية انواع الخرسانة . وهناك صيغ وضعية مختلفة ، مبنية على اساس العلاقة بين معاير المرونة الابتدائى ، الكثافة المتوسطة ومقاومة المكعب الخرسانى . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحديد العلاقة بين معايرات المرونة الابتدائية للخرسانة ذات الاخلاط المسامية والخرسانة الثقيلة ، من الصيغة الوضعية التالية :

$$k = (\gamma_{por}/\gamma)^{3/2} \qquad (I\text{-}14)$$

حيث γ_{por} و γ – تمثلان الكثافة المتوسطة للخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، والخرسانة الثقيلة ، عند تساوى ماركتهما المصممة .

ان قيم معاير المرونة الابتدائى للخرسانة فى حالتى الانضغاط والشد ، تبعا لنوع الخرسانة وماركتها المصممة ، مدرجة فى الملحق رقم ٤ .

وقيمة معامل جسوءة الخرسانة (معامل القص – shear modulus) تساوى ما يلى :

$$G_c = E_c/2(1 + \mu) \qquad (I\text{-}15)$$

وعندما تكون قيمة معامل الانفعالات الجانبية μ (اى نسبة بواسون) مساوية 0,2 ، يؤخذ المعامل المذكور مساويا $0{,}4E_c$.

ان الزحفان النوعى للخرسانة عند الانضغاط C_c ، يستخدم لتحديد انفعالات الزحفان ، تبعا للاجهاد الموجود فى الخرسانة :

$$\varepsilon_{cr} = C_c\sigma_c \qquad (I\text{-}16)$$

ومن الصيغة التالية

$$\varepsilon_{cr} = \varepsilon_c - \varepsilon_{el} = \sigma_c/\nu E_c - \sigma_c/E_c = (1 - \nu)\sigma_c/\nu E_c$$

يمكن ايجاد قيمة (خاصية) الزحفان التالية

$$\varphi = (1 - \nu)/\nu \qquad (I\text{-}17)$$

وقيمة الزحفان النوعى للخرسانة

$$C_c = \varphi/E_c \qquad (I\text{-}18)$$

ان الزحفان النوعى للخرسانة يعتمد على ماركة الخرسانة ومستوى الاجهادات ، ويعتبر متغيرا بمرور الزمن .

ولاجل الوصف التحليلى لزحفان الخرسانة الخطى ، اتخذت نماذج رياضية معينة ووضعت نظريات مختلفة للزحفان ، كانت اكثرها انتشارا هى النظرية التليدة للتصلب بمرور الزمن (hereditary ageing theory) . ومع ذلك ، نجد أنه من الصعب استخدام المعادلات الناجمة عن هذه النظرية فى التصاميم العملية للانشاءات الخرسانية المسلحة مع اخذ العمليات المستمرة فى الاعتبار ، وخاصة فى حالة الاجهاد الموحدة (اى عند الانضغاط اللامحورى ، وانحناء القطع الانشائية السابقة الاجهاد وغيرها) وعند المستويات العالية للاجهادات . ولهذا السبب يتم اللجوء فى التطبيقات العملية الى مختلف طرق الحساب ، المبنية على استخدام الحاسبات الالكترونية ، واستخدام نماذج منفصلة (متفرقة) تحتوى على عدد كبير من القطع المحورية (القضيبية) المعرضة للانضغاط المحورى او الشد المحورى بصورة خطية فى كل لحظة زمنية ، والتى تستخدم فيها علاقة خاصة بين الاجهادات والانفعالات $\sigma_c - \varepsilon_c$ فى كل مرحلة من مراحل التحميل ، مأخوذة من الرسوم البيانية التجريبية المتوسطة .

٧ – الخواص الميكانيكية والطبيعية لبعض انواع الخرسانة

الخرسانة الجيرية (الكلسية) الكثيفة . هذه الخرسانة هى عبارة عن خرسانة خالية من الاسمنت ، تصلب بالبخار تحت ضغط عال ، يستخدم فى تحضيرها الجير (الكلس) بمثابة مادة رابطة (ومن المواد الرابطة الاخرى ، الرابط الجيرى الرملى ، الرابط الجيرى الخبثى وغيرهما) . وهى من انواع الخرسانة الثقيلة ، واخلاطها هى الرمال الكوارتزية . وتتميّز بتلاصقها الجيد مع قضبان التسليح الفولاذية وتحميها من الصدأ . وتصل ماركاتها المصممة لمقاومة الانضغاط الى حد ٦٠٠ . وتقل قيمة معاير مرونتها الابتدائى عما هى عليه فى الخرسانة الاسمنتية المماثلة المقاومة بمقدار ١٫٥ – ٢ مرة . وتتميز بزحفان أقل . وتستخدم هذه الخرسانة فى انتاج القطع الانشائية الخرسانية المسلحة السابقة الصنع ، للمبانى والعمارات . وهناك حدود معينة لاستخدامها فى ظروف الاستثمار غير الملائمة (مثل التأثير الشديد للامطار والثلوج ، وجود الاحمال الدينامية الكبيرة وغير ذلك) .

الخرسانة المهوّاة (ذات الخلايا الهوائية) . وهى غلى الاغلب خرسانة تصلب بالبخار تحت ضغط عال ، تحتوى فى تركيبها على مسامات اصطناعية . وتنتج بخلط الرابط الاسمنتى والجيرى مع الماء والرغوة (ومنها الخرسانة الرغاوية ، الخرسانة الرغاوية الرمادية وغيرها) او باضافة مادة مولدة للغازات الى المزيج – مثل مسحوق الالومنيوم (الخرسانة الخلوية – gas concrete) . وتتألف أخلاط هذه الخرسانة من الرمال الكوارتزية الناعمة (المسحوقة) . ان الخرسانة المهواة اقل كثافة من الخرسانة العادية ، ولهذا السبب تحتاج قضبان التسليح الموجودة فى داخلها الى وقاية خاصة من الصدأ ، بتغطيتها بمزيج اسمنتى مائى او بمعجون اسمنتى اسفلتى . وتتميز هذه الخرسانة ايضا بصغر معدل كثافتها (الذى يتراوح بين ٦٠٠ – ١٢٠٠ كجم /م^3) . ان ماركات الخرسانة المصممة لمقاومة الانضغاط ، فى الانشاءات والقطع الخرسانية المسلحة هى : ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠ و ١٥٠ . اما معاير المرونة الابتدائى لهذه الخرسانة ، فهو اقل مما هو عليه فى الخرسانة العادية ذات المقاومة المماثلة ، بمقدار ٢ – ٣ مرة . وتتميز هذه الخرسانة بانكماش كبير $\varepsilon_{s.c}$ تتراوح قيمته بين 4×10^{-4} و 6×10^{-4} . ان قيمة الانكماش فى حالة التصلب بدون معاملة بخارية وضغط عال ، كبيرة جدا لدرجة انه يؤدى الى تشقق (تصدع) المنتجات .

الخرسانة الصامدة للحرارة . تستخدم هذه الخرسانة فى الانشاءات التى تعمل فى ظروف درجات الحرارة العالية (اعلى من ٢٠٠ مئوية) . وتبعا لدرجة السخونة ، تستخدم المواد الرابطة التالية : اسمنت الالومينا ، اسمنت بورتلاند مع مواد اضافية اخرى ، الزجاج المائى (وهو عبارة عن محلول مركز من سليكات الصوديوم فى الماء مع اضافة الرمل الكوارتزى المسحوق) . اما الاخلاط الصامدة للحرارة فتتألف من : الكروميت (ملح كرومى) ، الطفال الحرارى ، كسارة الطوب ، الخبث ، البازلت ، الديابيز (صخر نارى محبب) وغيرها . ويبقى التلاصق كما هو عليه مع قضبان التسليح الفولاذية ذات المقطع (القطاع المدلفن الملفوف (gie-rolled section) . وتصل الماركات المصممة للخرسانة تبعا لمقاومة الانضغاط ، الى حد ٤٠٠ . وينخفض معاير مرونة الخرسانة عند ارتفاع درجة الحرارة . وتستخدم هذه الخرسانة فى انشاء الافران النفقية (الانبوبية) ، المحطات الحرارية لتوليد القدرة ، اساسات الافران العالية وغيرها .

الخرسانة الكبيرة المسامات (الخالية من الرمل) . ان هذه الخرسانة الخالية من الرمل تستخدم فى المناطق الجغرافية التى لا يوجد فيها الرمل عادة ، ولكن توجد فيها مواد للاخلاط الخشنة . وتتميز بنية هذه الخرسانة بالعدد الكبير للمسامات الكبيرة ، الامر الذى يؤدى الى انخفاض كثافتها وهبوط معامل موصليتها للحرارة .ولا تستخدم هذه الخرسانة الا فى الجدران المنتجة من القطع الجاهزة او فى الجدران المصبوبة فى الموقع ، ذات الماركة المصممة تبعا للمقاومة والتى لا تزيد على ١٠٠ .

الخرسانة المقاومة للحوامض . ان هذه الخرسانة جيدة المقاومة عند وجودها فى بيئة أكالة (فى وسط مائى يحتوى على حامض ، او فى محيط جوى رطب يحتوى على أبخرة حامضية) . وتبعا لدرجة تركيز الحوامض ، تستخدم المواد الرابطة التالية : اسمنت بورتلاند الممزوج بالبزولان ، اسمنت بورتلاند الممزوج بالخبث ، والزجاج المائى . وتستخدم فى الانشاءات تحت الارضية ، سقوف بعض الورشات التابعة للمصانع الكيميائية ، فى مصانع المعادن اللاحديدية وغيرها .

الخرسانة الاسمنتية المبلمرة . ان المواد المضافة الى الرابط الاسمنتى فى هذه الخرسانة ، تتألف من المواد الرابطة البوليمرية : انواع مختلفة من الراتينجات الذوابة (soluble resins) ، لاتكسات ديفينيلية ستايرينية (givinyl-styrene latexes) ، مستحلب اسيتات البوليفينيل (polyvinyl-acetate emulsion) وغيرها .

ان هذه المواد المضافة الى المزيج الخرسانى بنسبة تتراوح بين ١٠ – ٢٠ ٪ من كتلة الاسمنت ، تغير خواص الخرسانة : ترفع من مقاومة الشد وقابلية الشد القصوى (عدة مرات) ، تقوى التلاصق مع قضبان التسليح وتزيد من مقاومتها للصدأ . ولكن زحفان الخرسانة الاسمنتية المبلمرة اكبر بكثير من زحفان الخرسانة العادية . وبالاضافة الى ذلك ، عند زيادة الرطوبة يتأخر ازدياد مقاومة الخرسانة الاسمنتية المبلمرة ، ولهذا السبب تستثنى عملية الانضاج بالبخار بعد الصب فى القوالب (لان الشرط الضرورى للتصلب فى هذه الحالة ، هو المحيط الهوائى الجاف) . وتستخدم هذه الخرسانة فى السقوف الصامدة للماء وفى ترميم السطوح الخرسانية للمنشآت وغير ذلك . اما استخدامها فى الانشاءات الحاملة فهو محدود فى الوقت الحاضر نتيجة لزحفانها الكبير والثمن المرتفع نسبيا للمواد البوليمرية .

الخرسانة المبلمرة . فى هذا النوع من الخرسانة يستبدل الاسمنت كليا بمواد بوليمرية رابطة . ان تغيّر الخواص المميّزة لخرسانة الاسمنت المبلمرة ، يظهر هنا بدرجة كبيرة . وهذه الخرسانة لا تستخدم بعد فى الانشاءات الحاملة ، نتيجة للدراسة غير الوافية لخواصها وتكاليفها الباهضة نسبيا .

البند الثانى
قضبان التسليح الفولاذية

١ – وظيفة قضبان التسليح الفولاذية وانواعها

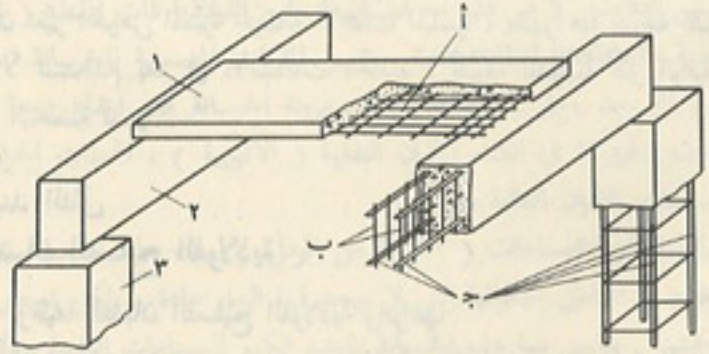
ان الغرض من قضبان التسليح الفولاذية فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، هو بالدرجة الاساسية لاستيعاب قوى الشد وتعزيز خرسانة مناطق الانضغاط فى الانشاءات . والكمية اللازمة من قضبان التسليح تحدد بواسطة الحسابات التصميمية الخاصة بالاحمال والمؤثرات التى تتعرض لها قطع الانشاءات .

وقضبان التسليح التى توضع استنادا الى الحسابات التصميمية تسمى بقضبان التسليح الفعالة (load bearing reinforcement) ؛ اما القضبان الموضوعة استنادا الى الاعتبارات الانشائية والتركيبية التكنولوجية فتسمى بقضبان التسليح التركيبية (erection reinforcement) . والغرض من القضبان التركيبية هو تأمين الوضع التصميمى للقضبان الفعالة فى الانشاء ، والتوزيع الاكثر انتظاما للقوى بين مختلف القضبان الفعالة المنفردة . وبالاضافة الى ذلك ، يمكن للقضبان التركيبية ان تتحمل القوى غير المحسوبة ، الناجمة عن انكماش الخرسانة ، تغير درجة حرارة الانشاء وغير ذلك .

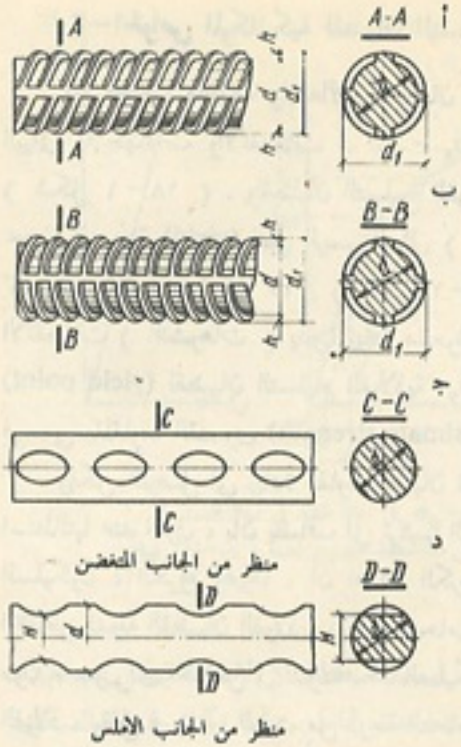
ويتم توحيد قضبان التسليح الفعالة والقضبان التركيبية فى منتجات تسليحية معينة – مثل الشبكات والهياكل الملحومة والمربوطة ، التى ترتب فى القطع الخرسانية المسلحة تبعا لطبيعة سلوكها عند تأثير الحمل عليها (شكل ١ – ١٦) .

تقسم قضبان التسليح الفولاذية فى الانشاءات والقطع الانشائية تبعا لتكنولوجية صنعها الى قضبان فولاذية مدلفنة على الساخن (hot-rolled bars) واسلاك فولاذية مسحوبة على البارد (cold-drawn wires) . ويقصد بقضبان التسليح الواردة فى التصنيف المذكور ، القضبان ذات الاقطار المختلفة الابعاد ، بغض النظر عن الكيفية التى تنتج فيها او شكلها المنتج فى الصانع – مثلا على هيئة قضبان (قطرها $d \geqslant 12mm$ ويصل طولها الى ١٣ م) او على هيئة حزم ولفات (قطرها $d \leqslant 10mm$ وتصل كتلتها الى ٥٠٠ كجم) .

وتبعا لطريقة التصليد اللاحق ، قد تكون قضبان التسليح المدلفنة على الساخن اما مصلدة بالحرارة (بالمعاملة الحرارية) او مصلدة بالسحب (بالسحب على البارد).



شكل ١ – ١٦ . القطع الانشائية الخرسانية المسلحة والقضبان الفولاذية المستخدمة فى تسليحها :
أ – شبكة فولاذية ؛ ب – هياكل فولاذية مستوية ؛ جـ – هيكل فولاذى مجسم ؛ ١ – بلاطة ، ٢ – عتبة ، ٣ – عمود



شكل ١ – ١٧ . القضبان والاسلاك الفولاذية المفرزة المقطع :
أ – قضبان من الصنف A-II ، ب – قضبان من الصنفين A-III و A-IV ؛ جـ – اسلاك عالية المقاومة

ومن حيث سطح القضبان (جانبيتها) ، هناك قضبان محززة (indented bars) وقضبان ملساء (plain bars) .

ان النتوءات التى على هيئة اضلاع الموجودة على سطح قضبان التسليح المحززة ، والثنيات او الاخاديد الموجودة على سطح اسلاك التسليح ، ترفع كثيرا من درجة التصاقها مع الخرسانة (شكل ١ – ١٧) .

وتبعا لطريقة الاستخدام عند تسليح القطع الخرسانية توجد قضبان تسليح سابقة الاجهاد معرضة للشد المسبق ، وقضبان تسليح غير سابقة الاجهاد .

ان قطع التسليح الفولاذية الجاسئة (rigid reinforcement) ذات المقاطع على هيئة I (I-sections) ، على هيئة ـــ (sections – ـــ) او على هيئة زوايا (angles) تسلك قبل تصلب الخرسانة سلوك الانشاء المعدنى الذى يقاوم الحمل الناجم عن وزنه الذاتى ووزن القوالب المؤقتة المعلقة بها ووزن المزيج الخرسانى المصبوب حديثا . وقد تكون ملائمة للاستخدام فى السقوف الواسعة الابواع المصبوبة ، والاعمدة الشديدة التحميل للطوابق السفلى فى العمارات المتعددة الطوابق وغير ذلك .

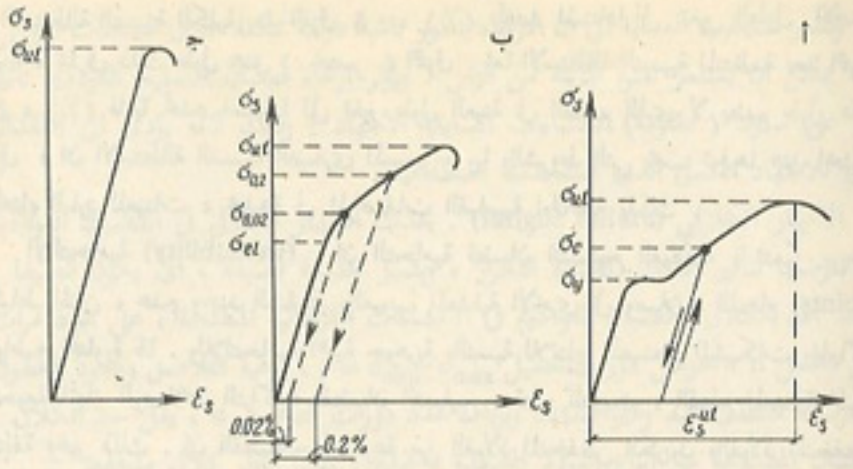
٢ – الخواص الميكانيكية لقضبان التسليح الفولاذية

ان خواص مقاومة وانفعالات قضبان واسلاك التسليح الفولاذية ، تحدد من الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات $\sigma_s - \varepsilon_s$ ، الناجم عن اختبارات الشد للعيّنات (شكل ١ – ١٨) . ولقضبان التسليح الفولاذية المدلفنة على الساخن ، التى لها منطقة خضوع معينة (yield) على الرسم البيانى (الفولاذ اللين او المطاوع) تتميز باستطالة كبيرة بعد تمزقها تصل الى ٢٥ ٪ (شكل ١ – ١٨ ، أ) . وان الاجهاد الذى تتطور عنده الانفعالات (التشوهات) بدون زيادة ملحوظة للحمل ، يسمى بنقطة الخضوع الطبيعيه (yield point) لقضبان التسليح الفولاذية σ_y ، اما الاجهاد الذى يسبق التمزق مباشرة ، فيسمى بالمقاومة القصوى (ultimate strength) لقضبان التسليح الفولاذية σ_{ul} .

ويمكن التوصل الى زيادة مقاومة قضبان التسليح الفولاذية المدلفنة على الساخن وتقليل استطالتها عند التمزق ، بأن يضاف الى تركيبها الكربون ومختلف عناصر الاشابة مثل : المنغنيز ، السليكون ، الكروم وغيرها . ان اضافة الكربون بنسبة تزيد على ٠٫٣ – ٠٫٥ ٪ تؤدى الى انخفاض لدونة القضبان الفولاذية ورداءة التحاميتها . ويؤدى المنغنيز الى زيادة مقاومة الفولاذ ، دون حصول اى انخفاض فى لدونته . اما السليكون فانه حين يؤدى الى رفع او زيادة مقاومة الفولاذ ، يقلل فى نفس الوقت من درجة التحاميته (قابلية التحامه) . ونسبة مواد الاشابة المضافة قليلة ، وتساوى عادة ٠٫٦ – ٢ ٪ .

ويمكن التوصل الى زيادة مقاومة القضبان الفولاذية المدلفنة على الساخن زيادة جوهرية (لعدة مرات) بواسطة التصليد بالحرارة او التصليد بالسحب على البارد . وفى حالة التصليد بالحرارة ، تتم تقسية (سقى) القضبان الفولاذية (بتسخينها الى درجة حرارة ٨٠٠ أو ٩٠٠ مئوية وتبريدها بسرعة) ، ثم يليها تطبيع جزئى (tempering) للقضبان (بتسخينها الى درجة حرارة ٣٠٠ – ٤٠٠ مئوية وتبريدها بصورة تدريجية) . ان القضبان الفولاذية المصلدة بالحرارة ، تتحول الى منقطة السلوك اللدن تدريجيا ، وليست لها منطقة خضوع معينة على الرسم البيانى (شكل ١ – ١٨ ، ب) . وبالنسبة للقضبان الفولاذية ، التى ليست لها منطقة خضوع على الرسم البيانى ، يتم تحديد نقطة خضوعها الاصطلاحية $\sigma_{0,2}$ – اى الاجهاد الذى عنده تبلغ قيمة الانفعالات المتخلفة ٠٫٢ ٪ ، كما يعين حد مرونتها الاصطلاحى $\sigma_{0,02}$ – اى الاجهاد الذى عنده تبلغ قيمة الانفعالات المتخلفة ٠٫٠٢ ٪ .

ان حقيقة تصليد قضبان التسليح الفولاذية المدلفنة على الساخن ، بطريقة السحب على البارد ، تتلخص فيما يلى : عند سحب القضبان الفولاذية على البارد بطريقة اصطناعية ، الى حد من الاجهاد يزيد على نقطة الخضوع $\sigma_c > \sigma_y$ ، يتصلّد الفولاذ بتأثير التغيرات البنيوية للنسق البلورى – التشكيل على البارد . وعند تكرار عملية السحب على البارد ، يصبح



شكل ١ – ١٨ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات $\sigma_s - \varepsilon_s$ فى حالة الشد فى فولاذ التسليح :
أ – فولاذ له منطقة خضوع معينة (فولاذ لين) ؛ ب – فولاذ ليس له منطقة خضوع معينة ؛ جـ – فولاذ مصلد

الاجهاد σ_c بمثابة نقطة خضوع جديدة رفعت قيمتها اصطناعيا (لاحظ الشكل ١ – ١٨ ، أ) وذلك لان الانفعالات اللدنة كلها قد أستخرجت تماما . وبعد تكرار عملية السحب عدة مرات (عبر عدة ثقوب متناقصة القطر تدريجيا) تكتسب الاسلاك الفولاذية خواص الفولاذ الصلّد (hard steel) – اى تصبح لها علاقة خطية $\sigma_s - \varepsilon_s$ بين الاجهادات والانفعالات تستمر حتى التمزق . وهنا تزداد المقاومة القصوى للاسلاك الفولاذية زيادة كبيرة ، اما الاستطالة بعد التمزق فتقل بنسبة ٤ – ٦ ٪ (شكل ١ – ١٨ ، جـ) .

الخواص اللدنة المطيلية (guctility) . ان لهذه الخواص فى الفولاذ اهمية كبيرة بالنسبة لسلوك الانشاءات الخرسانية المسلحة تحت تأثير الحمل ، مكننة عمليات تركيب قضبان التسليح ، سهولة سحب قضبان التسليح السابقة الاجهاد وغير ذلك . وتتميّز قطع التسليح الفولاذية بلدونة كافية (مطيلية) ، ولكن تدنى خواصها اللدنة قد يكون السبب فى تمزقها القصيف (المفاجىء) فى الانشاءات المعرضة لتأثير الحمل ، وفى الانكسار القصيف (brittle rupture) لقضبان التسليح السابقة الاجهاد فى مواضع الانحناء الحاد او عند تثبيتها فى المثبتات (الماسكات) وغير ذلك . ان الخواص اللدنة لقضبان واسلاك التسليح الفولاذية تتمثل فى الاستطالة النسبية عند اختبار التمزق للعينات التى طولها يساوى خمسة اضعاف قطر القضيب الفولاذى او يساوى ١٠٠ مم ، وتقيم كذلك باختبار الانحناء فى الحالة الباردة ، حول شياق او ماسك (mandrel) ثخنه يساوى ٣ – ٥ اضعاف قطر القضيب الفولاذى .

ان الاستطالة النسبية الكلية بعد التمزق δ ، (٪) تحدد استنادا الى تغير الطول الاصلى للعيّنة ، بما فى ذلك طول عنق (خصر) التمزق ، اما الاستطالة النسبية المنتظمة بعد التمزق δ_{un} ، (٪) فانها تحدد استنادا الى تغير طول العينة فى القسم الذى لا يضم طول عنق التمزق ؛ ان الاستطالة النسبية الصغرى المسموح بها والشروط التى يجب توفرها عند اختبار الانحناء البارد للعينات ، محددة فى المواصفات القياسية الخاصة بذلك .

الالتحامية (weldability) . ان التحامية قضبان التسليح الفولاذية ، تتميّز بوجود الارتباط المتين ، عدم وجود الشقوق والعيوب المعدنية الاخرى فى وصلات اللحام (joints) والمواضع المجاورة لها . وللالتحامية أهمية جوهرية بالنسبة للانتاج المصنعى للشبكات والهياكل الملحومة انجاز الوصلات التراكبية لقضبان التسليح ، قطع التثبيت ، القطع المعدنية المبيّتة المختلفة وغير ذلك . ان القضبان المصنوعة من الفولاذ المنخفض الكربون والفولاذ المنخفض الاشابة ، المدلفنة على الساخن ، تعتبر جيدة الالتحام . ولا يجوز لحام قضبان التسليح الفولاذية المصلدة بالمعاملة الحرارية او بالسحب على البارد ، وذلك لانه عند لحامها يزول مفعول التصليد – تحدث عملية التطبيع وتزول تقسية الفولاذ المصلد بالحرارة ، يحدث التلدين ويزول تشكيل الاسلاك الفولاذية على البارد كما يزول التصليد بالسحب على البارد .

التقصّف البارد (cold brittleness) . ان خاصية التقصّف البارد او النزوع الى الانهيار القصيف تحت تأثير الاجهاد وفى درجات حرارة سالبة (تقل عن ٣٠ مئوية تحت الصفر) تميّز قضبان واسلاك التسليح الفولاذية المحززة الجانبية، المدلفنة على الساخن ، من بعض الانواع المعينة – من فولاذ المجمرة المكشوفة (فولاذ سيمنز ومارتن) نصف المخمّد وفولاذ المحولات وغير ذلك . ان اسلاك التسليح الفولاذية العالية المقاومة والمصلدة بالحرارة ، تتميّز بمشرف للتقصف البارد اقل انخفاضا (threshold) .

الخواص الانسيابية . ان الخواص الانسيابية لقضبان واسلاك التسليح الفولاذية ، تتمثل فى الزحفان والاسترخاء (relaxation) . ويزداد زحفان قضبان التسليح الفولاذية بزيادة الاجهادات وارتفاع درجة الحرارة . ويلاحظ وجود الارتخاء او انخفاض الاجهادات فى قضبان التسليح عند عدم تغيّر طولها – اى عدم وجود انفعالات . ويعتمد الزحفان على الخواص الميكانيكية والتركيب الكيميائى للفولاذ ، على طريقة صنعه وظروف استثماره وغير ذلك . وتتميّز بدرجة كبيرة من الاسترخاء ، الاسلاك الفولاذية المصلدة بالسحب على البارد ، والقضبان الفولاذية المصلدة بالحرارة وكذلك القضبان الفولاذية العالية الاشابة (highly-alloyed) . اما ارتخاء القضبان المصنوعة من انواع الفولاذ المنخفض الاشابة المدلفنة على الساخن ، فهو قليل القيمة .

وتشير التجارب العملية الى أن الارتخاء يتطور باشد درجة ممكنة خلال الساعات الاولى ، ولكنه يمكن ان يستمر لفترة طويلة من الزمن . ويؤثر ارتخاء قضبان التسليح الفولاذية تأثيرا كبيرا على سلوك (مقاومة) الانشاءات السابقة الاجهاد ، وذلك لانه يؤدى الى الفقدان الجزئى للاجهاد المسبق الذى استحدث اصطناعيا .

الانهيار الكلالى (fatigue failure) . يحدث الانهيار الكلالى فى القضبان الفولاذية عند تعرضها لتأثير الاحمال الكثيرة التكرار ، ويتميّز بطبيعة قصيفة ، اى يكون قصيفا . ويعتمد حد الكلال للقضبان الفولاذية فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، على عدد مرات تكرار الحمل n ، خواص دورة التحميل $\rho = \sigma_{min}/\sigma_{max}$ ، نوعية التلاصق ووجود الشقوق فى خرسانة منطقة الشد وغير ذلك . وبزيادة عدد دورات التحميل n ، يقل حد الكلال . والقضبان المصنوعة من انواع الفولاذ المصلدة بالحرارة ، تتميّز بحد كلال منخفض .

التصليد الدينامى (dynamic hardening) . يحدث التصليد الدينامى للقضبان الفولاذية عند تعرضها لاحمال شديدة الكثافة ، تؤثر على الانشاء لفترة زمنية قصيرة للغاية . وفى ظروف الانفعال الذى يحدث بسرعة كبيرة ، تسلك القضبان الفولاذية سلوكا مرنا ، عند وجود اجهادات تزيد على نقطة الخضوع الطبيعية ، وتتخلف الانفعالات اللدنة . ان زيادة قيمة نقطة الخضوع الدينامية σ_{dyn} على قيمة نقطة الخضوع الاستاتية σ_y ، تعود الى زمن تخلف الانفعالات . وللتصليد الدينامى تأثير اقل على نقطة الخضوع الاصطلاحية $\sigma_{0,2}$ لانواع الفولاذ المشابة والمصلدة بالحرارة (التى ليست لها منطقة خضوع ظاهرة بوضوح) ، كما ليس له أى تأثير عملى بتاتا على المقاومة القصوى σ_{ul} لكافة أنواع الفولاذ بما فى ذلك الاسلاك الفولاذية العالية المقاومة والشبكات الفولاذية المصنوعة منها .

التسخين لدرجة حرارة عالية . ان تسخين القضبان والاسلاك الفولاذية الى درجة حرارة عالية ، يؤدى الى تغيير بنية المعدن وتخفيض مقاومته . وعلى سبيل المثال ، عند تسخين الفولاذ الى درجة ٤٠٠ مئوية ، تقل قيمة نقطة خضوع القضبان الفولاذية المدلفنة على الساخن من الصنف A-III بنسبة ٣٠ ٪ ، ومن الصنفين A-I و A-II بنسبة ٤٠ ٪ ، وينخفض معاير المرونة بنسبة ١٥ ٪ . ان الظهور الواضح لزحفان قضبان التسليح الفولاذية فى الانشاءات المعرضة لتأثير الحمل ، يبدو للعيان عند درجة حرارة تزيد على ٣٥٠ مئوية . وعند التسخين يحدث التلدين ويزول التشكيل على البارد فى قضبان التسليح الفولاذية ، ولهذا السبب نجد ان المقاومة القصوى للاسلاك الفولاذية العالية المقاومة ، تنخفض بشدة اعلى مما هى عليه بالنسبة للاسلاك المدلفنة على الساخن . وبعد التسخين والتبريد اللاحق ، تعود مقاومة الفولاذ المدلفن على الساخن الى وضعها الاصلى تماما ، اما مقاومة الاسلاك الفولاذية العالية المقاومة ، فلا تسترجع الى بصورة جزئية .

٣ – تصنيف قضبان واسلاك التسليح الفولاذية

ان قضبان التسليح الفولاذية المدلفنة على الساخن ، تقسم تبعا لخواصها الميكانيكية الاساسية ، الى خمسة اصناف حسب المواصفات القياسية السوفييتية ، ورموزها هى : A-I ، A-II ، A-III ، A-IV ، A-V كما مبين فى الجدول (١ – ١) . وقضبان التسليح الفولاذية المصلدة بالحرارة تقسم الى ثلاثة اصناف ، يرمز الى التصليد فى علاماتها ، بالحرف الدليلى «T» الذى يضاف الى الصنف كما يلى : At-IV ، At-V ، At-VI .

وتناظر كل صنف من اصناف قضبان التسليح ماركات معينة من الفولاذ ، ذات خواص ميكانيكية متماثلة ، ولكنها مختلفة من حيث التركيب الكيميائى . وفى رمز ماركة الفولاذ ، يتضح محتوى الكربون ومواد الاشابة المضافة . مثلا ، فى الماركة 25Г2С ، يشير العدد الاول الى محتوى الكربون باجزاء من المئة فى النسبة المئوية (0,25%) ، ويبين الحرف الروسى Г بان الفولاذ مشاب بالمنغنيز ، ويدل العدد 2 على ان محتواه قد يصل الى (2%) اما الحرف الروسى С فيدل على وجود السليكون فى الفولاذ . اما وجود العناصر الكيميائية الاخرى ، مثلا فى ماركتى الفولاذ 20ХГ2Ц و 23Х2Г2Т فيرمز اليه بالحروف الروسية التالية المناظرة لكل عنصر كيميائى كما يلى : Х – الكروم ، Т – التيتانيوم ، Ц – الزركونيوم .

ولكافة اصناف قضبان التسليح الفولاذية مقطع محزز ما عدا القضبان المدّورة (الملساء الجانبية) من الصنف A-I . ونقطة الخضوع الطبيعية للقضبان الفولاذية من الاصناف A-I ، A-II ، A-III هى : $\sigma_y = 230 - 400MPa$ ؛ ونقطة الخضوع الاصطلاحية للقضبان العالية الاشابة من الصنفين A-V ، A-IV هى : $\sigma_{0,2} = 600 - 800MPa$ ؛ وللقضبان الفولاذية المصلدة بالحرارة هى : $\sigma_{0,2} = 600 - 1000MPa$.

ان الاستطالة النسبية بعد التمزق او الانقطاع تعتمد على صنف القضبان الفولاذية . فالصنف A-I يتميز باستطالة كبيرة ($\delta = 25\%$) ، والصنفان A-II و A-III يتميّزان باستطالة اقل ($\delta = 14 - 19\%$) ؛ ويتميّز الصنفان A-IV و A-V والقضبان المصلدة بالحرارة من كافة الاصناف باستطالة قليلة نسبيا ($\delta = 6 - 8\%$) .

وبزيادة مقاومة القضبان الفولاذية ، ينخفض معاير مرونتها E_a قليلا ويصل الى ٢٫١ × ١٠^٦ ميجاباسكال للقضبان الفولاذية من الصنفين A-II و A-I ؛ ويصل الى ٢ × ١٠^٦ ميجاباسكال للقضبان الفولاذية من الصنفين A-III و A-IV ؛ ويصل الى ١٫٩ × ١٠^٦ ميجاباسكال للقضبان الفولاذية من الصنف A-V والقضبان المصلدة بالحرارة .

ان الاسلاك الفولاذية التى يبلغ قطرها ٣ – ٨ مم تقسم الى صنفين هما : (B-I) – الاسلاك الفولاذية العادية (وهى الاسلاك المسحوبة على البارد ، والمنخفضة

جدول ١ – ١

تصنيف قضبان واسلاك التسليح الفولاذية وخواصها الميكانيكية

اسم وصنف قضبان واسلاك التسليح الفولاذية	ماركة الفولاذ	قطر المقطع العرضى (مم)	نقطة الخضوع (ميجاباسكال)	المقاومة القصوى (ميجاباسكال)	الاستطالة النسبية (٪)
القضبان المدلفنة على الساخن :					
المدورة من الصنف A-I	Ст3, ВСт3	٦ – ٤٠	٢٣٥	٣٨٠	٢٥
ذات المقطع المحزز :					
من الصنف A-II	ВСт5	١٠ – ٤٠			
	10ГТ	١٠ – ٣٢	٣٠٠	٥٠٠	١٩
	18Г2С	٤٠ – ٨٠			
من الصنف A-III	25Г2С	٦ – ٤٠			
	35ГС	٦ – ٤٠	٤٠٠	٦٠٠	١٤
	18Г2С	٦ – ٩			
من الصنف A-IV	20ХГ2Ц	١٠ – ٢٢			
	80С	١٠ – ١٨	٦٠٠	٩٠٠	٦
من الصنف A-V	23Х2Г2Т	١٠ – ٢٢	٨٠٠	١٠٥٠	٧٠
القضبان المصلدة بالحرارة :					
من الصنف At-IV	–	١٠ – ٢٥	٦٠٠	٩٠٠	٨
من الصنف At-V	–	١٠ – ٢٥	٨٠٠	١٠٥٠	٧
من الصنف At-VI	–	١٠ – ٢٥	١٠٠٠	١٢٠٠	٦
الاسلاك الفولاذية العادية :					
الملساء من الصنف B-I	–	٣ – ٥	–	٥٠٠	–
ذات المقطع المحزز من الصنف B_p-I	–	٣ – ٥	–	٥٥٠ – ٥٢٥	–
الاسلاك الفولاذية العالية المقاومة					
الملساء من الصنف B-II	–	٣ – ٨	–	١٩٠٠ – ١٤٠٠	٤ – ٦
ذات المقطع المحزز من الصنف B_p-II	–	٣ – ٨	–	١٨٠٠ – ١٣٠٠	٤ – ٦
الكبلات المجدولة من سبعة اسلاك من الصنف K-7	–	٤٫٥ – ١٥	–	١٩٠٠ – ١٦٥٠	–

الكربون) المخصصة بالدرجة الاساسية لصنع الشبكات الملحومة ؛ و (B-II) – الاسلاك الفولاذية العالية المقاومة (الاسلاك المسحوبة مرارا ، والكربونية) المستخدمة بمثابة اسلاك تسليح سابقة الاجهاد فى القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد . ويرمز الى الاسلاك الفولاذية ذات المقطع المحزز (الجانبية المحززة) بدليل اضافى هو الحرف «p» فيكون الصنفان المذكوران على الشكل التالى : (B_p-I) و (B_p-II) .

والخاصيّة الميكانيكية الاساسية للاسلاك الفولاذية هى مقاومتها القصوى σ_{ul} ، التى تزداد كلما قل قطر السلك . ان المقاومة القصوى لاسلاك التسليح الفولاذية العادية σ_{ul} تساوى ٥٠٠ ميجاباسكال ، وللاسلاك العالية المقاومة ، تتراوح بين ١٣٠٠ – ١٩٠٠ ميجاباسكال . والاستطالة النسبية δ بعد التمزق تكون مرتفعة نسبيا وتتراوح بين ٤ – ٦ ٪ .

ويكون تمزق الاسلاك العالية المقاومة قصيفا . ومعاير مرونة اسلاك التسليح الفولاذية من الاصناف B-I ، B-II و B_p-II مساويا ٢ × ١٠⁵ ميجاباسكال ، ومن الصنف B_p-I مساويا ١٫٧ × ١٠⁵ ميجاباسكال ، ومعاير مرونة كبلات التسليح الفولاذية من الصنف K-7 يساوى ١٫٨ × ١٠⁵ ميجاباسكال . وفى الاتحاد السوفييتى ، تم تصنيف قضبان واسلاك التسليح الفولاذية تبعا لقطرها الاسمى (nominal diameter) الى حجوم قياسية . وبالنسبة للقضبان المحززة ، تؤخذ تلك الحجوم على أنها اقطار القضبان المدورة الملساء التى لها نفس مساحة المقطع العرضى ، اما بالنسبة لاسلاك التسليح الفولاذية المحززة ذات المقاومة العادية والمقاومة العالية ، على انها اقطار الاسلاك قبل تشكيلها أو دلفنتها (لاحظ الجدول ١ – ١ والملحق رقم VI فى آخر الجزء الثانى من الكتاب) .

٤ – استخدام قضبان واسلاك التسليح فى الانشاءات

من القضبان المستخدمة بمثابة قضبان تسليح غير سابقة الاجهاد ، تستخدم القضبان الفولاذية المدلفنة على الساخن من الصنف A-III التى تتميز بمقاومة عالية نسبيا ، واسلاك التسليح الفولاذية فى الشبكات والهياكل الملحومة . ويمكن استخدام قضبان من الصنف A-II اذا كانت مقاومة القضبان من الصنف A-III لا تستخدم كليا فى الانشاءات نتيجة للانفعالات المفرطة او نتيجة لتفتح الشقوق .

ويمكن استخدام القضبان الفولاذية من الصنف A-I بمثابة قضبان تركيبية (غير فعالة) وفى اطواق الهياكل المربوطة وبمثابة قضبان مستعرضة فى الهياكل الملحومة .

وعندما يراد استخدام قضبان تسليح سابقة الاجهاد ، ينصح باستخدام القضبان الفولاذية المصلدة بالحرارة من الاصناف التالية : At-VI ، At-V ، At-IV ، والقضبان

المدلفنة على الساخن من الصنفين A-V و A-IV ؛ اما بالنسبة للقطع الانشائية التى يزيد طولها على ١٢ م ، ينصح باستخدام كبلات التسليح الفولاذية والاسلاك الفولاذية العالية المقاومة .

وتنتج المصانع فى الاتحاد السوفييتى الآن انواعا جديدة من قضبان واسلاك التسليح الفولاذية ذات المقاومة العالية للتآكل من الصنف Ат-V ، وكبلات ذات ١٩ سلكا من الصنف K-19 وغير ذلك .

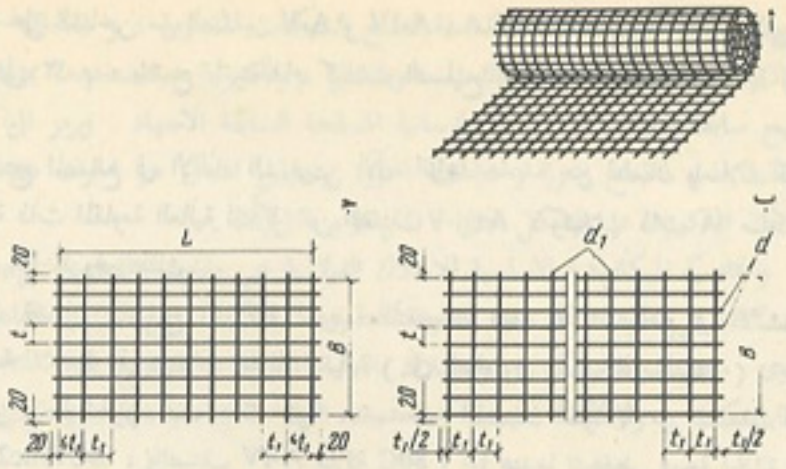
ان قضبان التسليح الفولاذية المعرضة للتقصف البارد لا تستخدم فى الانشاءات المخصصة للاستثمار فى درجات الحرارة السالبة (فى العراء وفى المبانى غير المدفئة) : عندما تنخفض درجة الحرارة تحت – ٣٠ مئوية ، تستخدم القضبان الفولاذية من الصنف A-II ماركة ВСт5пс2 ، والصنف A-IV ماركة 80C ؛ اما عندما تنخفض درجة الحرارة تحت – ٤٠ مئوية ، فتستخدم القضبان الفولاذية من الصنف A-III ماركة 35ГС .

وعند اختيار فولاذ التسليح الذى سيستخدم فى الانشاءات تؤخذ فى الاعتبار قابلية التحامه (التحاميته) . ومن القضبان والاسلاك الفولاذية ذات الالتحامية الجيّدة بواسطة اللحام بالمقاومة ، هى القضبان المدلفنة على الساخن من الاصناف التالية : A-I ، A-II ، A-III ، A-IV ، A-V والاسلاك الفولاذية العادية فى الشبكات . ولا يجوز لحام القضبان والاسلاك الفولاذية المصلدّة بالحرارة من كافة الاصناف والاسلاك العالية المقاومة ، وذلك لأن اللحام يؤدى الى فقدان تأثير التصليد . ولا يجوز كذلك استخدام اللحام القوسى (arc welding) للحام القضبان الفولاذية من الصنفين A-IV و A-V .

٥ – قطع التسليح الفولاذية الملحومة

ان قضبان واسلاك التسليح والقطع الفولاذية الاخرى غير السابقة الاجهاد ، المستخدمة فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، تصنع عادة على هيئة قطع تسليح ملحومة – شبكات وهياكل ملحومة . وتربط القضبان الطولية والمستعرضة للشبكات والهياكل فى مواضع التقاطع (بزاوية قائمة عادة) بواسطة اللحام الكهربائى النقطى بالمقاومة (resistance spot-welding) . ان توحيد او دمج القضبان الفولاذية المنفردة فى شبكات وهياكل بهذه الطريقة باستخدام مكنات اللحام الكهربائى فى المصانع ، تساعد على تصنيع انتاج قطع التسليح وتقليص العمل المبذول فى انتاجها وتخفيض تكاليف تركيب القطع المعدنية المعدّة للتشكيل (الاغفال) والمستخدمة فى التسليح .

الشبكات الملحومة . تنتج الشبكات الملحومة حسب المواصفات القياسية من اسلاك فولاذية عادية يتراوح قطرها بين ٣ – ٥ مم ومن الفولاذ صنف A-III بقطر يتراوح بين ٦ – ٩ مم ؛



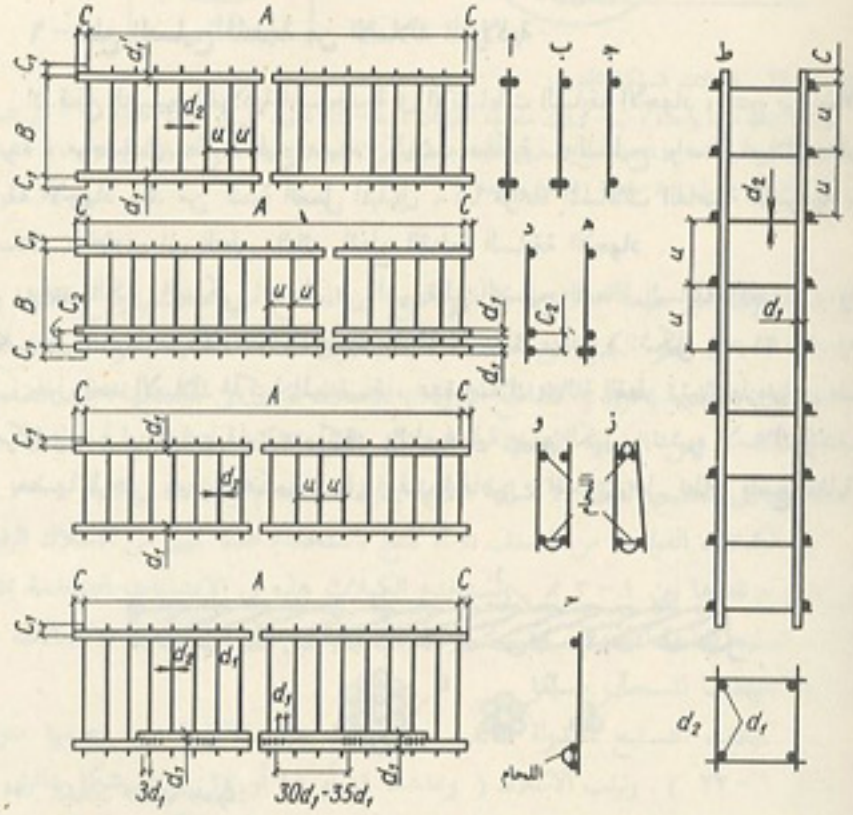
شكل ١ – ١٩ . الشبكات الفولاذية الملحومة :
أ – شبكة ملفوفة ؛ ب – شبكة ملفوفة بعد نشرها ؛ جـ – شبكة مستوية

وتكون على هيئة لفّات او شبكات مستوية (شكل ١ – ١٩) . ويبلغ القطر الاقصى للاسلاك الطولية فى الشبكات الملفوفة ٧ مم . اما القضبان الفعالة ، فقد تكون القضبان الطولية او المستعرضة فى الشبكة ؛ والقضبان المرتبة بصورة عمودية على القضبان الفعالة ، تعتبر بمثابة قضبان توزيعية (تركيبية) . ويمكن كذلك استخدام القضبان المرتبة فى كلا الاتجاهين فى الشبكة (الشبكة ذات القضبان الفعالة المرتبة فى اتجاهين) بمثابة قضبان فعالة . وقد حددت الابعاد العامة القصوى للشبكات الملحومة كما يلى : عرض الشبكات الملفوفة B يساوى ٣٫٥ م ؛ وطولها يعتمد على وزن اللفة الذى يمكن ان يتراوح بين ١٠٠ – ٥٠٠ كجم ؛ عرض الشبكات المستوية B يساوى ٢٫٥ م وطولها L يساوى ٩ م . وهنا B و L يمثلان المسافتين المقاستين بين محاور القضبان الطرفية للشبكات . ويشار الى البارامترات الاساسية للشبكة الملحومة ، فى الرموز الاصطلاحية الخاصة بها كما يلى : بسط الكسر يشير الى الماركة $t/t_1/d/d_1$ ، ومقام الكسر يشير الى البعدين العامين ، اى العرض والطول BL . وعلى سبيل المثال ان الشبكة المستوية المحتوية على قضبان طولية قطرها d يساوى ٤ مم ، والمسافة الفاصلة بينها t تساوى ٢٥٠ مم وعلى قضبان مستعرضة قطرها d_1 يساوى ٨ مم والمسافة الفاصلة بينها t_1 تساوى ٢٠٠ مم ، والتى عرضها B يساوى ٢٣٠٠ مم وطولها L يساوى ٥٩٠٠ مم ، يرمز لها بالرمز الاصطلاحى التالى : $\frac{250/200/4/8}{2300 \times 5900}$.

وفى الرمز الاصطلاحى للشبكات الملفوفة ، يبين فى المقام عرض الشبكة B فقط .

الهياكل الملحومة . تنتج الهياكل الملحومة من القضبان الفعالة الطولية والقضبان التركيبية والقضبان المستعرضة الملحومة معها (شكل ١ – ٢٠) . ان القضبان الطولية يمكن ان ترتب فى مستوى الهيكل فى صف واحد (شكل ١ – ٢٠ ، أ ، ب ، جـ) او فى صفين (شكل ١ – ٢٠ ، د ، هـ) ؛ اما فيما يتعلق بالقضبان المستعرضة فيمكن ان ترتب فى اتجاه واحد (شكل ١ – ٢٠ ، جـ ، د) او فى اتجاهين (شكل ١ – ٢٠ ، أ ، ب ، هـ) . ان الترتيب الوحيد الاتجاه للقضبان الطولية ، يحسّن ظروف اللّحام النقطى بالمقاومة لهياكل التسليح ويوفر التصاقا افضل لتلك القضبان مع الخرسانة . وفى حالات خاصة تستخدم هياكل مزدوجة ملحومة باللحام القوسى (شكل ١ – ٢٠ ، و ، ز) او هياكل يضاف الى القضيب الطولى الفعال فيها ، قضيب فعال اضافى ، يلحم معه باللحام الكهربائى القوسى (شكل ١ – ٢٠ ، حـ) .

ان القطع الخرسانية المسلحة ، تسلح عادة بهياكل تسليح مجسمة متكاملة فى كل القطعة او على هيئة كتل تسليح ضخمة من الفولاذ . ويمكن ان تلحم الهياكل المجسمة بصورة



شكل ١ – ٢٠ . الهياكل الفولاذية الملحومة : من أ الى حـ – هياكل مستوية ؛ ط – هيكل مجسم (قفصى)

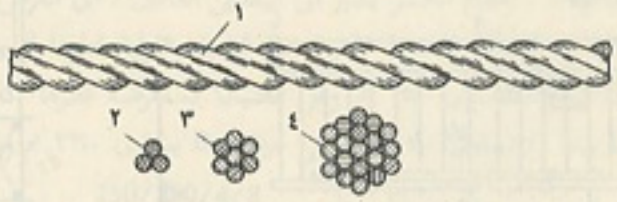
كلية (كوحدة كاملة) بواسطة مكنات خاصة او تنتج من شبكات مستوية (حصيرية) مستقلة ، تربط مع بعضها البعض باستخدام قضبان مستعرضة تلحم معها بواسطة اللحام الكهربائى القوسى . ومن المفضل ان تكون المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة فى الهياكل الملحومة ، ثابتة على امتداد الطول برمته او على امتداد جزء منه ، لان هذا يضمن استخدام مكنات اللحام الكهربائى بدون اعادة ضبطها من جديد .

وتعتمد نوعية اللحام الكهربائى النقطى للشبكات والهياكل على النسبة بين اقطار القضبان المستعرضة والطولية الملحومة ، التى يجب الا تقل عن ٠٫٣ . وفى هياكل الاعمدة وكذلك فى الشبكات ذات القضبان الفعالة المحززة الجانبية ، يمكن تقليل هذه النسبة الى حد ٠٫٢٥ . ان المسافة الصغرى المسموح بها بين محاور القضبان الملحومة ، تعتمد كذلك على اقطار القضبان بالذات . والمعطيات اللازمة لتصميم الهياكل الملحومة استنادا الى ظروف اللحام التكنولوجية ، مبيّنة فى الملحق رقم IX الموجود فى نهاية الجزء الثانى من الكتاب .

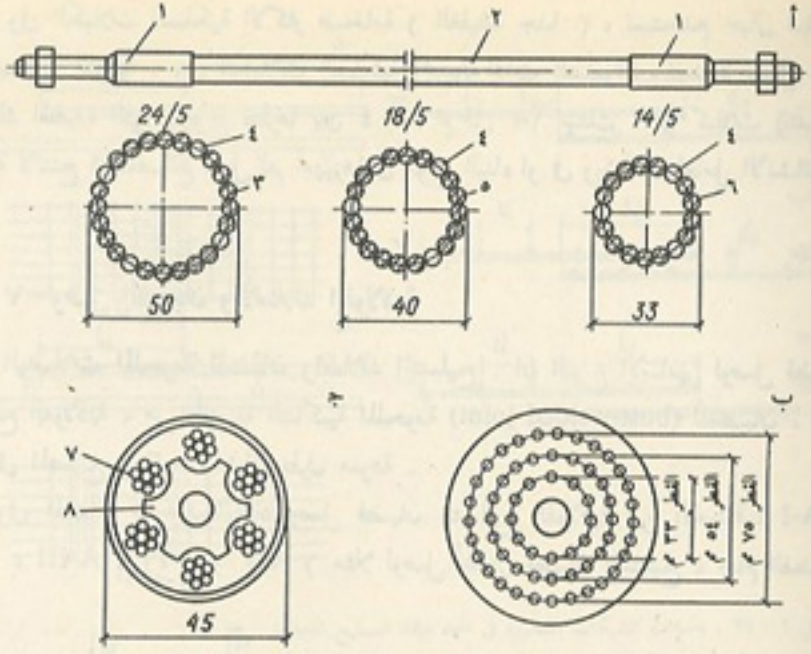
٦ – قطع التسليح المنتجة من الاسلاك الفولاذية

ان قطع التسليح الفولاذية المستخدمة فى الانشاءات السابقة الاجهاد ، تنتج من اسلاك منفردة ، موحدة فى قطع تسليح معينة – كبلات سلكية . والتسليح بواسطة اسلاك منفردة سابقة الاجهاد يزيد من كمية العمل المبذول ، اما مراعاة المسافات الفاصلة الضرورية بين الاسلاك ، فتؤدى الى التطور الزائد لمقطع القطعة السابقة الاجهاد .

ويعتبر الكبل السلكى المجدول من اهم قطع التسليح الفعالة السابقة الاجهاد ، وهو يتألف من مجموعة من الاسلاك ، المجدولة بطريقة لا تنفك مطلقا (شكل ١ – ٢١) . وهنا ترتب حول احد الاسلاك المركزية المستقيمة ، عدة اسلاك متماثلة القطر ترتيبا حلزونيا فى طبقة متمركزة واحدة او عدة طبقات متمركزة . وأثناء عملية صنع الكبل ، تتشوه الاسلاك وتلتصق مع بعضها البعض بصورة محكمة . وفى الوقت الحاضر ، انتشرت على نطاق واسع للغاية ،



١ – ٢١ . الكبلات السلكية المجدولة :
١ – منظر جانبى ٢ ، ٣ ، ٤ – مقاطع عرضية للكبلات مجدولة مؤلفة من ٣ ، ٧ و ١٩ سلكا فولاذيا



شكل ١ – ٢٢ . الكبلات السلكية المجدولة :
أ – كبلات ذات طبقة واحدة ؛ ب – كبلات متعددة الطبقات ؛ جـ – كبل يحتوى على ٧ اسلاك مجدولة ؛ ١ – كبل تثبيت ، ٢ – منظر جانبى ، ٣ ، ٥ ، ٦ – المقاطع العرضية للكبلات تحتوى على ١٤ ، ١٨ ، ٢٤ سلكا مجدولا على التوالى ، ٤ – اسلاك قصيرة ، ٧ – كبل مجدول ، ٨ – قطعة (فلكة) مباعدة

الكبلات المؤلفة من سبعة اسلاك K-7 التى تنتج فى المصانع من اسلاك يتراوح قطرها بين ٣ر١ – ٥ مم . ان قطر الكبل من الصنف K-7 يساوى ثلاثة اضعاف قطر الاسلاك التى يتألف منها . والجانبية المحززة (المقاطع المحززة) للاسلاك تؤدى الى التصاقها الجيد المضمون مع الخرسانة ، ومن الناحية العملية ، نجد ان الطول الكبير للاسلاك ، يساعد على استخدامها فى تسليح القطع الانشائية الطويلة دون استخدام وصلات تراكبية .

ان الكبلات الفولاذية من الصنف K-n تنتج باستخدام عدد كبير من الاسلاك الرفيعة التى يتراوح قطرها بين ١ – ٣ مم . وتستخدم الكبلات هذه فى الانشاءات الضخمة بمثابة كبلات تسليح سابقة الاجهاد . وهى تتميز بدرجة عالية من المرونة ؛ ولتقليل الانفعالات غير المرنة يتم تعريضها للسحب مسبقا .

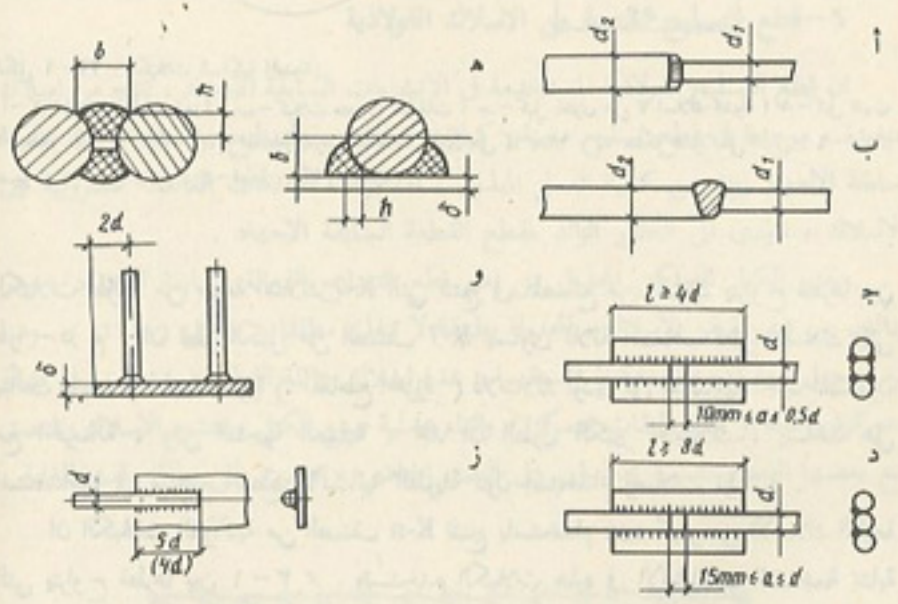
ان كبلات التسليح المجدولة تتألف من اسلاك عالية المقاومة مرتبة بصورة متوازية (شكل ١ – ٢٢) . وترتب الاسلاك (وعددها ١٤ أو ١٨ أو ٢٤) على شكل دائرى مع وجود خلوصات (فواصل) تؤمن تغلغل الملاط الاسمنتى فى داخل الكبل ، ثم تلف بسلك

لين . وفى الكبلات السلكية الاكثر ضخامة (الغليظة جدا) ، تستخدم حبال سلكية مرتبة بصورة متوازية . وفى الكبلات السلكية المجدولة ذات الصفوف المتعددة يصل عدد الاسلاك المنفردة التى يتراوح قطرها بين ٤ – ٥ مم الى ١٠٠ سلك . ان كبلات التسليح المجدولة لاتنتج فى المصانع ، بل يتم تجهيزها فى مواقع البناء او فى ورشات المعامل الانشائية .

٧ – وصل القضبان والاسلاك الفولاذية

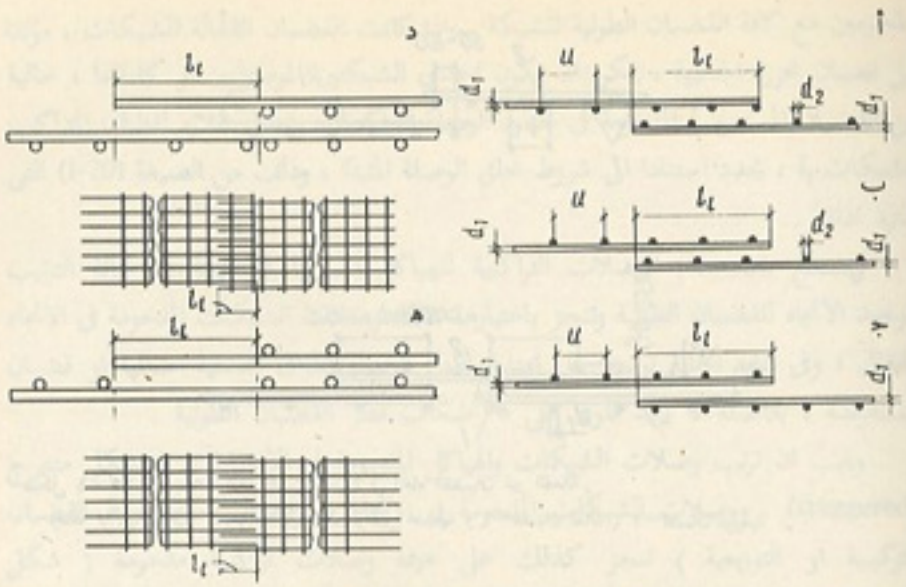
الوصلات الملحومة لقضبان واسلاك التسليح . ان النوع الاساسى لوصل قضبان التسليح الفولاذية ، هى الوصلة التناكبية الملحومة (butt-welded joint) للقضبان ، التى تنتج فى المصانع ومواقع الانشاء بطرق منوعة .

وفى المصانع ، عندما يراد وصل قضبان التسليح الفولاذية من الاصناف A-I ، A-II ، A-III ، A-IV و A-V (مثلا لوصل أغفال قضبان التسليح ، لحام القضبان



شكل ١ – ٢٣ . الوصلات الملحومة لفولاذ التسليح :

أ – لحام تناكبى بالمقاومة ؛ ب – لحام قوسى فى حوض من المعدن المنصهر مضمن فى قالب دائم الاستخدام ؛ جـ – لحام قوسى بوجود شرائط (اطواق) معدنية ، واربع وصلات لحام زاوية ؛ د – كالسابق ، مع وصلتى لحام زاويتين ؛ هـ – ارتفاع وعرض الوصلة الملحومة ؛ و – وصلة ملحومة على شكل T لقضبان التسليح واللوح المعدنى ؛ ز – وصلة لحام تراكبية لقضيب التسليح واللوح المعدنى

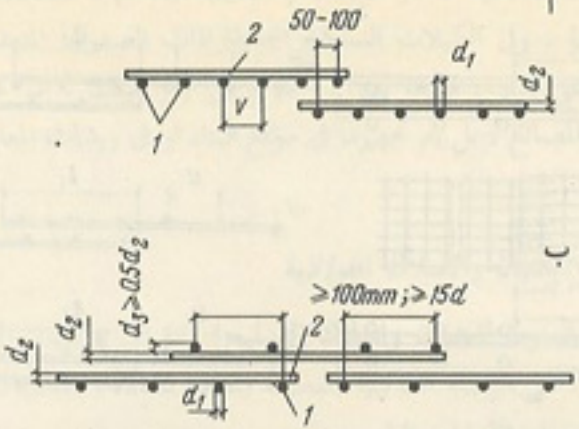


شكل ١ – ٢٤ . وصلات الشبكات الملحومة فى اتجاه فولاذ التسليح العامل :

أ – عند وجود القضبان الملساء حين تكون القضبان المستعرضة مرتبة فى مستوى واحد ؛ ب ، جـ – كالسابق ، حين تكون القضبان المستعرضة مرتبة فى مستويات مختلفة ؛ د – فى اتجاه القضبان العاملة عندما تكون القضبان محززة الجانبية ، حين لا توجد اية قضبان مستعرضة ضمن حدود الوصلة الملحومة فى قطعة واحدة منتجة بالمحام ؛ هـ – كالسابق ، حين لا توجد قضبان مستعرضة ضمن حدود الوصلة الملحومة فى قطعتين منتجتين باللحام

القصيرة او الدحادح ذات الاقطار الكبيرة وغير ذلك) يستخدم اللحام بالمقاومة (شكل ١ – ٢٣ ، أ) . وهنا تكون النسبة بين اقطار القضبان الملحومة هى $d_1/d_2 \geqslant 0,85$ والقطر الاصغر للقضيب هو $d_1 \geqslant 10$. وعند استخدام طرق تكنولوجية خاصة فى اللحام ، يسمح بان تكون النسبة المذكورة كما يلى $d_1/d_2 \geqslant 0,5$.

وعند التركيب فى موقع البناء ، يستخدم لوصل القضبان الفولاذية من الاصناف A-I ، A-II و A-III (مثلا لوصل النهايات الزائدة لقضبان القطع الخرسانية المسلحة السابقة الصنع) اللحام القوسى فى حوض من المعدن المنصهر فى قوالب سبك دائمة (١ – ٢٣ ، ب) . واذا كان قطر القضبان الملحومة يساوى $d < 20mm$ ، عندئذ يستخدم اللحام الكهربائى القوسى مع شرائط معدنية ذات وصلات لحام زاوية (fillet joints) بطول يساوى $l = 4d$ (شكل ١ – ٢٣ ، جـ) او بترتيب اللحامات فى اتجاه واحد مع استخدام شرائط معدنية مطولة $l = 8d$ (شكل ١ – ٢٣ ، د) . وفى هذه الحالة يجب تحقيق الشروط المتعلقة بارتفاع الوصلة الملحومة $4mm \leqslant h = 0,25d$ وعرض الوصلة الملحومة : $10mm \leqslant b = 0,5d$ كما مبين فى الشكل (١ – ٢٣ ، هـ) .



شكل ١ – ٢٥ . وصلات الشبكات الملحومة فى اتجاه القضبان غير الفعالة.
أ – وصلة تراكبية ؛ ب – مع وجود شبكات توصيل اضافية ؛ ١ – قضبان فعالة ، ٢ – قضبان توزيعية

ان لحام القضبان بوصلات على شكل T ، التى اقطارها d تتراوح بين ١٠ – ١٦ مم ، مع استخدام صفيحة معدنية ثخنها يساوى $\delta \geq 0{,}75d$ (من الصفائح او الشرائط الفولاذية) يتم بواسطة اللحام القوسى الاوتوماتى المغمور او الغاطس (submerged arc welding) كما مبين فى الشكل (١ – ٢٣ ، و) . ان انجاز الوصلات التراكبية الملحومة للقضبان الفولاذية التى يتراوح قطرها d بين ٨ – ٤٠ مم مع صفيحة فولاذية او قطع معدنية مدلفنة مستوية ، يمكن ان يتم بواسطة اللحام الكهربائى القوسى بوصلات لحام زاوية (شكل ١ – ٢٣ ، ز) .

الوصلات التراكبية غير الملحومة لقضبان التسليح . يمكن السماح بوصل القضبان الفولاذية من الاصناف A-I ، A-II و A-III بوصلات تراكبية مع بروز طرف القضيب لمسافة تبلغ ٢٠ – ٥٠ ضعفا من اضعاف القطر بدون لحام فى تلك المواضع من القطع الخرسانيّة المسلحة التى فيها لا يستفاد استفادة تامة من مقاومة قضبان التسليح . ولكن هذا النوع من وصلات قضبان التسليح الفولاذية لا يستخدم الا نادرا ، نتيجة للزيادة الواضحة فى كمية الفولاذ المستهلك ولعدم اتقان تصميم الوصلات المربوطة .

ان الوصلات الخاصة للشبكات الملحومة فى الاتجاه الفعال يمكن ان تكون وصلات تراكبية (شكل ١ – ٢٤) . ويمكن ترتيب القضبان الفعالة للشبكات المربوطة ، فى مستويات مختلفة او فى نفس المستوى الواحد . ويجب ان يوضع فى كل شبكة من الشبكات المربوطة فى منطقة الشد ، على امتداد الوصلة التراكبية ، ما لا يقل عن قضيبين مستعرضين ،

ملحومين مع كافة القضبان الطولية للشبكة . واذا كانت القضبان الفعالة للشبكات ، مؤلفة من قضبان محززة الجانبية ، يمكن ان تكون احدى الشبكتين الموصولتين او كلتاهما ، خالية من القضبان المستعرضة الملحومة فى حدود الوصلة التراكبية . والطول اللازم للطرف المتراكب للشبكات l_1 ، يحدد استنادا الى شروط خلق الوصلة المثبتة ، وذلك من الصيغة (I-20) التى سترد ادناه .

ويسمح باستخدام الوصلات التراكبية للهياكل المستوية الملحومة فى حالة الترتيب الوحيد الاتجاه للقضبان الطولية وتنجز باعتبارها مماثلة لوصلات الشبكات الملحومة فى الاتجاه الفعال ؛ وفى هذه الحالة توضع على امتداد طول الوصلة اطواق معدنية اضافية او قضبان مستعرضة ، بفاصلة لا يزيد طولها على ٥ أضعاف قطر القضبان الطولية .

ويجب ان ترتب وصلات الشبكات والهياكل الملحومة فى الانشاءات ، بشكل متعرج (staggered) . ووصلات الشبكات الملحومة فى الاتجاه غير الفعال (عند ربط القضبان التركيبية او التوزيعية) تنجز كذلك على هيئة وصلات تراكبية ملحومة (شكل ١ – ٢٥) . ويؤخذ طول الطرف المتراكب بمقدار ٥٠ مم عندما يبلغ قطر القضبان التركيبية ٤ مم ، وبمقدار ١٠٠ مم عندما يزيد قطر القضبان التركيبية على ٤ مم .

وعندما يبلغ قطر القضبان الفعالة ١٦ مم واكثر ، تنجز هذه الوصلات بالذات ، بوضع شبكات وصل تراكبية اضافية ، مع ترك طرف متراكب للقضبان التركيبية فى كل جهة ، بطول يساوى ١٥ ضعفا من اضعاف القطر ، ولكن لا يجب ان يقل عن ١٠٠ مم .

٨ – قضبان التسليح غير المعدنية

لاجل الاقتصاد فى المعدن او الفولاذ المستهلك ، تجرى فى الوقت الحاضر ابحاث خاصة لخلق قضبان او قطع تسليح غير معدنية . ويتم الحصول الآن على قضبان تسليح غير معدنية مصنوعة من الالياف الزجاجية (glass fibres) وهى عبارة عن الياف زجاجية رقيقة مضغوطة على هيئة قضبان ومرتبطة بواسطة لدائن لاصقة من الراتنجات الصناعية . ان قضبان الالياف الزجاجية تتميّز بالتصاق جيد مع الخرسانة وبمقاومة عالية للتمزق (تصل الى حد ١٨٠٠ ميجاباسكال) ولكن معاير مرونتها منخفض (٤٥٠٠٠ ميجاباسكال) . ان المقاومة العالية وقلة معاير المرونة تحددان مسبقا صلاحية استخدام قضبان الالياف الزجاجية فى الانشاءات السابقة الاجهاد . ومن عيوب قضبان الالياف الزجاجية ، نزوعها الى الانهيار والتمزق نتيجة للتفاعلات القلوية وانخفاض المقاومة بمرور الزمن .

البند الثالث
الخرسانة المسلحة

١ – خواص الانتاج فى المصانع

عند تصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة تؤخذ فى الاعتبار امكانية استخدام الطرق العالية الانتاجية لتجهيزها فى مصانع خاصة وتركيبها السهل فى مواقع البناء وذلك باختيار الحجوم المثلى والاشكال الاقتصادية للمقاطع والطرق المعقولة للتسليح . ان الحل التصميمى للقطع الانشائية وتكنولوجية الانتاج الصناعى ، على علاقة متبادلة وثيقة مع بعضهما البعض . وان القطع الانشائية التى تساعد تصاميمها على انتاجها بالجملة فى المصانع او فى الورشات الميدانية باستخدام مكنات وآليات عالية الانتاجية بدون عمليات يدوية مضنية ، تعتبر متكيفة للانتاج بالجملة . وان انتاج القطع الخرسانية المسلحة ، يتم فى الوقت الحاضر بعدة أنظمة تكنولوجية مختلفة .

نظام الانتاج بواسطة خط التجميع . تجهز القطع فى قوالب موضوعة على تروليّات (عربات مكشوفة تسير على سكة حديدية) . وتتنقل هذه القوالب على سكة خط التجميع بين الوحدات الآلية فى المصنع . وعند تحرك هذه التروليات من موضعٍ الى آخر ، يتم على التوالى انجاز مختلف العمليات التكنولوجية الضرورية : نصب هياكل التسليح ، سحب قضبان القطع السابقة الاجهاد ، وضع ولائج (لقم) تكوين الفجوات للقطع ذات المقاطع المحتوية على فجوات ، فرش المزيج الخرسانى ورصه ، استخراج الولائج ، المعاملة بالحرارة والرطوبة للاسراع فى تصلب الخرسانة . وكافة هذه القوالب – التروليات تتحرك بسرعة مضبوطة مسبقا . وان النظام العالى الانتاجية بواسطة خط التجميع ، يستخدم فى المصانع الضخمة عند الانتاج بالجملة للقطع الانشائية ذات الوزن القليل نسبيا .

نظام الانتاج المرجلى بالوحدات الآلية . فى هذا النظام تنجز العمليات التكنولوجية فى الاقسام (الورشات) المناظرة من المصنع ، اما القالب الذى توجد فيه القطعة الانشائية فيتحرك من وحدة آلية الى اخرى بواسطة المرافيع (الاوناش) الرحّالة (travelling cranes) . وسرعة التنقل التى تسير بها القوالب هنا ، غير محددة مسبقا ، وغير اجبارية .

نظام الانتاج بطريقة القوالب الضاجعة . ان ميزة هذه الطريقة تتلخص فى أن المنتجات أثناء عملية صنعها ومعاملتها الحرارية تبقى ثابتة فى محلها ، بينما تقوم الوحدات الآلية التى تنجز العمليات التكنولوجية الضرورية ، بالتحرك بمحاذاة القوالب الثابتة . ان منصّات الصّب (casting beds) تكون هنا مزودة بمرافيع رحالة وفارشات خرسانة متنقلة وكذلك بهزّازات لرصّ المزيج الخرسانى . وتنتج القطع فى قوالب عادية ملساء او قوالب مشكلة الجوانب

(أرحام القوالب او حافظات القوالب) . وبطريقة القوالب الضاجعة ، تنتج القطع الانشائية الكبيرة الحجوم والسابقة الاجهاد ، المستخدمة فى المبانى الصناعية (مثل الجمالونات وعتبات السقوف والارضيات وعتبات سكك المرفاع الرحّال والاعمدة وغير ذلك) وعند تجهيز الالواح الهيكلية لسقوف وجدران المبانى المدنية تستخدم على نطاق واسع طريقة حافظات القوالب .

وهنا يتم تجهيز القطع على منصّة ثابتة فى حزمة من الحافظات المعدنية الرأسية ، وهذه الحزمة تحتوى على عدة الواح انشائية فى نفس الوقت . وتجرى عملية تجميع وفك الحافظات المعدنية بصورة اوتوماتية . ان هياكل التسليح التى تكون بحجم الحافظة المعدنية ، توضع فى داخل اقسام الحافظة . وتصب القوالب او الحافظات هذه بالمزيج الخرسانى المضغوط بالهواء والمنتقل عبر مواسير خاصة . ونظرا لتشكل المنتجات الخرسانية المسلحة فى الوضع الرأسى ، يصبح سطح اللوح الهيكلى مستويا واملسا .

وعند اتباع طريقة الدلفنة الاهتزازية ، تنتج الالواح الهيكلية الرقيقة للسقوف والجدران على سير (belt) مستمر الحركة ، يتكون سطحة الاملس او المموج بمثابة قالب للقطعة المصبوبة . وبعد وضع هيكل التسليح ، يجرى رج المزيج الخرسانى المدفوع ورصّه بواسطة دحاريج اسطوانية موضوعة فى الاعلى . ان المنتجات المدلفنة ، المغطاة من الاعلى والمسخنة من الاسفل ، تكتسب خلال فترة انتقالها على السير (لعدة ساعات) المقاومة الضرورية ، وبعد تبريدها على الواح مسننة (racks) تشحن الى مستودع المنتجات الجاهزة . وتكون العمليات التكنولوجية فى هذه الحالة ، مضبوطة السرعة – تبعا لسرعة حركة السير القالبى .

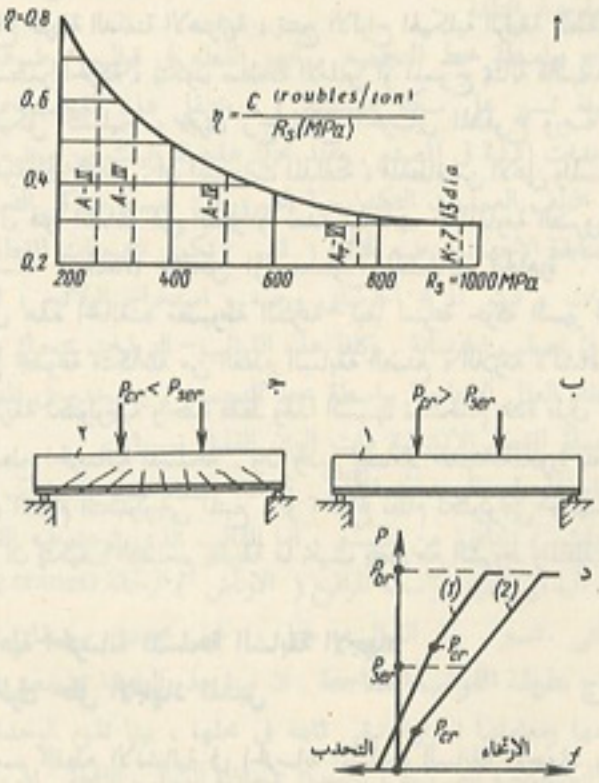
ان انتاج مجموعة متكاملة من القطع السابقة الصنع ، اللازمة لانشاء المبانى ، لا يمكن ان يتحقق بطريقة تكنولوجية واحدة فقط ولهذا السبب تستخدم عدة طرق تكنولوجية للانتاج فى مصانع القطع الخرسانية المسلحة . وان وضع تصاميم حديثة متطورة يتطلب فى عدد من الحالات اتقان النظام التكنولوجى المتبع ، او اختراع نظام تكنولوجى جديد ، الامر الذى قد يتطلب بدوره ان يتكيّف التصميم بطريقة ما بحيث يتفق مع الشروط والمتطلبات التكنولوجية .

٢ – ماهيّة الخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد وطرق خلق الاجهاد المسبق

يطلق اسم القطع الانشائية فى الخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد ، على تلك القطع الانشائية الخرسانية المسلحة التى تخلق فيها قبل تعرضها للحمل واثناء عملية انتاجها ، اجهادات انضغاط كبيرة جدا فى الخرسانة ، بطرق اصطناعية وذلك بشد قضبان واسلاك التسليح .

ان اجهادات الانضغاط الاولية تخلق فى تلك المواضع من الخرسانة ، التى تتعرض للشد نتيجة لتأثير الاحمال . وفى هذه الحالة ، تزداد مقاومة الانشاء للتشقق ، وتتوفر الظروف اللازمة لاستخدام قضبان التسليح العالية المقاومة ، الامر الذى يؤدى الى الاقتصاد الواضح فى الفولاذ والى تخفيض تكاليف الانشاء عامة .

ان التكاليف النوعية لقضبان التسليح الفولاذية ، اى نسبة التكاليف η ، التى تساوى نسبة ثمن القضبان C (روبل /طن) الى مقاومتها التصميمية R_s ، تنخفض بزيادة مقاومة القضبان الفولاذية (شكل ١ – ٢٦ ، أ) . ولهذا السبب نجد ان القضبان الفولاذية العالية المقاومة ، اكثر فائدة بكثير من القضبان المدلفنة على الساخن . ولكن استخدام القضبان الفولاذية العالية المقاومة فى الانشاءات بدون اجهاد سابق ، هو امر غير جائز ، وذلك لانه عند نشوء اجهادات شد عالية فى قضبان التسليح ، ونشوء انفعالات استطالة مناظرة لها فى



شكل ١ – ٢٦ . الرسم البيانى الخاص بتحليل سلوك القطع الانشائية السابقة الاجهاد :
أ – الرسم البيانى للتكاليف النسبية لفولاذ التسليح باصنافه المتنوعة ؛ ب – عتبة سابقة الاجهاد (١) ؛ جـ – عتبة غير سابقة الاجهاد (٢) ؛ د – الرسم البيانى للحمل P والارخاء f

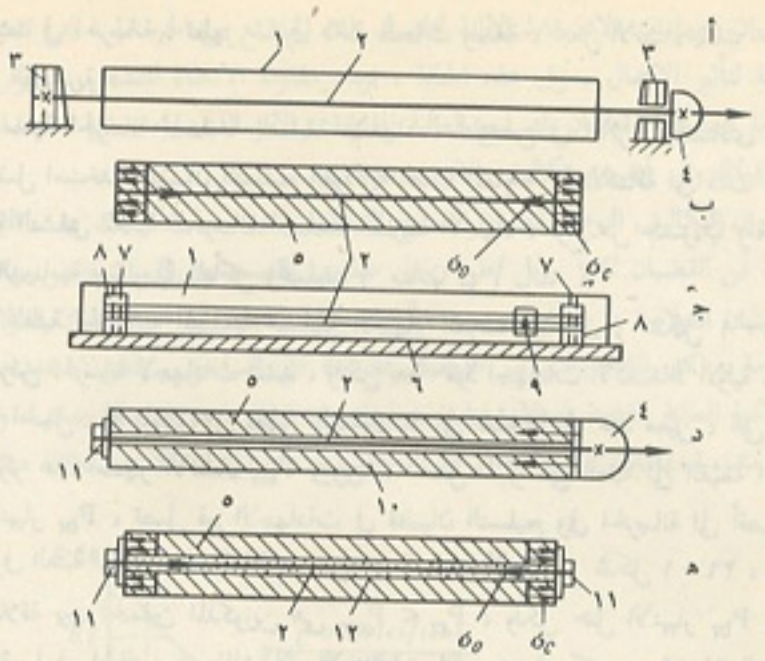
مناطق الشد فى الخرسانة ، تظهر شقوق ذات فتحات واسعة ، تجعل الانشاء يفقد خواصه الاستثمارية الضرورية .

ان ماهية الخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد ، تتلخص فى الأثر الاقتصادى الذى ينجم بفضل استخدام قضبان التسليح الفولاذية العالية المقاومة . وبالاضافة الى ذلك ، نجد ان مقاومة التشقق العالية للخرسانة المسلحة السابقة الاجهاد ، ترفع من جسوءتها ومقاومتها للاحمال الدينامية ومقاومتها للتأكل وتحمليتها (متانتها) .

وفى العتبة الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد المعرضة للاحمال (شكل ١ – ٢٦ ، ب) تتعرض الخرسانة لاجهادات الشد ، ولكن بعد خمود اجهادات الانضغاط الاولية . وهنا تزيد قيمة الحمل P_{cr} المؤدى الى ظهور الشقوق او الى تفتحها الى حد معيّن ، على قيمة الحمل المؤثر عند استثمار الانشاء P_{ser} . وبزيادة الحمل المؤثر على العتبة الى القيمة الحدية لحمل الانهيار P_{br} ، تصل قيم الاجهادات فى قضبان التسليح وفى الخرسانة الى أقصى ما يمكن . وفى العتبة المماثلة لهذه العتبة ، ولكن غير السابقة الاجهاد (شكل ١ – ٢٦ ، جـ) تكون العلاقة بين الحملين المذكورين هى $P_{cr} < P_{ser}$ ، ولكن حمل الانهيار P_{br} يكون متساويا تقريبا فى الحالتين ، وذلك لان الاجهادات القصوى فى كل من قضبان التسليح والخرسانة فى كلتا العتبتين تكون متساوية .

وهكذا نجد ان القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد ، تقاوم الاحمال المؤثرة عليها دون ان تظهر فيها الشقوق او تظهر شقوق محدودة الفتحات ($P_{ser} < P_{cr} < P_{br}$) فى الوقت الذى تظهر فيه الشقوق فى الانشاءات الخرسانية المسلحة غير السابقة الاجهاد اثناء استثمارها ($P_{cr} < P_{ser} < P_{br}$) ، وعند نشوء انحناءات اكبر قيمة (لاحظ الشكل ١ – ٢٦ ، د) . وهذا هو الاختلاف الاساسى بين الانشاءات السابقة الاجهاد والانشاءات غير السابقة الاجهادات ، وما ينجم عن ذلك من خواص حسابها ، تصميمها وانتاجها .

وفى عملية انتاج القطع السابقة الاجهاد ، تستخدم طريقتان لخلق الاجهاد المسبق فيها ، وهما : طريقة الشد على المساند والشد على الخرسانة . وعند استخدام طريقة الشد على المساند ، تدخل قضبان التسليح الفولاذية فى القالب قبل صب القطعة بالخرسانة ، ويثبت احد طرفيها فى مسند ثابت ، بينما يتم سحب الطرف الآخر بواسطة مرفاع رحّال او أية آلة ساحبة اخرى ، الى حد الاجهاد المطلوب (شكل ١ – ٢٧ ، أ) . وبعد أن تكتسب الخرسانة المقاومة المساوية لمقاومة المكعب للتهصّر قبل الانضغاط $R_0 \geq 0{,}8\bar{R}$ ، يتم ارخاء الطرف الثابت لقضبان التسليح . وهنا نجد ان الخرسانة المحيطة بها تنضغط عندما تسترجع قضبان التسليح اطوالها الاصلية (انفعالاتها اللدنة) وهى ملتصقة مع الخرسانة تماما (شكل ٢٧ ، أ ، ب) .



شكل ١ – ٢٧ . طرق استحداث الاجهاد المسبق فى الفولاذ :
أ – الشد على المساند – الخط الأساسى ؛ ب – قطعة انشائية جاهزة ؛ جـ – الشد على المساند فى حالة التسليح المتواصل ؛ د – الشد على الخرسانة – الخط الأساسى ؛ هـ – قطعة انشائية جاهزة ؛ ١ – قالب ، ٢ – فولاذ تسليح ، ٣ – مسند ، ٤ – مرفاع ، ٥ – خرسانة متصلبة ، ٦ – قاعدة سفلية (فرشة) للصب ، ٧ – محاور الإرتكاز الرأسية للقاعدة السفلية ، ٨ – ماسورات صغيرة ، ٩ – ماسكة ، ١٠ – قناة ، ١١ – مثبت ، ١٢ – قناة حقن

وفى حالة ما يسمى بالتسليح المتواصل (continuous reinforcement) يوضع قالب الصب على فرشة (قاعدة سفلية) مزودة بمحاور ارتكاز رأسية ، ثم تلف اسلاك التسليح بواسطة مكنة لف خاصة ، على أنابيب مركبة على محاور الارتكاز الرأسية للفرشة ، بالقيمة المعينة للاجهادات ، وتثبت نهايتها بواسطة كلابة مفلطحة (شكل ١ – ٢٧ ، جـ) .

وعندما تكتسب الخرسانة المقاومة الضرورية ، تنزع القطعة مع الانابيب من محاور الارتكاز الرأسية للفرشة ، وهنا تضغط اسلاك التسليح على الخرسانة من كل الجوانب . ويمكن سحب قضبان واسلاك التسليح بالمساند بالطريقة الكهربائية الحرارية . وهنا يتم تسخين قضبان التسليح مع الرؤوس المفلطحة بالتيار الكهربائى الى درجة حرارة تتراوح بين ٣٠٠ – ٣٥٠ مئوية ، ثم تدخل فى القالب وتثبت من اطرافها فى مساند القالب الثابتة . وعندما تستعيد القضبان اطوالها الاصلية اثناء عملية التبريد ، فانها تنشدّ على المساند .

وعند اتباع طريقة الشد على الخرسانة ، يتم قبل كل شىء تحضير القطعة الخرسانية او

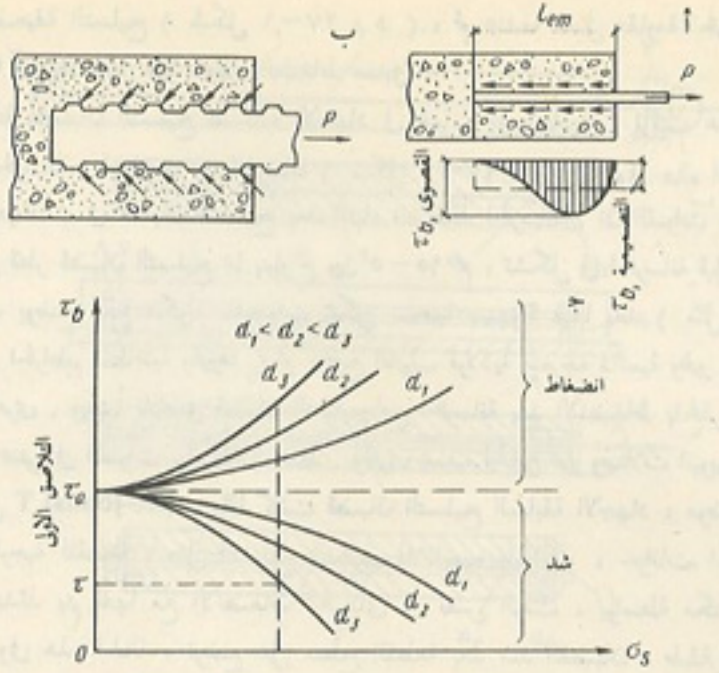
القطعة الضعيفة التسليح (شكل ١ – ٢٧ ، د) ، ثم عندما تصل مقاومة الخرسانة الى حد $R_0 \geqslant 0{,}8\bar{R}$ يخلق فيها اجهاد انضغاط مسبق .

وتدخّل قضبان التسليح السابقة الاجهاد فى قنوات او أخاديد ، تركت عند صب القطعة بالخرسانة ، ثم تشد على الخرسانة (شكل ١ – ٢٧ ، هـ) . وفى هذه الطريقة يتم ضبط الاجهادات فى قضبان التسليح بعد انتهاء انضغاط الخرسانة . ان القنوات التى يزيد قطرها على قطر قضبان التسليح بما يتراوح بين ٥ – ١٥ مم ، تشكل فى الخرسانة قبل الصب فى القالب بوضع قطع مكونّة للفجوات يمكن سحبها بسهولة فيما بعد (مثل اللوالب الفولاذية ، الخراطيم المطاطية وغيرها) او بوضع انابيب فولاذية متعرجة دائمية وغير ذلك من القطع الاخرى . وينشأ تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة بعد الانضغاط بالحقن – حقن الملاط الاسمنتى فى القنوات بواسطة الضغط . وتجرى عملية الحقن عبر وصلات انبوبية متفرعة على شكل T (tee-joints) . واذا كانت قضبان التسليح السابقة الاجهاد ، موضوعة من الجهة الخارجية للقطعة (مثل التسليح الدائرى للانابيب والمواسير ، خزانات المياه وغير ذلك) عندئذ يتم لفّها مع الانضغاط الخرسانى فى نفس الوقت ، بواسطة مكنات لفّ خاصة . وفى هذه الحالة ، توضع على سطح القطعة بعد شد القضبان ، طبقة واقية من الخرسانة وذلك برشّها بالضغط .

ان عملية الشد على المساند ، باعتبارها اكثر قابلية للانجاز فى المصانع ، تعتبر الطريقة الاساسية التى تستخدم فى الصناعة . اما طريقة الشد على الخرسانة ، فانها تستخدم بالدرجة الاساسية عند انتاج القطع او الانشاءات ذات الحجوم الواسعة جدا ، واثناء وصلها مع بعضها البعض عند التركيب والاقامة .

٣ – تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة

فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، نجد ان قضبان التسليح لا تنزلق فى الخرسانة عند تأثير الحمل وذلك نظرا لتلاصق المادتين بصورة جيدة . ان قوة تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة ، تقدر بمقاومة الانتزاع ، أو مقاومة انضغاط قضبان التسليح المثبتة فى الخرسانة (شكل ١ – ٢٨ ، أ) . واستنادا الى المعطيات العملية ، نجد ان قوة التلاصق تعتمد على العوامل التالية : ١ – تلاصق النتوءات البارزة على سطح قضبان التسليح المحززة ، مع الخرسانة (شكل ١ – ٢٨ ، ب) ؛ ٢ – قوى الاحتكاك المتطورة عند تلامس قضبان التسليح مع الخرسانة بتأثير انكماشها ؛ ٣ – تلاحم (التصاق) قضبان التسليح مع الخرسانة ، الذى ينشأ نتيجة لقابلية الالتصاق التى يتميز بها الجل الاسمنتى . ويعتبر العامل



شكل ١ – ٢٨ . تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة

الأول من اهم العوامل المؤثرة على قوة التلاصق – حيث انه يوفر حوالى ٣ /٤ المقاومة العامة لانزلاق قضبان التسليح فى الخرسانة . واذا كانت قضبان التسليح ملساء ودائرية المقطع ، عندئذ تقل مقاومتها للانزلاق بمقدار ٢ – ٣ مرات . وقد أثبتت الابحاث ان توزيع اجهادات تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة ، يكون غير منتظم على امتداد قطعة تثبيت قضيب التسليح ، وان اجهاد التلاصق الاقصى $\tau_{b.\,max}$ لا يعتمد على طول قطعة تثبيت القضيب l_{em} . ويحدد معدل اجهاد التلاصق ، بالنسبة بين القوة الموجودة فى القضيب N وسطح قطعة التثبيت :

$$\tau_{b.\,av} = N/l_{em}\,u \qquad (I\text{-}19)$$

حيث u – محيط مقطع القضيب ؛ وهو بالنسبة للقضبان الدائرية الملساء وماركات الفولاذ المتوسطة ، يتراوح بين ٢٥ – ٤٠ كجم /سم^2 تقريبا .

ان مقاومة التلاصق تزداد بزيادة ماركة الخرسانة المصممة ، وبانخفاض نسبة الماء الى الاسمنت وكذلك بزيادة عمر الخرسانة . وعند عدم كفاية طول قطعة التثبيت ، تلحم مع اطراف القضبان ، دحادح او حلقات معدنية (اما فى اطراف القضبان الملساء المصنوعة من الفولاذ صنف A-I ، فتوضع خطاطيف معدنية) . وعند انكباس القضيب الفولاذى فى

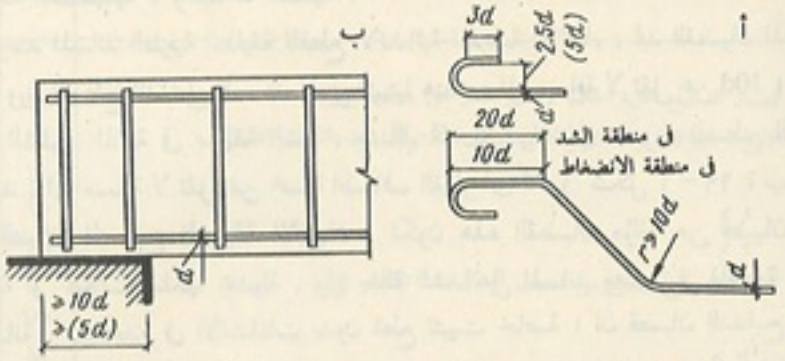
الخرسانة ، تكون قوة الالتصاق اكبر مما هى عليه فى حالة انتزاعه من الخرسانة ، وذلك نتيجة لمقاومة الطبقة الخرسانية المحيطة ، للتمدد العرضى للقضيب المنضغط . وبزيادة قطر القضيب والاجهادات الناشئة فيه σ_s ، تزداد قوة التلاصق عند الانضغاط ، وتقل عند الشد (شكل ١ – ٢٨ ، جـ) . ومن هنا نستنتج انه لاجل التلاصق الافضل لقضبان التسليح مع الخرسانة ، يجب تحديد قطر القضبان المشدود ، عند تصميم القطع الخرسانية المسلحة .

٤ – تثبيت قضبان التسليح فى الخرسانة

فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، يتم تثبيت اطراف قضبان التسليح فى الخرسانة – تثبيت الاطراف – بمد النهايات الزائدة للقضبان الى ما وراء المقطع المعين ، الى مسلفة تساوى امتداد منطقة انتقال القوى من القضبان الى الخرسانة (المعتمدة على تلاصق قضبان التسليح مع الخرسانة) ، وكذلك باستخدام قطع التثبيت الخاصة .

ان قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد ، ذات المقطع الدائرى من الصنف A-I تكون عادة مزودة من اطرافها بقطع تثبيت معدنية على هيئة خطاطيف نصف دائرية قطرها يساوى 2,5d ؛ وفى الانشاءات المصممة من الخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، قطرها يساوى 5d (شكل ١ – ٢٩ ، أ) .

ان قطع تثبيت القضبان الملساء فى الشبكات والهياكل الملحومة ، تتألف من القضبان المستعرضة ، ولهذا السبب تستخدم بدون خطاطيف فى اطرافها او نهاياتها . ان قضبان التسليح المحززة الجانبية ، تتميّز بتلاصق افضل بكثير مع الخرسانة ، لذا فانها تستخدم بدون خطاطيف فى اطرافها .



شكل ١ – ٢٩ . قطع تثبيت القضبان غير السابقة الاجهاد :
أ – قضبان ملساء مدورة ؛ ب – قضبان محززة المقطع الجانبى مستندة بحرية

جدول ١ – ٢

المعطيات المتعلقة بتحديد طول قطعة التثبيت l_{an}
لقضبان التسليح المحززة غير السابقة الاجهاد

حالة الاجهاد فى القضبان وظروف تثبيت اطرافها	m_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	λ_{an}	l_{an}, mm لا يقل عن
تثبيت قضبان التسليح المشدودة فى منطقة الشد فى الخرسانة	٠٫٧	١١	٢٠	٢٥٠
تثبيت قضبان التسليح المضغطة او المشدودة فى منطقة الشد فى الخرسانة	٠٫٥	٨	١٢	٢٠٠

ان قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد المحززة الجانبية ، تثبت بمدها الى ما وراء المقطع العمودى على المحور الطولى للقطعة الانشائية ، حيث تحسب بأخذ المقاومة التصميمية فى الاعتبار تماما ، على امتداد منطقة التثبيت :

$$l_{an} = (m_{an}R_s/R_{pr} + \Delta\lambda_{an})d \qquad (I\text{-}20)$$

بحيث لا يقل الطول المثبت عن : $l_{an} = \lambda_{an}d$ ، وهنا يتم تحديد كل من m_{an} ، $\Delta\lambda_{an}$ ، λ_{an} وكذلك قيمة l_{an} الصغرى المسموح بها ، من الجدول (١ – ٢) . R_s – تمثل المقاومة التصميمية لقضبان التسليح الفولاذية (راجع الفصل الثانى) ؛ R_{pr} – المقاومة التصميمية للانضغاط المحورى فى الخرسانة (راجع الفصل الثانى) ؛ d – قطر القضيب .

واذا مدت القضبان وثبتت الى ما وراء المقطع العمودى على المحور الطولى للقطعة الانشائية ، حيث لا تستخدم كل مقاومتها التصميمية تماما ، عندئذ فى حالة تحديد l_{an} ، تضرب قيمة R_s فى النسبة بين مساحة مقطع القضبان اللازمة فى حالة الاستخدام الكلى للمقاومة التصميمية ، والمساحة الفعلية .

وعند المساند الطرفية الطليقة للقطع الانشائية المعرضة للانحناء ، تمد القضبان المشدودة الى ما وراء السطح الداخلى للمسند لاجل تثبيتها هناك ، الى مسافة لا تقل عن 10d ؛ واذا لم تظهر الشقوق المائلة فى منطقة الشد ، عندئذ تمد القضبان الى ما وراء السطح الداخلى للمسند ، الى مسافة لا تقل عن خمسة اضعاف القطر أى 5d (شكل ١ – ٢٩ ، ب) .

قضبان التسليح السابقة الاجهاد . تكون هذه القضبان مؤلفة من قضبان محززة الجانبية او كبلات سلكية مجدولة . وفى حالة الشد على المساند وعند توفر المقاومة اللازمة للخرسانة ، تستخدم فى الانشاءات بدون قطع تثبيت خاصة ؛ ان قضبان التسليح عندما تشد على الخرسانة (كبلات التسليح المجدولة) او تشد على المساند ، فى حالة عدم تلاصقها الكافى مع الخرسانة (الاسلاك الفولاذية الملساء العالية المقاومة) تثبت فى

الخرسانة دائما بواسطة قطع تثبيت خاصة . ويؤخذ طول منطقة التثبيت للقضبان السابقة الاجهاد الخالية من قطع التثبيت ، مساويا لطول منطقة انتقال الاجهادات من قضبان التسليح الى الخرسانة ، استنادا الى الصيغة التالية :

$$l_{tr} = (m_{tr}\sigma_{tr}/R_0 + \Delta\lambda_{tr})d \qquad (I\text{-}21)$$

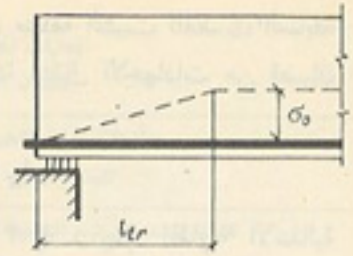
حيث تحدد قيم m_{tr} و $\Delta\lambda_{tr}$ من الجدول (١ – ٣) ؛ R_0 – المقاومة الانتقالية للخرسانة (مقاومة المكعب الخرسانى للتهصّر فى لحظة حدوث الانضغاط) ؛ σ_0 – الاجهاد المسبق فى قضبان التسليح مع أخذ الفقدان فى الاعتبار ؛ σ_t – تؤخذ مساوية لاكبر قيمة من القيمتين R_s و σ_0 .

وفى القطع الانشائية المنتجة من الخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، تضرب القيمة المستخرجة من الصيغة (I-21) فى ١٫٢ مرة . وبالنسبة للقضبان المحززة من كافة الانواع ، تؤخذ قيمة l_{tr} بحيث لا تقل عن 15d . وعند الانتقال الفورى لقوى الانضغاط الى الخرسانة ، نجد انه بالنسبة للقضبان المحززة التى يصل قطرها الى ١٨ مم (المحررة من مثبتاتها عند المساند ، بواسطة القصّ) تزداد قيمة l_{tr} بمقدار ١٫٢٥ مرة . وفى القطع الانشائية المستمرة عند درجات حرارية مصممة تقل عن –٤٠ مئوية ، تزداد قيمة $\Delta\lambda_{tr}$ الى الضعف .

جدول ١ – ٣

المعطيات المتعلقة بتحديد طول منطقة انتقال الاجهادات
لقضبان التسليح الخالية من الثنيات

نوع وصنف قطع التسليح الفولاذية	قيم المعاملات m_{tr}	قيم المعاملات $\Delta\lambda_{tr}$
قضبان التسليح المحززة الجانبية (بغض النظر عن صنفها وقطرها)	٠٫٣	١٠
الاسلاك الفولاذية العالية المقاومة من الصنف B_p-II ذات الاقطار التالية :		
٥ مم	١٫٨	٤٠
٤ مم	١٫٨	٥٠
٣ مم	١٫٨	٦٠
كبلات التسليح المجدولة من الصنف K-7 ذات الاقطار التالية :		
١٥ مم	١٫٢٥	٢٥
١٢ مم	١٫٤	٢٥
٩ مم	١٫٦	٣٠
٧٫٥ ، ٦ ، ٤٫٥ مم	١٫٨	٤٠



شكل ١ – ٣٠ . الرسم التخطيطي لقياس الاجهاد المسبق لفولاذ التسليح على طول منطقة انتقال الاجهادات من الفولاذ الى الخرسانة

ان الاجهاد المسبق فى قضبان واسلاك التسليح يعتبر متغير خطيا من الصفر عند حافة القطعة الى القيمة الكلية فى المقطع الواقع على مسافة تساوى l_{tr} من حافة القطعة (شكل ١ – ٣٠) .

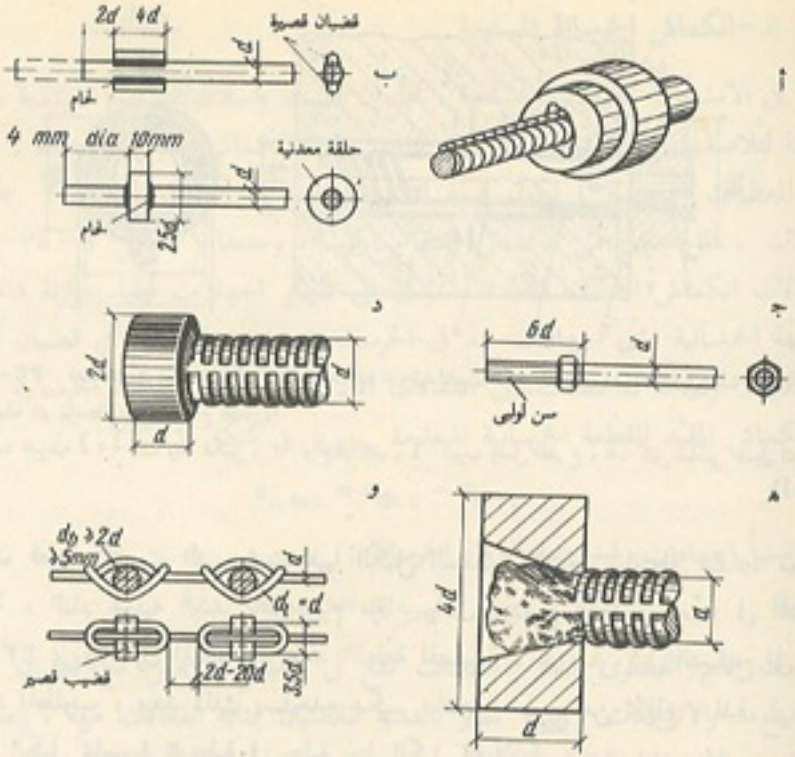
ولكى لا تتشظى الخرسانة عند انتقال القوى اليها من قضبان التسليح السابقة الاجهاد ، تتم تقوية وتعزيز اطراف القطع بتركيبات اندماجية (embeded fittings) ذات قضبان تثبيت قصيرة واطواق وشبكات وغيرها .

ولاجل شبك وشد وتثبيت الكبلات المجدولة وقضبان التسليح المحززة على المساند ، تستخدم قابضات زنقيّة (شكل ١ – ٣١ ، أ) . وبالاضافة الى ذلك تستخدم لتثبيت قضبان التسليح ، قضبان قصيرة (دحادح) ملحومة او حلقات معدنية (شكل ١ – ٣١ ، ب) ، تركيبات توصيل ملولبة غير مضعفة المقاطع (شكل ١ – ٣١ ، جـ) ورؤوس مفلطحة منتظمة (شكل ١ – ٣١ ، د) او رؤوس غير منتظمة الشكل تحتوى على جلبة (شكل ١ – ٣١ ، هـ) .

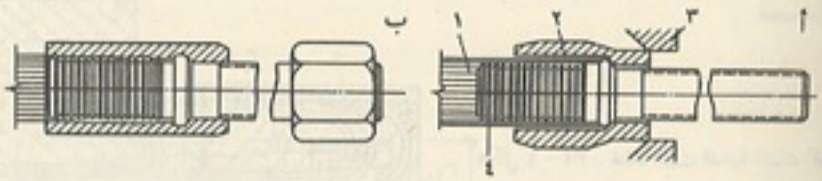
ويجب على قطع التثبيت المعدنية اثناء شد قضبان التسليح على الخرسانة ، ان تؤمن الانتقال الجيد للقوى من القضبان الى الخرسانة . وفى مواضع وجود المثبتات عند طرف القطع الانشائية ، تعزز الخرسانة بقضبان (اطواق) معدنية اضافية ، شبكات ملحومة ولوالب ، ولاجل الانتقال المنتظم للقوى من القضبان الفولاذية الى الخرسانة ، توضع تحت المثبتات صفائح فولاذية .

ان قطع التثبيت المحتوية على جلبة ، اى المثبتات الجلبية (socket anchors) المنتجة فى المصنع لتثبيت الكبل السلكى المجدول ، تتألف من قضيب مسنّف ، مدخل فى داخل الكبل المجدول ، ومن جلبات من الفولاذ الليّن ، مركبة فى اعلى الكبل (شكل ١ – ٣٢ ، أ) .

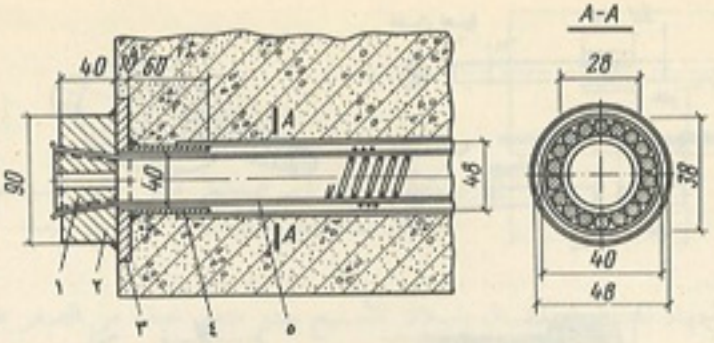
وعند السحب بواسطة حلقة الكبس المفلطحة ، يخضع معدن الجلبة ويضغط اسلاك الكبل (شكل ١ – ٣٢ ، ب) . ان تثبيت قطعة التثبيت هذه بعد شد كبل التسليح على الخرسانة بواسطة المرفاع الرحال ، يتم بواسطة صمولة القضيب الطرفى ، المشدودة حتى النهاية فى طرف القطعة .



شكل ١ – ٣١ . قطع تثبيت قضبان التسليح السابقة الاجهاد :
أ – قابضة زنقية للكبلات المجدولة والقضبان ؛ ب – قضبان قصيرة (دحادح) وحلقات معدنية ملحومة مع القضبان ؛ جـ – صمولة على سن لولبى فى طرف القضيب المحتوى على قوبة ؛ د – رأس مفلطح منتظم الشكل ؛ هـ – رأس مفلطح مع جلبة ؛ و – عروات وقضبان قصيرة لتثبيت الاسلاك العالية المقاومة



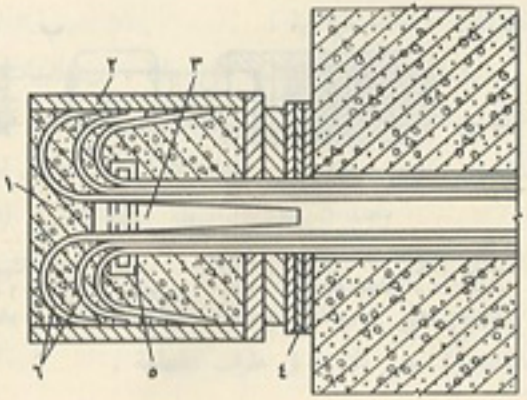
شكل ١ – ٣٢ . مثبتة جلبية :
أ – قبل التشكيل بالكبس ؛ ب – بعد التشكيل بالكبس ؛ ١ – كبل سلكى مجدول ، ٢ – جلبة ، ٣ – حلقة مفلطحة ، ٤ – قضيب بسن لولبى



شكل ١ – ٣٣ . قطعة تثبيت ذات جلبة لربط الكبل وسدادة مخروطية لتثبيت الكبل السلكى ذى الطبقة الواحدة (عملية الشد على الخرسانة تتم بواسطة مرفاع مزدوج الفعل):
١ – سدادة مخروطية ، ٢ – جلبة ربط الكبل ، ٣ – لوح فولاذى ، ٤ – انبوب وصل متفرع ، ٥ – كبل سلكى مجدول للتسليح

ان قطعة التثبيت التى يثبت فيها الكبل السلكى المجدول بواسطة سدادة معدنية مخروطية ، اثناء عملية الشد باستخدام مرفاع رحال مزدوج الفعل ، مبيّنة فى الشكل (١ – ٣٣). وبوصول المرفاع الى حافة القطعة المصبوبة ، يتم شد كبل التسليح الى حد الاجهاد المطلوب ، وبعد ذلك يستخدم مكبس خاص خارج من المرفاع ، لدق او غرز اسلاك الكبل بماسورة مخروطية فى جلبة ربط الكبل الفولاذية .

وتستخدم قطعة تثبيت قدحية الشكل لتثبيت الكبلات الفولاذية الضخمة الاقطار ، المحتوية على عدة صفوف من الاسلاك المنضدة تنضيدا مركزيا (شكل ١ – ٣٤) . وفى هذه الحالة يقوم المرفاع الرحال بمسك قطعة التثبيت وسحبها بقوة على الخرسانة الى الحد المطلوب ، وفى الفاصلة المتكونة بين المثبتة وطرف القطعة ، تدخل حلقة معدنية محززة ، وبناء على ذلك يبقى الكبل السلكى فى حالة اجهاد .



شكل ١ – ٣٤ . قطعة تثبيت قدحية لتثبيت كبل سلكى غليظ (الشد على الخرسانة):
١ – خرسانة مشكلة بالكبس فى قطعة التثبيت ، لقمط الكبل السلكى المجدول ، ٢ – قدح فولاذى بقعر ملحوم ، ٣ – قضيب فولاذى ، ٤ – حلقة (فلكة) فولاذية ، ٥ – حلقة معدنية ، ٦ – خطاطيف فى نهايات الاسلاك

٥ – انكماش الخرسانة المسلحة

فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، نجد أن قضبان واسلاك التسليح الفولاذية ، تصبح نتيجة لتلاصقها مع الخرسانة بمثابة رباط داخلى يمنع الانكماش المطلق للخرسانة . استنادا الى المعطيات التجريبية ، تكون قيمة انكماش وانتفاخ الخرسانة المسلحة فى عدد من الحالات ، اقل بمرتين من انكماش وانتفاخ الخرسانة وحدها (شكل ١ – ٣٥) . ان انفعالات انكماش الخرسانة المقيّدة ، تؤدى الى ظهور اجهادات أولية متوازنة داخلية فى القطعة الخرسانية – اى اجهادات شد فى الخرسانة واجهادات انضغاط فى قضبان التسليح الفولاذية . ونتيجة للاختلاف بين انفعالات الانكماش المطلق للقطعة الخرسانية $\varepsilon_{sh.\,c}$ والانكماش المقيّد للقطعة الخرسانية المسلحة $\varepsilon_{sh.\,s}$ (شكل ١ – ٣٦) :

$$\varepsilon_{c.\,ten} = \varepsilon_{sh.\,c} - \varepsilon_{sh.\,s} \qquad \text{(I-22)}$$

تنشأ اجهادات شد متوسطة فى الخرسانة :

$$\sigma_{c.\,ten} = \varepsilon_{c.\,ten} E'_{c.\,ten} \qquad \text{(I-23)}$$

ان القيم القصوى لهذه الاجهادات تقع فى منطقة التلامس مع قضبان واسلاك التسليح . والانفعالات $\varepsilon_{sh.\,s}$ تعتبر بالنسبة للقضبان بمثابة انفعالات مرنة ، وتظهر فيها اجهادات الانضغاط التالية :

$$\sigma_s = \varepsilon_{sh.\,s} E_s \qquad \text{(I-24)}$$

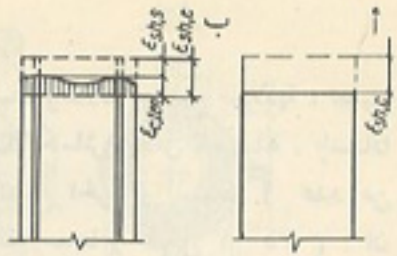
ان معادلة توازن القوى الداخلية للقطعة المسلحة بقضبان متماثلة فى الاتجاهين (اى قضبان لمقاومة الانضغاط واخرى لمقاومة الشد) تكون على الشكل التالى :

$$\sigma_s F_s = \sigma_{c.\,ten} F \qquad \text{(I-25)}$$

حيث F_s – مساحة مقطع قضبان التسليح ؛ F – مساحة مقطع القطعة الخرسانيّة المسلحة .



شكل ١ – ٣٥ . الانكماش والانتفاخ :
١ – فى الخرسانة ، ٢ – فى الخرسانة المسلحة



شكل ١ – ٣٦ . انفعالات الانكماش فى العينات :
١ – الخرسانة ، ٢ – الخرسانة المسلحة

ومن هذه المعادلة ينتج ما يلى :

$$\sigma_s = \sigma_{c,\,ten} F/F_s = \sigma_{c.\,ten}/\mu \qquad (I\text{-}26)$$

حيث F_s/F – نسبة التسليح .

وعندما نعوض فى الصيغة (I-22) قيم الانفعالات المعبر عنها بواسطة الاجهادات من الصيغ (I-23) ، (I-24) ، (I-26) :

$$\sigma_{c.ten}/E_{c,\,ten} = \varepsilon_{sh.\,c} = \sigma_{c,\,ten}/\mu E_s$$

نحصل على قيمة اجهادات الشد فى الخرسانة :

$$\sigma_{c,\,ten} = \varepsilon_{sh,\,c} E_s/(1/\mu + n/\nu_{ten}) \qquad (I\text{-}27)$$

حيث $n = E_s/E_c$ – تمثل النسبة بين معاملى مرونة الفولاذ والخرسانة .

وعند انكماش الخرسانة المسلحة ، تعتمد اجهادات الشد فى الخرسانة المسلحة على الانكماش المطلق للخرسانة $\varepsilon_{sh.\,c}$ ، نسبة التسليح ومأركة الخرسانة المصممة . وبزيادة كمية قضبان التسليح الموجودة فى الخرسانة ، تزداد اجهادات الشد فيها $\sigma_{c.\,ten}$ ، وعندما تصل هذه الاجهادات الى قيمة المقاومة القصوى فى حالة الشد R_{ten} ، تظهر شقوق الانكماش فى الخرسانة . وان اجهادات الشد فى الخرسانة ، فى حالة الانكماش المقيد للقطعة المسلحة بقضبان غير متماثلة فى اتجاه واحد (لمقاومة الانضغاط) تزداد نتيجة للتأثير غير المحورى للقوى على مقطع قضبان التسليح :

$$\sigma_{c,\,ten} = 2{,}25\varepsilon_{sh,\,c} E_s/(1/\mu + 2{,}25n/\nu_{ten}) \qquad (I\text{-}28)$$

ان اجهادات الشد الاولية الناجمة فى الخرسانة نتيجة للانكماش ، تساعد على الظهور المبكر للشقوق فى تلك المواضع من الخرسانة المسلحة ، التى تكون معرضة للشد نتيجة لتأثير الحمل . ولكن بظهور الشقوق يقل تأثير الانكماش . وفى مرحلة الانهيار ، لا يؤثر الانكماش على السعة الحملية للقطعة الخرسانية المسلحة ، المحددة استاتيا .

وفى الانشاءات الخرسانية المسلحة غير المحددة استاتيا (مثل العقود ، الاطر وغيرها) نجد ان الاربطة الزائدة تعرقل انكماش الخرسانة المسلحة ، ولهذا السبب يؤدى الانكماش الى

ظهور قوى داخلية اضافية . ان تأثير الانكماش يعادل انخفاض درجة الحرارة بعدد معين من الدرجات . وبالنسبة للخرسانة الثقيلة ، تكون القيمة المتوسطة المحتملة هى $\varepsilon_{sh.\,s} = 1{,}5 \times 10^{-4}$ ، وهذا المقدار عندما تكون قيمة معامل التمدد الحرارى الطولى هى $\alpha_t = 1 \times 10^{-5}$ ، يعادل انخفاض درجة الحرارة بمقدار ١٥ ° مئوية تقريبا . وبالنسبة للخرسانة المسلحة ذات الاخلاط المسامية نجد ان $\varepsilon_{sh.\,s} = 2 \times 10^{-4}$. ولتقليل القوى الاضافية الناجمة عن الانكماش ، يتم فصل القطع الانشائية الخرسانية المسلحة المستخدمة فى المبانى الصناعية والمدنية ذات الاطوال الكبيرة ، بواسطة فواصل (وصلات) انكماشية (shrinkage joints) الى كتل مستقلة (بلوكات) .

٦ – زحفان الخرسانة المسلحة

ان زحفان الخرسانة المسلحة هو نتيجة لزحفان الخرسانة . وقضبان التسليح الفولاذية ، كما فى حالة الانكماش أيضا ، تصبح بمثابة رباط داخلى يعرقل الانفعالات المطلقة للزحفان . وفى القطعة الخرسانية المسلحة المعرضة لتأثير الحمل ، يؤدى الزحفان المقيّد الى اعادة توزيع القوى (الاجهادات) بين قضبان التسليح والخرسانة . ان عملية اعادة توزيع الاجهادات تجرى بشدة خلال الاشهر المعدودة الاولى ، وبعد ذلك تخمد خلال مدة طويلة من الزمن بصورة تدريجية (خلال مدة تزيد على سنة واحدة) .

ونظرا لوجود الاحتكاك بين القضبان والخرسانة ، تكون الانفعالات الطولية لكل من قضبان التسليح والخرسانة ، فى الموشور الخرسانى المسلح المحورى الانضغاط ، متساوية تماما (شكل ١ – ٣٧ ، أ) :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c = \sigma_c/E'_c \qquad (I\text{-}29)$$

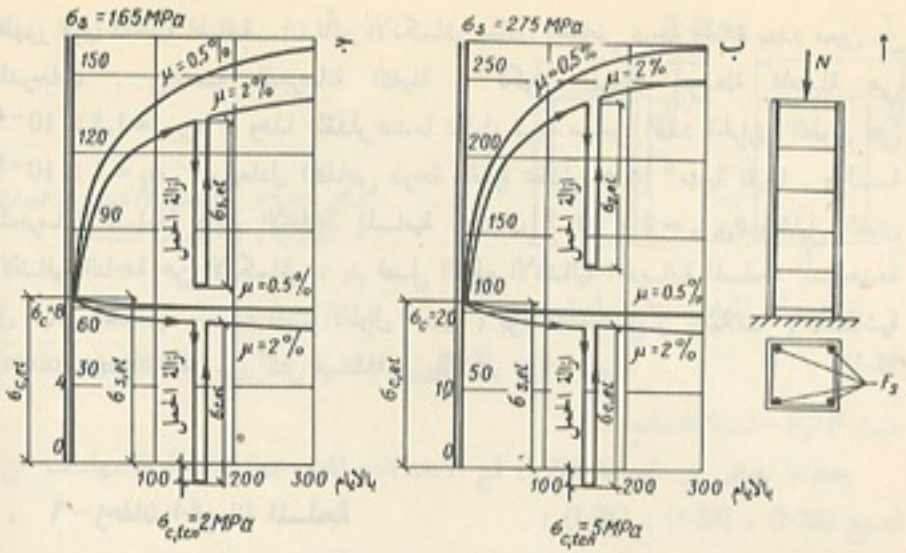
ومن هنا ينتج ان قيمة اجهاد الانضغاط فى قضبان التسليح الطولية ، يساوى ما يلى :

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \sigma_c n/\nu \qquad (I\text{-}30)$$

ويتلخص هنا دور القضبان المستعرضة او الاطواق الفولاذية . بالدرجة الاساسية ، فى منع تحدب قضبان التسليح الطولية المنضغطة .

ان معادلة توازن الحمل الخارجى والقوى الداخلية ، فى كل من الخرسانة والقضبان الطولية هى

$$N = \sigma_c F + \sigma_s F_s = \sigma_c F(1 + \mu n/\nu) \qquad (I\text{-}31)$$



شكل ١ – ٣٧ . اعادة توزيع الاجهادات فى فولاذ التسليح وخرسانة الموشور الخرسانى المسلح المضغوط ، الناجمة عن زحفان الخرسانة :

أ – مخطط الموشور الخرسانى المسلح ؛ ب – خرسانة ماركتها المصممة ٥٠٠ ؛ جـ – خرسانة ماركتها المصممة ٣٠٠

ومنها ينتج ان قيمة اجهاد الانضغاط تساوى

$$\sigma_c = N/F(1 + \mu n/\nu) \qquad \text{(I-32)}$$

ومعامل الانفعالات المرنة فى الخرسانة

$$\nu = \varepsilon_{el}/[\varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}(t, \sigma)]$$

يعتمد على الزمن t ومستوى الاجهادات ، اى نسبة الاجهاد والمقاومة σ_c/R_{pr} .

وبالتالى فانه بمرور الزمن ، ونتيجة لانخفاض قيمة المعامل ν عند ثبات القوة الخارجية N ، تنخفض الاجهادات فى الخرسانة استنادا الى الصيغة (I-32) . وهنا تزداد قيمة الاجهادات فى قضبان التسليح الفولاذية . ان منحنيات تغيّر الاجهادات بمرور الزمن فى الخرسانة وقضبان التسليح فى الموشور الخرسانى المسلح المعرض لتأثير الحمل ، مبينة فى الشكل ١ – ٣٧ ، ب ، جـ . وعندما تكون نسبة التسليح هى $\mu = 0{,}5\%$ ، تزداد قيمة الاجهادات فى قضبان التسليح بعد مرور ١٥٠ يوما ، بمقدار ٢٫٥ مرة . وبزيادة نسبة التسليح ووصولها الى ٢ ٪ ، تنخفض شدة زيادة الاجهادات فى قضبان التسليح . وعند الازالة الفورية للحمل ، يكون انفعال كل من الخرسانة وقضبان التسليح انفعالا مرنا ، ولكن الانفعالات اللدنة المتخلفة فى الخرسانة ، تعرقل تجدد الانفعالات المرنة فى قضبان التسليح ، ونتيجة

لذلك ستكون القضبان بعد ازالة الحمل منضغطة ، بينما تبقى الخرسانة مشدودة . واذا كانت قيمة اجهادات الشد فى الخرسانة بعد ازالة الحمل ، تزيد على قيمة المقاومة القصوى للشد ، اى $\sigma_{c,ten} > R$ ، عندئذ تظهر الشقوق فى الخرسانة . وعند اعادة الحمل ثانية ، تنسد هذه الشقوق فى الحال .

ويلاحظ الارتخاء فى اجهادات خرسانة الموشور الخرسانى المسلح ، فى حالة الاجهادات الثابتة ايضا فى قضبان التسليح – فى تجربة اخرى (شكل ١ – ٣٨ ، أ) . واذا خلقنا انفعالات انضغاط اولية ε_c^0 فى الموشور الخرسانى المسلح واجهادات انضغاط اولية فى الخرسانة σ_c^0 وفى قضبان التسليح σ_s^0 ، ثم ادخلنا اربطة تحافظ على الطول الثابت للموشور $l = \text{const}$ وتعرقل انفعاله فيما بعد ، فسوف نجد فى اية لحظة زمنية بعد ادخال الاربطة ، بان الاجهاد فى الخرسانة سيساوى ما يلى :

$$\sigma_c(t) = \varepsilon_c E_c' = \varepsilon_c \nu E_c < \sigma_c^0$$

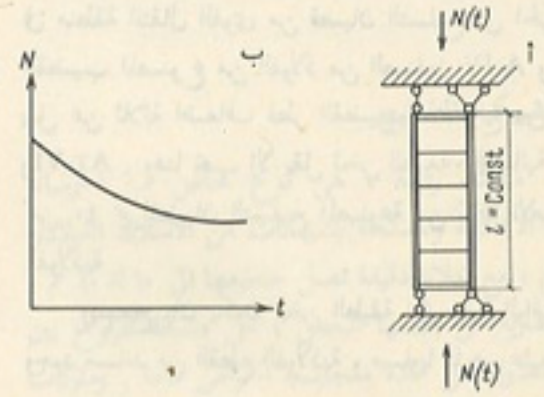
ان الاجهادات الناشئة فى الخرسانة تقل بمرور الزمن ، وذلك لان المعامل ν يقل بمرور الزمن .

وهنا ستكون ردود فعل الاربطة كما يلى :

$$N(t) = \sigma_c(t)F + \sigma_s F_s$$

وبمرور الزمن وثبات الاجهادات فى قضبان التسليح ، تقل ردود الفعل المذكورة (شكل ١ – ٣٨ ، ب) .

ان زحفان الخرسانة يؤثر تأثيرا ايجابيا على عمل القطع الخرسانية المسلحة المنضغطة القصيرة ، ويوفر لها الاستفادة التامة من مقاومة الخرسانة وقضبان التسليح على حد سواء . وفى القطع المنضغطة المرنة ، يؤدى الزحفان الى زيادة اللامركزيّات ، اى اختلافات المراكز



شكل ١ – ٣٨ . استرخاء الاجهادات فى الخرسانة عند ثبات قيمة الاجهادات فى فولاذ تسليح الموشور الخرسانى المسلح :

أ – مخطط الموشور الخرسانى المسلح ذى القيود الرابطة للحركة ؛ ب – العلاقة بين رد فعل القيود الرابطة N والزمن t

(eccentricities) الامر الذى قد يؤدى الى خفض سعتها الحملية . وفى القطع المعرضة للانحناء ، يؤدى الزحفان الى زيادة الانحناءات ؛ اما فى القطع السابقة الاجهاد ، فنجد ان الزحفان يؤدى الى زوال الاجهاد المسبق .

ويحدث زحفان وانكماش الخرسانة المسلحة فى نفس الوقت ، ويؤثران معا على مقاومة (سلوك) القطعة او الانشاء الخرسانى المسلح .

٧ – الطبقة الخرسانية الواقية (concrete cover)

ان الطبقة الخرسانية الواقية تستحدث فى الانشاءات الخرسانية المسلحة بترتيب قضبان التسليح على مسافة معينة من سطح القطعة الانشائية . والطبقة الخرسانية الواقية ضرورية لاجل العمل الموحد لكل من قضبان التسليح والخرسانة فى كافة مراحل الانتاج والتركيب والاستثمار . فهى تحمى قضبان التسليح من المؤثرات الخارجية ودرجة الحرارة العالية والبيئة الاكّالة وغير ذلك . ان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، تبعا لخبرة استثمار الانشاءات الخرسانية المسلحة ، يحدد استنادا الى نوع وقطر قضبان التسليح ومساحة المقطع العرضى للقطعة الانشائية ونوع الخرسانة ومارکتها المصممة وظروف تشغيل الانشاء وغير ذلك .

ان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، لقضبان التسليح الطولية غير السابقة الاجهاد او المشدودة على المساند ، يجب الا يقل عن ثخن القضيب او الكبل الفولاذى ؛ وفى البلاطات والجدران التى يصل ثخنها الى ١٠٠ مم يجب الا يقل الثخن المذكور عن ١٠ مم ؛ اما فى البلاطات والجدران التى يزيد ثخنها على ١٠٠ مم وكذلك العتبات التى يقل ارتفاعها عن ٢٥٠ مم ، يجب الا يقل ثخن الطبقة الخرسانية الواقية عن ٢٠ مم ؛ وفى الاساسات السابقة الصنع يجب الا يقل هذا الثخن عن ٣٠ مم .

ان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية عند اطراف قضبان التسليح الطولية السابقة الاجهاد ، فى منطقة انتقال القوى من قضبان التسليح الى الخرسانة ، يجب الا يقل عن ضعف قطر القضيب المصنوع من الفولاذ من الصنفين A-IV و AT-IV او قطر كبل التسليح ، والا يقل عن ثلاثة اضعاف قطر القضيب المصنوع من الفولاذ من الاصناف A-V ، AT-V و AT-VI . وهنا يجب الا يقل ثخن الطبقة الخرسانية الواقية فى القسم المذكور من القطعة ، عن ٤٠ مم لقضبان التسليح المصنوعة من كافة الاصناف الفولاذية ، وعن ٢٠ مم للكبلات الفولاذية .

ويسمح بان يكون ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، عند اطراف القطعة الانشائية عند وجود مساند من القطع الفولاذية ، مساويا لما هو عليه فى المقطع الواقع فى الباع (span) – أى

خارج منطقة المساند . ان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، لقضبان التسليح الطولية السابقة الاجهاد ، المشدودة على الخرسانة والموضوعة فى داخل القنوات (المسافة من سطح القطعة الانشائية الى اقرب سطح لها من سطوح القناة) يجب الا يقل عن ٢٠ مم وعن نصف قطر القناة ، واما عندما يبلغ قطر الكبل السلكى المجدول ٣٢ مم فما فوق ، يجب الا يقل الثخن المذكور ايضا عن هذا القطر .

ان المسافة من أطراف قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد الى طرف القطع الانشائية ، يجب الا تقل عن ١٠ مم ، وللقطع السابقة الصنع الكبيرة الطول (مثل الالواح الهيكلية التى يزيد طولها على ١٢ م ، العوارض التى يزيد طولها على ٩ مم ، والاعمدة التى يزيد ارتفاعها على ١٨ م)– يجب الا تقل عن ١٥ مم .

ان الثخن الاصغر للطبقة الخرسانية الواقية ، لقضبان التسليح المستعرضة للهياكل والاطواق عندما لا يقل ارتفاع مقطع القطعة الانشائية عن ٢٥٠ مم ، يجب الا يقل عن ١٠ مم ، وعندما يبلغ ارتفاع المقطع المذكور ٢٥٠ مم واكثر ، يجب الا يقل الثخن عن ١٥ مم .

٨ – معدل كثافة الخرسانة المسلحة

ان معدل كثافة الخرسانة المسلحة الثقيلة عند صب المزيج الخرسانى وفرشه بواسطة الهز ، يساوى ٢٥٠٠ كجم /م^{٣} ، وعند صب المزيج الخرسانى وفرشه بدون هز – ٢٤٠٠ كجم /م^{٣} . وعند وجود كمية كبيرة من قضبان التسليح (اكثر من ٣٪) تحدد كثافة الخرسانة المسلحة عندئذ ، باعتبارها مساوية لمجموع وزنى الخرسانة وقضبان التسليح فى المتر المكعب الواحد من القطعة الخرسانية المسلحة . ويحدد معدل كثافة الخرسانة المسلحة ذات الاخلاط الخفيفة ، باعتباره مساويا ايضا لمجموع وزنى الخرسانة وقضبان التسليح فى المتر المكعب الواحد من القطعة الخرسانية المسلحة .

٩ – الخرسانة الاسمنتية الرملية الشبيكية التسليح

ان الخرسانة المسلحة بشبيكات سلكية رفيعة ، هى نوع خاص من الخرسانة المسلحة ، المنتجة من الخرسانة الرملية الاسمنتية والمسلحة بشبيكات من الاسلاك الفولاذية الرفيعة الى يتراوح قطرها بين ٥ر – ١ مم ، مع خلايا دقيقة تصل حجومها الى ١٠ × ١٠ مم . وشبيكات التسليح موضوعة بصورة متقاربة من بعضها البعض ، على مسافة تتراوح بين ٣ – ٥ مم ، الامر الذى يساعد فى الحصول على مادة متجانسة الخواص تماما . ومارکات

الخرسانة المصممة هى ٣٠٠ و ٤٠٠ . وتستخدم الخرسانة المسلحة بشبيكات سلكية رفيعة فى انتاج الانشاءات ذات السمك القليل للجدران التى يتراوح سمكها بين ١٠ – ٣٠ مم (الانشاءات القشرية ، العقود المتموجة وغيرها) . وترتب شبيكات التسليح حسب التصميم المقرر ، ويجب ان تكون نسبة التسليح الشبيكى فى حدود ما يلى : $\mu = f_f/\delta = 0{,}004 - 0{,}025$ ، حيث f_f – مساحة مقطع الشبيكات لوحدة الطول (سم^2 /سم) ؛ δ – سمك القطعة الانشائية (سم) .

ونظرا للتوسع الكبير فى سطح تلاصق شبيكات التسليح مع الخرسانة ، نجد أن امتدادية الخرسانة (extensibility) فى الانشاءات المنتجة من الخرسانة المسلحة بشبيكات سلكية رفيعة ، تزداد تبعا لذلك . ان العرض الصغير لفتحات الشقوق – وهو الخاصية الاساسية لهذا النوع من الخرسانة المسلحة بالشبيكات السلكية الرفيعة ، يساعد على الوصول الى الاستفادة التامة من مقاومة شبيكات التسليح الفولاذية فى الانشاءات غير السابقة الاجهاد . ويمكن استخدام التسليح المختلط – اى الشبيكات الفولاذية والقضبان السابقة الاجهاد ، فى مناطق الشد فى الانشاءات المنتجة من الخرسانة المسلحة المذكورة .

ولا يمكن استثمار الانشاءات المسلحة بشبيكات سلكية رفيعة ، الا فى ظروف الرطوبة الطبيعية وغياب المؤثرات الاكالة للبيئة المحيطة ، وذلك لان مقاومتها للتأكل صغيرة نسبيا . وصمودها للنار اقل مما هو عليه فى الانشاءات الخرسانية المسلحة العادية . ولا ينصح باستخدام الانشاءات من الخرسانة الاسمنتية الرملية الشبيكية التسليح ، فى حالة التأثير المنتظم للأحمال المصدية (impact loads) .

١٠ – الخرسانة المبلمرة الشبيكية التسليح

ان الخرسانة المبلمرة الشبيكية التسليح ، تنتج من الخرسانة الاسمنتية المبلمرة او الخرسانة المبلمرة وشبيكات تسليح فولاذية او غير معدنية . وشبيكات التسليح هنا تكون جيدة التلاصق مع الخرسانة الاسمنتية المبلمرة . ولا يلاحظ اى تأكل فى شبيكات التسليح الفولاذية فى هذا النوع من الخرسانة المسلحة . ومقاومة الخرسانة المبلمرة الشبيكية التسليح للتأكل عالية نسبيا ، ولهذا السبب تعتبر ملائمة للاستثمار فى حالة الانشاءات والمبانى العاملة تحت ظروف البيئة الاكالة وعند وجود ضغط هيدروستاتى مرتفع . ونظرا للدراسة غير الوافية لخواص الخرسانة المبلمرة والتكاليف الغالية للانشاءات المقاومة من الخرسانة المبلمرة الشبيكية التسليح ، لم ينتشر استخدامها على نطاق واسع بعد .

١١ – تأثير درجة الحرارة على الخرسانة المسلحة

عند تعرّض الخرسانة المسلحة لدرجة الحرارة ، تنشأ فيها اجهادات داخلية متبادلة التوازن ، ناجمة عن بعض الاختلاف فى معامل التمدد الحرارى الطولى للحجر الاسمنتى ، حبيبات الاخلاط وقضبان التسليح الفولاذية . وعند تعرض الانشاء الى درجة حرارة تصل الى ٥٠ مئوية ، تكون الاجهادات الداخلية صغيرة ولا تؤدى عمليا الى انخفاض مقاومة الخرسانة . وفى حالة تعرض الانشاء للتأثيرات المنتظمة لدرجات الحرارة التقنيّة (الصناعية) التى تتراوح تقريبا بين ٦٠ – ٢٠٠ مئوية ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار حدوث انخفاض معين فى المقاومة الميكانيكية للخرسانة (يصل الى ٣٠٪ تقريبا) . وعند التسخين المتواصل الى درجة حرارة تتراوح بين ٥٠٠ – ٦٠٠ مئوية ، والتبريد الذى يلى ذلك ، تتحطم وتنهار الخرسانة .

ان الاسباب الاساسية لانهيار الخرسانة عند تعرضها لتأثير درجات الحرارة التقنية العالية ، هى اجهادات الشد الداخلية الكبيرة ، الناشئة نتيجة للاختلاف بين الانفعالات الحرارية للحجر الاسمنتى وحبيبات الاخلاط ، وكذلك نتيجة لزيادة حجم الكلس (الجير) الطليق ، الذى يتحرر عند نزع ماء معادن الاسمنت وبطفأ برطوبة الهواء .

وبالنسبة للانشاءات المعرضة للتأثير المستمر لدرجات الحرارة التقنية العالية ، يستخدم نوع خاص من الخرسانة الصامدة للحرارة . ان قوة تلاصق قضبان التسليح المحززة مع الخرسانة ، تنخفض بنسبة ٣٠٪ عند وصول درجة الحرارة الى ٥٠٠ مئوية . ولكن قوة تلاصق القضبان الملساء مع الخرسانة ، تبدأ بالانخفاض الحاد ، عند وصول درجة الحرارة الى ٢٥٠ مئوية فقط .

وفى الانشاءات الخرسانية المسلحة غير المحددة استاتيا ، تنشأ قوى واجهادات اضافية نتيجة للتغيرات الموسمية لدرجات الحرارة ، وتتعاظم هذه القوى عندما تكون الانشاءات طويلة . وللتخفيف من حدة القوى الاضافية الناشئة عن تغير درجات الحرارة ، يجرى تقسيم الانشاء الطويل الى اجزاء منفصلة بواسطة الوصلات التمددية (expansion joints) ، التى تتطابق عادة مع الوصلات الانكماشية .

١٢ – تآكل الخرسانة المسلحة وطرق الوقاية منه

ان مقاومة قطع الانشاءات الخرسانية المسلحة للتأكل تعتمد على كثافة الخرسانة ودرجة تأثير البيئة الاكالة . وان تأكل الخرسانة ذات الكثافة غير الكافية ، يمكن ان يحدث نتيجة لتأثير المياه الراشحة التى يذيب المركب الاساسى للحجر الاسمنتى – هيدروكسيد الكالسيوم .

ويتميز الماء اليسر باكبر قابلية للاذابة . والعلامة الظاهرة لتأكل الخرسانة فى هذه الحالة ، تتمثل فى ظهور الندف البيضاء على سطحها . والنوع الآخر من تأكل الخرسانة يظهر بتأثير الوسط الغازى او السائل الأكال : مثل الغازات الحمضية المتواجدة مع الرطوبة المرتفعة ، المحاليل الحمضية ، املاح حامض الكبريتيك وغيرها . وعند التفاعل المتبادل بين الحامض وهيدروكسيد الكالسيوم فى الحجر الاسمنتى ، تتحطم وتنهار الخرسانة . ان نواتج التفاعل الكيميائى بين البيئة الاكالة والخرسانة ، تتبلور ، وتملأ تدريجيا مسامات وقنوات الخرسانة . ويؤدى نمو البلورات بعد ذلك ، الى تمزق جدران المسامات والقنوات والى الانهيار السريع للخرسانة . ان اخطر الاملاح بالنسبة للخرسانة ، هى املاح بعض الحوامض وخاصة حامض الكبريتيك ، لانها تشكل فى الاسمنت كبريتات الكالسيوم وكبريتات الالومنيوم . وعند ذوبان كبريتات والومينات الكالسيوم ، فانها تسيل وتكون بقعا بيضاء على سطح الخرسانة . ومن المياه الجوفية الاكالة جدا ، هى المياه الحاوية على كبريتات الكالسيوم المائية وكذلك المياه الجوفية الحاوية على ملح المغنيسيوم وملح الامونيا (النشادر) . وعند التأثير المستمر لمياه البحر ، تؤثر تأثيرا ضارا على الخرسانة ، وذلك لاحتوائها على كبريتات المغنيسيت ، كلوريد المغنيسيا وغير ذلك من الاملاح الضارة .

ان تأكل قضبان التسليح الفولاذية يحدث نتيجة للتفاعل الكيميائى والالكتروليتى للبيئة المحيطة ؛ وهو يحدث عادة فى نفس الوقت مع تأكل الخرسانة ، ولكنه قد يحدث دون الاعتماد على تأكل الخرسانة .

ان حجم نواتج تأكل قضبان التسليح ، اكبر بعدة مرات من حجم فولاذ التسليح بالذات ، وتخلق ضغطا نصف قطرى كبير (ضغط شعاعى) على الطبقة المحيطة . وفى هذه الحالة تظهر على امتداد قضبان التسليح شقوق وتصدعات فى الخرسانة ، مع تعرى قضبان التسليح فى مواضع معينة .

ان التدابير الخاصة بوقاية الانشاءات الخرسانية المسلحة الواقعة فى بيئة اكالة ، من خطر التأكل ، تبعا لدرجة او شد التأكل ، تتلخص فيما يلى : تخفيض قابلية الترشيح لدى الخرسانة وذلك باضافة مواد خاصة اليها ، زيادة كثافة الخرسانة ، زيادة ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، وكذلك باستخدام دهونات راتنجية (ورنيشات) او استخدام معاجين خاصة ، استخدام لفائف عازلة ، استبدال اسمنت بورتلاند باسمنت الالومينا ، استخدام خرسانة خاصة مقاومة للحوامض (acid-resistant) .

الفصل الثانى

الاسس التجريبية لنظرية مقاومة الخرسانة المسلحة وطرق حساب وتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة

البند الاول
المعطيات التجريبية المتعلقة بسلوك القطع الخرسانية المسلحة تحت تأثير الحمل

١ – أهمية الابحاث التجريبية

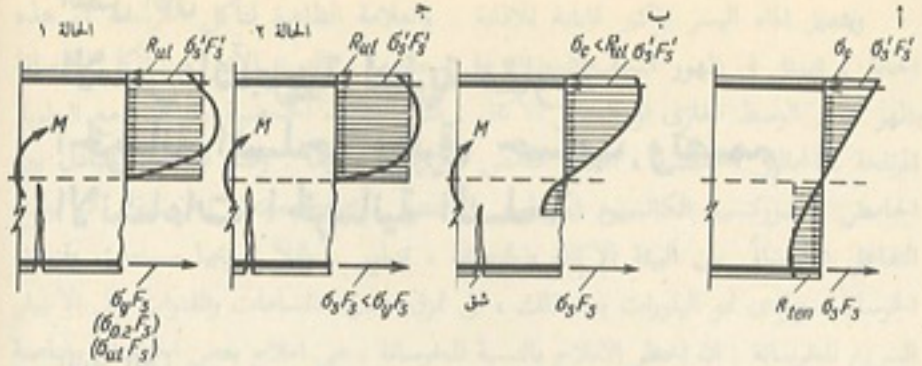
ان الابحاث التجريبية المتعلقة ببحث العمل الموحد لمادتين مختلفتين من حيث خواصهما الطبيعية الميكانيكية – نقصد بهاتين المادتين هنا الخرسانة والقضبان الفولاذية – كانت تجرى منذ بداية ظهور الخرسانة المسلحة . وقد اثبتت التجارب العملية ، ان الانفعال اللاخطى للخرسانة والشقوق فى مناطق الشد ، تؤثر بصورة جوهرية على حالة الاجهاد والانفعال فى القطع الخرسانية المسلحة .

والفرضيات التى تتعلق بوجود علاقة خطية بين الاجهادات والانفعالات وصيغ مقاومة المواد المرنة المبنية على هذه الفرضيات ، بالنسبة للخرسانة المسلحة ، غالبا ما تكون غير مقبولة علميا .

ان نظرية مقاومة الخرسانة المسلحة تبنى على اسس المعطيات التجريبية وقوانين الميكانيكا ، وتستند الى الحالة الفعلية للاجهاد والانفعال فى القطعة الخرسانية المسلحة ، فى مختلف مراحل التحميل بالاحمال الخارجية . وبقدر تراكم المعطيات التجريبية ، يكتمل اتقان طرق حساب وتصميم الانشاءات الخرسانيّة المسلّحة .

٢ – المراحل الثلاث لحالة الاجهاد والانفعال

ان التجارب التى اجريت على مختلف انواع القطع الخرسانية المسلحة – المعرضة للانحناء ، المعرضة للشد اللامحورى ، المعرضة للانضغاط اللامحورى ذات الرسوم البيانية للاجهاد ، السالبة والموجبة – اثبتت انه عند الزيادة التدريجية للحمل الخارجى ، يمكن ملاحظة



شكل ٢ – ١ . مراحل حالة الاجهاد والانفعال فى المقاطع العمودية عند انحناء القطعة الانشائية الخالية من الاجهاد المسبق :
أ – المرحلة I ؛ ب – المرحلة II ؛ جـ – المرحلة III

ثلاث مراحل بارزة لحالة الاجهاد والانفعال ، هى : المرحلة I – قبل ظهور الشقوق فى خرسانة منطقة الشد ، عندما يكون الاجهاد فى الخرسانة اقل من مقاومة الشد القصوى ، وقوى الشد تستوعب من قبل كل من الخرسانة وقضبان التسليح معا . المرحلة II – بعد ظهور الشقوق فى خرسانة منطقة الشد ، عندما تكون قوى الشد فى مناطق ظهور الشقوق ، مستوعبة من قبل قضبان التسليح ، وذلك الجزء من الخرسانة الواقع فوق الشقوق ، اما فى الاقسام الواقعة بين الشقوق ، فيتم تحمل قوى الشد من قبل كل من قضبان التسليح والخرسانة معا . المرحلة III – وهى مرحلة الانهيار ، المتميّزة بالفترة الزمنية القصيرة نسبيا لعمل القطعة الخرسانية المسلحة ، عندما تصل الاجهادات فى قضبان التسليح المشدودة الى نقطة الخضوع الطبيعية او الاصطلاحية ، والى حد المقاومة القصوى فى أسلاك التسليح العالية المقاومة ؛ اما الاجهادات فى خرسانة المنطقة المنضغطة ، فعندما تصل الى حد المقاومة القصوى للانضغاط يحدث الانهيار المذكور . ان تعاقب انهيار مناطق الشد والانضغاط ، يمكن ان يتغيّر تبعا لدرجة تسليح القطعة .

ولنبحث الآن المراحل الثلاث لحالة الاجهاد والانفعال فى منطقة الانحناء الخالص (pure bending) للقطعة الخرسانية المسلحة ، فى حالة الزيادة التدريجية فى الحمل (شكل ٢ – ١) .

المرحلة I – فى حالة تعرض القطعة للاحمال الصغيرة تكون الاجهادات الناشئة فى الخرسانة وقضبان التسليح غير كبيرة ، وتكون الانفعالات مرنة على الاغلب ؛ وتكون العلاقة بين الاجهادات والانفعالات خطية ؛ اما الرسوم البيانية للاجهادات المتعامدة (normal stresses) فى خرسانة منطقتى الانضغاط والشد ، فتكون مثلثة الشكل . وبزيادة الحمل المؤثر على القطعة ، تتطور فى خرسانة منطقة الشد الانفعالات غير المرنة ، ويصبح الرسم

البيانى للاجهادات منحنيا ، وتقترب قيمة الاجهادات من مقاومة الشد القصوى . وبهذه الخواص تنتهى المرحلة الاولى . وعند الزيادة اللاحقة للحمل ، تظهر الشقوق فى خرسانة منطقة الشد ، وتبدأ مرحلة نوعية جديدة .

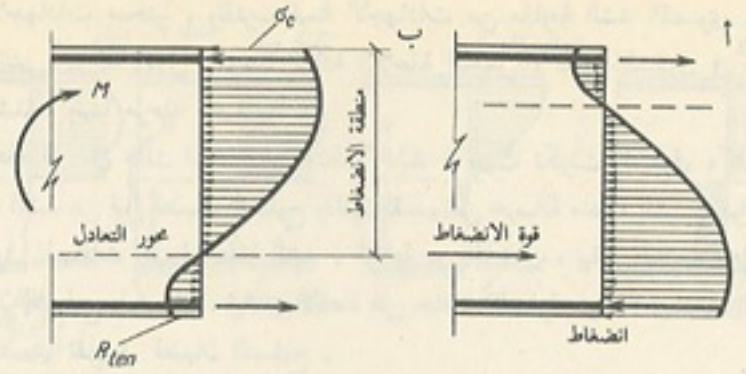
المرحلة II – فى ذلك الموضع من منطقة الشد ، حيث تكونت الشقوق ، يتم تحمل اجهادات الشد من قبل قضبان التسليح وذلك القسم من خرسانة منطقة الشد ، الواقع فوق الشق . وفى المسافات البينية لمنطقة الشد ، الواقعة بين الشقوق ، يبقى التلاصق على حاله بين قضبان التسليح والخرسانة ، وبقدر الابتعاد عن حافات الشقوق تزداد اجهادات الشد فى الخرسانة ، بينما تقل فى قضبان التسليح .

وبزيادة الحمل اللاحقة على القطعة ، تتطور فى خرسانة منطقة الانضغاط انفعالات غير مرنة (لدنة) وينحنى الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة ، بينما ينتقل الاحداثى الرأسى للاجهاد الاقصى من طرف المقطع الى وسطه . وتتميز نهاية المرحلة الثانية هذه ، ببداية ظهور الانفعالات غير المرنة بوضوح فى قضبان التسليح الفولاذية .

المرحلة III – وتسمى ايضا بمرحلة الانهيار . كلما زاد الحمل هنا ، تصل الاجهادات فى قضبان التسليح الى حد نقطة الخضوع الطبيعية او الاصطلاحية ؛ وكذلك نرى ان الاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط تصل بتأثير الانحناء المتزايد للقطعة الانشائية ، وتقلص ارتفاع منطقة الانضغاط ، الى حد المقاومة القصوى للانضغاط . وان انهيار القطعة الخرسانية المسلحة ، يبدأ بقضبان منطقة الشد وينتهى بتحطم خرسانة منطقة الانضغاط . ويتميز هذا الانهيار بطابع لدن ، اى انهيار لدن ، ويطلق عليه اسم الحالة ١ . واذا كانت القطعة فى منطقة الشد مسلحة باسلاك عالية المقاومة ذات استطالة نسبية صغيرة عند التمزق (تساوى ٤ ٪ تقريبا) عندئذ فى نفس وقت انقطاع وتمزق الاسلاك ، تتحطم خرسانة منطقة الانضغاط ايضا ، ويتميز هذا التحطم او الانهيار بطابع قصيف ، اى انهيار قصيف ، وينسب كذلك الى الحالة ١ .

وفى القطع المحتوية على كمية زائدة من قضبان التسليح المشدودة – اى القطع الزائدة التسليح – يبدأ الانهيار بخرسانة منطقة الانضغاط ، ويحدث الانتقال من المرحلة II الى المرحلة III بصورة فجائية . ويكون انهيار المقاطع الزائدة التسليح ، انهيارا قصيفا دائما فى حالة عدم الاستفادة التامة من قضبان التسليح المشدودة ، ويطلق عليه اسم الحالة ٢ .

وتتعرض القضبان غير السابقة الاجهاد لمنطقة انضغاط المقطع فى المرحلة الثالثة III لاجهادات انضغاط تعتمد على الانضغاطية القصوى للخرسانة $\sigma'_s = \varepsilon_c^{ul} E_s \approx 400$ MPa او اقل من ذلك بالنسبة للقضبان الفولاذية المدلفنة على الساخن ، ذات نقطة الخضوع $\sigma'_s = \sigma_y < 400$ MPa .



شكل ٢-٢ . الاجهادات فى الخرسانة فى المقاطع العمودية عند انحناء القطعة الانشائية السابقة الاجهاد :
أ- عند الانضغاط (التهصر) ؛ ب- بعد تسليط الحمل الخارجى ، المرحلة الاولى

ان المقاطع الموجودة على امتداد القطعة الخرسانية المسلحة تتعرض لمراحل مختلفة من حالة الاجهاد والانفعال ؛ مثلا فى المناطق ذات عزوم الانحناء القليلة - المرحلة I ، ذات عزوم الانحناء المتزايدة - المرحلة II ، وفى المنطقة ذات عزوم الانحناء القصوى - المرحلة III . ويمكن نشوء مراحل مختلفة لحالة اجهاد وانفعال القطعة الخرسانية المسلحة ، على مراحل مختلفة أيضا - عند الانتاج والانضغاط المسبق ، الشحن والتركيب ، وتأثير حمل التشغيل .

وعند الانضغاط ، تظهر فى القطعة السابقة الاجهاد ، اجهادات مرتفعة بما فيه الكفاية . وبتأثير تطور الانفعالات غير المرنة يكتسب الرسم البيانى لاجهادات الانضغاط شكلا منحنيا . واثناء عملية التحميل المتعاقب بالحمل الخارجى ، تخمد اجهادات الانضغاط السابقة ، اما اجهادات الشد الناشئة فى القطعة ، فتقترب من مقاومة الخرسانة القصوى للشد (شكل ٢-٢) .

ان انتقال الاحداثى ذى الاجهادات القصوى على الرسم البيانى المنحنى $\sigma_c = \varepsilon_c E'_c$ ، الى منتصف المقطع ، يعتمد على الزيادة المتعاقبة لقيم ε_c وانخفاض قيم E'_c من المحور الى طرف المقطع . وان طبيعة حالة الاجهاد والانفعال فى القطع السابقة الاجهاد ، تظهر بالدرجة الاساسية فى المرحلة I . والحمل الخارجى المؤدى الى ظهور الشقوق ، يزداد زيادة كبيرة (عدة اضعاف) ، وكذلك يزداد كل من الاجهاد فى منطقة الانضغاط وارتفاع هذه المنطقة زيادة كبيرة ايضا . وتقل الفاصلة بين المرحلتين I و III . وبعد ظهور الشقوق فى المرحلتين I و III ، تصبح حالات الاجهاد والانفعال فى كل من القطع السابقة الاجهاد وغير السابقة الاجهاد ، متشابهة تماما .

٣- عملية تطور الشقوق فى مناطق الشد فى الخرسانة

ان سبب ظهور الشقوق فى القطع الخرسانية المسلحة ، قد يعود الى ظروف تصلب وانكماش الخرسانة ، الانضغاط المسبق عند الانتاج ، الاجهادات الزائدة للمواد عند استثمارها - الحمل الزائد ، هبوط المساند ، تغير درجة الحرارة وغير ذلك . وان الشقوق الناجمة عن الاجهاد الزائد ، غالبا ما تظهر فى مناطق الشد ، وبصورة اقل فى مناطق الانضغاط . والشقوق الظاهرة فى مناطق الشد فى القطع والتى لا تشاهد بالعين المجردة ، تظهر عند تأثير الحمل ، حتى فى القطع الخرسانية المسلحة المتقنة الانتاج ؛ ويعود سبب ظهورها الى قابلية الشد القليلة للخرسانة ، التى لا يمكنها اللحاق بالاستطالات (التمددات) الكبيرة لقضبان التسليح الفولاذية فى حالة تأثير اجهادات التشغيل المأمونة العالية (working stresses) . وفى الانشاءات السابقة الاجهاد ، تظهر الشقوق فى حالة تأثير الاحمال الكبيرة القيم نسبيا . وتبيّن الخبرة العملية لاستثمار القطع الانشائية الخرسانية المسلحة للمبانى والانشاءات انه فى حالة العرض المحدود للفتحات ، تكون هذه الشقوق غير خطرة ، ولا تخل بالتراصّ العام للخرسانة المسلحة .

ان قضبان التسليح الموجودة فى خرسانة منطقة الشد فى القطعة ، تخفف قليلا من التأثير السلبى لعدم تجانس البنية ومن اختلال تلاحم الخرسانة ، ولكن وجود قضبان التسليح بكمية عادية لا يزيد قيمة قابلية الشد القصوى للخرسانة المسلحة ، الا قليلا على قيمة قابلية الشد القصوى للخرسانة غير المسلحة .

والشقوق الظاهرة فى مناطق الانضغاط ، تشير عادة الى عدم توافق ابعاد المقطع مع اجهادات الانضغاط ، وتكون خطرة بالنسبة لمقاومة الانشاء . واثناء عملية تطور الشقوق فى مناطق الشد فى الخرسانة ، تظهر هناك ثلاث مراحل :

١) ظهور الشقوق عندما تكون غير مرئية بالعين المجردة ؛

٢) ظهور الشقوق عندما تصبح مرئية بالعين المجردة ؛

٣) تفتح الشقوق الى اكبر حد ممكن .

ويمكن ان نعتبر ان ظهور الشقوق فى القطع المسلحة بكمية طبيعية من قضبان التسليح ، يتفق مع نشوئها ، لذا توجد فى هذه الحالة مرحلتان فقط هما : ١) ظهور الشقوق ، ٢) تفتح الشقوق .

الباب الثانى
طريقة تصميم المقاطع بواسطة الاجهادات المسموح بها

ان طريقة حساب وتصميم مقاومة مقاطع القطع المعرضة للانحناء ، بواسطة الاجهادات المسموح بها ، كانت اول طريقة معروفة منذ زمن طويل وتطورت بمرور الزمن ، وهى تستند اساسا على المرحلة الثانية من حالة الاجهاد والانفعال ، استخدمت فيها الفرضيات التالية : ١) الخرسانة فى منطقة الشد لا تقاوم الاحمال ، وتقوم قضبان التسليح المشدودة بتحمل الاحمال ، ٢) يكون سلوك خرسانة منطقة الانضغاط مرنا ، والعلاقة بين الاجهادات والانفعالات هى علاقة خطية تبعا لقانون هوك (Hooke's law) ، ٣) ان المقاطع العمودية على المحور الطولى ، التى كانت مستوية قبل الانحناء ، تبقى مستوية بعد الانحناء ايضا ، اى تتبع نظرية المقاطع المستوية .

ونتيجة لهذه الفرضيات ، يستخدم لخرسانة منطقة الانضغاط الرسم البيانى المثلث للاجهادات ، والقيمة الثابتة لنسبة معايرى مرونة الفولاذ والخرسانة ، اى $n = E_s/E_c$ (شكل ٢ – ٣) . ويتم بحث مقطع محوّل متجانس واحد ، تستبدل فيه مساحة مقطع قضبان التسليح الفولاذية F_s بمساحة مقطع الخرسانة ، التى تساوى nF_s . واستنادا الى معادلة انفعالات المادتين ، اى الفولاذ والخرسانة ، نحصل على :

$$\varepsilon_s = \sigma_s/E_s = \varepsilon_c = \sigma_c/E_c$$

وبواسطة العدد n تحدد العلاقة بين الاجهادات فى كل من قضبان التسليح والخرسانة :

$$\sigma_s = n\sigma_c \qquad (II\text{-}1)$$

ان الاجهاد الطرفى فى الخرسانة يحدد بنفس طريقة تحديده بالنسبة للمقطع المتجانس المحوّل :

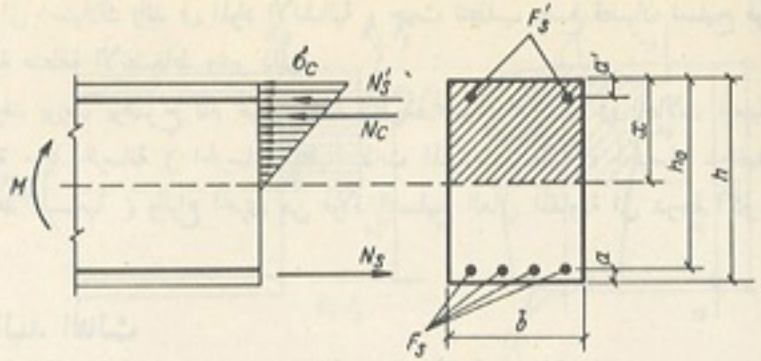
$$\sigma_c = Mx/I_{tr} \qquad (II\text{-}2)$$

والاجهادات فى قضبان التسليح المشدودة والمنضغطة تساوى ما يلى على التوالى :

$$\sigma_s = nM(h_0 - x)/I_{tr} \qquad (II\text{-}3)$$

$$\sigma'_s = nM(x - a')/I_{tr} \qquad (II\text{-}4)$$

حيث $h_0 = h - a$ – تمثل الارتفاع الفعال للمقطع ؛ h – الارتفاع الكلى للمقطع ؛ a – المسافة من المحور العمودى على مستوى الانحناء والمار فى مركز ثقل مقطع القضبان المشدودة ، الى الحافة الخارجية المشدودة للمقطع (الالياف الخارجية المشدودة) ؛ a' – المسافة من المحور العمودى على مستوى الانحناء والمار فى مركز ثقل مقاطع قضبان التسليح المضغوطة الى الحافة



شكل ٢ – ٣ . الرسم التخطيطى لتوضيح تصميم العتبة المستطيلة المقطع بواسطة الاجهادات المسموح بها

المضغوطة الخارجية للمقطع (الالياف الخارجية المضغوطة) ؛ x – ارتفاع منطقة الانضغاط فى المقطع .

ان ارتفاع منطقة انضغاط المقطع x يستخرج من الشرط الذى ينص على ان العزم الاستاتى للمقطع المحول ، المأخوذ حول محور التعادل (neutral axis) يساوى صفرا :

$$S_{tr} = bx^2/2 + nF'_s(x - a') - nF_s(h_0 - x) = 0 \qquad (II\text{-}5)$$

وعزم القصور الذاتى (moment of inertia) للمقطع المحول يساوى

$$I_{tr} = bx^3/3 + nF_s(h_0 - x)^2 + nF'_s(x - a')^2 \qquad (II\text{-}6)$$

وقد تحددت الاجهادات فى كل من الخرسانة وقضبان التسليح ، بقيم الاجهادات المسموح بها ، التى ثبتت باعتبارها اقسام معينة من مقاومة الخرسانة القصوى للانضغاط ، اى $\sigma_c = 0{,}45R$ (حيث R – ماركة الخرسانة التى تؤخذ مساوية لمقاومة المكعب الخرسانى للتهصر) ونقطة خضوع قضبان التسليح $\sigma_s = 0{,}5\sigma_y$.

ان العيب الاساسى فى طريقة الحساب والتصميم بواسطة الاجهادات المسموح بها ، يتمثل فى ان الخرسانة تعتبر هنا بمثابة مادة مرنة . وتوزيع الاجهادات الفعلى فى المقطع الخرسانى فى المرحلة II ، لا يتفق مع الرسم البيانى المثلث للاجهادات ، و n – عبارة عن عدد غير ثابت ، يعتمد على قيمة الاجهاد فى الخرسانة ، وعلى الفترة الزمنية لتأثير الاجهاد وغير ذلك من العوامل الاخرى . ولا توجد فائدة من وضع قيم مختلفة للعدد n تبعا لماركة الخرسانة . وقد ثبت بان الاجهادات الفعلية فى قضبان التسليح ، تكون اقل من الاجهادات المحسوبة . وطريقة الحساب والتصميم هذه ، ليست انها لا توفر امكانية تصميم الانشاء ، مع وجود عامل الامان (safety factor) المقرر مسبقا ، فحسب، بل وانها لا تسمح بتحديد الاجهادات الحقيقية فى كل من الخرسانة وقضبان التسليح . وهى فى عدد من الحالات ،

تؤدى الى استهلاك زائد فى المواد الانشائية ، حيث تتطلب وضع قضبان تسليح فولاذية فى خرسانة منطقة الانضغاط وغير ذلك .

وقد برزت بوضوح تام عيوب هذه الطريقة عندما ادخلت فى المجالات العملية انواع جديدة من الخرسانة (الخرسانة الثقيلة ذات الماركات العالية ، الخرسانة الخفيفة ذات الاخلاط المسامية) وانواع اخرى من فولاذ التسليح العالى المقاومة الى درجة اكبر .

البند الثالث
طريقة حساب وتصميم المقاطع بواسطة قوى الانهيار

ان عيوب طريقة التصميم بواسطة الاجهادات المسموح بها ، دفعت العلماء السوفييت الى انجاز ابحاث خاصة والتوصل الى وضع طريقة للتصميم ، تتفق بصورة افضل مع الخواص المرنة واللدنة للخرسانة المسلحة . وقد وضعت كذلك مواصفات قياسية جديدة وشروط فنية لتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة ، بدأت تطبق فى الاتحاد السوفييتى منذ عام ١٩٣٨ .

ان طريقة حساب وتصميم المقاطع بواسطة قوى الانهيار ، تستند الى المرحلة III من مراحل حالة الاجهاد والانفعال عند الانحناء . ولا يؤخذ فى الاعتبار سلوك خرسانة منطقة الشد . وفى الصيغ الحسابية التصميمية ، تدخل عوضا عن الاجهادات المسموح بها ، نقطة خضوع الخرسانة عند الانضغاط ، ونقطة خضوع قضبان التسليح الفولاذية . وفى هذه الطريقة ، تنتفى الحاجة الى العدد n . وفى البداية استخدم الرسم البيانى المنحنى للاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط ، الذى استبدل فيما بعد بالرسم البيانى المستطيل الشكل . وان القوة المأمونة المسموح بها عند استثمار الانشاء ، تحدد بتقسيم قوة الانهيار على عامل الأمان العام للمقاومة ، او عامل الحمل k .

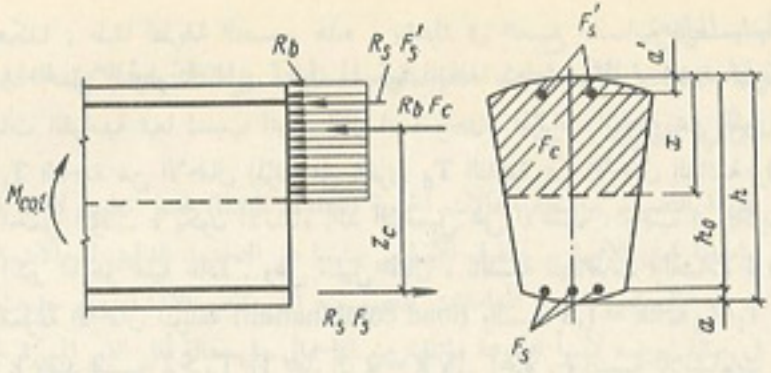
وهكذا نحصل على ما يلى بالنسبة للقطع المعرضة للانحناء :

$$M = M_{col}/k \qquad (II\text{-}7)$$

وللقطع المعرضة للانضغاط :

$$N = N_{col}/k \qquad (II\text{-}8)$$

وعند تحديد قوى الانهيار فى القطع التى ينطبق سلوكها على الحالة ١ ، والتى يبدأ انهيارها فى منطقة الشد ، يستخدم عوضا عن فرضيات المقاطع المستوية ، مبدأ الانهيار اللدن ، الذى بموجبه تصل الاجهادات فى كل من قضبان التسليح والخرسانة الى قيمها القصوى فى نفس الوقت . واستنادا الى مبدأ الانهيارات اللدنة (الذى وضعه لاول مرة العالم



شكل ٢ – ٤ . الرسم التخطيطى لتوضيح تصميم العتبة ذات المقطع الذى له اى شكل مماثل كان ، بواسطة قوى الانهيار

السوفييتى أ . لوليت) تم الحصول على صيغ تصميمية (حسابية) لقوى الانهيار فى القطع المعرضة للانحناء والقطع المحورية التحميل . وبالنسبة للقطعة المعرضة للانحناء ، التى لها اى شكل من اشكال المقطع المتماثل (شكل ٢ – ٤) يحدد ارتفاع منطقة الانضغاط من معادلة توازن القوى الداخلية فى مرحلة الانهيار :

$$R_b F_c + R_s F_s' = R_s F_s \qquad (II\text{-}9)$$

حيث R_b – مقاومة الخرسانة القصوى للانضغاط عند الانحناء ، التى اخذت مساوية للمقدار $1{,}25R_{pr}$ ؛ R_s – نقطة خضوع قضبان التسليح الفولاذية ؛ F_c – مساحة الخرسانة فى منطقة الانضغاط .

ويحدد عزم الانهيار باعتباره مساويا لعزم القوى الداخلية حول المحور المار فى مركز ثقل قضبان التسليح المشدودة :

$$M_{col} = R_b S_c + R_s F_s'(h_0 - a') \qquad (II\text{-}10)$$

حيث $S_c = F_c z_c$ – تمثل العزم الاستاتى لمساحة خرسانة منطقة الانضغاط حول المحور المار فى مركز ثقل قضبان التسليح المشدودة ؛ z_c – المسافة من مركز ثقل القضبان المشدودة الى مركز ثقل مساحة خرسانة منطقة الانضغاط .

وتثبت الحدود بين الحالة I والحالة II ، استنادا الى المعطيات التجريبية : عند $S_c/S_0 \leqslant 0{,}8$ لانواع الخرسانة ماركة ٤٠٠ واقل ، وهى الحالة I ، حيث S_0 تمثل العزم الاستاتى لكافة المساحة الفعالة للخرسانة ، حول المحور المار فى مركز ثقل قضبان التسليح المشدودة . وبالنسبة للمقاطع المستطيلة والمقاطع T ، التى تقع شفتها (flange) فى منطقة الانضغاط ، نجد ان القيمة الحدية لارتفاع منطقة الانضغاط هى $x \leqslant 0{,}55h_0$.

وهكذا ، طبقا لطريقة التصميم هذه ، يشترك فى الصيغ الحسابية التصميمية عامل الأمان (الحمل) وهو k الذى يكون متساويا للقطعة برمتها . وقد تم تحديد قيمة k من المواصفات القياسية تبعا لسبب انهيار الانشاء ، واجتماع المؤثرات الناجمة عن القوى ونسبة القوى T_l الناجمة عن الاحمال المؤقتة الى القوى T_d الناجمة عن الاحمال الدائمة وفى حالة تغلب الحمل المؤقت ، يكون الانشاء زائد التحميل على الاغلب ، ويجب ان يكون عامل الامان اكبر مما هو عليه عادة . وعلى سبيل المثال ، بالنسبة للبلاطات والعتبات ، فى حالة تأثير مجموعة الاحمال المؤتلفة (load combination) والنسبة $T_l/T_d \leqslant 2k = 1,8$ نجد أن $k = 1,8$ وعند النسبة $T_l/T_d > 2$ نجد أن $k = 2$ والى آخره . وبالنسبة للانشاءات السابقة الصنع فى حالة تأثير المجموعات المؤتلفة الاساسية والاضافية للاحمال ، تقل قيمة عامل الأمان بمقدار ٢ر٠ ولكنها لا تقل عن ١ر٥ .

وفى حسابات وتصاميم المقاطع بواسطة قوى الانهيار ، نجد ان القوى الداخلية M ، Q ، N الناجمة عن الحمل ، تحدد أيضا فى مرحلة انهيار الانشاء ، اى يأخذ ظهور او تكون المفصلات اللدنة (plastic hinges) فى الاعتبار . وبالنسبة لانواع كثيرة من الانشاءات – مثل البلاطات ، العتبات المتواصلة ، الاطر – يؤدى مثل هذا الحساب والتصميم الى فائدة اقتصادية ملموسة .

محاسن وعيوب طريقة تصميم المقاطع بواسطة قوى الانهيار . ان طريقة التصميم بواسطة قوى الانهيار ، التى تأخذ فى الاعتبار الخواص المرنة واللدنة للخرسانة المسلحة ، تعكس بصورة أصح السلوك الحقيقى لمقاطع الانشاءات المعرضة لتأثير الحمل ، وتعتبر بمثابة تطور هام فى نظرية مقاومة الخرسانة المسلحة . والافضلية الكبيرة لهذه الطريقة على طريقة التصميم بواسطة الاجهادات الحدية ، تتمثل فى امكانية تحديد عامل الامان العام ، القريب جدا من الواقع . ومن الناحية الاقتصادية ، تتمثل افضلية طريقة التصميم بواسطة قوى الانهيار ، فى انه يتطلب فى عدد من الحالات استهلاك كمية من القضبان تقل عن الكمية المستهلكة عند التصميم بواسطة الاجهادات المسموح بها . وعلى سبيل المثال ، فى القطع المعرضة للانحناء ، لا نحتاج وفق التصميم ، الى استخدام قضبان تسليح منضغطة عادة .

ويتلخص عيب طريقة التصميم بواسطة قوى الانهيار ، فى ان الانحرافات المحتملة للاحمال الفعلية (actual loads) وخواص مقاومة المواد ، عن قيمها التصميمية ، لا يمكن ان تحسب بوضوح فى حالة وجود عامل امان مشترك فقط .

البند الرابع
طريقة تصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة بواسطة الحالات الحدية

١ – ماهية الطريقة

ان طريقة التصميم بواسطة الحالات الحدية (limit states) تعتبر تطويرا لاحقا لطريقة التصميم بواسطة قوى الانهيار . والفرق الاساسى بينهما هو التحديد الدقيق للحالات الحدية للانشاءات وادخال مجموعة من المعاملات التصميمية التى تؤمن الانشاء من حدوث هذه الحالات فى حالة تعرضه لأسوأ مجموعة مؤتلفة من الاحمال وفى حالة أقل القيم المميّزة لخواص مقاومة المواد . وعند اتباع طريقة التصميم هذه ، يتم تحديد مقاومة المقاطع ايضا بواسطة مرحلة الانهيار ، ولكن سلامة تشغيل الانشاء عند تعرضه للحمل ، تقدر ليس بعامل أمان تصميمى واحد فقط ، بل بمجموعة كاملة من هذه العوامل التصميمية . وان الانشاءات المحسوبة والمصممة بطريقة الحالات الحدية ، تكون اكثر اقتصادية نوعا ما .

٢ – مجموعتان من الحالات الحدية

ان الحالات الحدية هى تلك الحالات التى عندها تتوقف الانشاءات عن تحقيق الشروط المطلوبة منها اثناء عملية استثمارها وتشغيلها ، اى انها تفقد قابلية مقاومة الاحمال والمؤثرات الخارجية ، او تنحرف انحرافات غير مسموح بها او تصاب باعطاب موضعية .

ان الانشاءات الخرسانية المسلحة يجب ان تفى بمتطلبات التصميم فى مجموعتى الحالات الحدية : من حيث السعة الحملية – المجموعة الاول للحالات الحدية ؛ من حيث صلاحيتها للاستثمار او التشغيل العادى – المجموعة الثانية للحالات الحدية .

التصميم بواسطة الحالات الحدية للمجموعة الاولى . ينجز هذا النوع من التصميم لمنع حدوث ما يلى :

أ) الانهيار القصيف ، الانهيار اللزج او غير ذلك من الانهيارات (التصميم بواسطة المقاومة مع اخذ انحناء الانشاء قبل الانهيار فى الاعتبار ، فى الحالات الضرورية) ؛

ب) فقدان استقرار او ثبات شكل الانشاء (حساب استقرار الانشاءات الرقيقة الجدران وغيرها) او موقعه (حساب انقلاب وانزلاق الجدران الساندة او المحتجزة ، الاساسات العالية غير المحورية التحميل ، حساب قابلية طفو خزانات المياه المطمورة او الجوفية وغير ذلك) .

جـ) الانهيار الكلال (حساب تحمّل الانشاءات الواقعة تحت تأثير الاحمال الكثيرة التكرار المتحركة – live loads أو النابضة – pulsating loads ، كما فى عتبات سكك

الأوناش الرحالة ، العوارض الراقدة – sleepers – الأساسات الاطارية والسقوف او الارضيات تحت المكنات غير المتوازنة وغير ذلك) ؛

د) الانهيار الناجم عن التأثير الموحد للاحمال الخارجية والمؤثرات الضارة للبيئة المحيطة بالانشاءات (الفعل المتناوب او المستمر للبيئة الاكالة ، تأثير الانجماد والذوبان المتعاقبين وغير ذلك) .

التصميم بواسطة الحالات الحدية للمجموعة الثانية . ينجز هذا النوع من التصميم لمنع حدوث ما يلى :

أ) ظهور الفتحات الكبيرة او المستمرة للشقوق (اذا كانت شروط استثمار الانشاء لا تسمح بظهور الشقوق او تفتحها المستمر) ؛

ب) الازاحات المفرطة (الارتخاءات ، زوايا الدوران ، زوايا التخالف وسعات الاهتزازات) .

ان الحساب أو التصميم بواسطة الحالات الحدية للانشاء ككل ولاجزائه المنفردة او قطعه الانشائية المستقلة ، يجرى بالنسبة لكافة المراحل : مرحلة الانتاج ، مرحلة الشحن ، مرحلة التركيب والاستثمار ؛ وهنا يجب ان تكون المخططات التصميمية متفقة مع الحلول التصميمية المقررة ومع كل مرحلة من المراحل المذكورة اعلاه .

٣ – معاملات التصميم (design factors)

ان معاملات التصميم التى تتمثل فى الاحمال الخارجية والخواص الميكانيكية للخرسانة وقضبان التسليح (المقاومة القصوى ونقطة الخضوع) تتميّز بخاصية التغيّرية الاستاتية (تغيّر القيم) . وان الاحمال والمؤثرات الاخرى قد تختلف عن الاحتمال المعين لزيادتها عن القيم المتوسطة اى المعدلات ، اما الخواص الميكانيكية للمواد فيمكن ان تختلف ايضا عن الاحتمال المعيّن لانخفاضها عن القيم المتوسطة ، أى الخواص المتوسطة . وعند التصميم والحساب بواسطة الحالات الحدية تؤخذ فى الاعتبار التغيرية الاستاتية للاحمال والخواص الميكانيكية للمواد ، عوامل الطابع غير الاستاتى ومختلف الظروف الطبيعية ، الكيميائية والميكانيكية الملائمة وغير الملائمة لسلوك الخرسانة وقضبان التسليح ، انتاج واستثمار قطع المبانى والانشاءات . وكافة الاحمال والخواص الميكانيكية للمواد ومعاملات التصميم ، تكون خاضعة للمواصفات القياسية المتعلقة بذلك .

ويتم تحديد قيم الاحمال ، وقيم مقاومة الخرسانة وقضبان التسليح ، طبقا للمواصفات القياسية للاحمال والمؤثرات الخارجية واستنادا الى المواصفات القياسية الخاصة بتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة .

٤ – تصنيف الأحمال . الاحمال الاساسية واحمال التصميم

تصنيف الاحمال . تقسم الاحمال تبعا لمدة استمرار تأثيرها الى أحمال ساكنة (gead loads) واحمال متحركة (live loads) وتقسم الاحمال المتحركة بدورها الى احمال متحركة طويلة الاجل ، واحمال متحركة قصيرة الاجل واحمال متحركة خاصة .

ان الاحمال الساكنة ، هى الاحمال الناجمة عن وزن القطع الانشائية الحاملة والمحيطة ، للانشاءات والمبانى ، كتلة وضغط التربة ، تأثير الاجهاد المسبق للانشاءات الخرسانية المسلحة .

والاحمال الطويلة الاجل ، هى الاحمال الناجمة عن وزن المعدات الثابتة على ارضيات المبانى – مثل المكنات التفريزية والاجهزة الميكانيكية والمحركات والصهاريج وغيرها ؛ ضغط الغازات ، السوائل ، المواد السائبة المحفوظة فى الصهاريج ؛ الاحمال فى المستودعات ، المبردات ، الارشيفات ، دور الكتب العامة وغيرها من المبانى والانشاءات الاخرى ؛ ذلك القسم من الاحمال المتحركة المحدد فى المواصفات القياسية ، فى المبانى السكنية والدوائر الرسمية والمبانى العامة ؛ والمؤثرات التكنولوجية الحرارية المستمرة ، الناجمة عن المعدات والآليات الثابتة ؛ الاحمال الناجمة عن مرفاع واحد عادى او رحّال (متنقل) مضروبة فى معامل قدره : ٠٫٦ للمرافيع المتوسطة الاحمال (medium duty cranes) ؛ و٠٫٥ للمرافيع الثقيلة الاحمال (heavy-duty cranes) ؛ واحمال الثلج بالنسبة لبعض المناطق المناخية المعينة ، مخفضة بمقدار ٧٠ كجم ق /م٢ . ان القيم المشار اليها لاحمال المرافيع ؛ وبعض الاحمال المتحركة واحمال الثلج ، تؤلف قسمًا من قيمتها الكلية وتدخل فى الحساب أو التصميم عندما تؤخذ فى الاعتبار استمرارية تأثير هذه الانواع من الاحمال ، على الازاحات والانفعالات وظهور الشقوق . وان القيم التامة لهذه الاحمال ، تعتبر من ضمن الاحمال القصيرة الأجل .

اما الاحمال القصيرة الاجل فهى الاحمال الناجمة عن وزن الاشخاص ، قطع الغيار (spare parts) ، المواد الواقعة فى مناطق صيانة وتصليح المعدات الآلية – الممرات وغيرها من المواضع والاقسام الخالية من المعدات ؛ الاحمال المؤثرة على أرضيات المبانى السكنية والمبانى العامة ؛ الاحمال الناشئة اثناء انتاج وشحن وتركيب القطع الانشائية ؛ الاحمال الناجمة عن المرافيع العادية والرحالة ، المستخدمة عند اقامة أو استثمار المبانى والانشاءات ، احمال الثلج واحمال الريح (wind loads) والمؤثرات المناخية الحرارية .

اما الاحمال الخاصة ، فتشمل عادة ما يلى : المؤثرات الناجمة عن الهزات الارضية والانفجارات ؛ الاحمال الناجمة عن عطب او تحطم المعدات والاجهزة الآلية وحدوث خلل حاد فى النظام التقنى (مثلا عند الارتفاع او الانخفاض الحاد فى درجة الحرارة وغير ذلك) ؛

تأثيرات الانفعالات غير المنتظمة لقواعد الانشاءات ، التى تقترن بحدوث تغير جذرى فى بنية التربة (مثلا ، الانفعالات الناجمة عن التربة الهابطة عند تبللها بالماء او عن الارض الجمودية اثناء ذوبانها ، وغير ذلك من الاحمال والمؤثرات .

الاحمال الأساسية . ان الاحمال الاساسية (basic loads) تحدد من المواصفات القياسية ، انطلاقا من احتمال زيادة القيم المتوسطة ، المعين سابقا ، او تؤخذ من بين القيم الاسمية (nominal valnes) . وبالنسبة للاحمال الساكنة تؤخذ القيم المذكورة استنادا الى القيم التصميمية للبارامترات (القيم المتغيرة)الهندسية والحسابية واستنادا الى معدلات الكثافة . اما بالنسبة للاحمال المتحركة التشغيلية واحمال التركيب المتحركة ، فتؤخذ قيمها استنادا الى القيم القصوى المخصصة للتشغيل العادى ؛ وبالنسبة لاحمال الثلج واحمال الريح المتحركة ، فتؤخذ القيم المتوسطة من القيم السنوية غير الملائمة ، او من القيم غير الملائمة المناظرة لفترة زمنية متوسطة معينة من تكرارها .

احمال التصميم . ان احمال التصميم اللازمة لحساب مقاومة واستقرار الانشاءات ، تحدد بضرب القيمة الأسمية للحمل فى معامل تجاوز الحمل n (over loading) الذى يكون عادة اكبر من الواحد ، مثلا $q = q^b n$. وان معامل تجاوز الحمل ، الناجم عن وزن الانشاءات الخرسانية والخرسانية المسلحة يساوى $n = 1,1$ ؛ والناجم عن وزن الانشاءات المنتجة من الخرسانة ذات الاخلاط الخفيفة (التى يبلغ معدل كثافتها ١٨٠٠ كجم /م^3 فما تحت) ومختلف انواع مواد التغطية ، ومواد الحشو ، والمواد العازلة للحرارة وغيرها من المواد المماثلة ، المنتجة فى المصانع يساوى $n = 1,2$ ، والمصبوبة فى موقع البناء يساوى $n = 1,3$ ؛ والناجم عن الاحمال المتحركة المختلفة تبعا لمهماتها ، يتراوح بين 1,2 و 1,4 . وفى تصاميم الانشاءات المصممة لمقاومة الطفوية ، والانقلاب والانزلاق وكذلك فى حالات اخرى معروفة ، عندما يؤدى تقليل الوزن الى التأثير على سلوك الانشاء يؤخذ معامل تجاوز الحمل مساويا للمقدار $n = 0,9$. ولتحديد الاحمال المتواجدة اثناء مرحلة اقامة الانشاء ، تضرب احمال التصميم المؤقتة فى معامل يساوى ٠٫٨ . وتؤخذ احمال التصميم فى مرحلة حساب انفعالات وازاحات الانشاءات (استنادا الى المجموعة الثانية للحالات الحدية) مساوية للقيم الاساسية ، مع معامل تجاوز الحمل الذى يساوى $n = 1$.

مجموعة الاحمال المؤتلفة . ان حساب وتصميم الانشاءات يجب ان يتم باستخدام مجموعات منوعة من الاحمال المؤتلفة ، او القوى المناظرة لها ، اذا كان التصميم يجرى بطريقة الانفعالات غير المرنة . وتقسم مجموعات الاحمال المؤتلفة تبعا لتركيبها ، الى الانواع التالية : المجموعات الاساسية المؤلفة من الاحمال الساكنة ، والاحمال الطويلة الاجل والاحمال القصيرة الاجل او القوى الناجمة عنها ؛ المجموعات الخاصة المؤلفة من الاحمال الساكنة ، والاحمال

الطويلة الاجل ، والاحمال القصيرة الاجل المتوقعة واحد الاحمال الخاصة او القوى الناجمة عنها .

ان مجموعات الاحمال المؤتلفة الاساسية ، تقسم بدورها الى مجموعتين ثانويتين . المجموعة الاول تضم الاحمال الساكنة ، والاحمال الطويلة الاجل وحمل متحرك واحد قصير الاجل ؛ اما المجموعة الثانية فتضم الاحمال الساكنة ، والاحمال الطويلة الاجل وحملين (او اكثر) من الاحمال المتحركة القصيرة الاجل ؛ وفى هذه الحالة يجب ان تضرب قيم الاحمال القصيرة الاجل او القوى المناظرة لها فى معامل المجموعة المؤتلفة (combination factor) الذى يساوى ٠٫٩ .

وعندما تصمم الانشاءات لمقاومة (تحمل) المجموعات المؤتلفة الخاصة من الاحمال ، يجب ان تضرب قيم الاحمال القصيرة الاجل او القوى المناظرة لها ، فى معامل المجموعة المؤتلفة الذى يساوى ٠٫٨ باستثناء الحالات المتفق عليها فى المواصفات القياسية لتصميم المبانى والانشاءات فى مناطق الهزات الارضية وان الحمل القصير الاجل الخاص ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار او يستخدم بدون اى تخفيض فى قيمته .

تخفيض الاحمال (load reduction) . عند تصميم أعمدة وجدران واساسات المبانى الصناعية ، يمكن تخفيض القوى العمودية الناجمة عن الاحمال القصيرة الاجل (مثل الاشخاص ، قطع الغيار ، مواد التصليح وغيرها) المؤثرة فى الاماكن الخالية من المعدات الآلية ، وسائط النقل والمواد المخزونة لمدة زمنية طويلة ، والتى تشغل كافة مساحة الارضية ، وذلك بضربها فى المعامل η :

$$\eta = 0,5 + 0,6/\sqrt{m} \qquad \text{(II-11)}$$

حيث m – عدد الارضيات المحسوبة فى التصميم والواقعة فوق المقطع المبحوث ؛ وعندما تكون $m = 1$ نجد ان $\eta = 1$. وعندما تكون $m \geqslant 9$ نجد ان $\eta = 0,7$ اما بالنسبة للعمارات السكنية ، ودور الاستجمام والمصحات وغيرها من المبانى المماثلة ، فنجد ان :

$$\eta = 0,3 + 0,6\sqrt{m} \qquad \text{(II-11a)}$$

وتسمح المواصفات القياسية ايضا بتخفيض قيم الاحمال المتحركة ، عند تصميم العتبات والعوارض (girders) ، تبعا لمساحة الارضية المحملة فعليا .

ان درجات الحرارة المناخية التصميمية ، تحدد باعتبارها مساوية لمعدل درجة حرارة الجو فى أحر الايام او لمعدل درجة الحرارة لخمسة أيام باردة جدا ، تبعا لمناخ منطقة البناء واستنادا الى المواصفات القياسية للبناء فى الظروف المناخية المختلفة .

٥ – المقاومات الاساسية والمقاومات التصميمية للخرسانة

ان المقاومات الاساسية للخرسانة تحدد بأخذ التغيرية الاستاتية (statical variability) للمقاومة فى الاعتبار ، وتؤخذ مساوية للقيمة الصغرى القابلة للتحكم ، من قيم المقاومة القصوى . وقد حددت المواصفات القياسية مقدار الاحتمال الموثوق للمقاومة الأساسية للخرسانة ، الذى لا يقل عن ٩٥ر٠ . وعلى سبيل المثال ، عند اختبار الانضغاط لمجموعة كبيرة العدد من المكعبات القياسية الخرسانيّة ، تلاحظ تغيّرية استاتية فى المقاومة : اذ أن المقاومة القصوى لعدد قدره n_1 من المكعبات ، قد تكون R_1 ؛ والمقاومة القصوى لعدد قدره n_2 من المكعبات ، هى R_2 ؛ وبعدد قدره n_k هى R_k . ان العدد الكلى للمكعبات هو : $n = n_1 + n_2 + \ldots + n_k$ ؛ وعندما نضع على المحور السينى القيم R_1 ، R_2 ، ... ، R_k ؛ وعلى المحور الرأسى الاعداد المناظرة لها وهى n_1 ، n_2 ، ... ، n_k ، نحصل على المنحنى الاستاتى التوزيعى (شكل ٢ – ٥) . وتخضع نتائج الاختبارات الى المعاملة الاستاتية لاستخراج معدل المقاومة القصوى للانضغاط ، كما يلى :

$$\bar{R} = (n_1R_1 + n_2R_2 + \ldots + n_kR_k)/n$$

والانحرافات عن المعدل ، هى :

$$\Delta_1 = R_1 - \bar{R};\quad \Delta_2 = R_2 - \bar{R};\ \ldots;\quad \Delta_k = R_k - \bar{R}$$

اما قيمة الجذر التربيعى لمعدل مربعات الانحراف (root mean square value) التى تسمى بالانحراف القياسى (mean deviation) فهى :

$$\sigma = \sqrt{n_1\Delta_1^2 + n_2\Delta_2^2 + n_k\Delta_k^2/(n-1)}$$

ان معدل المقاومة القصوى للانضغاط ، يؤخذ وفق المواصفات القياسية الخاصة بذلك . وهنا $\bar{R}$ تمثل مقاومة المكعب او المقاومة القصوى ، المناسبة لماركة الخرسانة المصممة لمقاومة الانضغاط المحورى M .

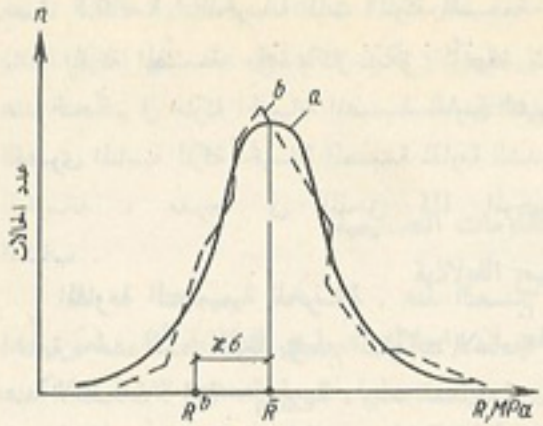
والقيم الصغرى القابلة للتحكم من قيم المقاومة القصوى R^b ، تقع على الاحداثى السينى الى يسار القيمة المتوسطة للمقاومة $\bar{R}$ ، على مسافة تساوى $x\sigma$ من القيم الصغرى ، حيث x – عدد القيم القياسية (العيارية) . واستنادا الى تحديد المقاومة الاساسية (basic strength) نجد ان :

$$R^b = \bar{R} - x\sigma$$

أو

$$R^b = \bar{R}(1 - xv) \qquad \text{(II-12)}$$

حيث $v = \sigma/\bar{R}$ – تمثل معامل تغيّر المقاومة (معامل التغيرية) .



شكل ٢ – ٥ . المنحنيات التوزيعية :
أ – المنحنى النظرى ؛ ب – المنحنى التجريبى الاستاتى

وقد بيّنت الابحاث التجريبية العملية التى أجريت فى المصانع ، حول انتاج القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد ، أن معامل التغير يساوى $v = 0{,}135$ بالنسبة للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، وهو المعامل المأخوذ فى المواصفات القياسية ايضا .

وفى الاحصاء الرياضى ، يمكن بواسطة $x\sigma$ او xv ، تقدير احتمال تكرر قيم المقاومة القصوى $R^b <$ ، المنخفضة بالمقارنة مع معدل القيمة او القيمة المتوسطة $\bar{R}$.

ولو أخذنا القيمة $x = 1{,}64$ ، عندئذ ستكون نسبة احتمال تكرر القيم $R^b <$ لا تزيد على ٥٪ (تكرر القيمة R^b لا يقل عن ٩٥٪) من عدد العينّات المختبرة . وهكذا فان احتمال تكرر المقاومة الاساسية ، لا يقل عن ٩٥٪ ، وهى النسبة المطلوبة .

ان المقاومات الاساسية للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية هى كالآتى :

أ) مقاومة المكعب الاساسية للتهصر ، المأخوذة عند $x = 1{,}64$ و $v = 0{,}135$ ، من الصيغة (II-12) والتى تساوى :

$$R^b = 0{,}78\bar{R}$$

ب) مقاومة الموشور الاساسية للتهصر ، المستخرجة من الصيغة الوضعية التالية :

$$R^b_{pr} = R^b(0{,}77 - 0{,}0001\bar{R}) \qquad \text{(II-13)}$$

ولكن لا تقل عن $0{,}72R^b$.

جـ) المقاومة الاساسية للانضغاط المحورى R^b_{ten} ، المحددة استنادا الى العلاقة (1-2) مع استخدام معامل التخفيض :

$$R^b_{ten} = 0{,}5k\sqrt{(R^b)^2} \qquad \text{(II-14)}$$

حيث $k = 0,8$ – للخرسانة ذات الماركة المصممة ٤٥٠ واقل ؛ $k = 0,7$ – للخرسانة ذات الماركة المصممة ٥٠٠ واكثر . او المأخوذة مساوية للمقدار $R^b_{ten} = 0,778\bar{R}_{ten}$ عند التحكم فى ماركة الخرسانة المصممة لمقاومة الشد المحورى ، حيث $\bar{R}_{ten}$ تمثل المقاومة القصوى المناسبة لماركة الخرسانة المصممة لمقاومة الشد المحورى . ان قيم المقاومات الاساسية للخرسانة ، مدرجة فى الملحق III الموجود فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

المقاومة التصميمية للخرسانة . عند التصميم بواسطة المجموعة الاولى من الحالات الحدية ، تحدد هذه المقاومة بتقسيم المقاومات الاساسية على عوامل الامان المناظرة ، للخرسانة عند الانضغاط : $k_{c.com} = 1,3$ ، وعند الشد $k_{c.ten} = 1,5$ ؛ اما عند التحكم فى مقاومة الشد ، فتقسم على العامل $k_{c.ten} = 1,3$ ، اى أن مقاومة الخرسانة التصميمية للانضغاط المحورى ، ستساوى ما يلى :

$$R_{pr} = R^b_{pr}/k_{c.com} \qquad (II\text{-}15)$$

ومقاومة الخرسانة التصميمية للشد المحورى ، ستساوى ما يلى :

$$R_{ten} = R^b_{ten}/k_{c.ten} \qquad (II\text{-}16)$$

ان المقاومة التصميمية للخرسانة الثقيلة من الماركات ٦٠٠ ، ٧٠٠ ، ٨٠٠ تضرب فى معاملات خاصة تأخذ فى الاعتبار الخواص الميكانيكية للخرسانة العالية المقاومة (تقليص انفعالات الزحفان) التى تساوى على التوالى ٩٥ر٠ ، ٩٢٥ر٠ و ٩ر٠ .

ان قيم المقاومات التصميمية للخرسانة ، مدرجة فى الملحق I الموجود فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

وعند تصميم القطع الانشائية ، تخفض المقاومات التصميمية R_{pr} و R_{ten} ؛ وفى حالات خاصة تزاد تلك القيم بضربها فى عوامل خدمة الخرسانة (service factors) التى تناظرها m_c ، والتى تأخذ فى الاعتبار الخواص المميزة لانواع الخرسانة ، مثل : مدة تأثير الحمل وتكراره (دورته) ، ظروف ، طبيعة ومرحلة تشغيل الانشاء ؛ طريقة انتاجه ، ابعاد المقاطع وغير ذلك . ان قيم العوامل (المعاملات) المذكورة ، مدرجة فى الملحق II الموجود فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

وبالنسبة للمجموعة الثانية من الحالات الحدية ، تحدد المقاومة التصميمية باعتبار أن عامل الامان اللازم للخرسانة يساوى $k_c = 1$ ، وبعبارة اخرى ، يعتبر العامل المذكور مساويا للقيم الاساسية :

$$R_{pr\,II} = R^b_{pr}\,; \qquad R_{ten\,II} = R^b_{ten}$$

وتدخل فى الحساب بمعية عامل خدمة الخرسانة $m_c = 1$ ، باستثناء حالات تصميم القطع الخرسانية المسلحة ، استنادا الى ظهور (تكوّن) الشقوق عند تأثير الحمل الكثير التكرار ، حينما يجب ادخال العامل m_{c2} فى الحساب .

٦ – المقاومات الاساسية والمقاومات التصميمية لقضبان واسلاك التسليح الفولاذية

ان قيم المقاومات الاساسية لقضبان واسلاك التسليح الفولاذية R^b_s ، تعيّن بأخذ التغيرية الاستاتية للمقاومة فى الاعتبار ، وتؤخذ مساوية للقيمة الصغرى القابلة للتحكم ، وهى : بالنسبة لقضبان التسليح – مساوية لنقطة الخضوع الطبيعية σ_y ، او نقطة الخضوع الاصطلاحية $\sigma_{0,2}$ ؛ وبالنسبة لاسلاك التسليح – مساوية للمقاومة القصوى للفولاذ σ_{ul} . وقد حددت المواصفات القياسية ، قيمة الاحتمال الموثوق للمقاومة الاساسية لقضبان واسلاك التسليح ، بحيث لا تقل عن ٩٥ر٠ . وان قيم المقاومات الاساسية لمختلف اصناف قضبان واسلاك التسليح الفولاذية ، مدرجة فى الملحقين V-1 و V-2 فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

مقاومات الشد التصميمية لقضبان واسلاك التسليح . تعيّن هذه المقاومات عند التصميم بواسطة المجموعة الاولى للحالات الحدية ، بتقسيم المقاومات الاساسية على عوامل الأمان المناظرة فى قضبان التسليح :

$$R_s = R^b_s/k_s \qquad (II\text{-}17)$$

وتؤخذ معاملات الامان فى قضبان واسلاك التسليح الفولاذية طبقا لمعطيات الجدول (٢ – ١) . ان قيم مقاومات الشد التصميمية لقضبان وأسلاك التسليح مدرجة فى الملحقين V-1 و V-2 فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

وتؤخذ المقاومات التصميمية للشد ، لقضبان واسلاك التسليح الفولاذية $R_{s.ten}$ ، المستخدمة فى تصميم الانشاءات بواسطة المجموعة الاولى للحالات الحدية ، عند تلاصق القضبان والاسلاك المذكورة مع الخرسانة ، مساوية لمقاومات الانضغاط التصميمية المناظرة R_s ، على ان لا تزيد على ٤٠٠ ميجاباسكال استنادا الى الانضغاطية القصوى للخرسانة ε^{ul}_c .

وعند تصميم الانشاءات المنتجة من الخرسانة الثقيلة ومن الخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، التى أخذت قيم مقاوماتها التصميمية عند تأثير الحمل المستمر ، مع ادخال معامل الخدمة $m_{c1} = 0,85$ فى الحساب ، يسمح باستخدام القيم التالية للمقاومات التصميمية :

$R_{s.com}$ = 450MPa – عند وجود قضبان التسليح من الصنفين A-IV و AT-IV ؛
$R_{s.com}$ = 500MPa – عند وجود قضبان التسليح من الاصناف A-V ، AT-V ، AT-VI ، B-II ، Bp-II و K-7 (ذلك لان الانضغاطية القصوى للخرسانة تزداد قليلا فى حالة التأثير المستمر للحمل) . وفى هذه الحالة يجب مراعاة بعض الشروط التصميمية الخاصة بترتيب ووضع قضبان التسليح المستعرضة ، التى تمنع القضبان الطولية المنضغطة من التحدب ، حيث تفصل بينها مسافة لا تزيد على ٥٠٠ مم ، او لا تزيد على ضعف عرض وجه القطعة الانشائية . وعند عدم وجود تلاصق بين قضبان التسليح والخرسانة ، تؤخذ القيمة التالية $R_{s.com}$ = 0 .

جدول ٢ – ١

عوامل الأمان لقضبان واسلاك التسليح

قضبان واسلاك التسليح الفولاذية	قيم العوامل
قضبان التسليح من الأصناف :	
A-I ، A-III	1,1
A-II	1,15
A-IV ، AT-IV	1,2
A-V ، AT-V ، AT-VI	1,25
اسلاك التسليح الفولاذية من الأصناف :	
Bp-I ، B-II ، Bp-II ، K-7	1,55
B-I	1,75

وعند تصميم القطع الانشائية ، تخفض قيم المقاومات التصميمية لقضبان وأسلاك التسليح ، او تزاد فى حالات خاصة بضربها فى عوامل الخدمة المناظرة m_s ، التى تأخذ فى الاعتبار امكانية عدم الاستخدام التام لخواص مقاومتها ، نظرا للتوزيع غير المنتظم للاجهادات فى المقطع ، المقاومة المنخفضة للخرسانة ، ظروف تثبيت الاطراف ، وجود الحنيات (bends) ، طبيعة الرسم البيانى للشد فى الفولاذ ، تغيّر طبيعته تبعا لظروف تشغيل الانشاء وغير ذلك .

وعند تصميم القطع الانشائية ، عند تعرضها لقوة القص ، يتم تخفيض المقاومات التصميمية لقضبان التسليح المستعرضة بادخال عامل الخدمة $m_{s.tr}$ = 0,8 الذى يأخذ فى الاعتبار عدم انتظام توزيع الاجهادات فى قضبان التسليح على طول المقطع المائل . وبالاضافة

الى ذلك ، عند استخدام اسلاك التسليح المستعرضة الملحومة من الصنفين B-I و Bp-I وقضبان التسليح المستعرضة من الصنف A-III ، يدخل فى الحساب عامل الخدمة $m_{s.tr}$ = 0,9 الذى يأخذ فى الاعتبار احتمال الانهيار القصيف للوصلة الملحومة للاطواق الفولاذية ؛ اما بالنسبة للاسلاك من الصنف B-I ، الموجودة فى الهياكل المربوطة ، فيدخل عامل الخدمة $m_{s.tr}$ = 0,75 الذى يأخذ فى الاعتبار درجة تلاصقها المنخفضة مع الخرسانة . وان قيم المقاومات التصميمية لقضبان واسلاك التسليح المستعرضة عند حساب قوة القص $R_{s.tr}$ مع اخذ العامل $m_{s.tr}$ فى الاعتبار ، مدرجة فى الملحقين V-1 و V-2 فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

وبالاضافة الى ذلك ، يجب ضرب المقاومات التصميمية R_s ، $R_{s.com}$ و $R_{s.tr}$ فى عوامل الخدمة التالية : m_{s1} و m_{s2} – فى حالة الحمل الكثير التكرار (راجع الفصل الثامن) ؛ $m_{s3} = l_{tr}/l_{an}$ أو $m_{s3} = l_{tr}/l_{transm}$ – فى منطقة انتقال الاجهادات وفى منطقة تثبيت قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد بدون استخدام مثبتات ؛ m_{s4} – عند اشتغال قضبان واسلاك التسليح العالية المقاومة مع وجود اجهادات أعلى من نقطة الخضوع الاصطلاحية $\sigma_{0,2}$.

وتحدد قيم المقاومات التصميمية ، عند التصميم بواسطة المجموعة الثانية للحالات الحدية ، مع وجود عامل أمان فى قضبان التسليح قدره k_s = 1 ، أى تؤخذ مساوية للقيم الاساسية $R_{sII} = R_s^b$ وتدخل فى الحسابات التصميمية مع عامل خدمة قضبان التسليح الذى يساوى m_s = 1 .

٧ – ثلاثة انواع من شروط مقاومة التشقق فى الانشاءات الخرسانية المسلحة

يقصد بمقاومة التشقق فى الانشاء الخرسانى المسلح ، مقاومته لتكوّن الشقوق فى المرحلة I من حالة الاجهاد والانفعال او مقاومته لتفتح الشقوق فى المرحلة II من حالة الاجهاد والانفعال .

وبالنسبة لمقاومة تشقق الانشاء الخرسانى المسلح او أجزائه المنفصلة ، توجد شروط مختلفة اثناء التصميم ، تبعا للظروف التى تحيط بالانشاء ، ولنوع قطع التسليح الفولاذية المستخدمة فيه . وهذه الشروط تخصّ الشقوق العمودية والمائلة على المحور الطولى للقطعة ، وتقسم الى ثلاثة انواع :

النوع الاول – لا يسمح بتكوّن الشقوق ؛

النوع الثانى – يسمح بفتحات قصيرة الاجل للشقوق ذات العرض المحدود ، بشرط ان تنسد (تلتحم) بصورة جيدة فيما بعد ؛

النوع الثالث – يسمح بفتحات قصيرة الاجل وطويلة الاجل للشقوق المحدودة العرض .

ان الفتحات القصيرة الاجل للشقوق ، هى الفتحات التى تحدث عند تأثير الاحمال الساكنة ، الاحمال الطويلة الاجل والاحمال القصيرة الاجل ؛ اما الفتحات الطويلة الاجل ، فهى الفتحات التى تحدث عن تأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل فقط . ان العرض الاقصى (الحدى) لفتحة الشقوق ($a_{cr.sh-t}$ – اى الفتحة القصيرة الاجل و $a_{cr.l-t}$ – اى الفتحة الطويلة الاجل) الذى عنده يمكن استخدام الانشاء بصورة طبيعية ، وتكون مقاومة قضبانه للتآكل مضمونة ، مع ضمان تحملية الانشاء ، تبعا لنوع الشروط اللازم توفرها بالنسبة لمقاومة التشقق ، لا يجب ان يزيد العرض المذكور على ما يتراوح بين ٠٫٠٥ – ٠٫٤ مم (جدول ٢ – ٢) .

ان القطع الانشائية السابقة الاجهاد ، الواقعة تحت تأثير السوائل والغازات (خزانات المياه ، مواسير تصريف المياه وغيرها) وكذلك القطع الانشائية المستخدمة فى التربة الواقعة تحت مستوى المياه الجوفية فى حالة المقطع المعرض للشد تماما ، احتوى على قضبان او اسلاك تسليح فولاذية ، وكذلك حالة المقطع المعرض جزئيا للانضغاط ، المحتوى – على اسلاك تسليح فولاذية قطرها ٣ مم وأقل ، يجب ان تحقق الشروط التابعة للنوع الاول . اما القطع الانشائية السابقة الاجهاد الاخرى ، فيجب ان تحقق الشروط التابعة للنوعين الثانى او الثالث ، تبعا لظروف استخدام الانشاء ونوع قضبان التسليح الفولاذية . ان الانشاءات الخالية من الاجهاد المسبق (غير السابقة الاجهاد) المسلحة بقضبان فولاذية من الاصناف A-I ، A-II ، و A-III ، يجب ان تحقق الشروط التابعة للنوع الثالث . وانواع الشروط اللازمة لمقاومة تشقق الانشاءات الخرسانية المسلحة ، تبعا لظروف عملها ونوع فولاذ التسليح ، مدرجة فى الجدول (٢ – ٢) .

وهذه الشروط المطلوبة من مقاومة التشقق يجب ان تتحقق ايضا عند تصميم القطع الانشائية ، بالنسبة للقوى الناجمة اثناء شحنها وتركيبها .

ان نظام حساب وتصميم الاحمال تبعا لمقاومة التشقق ، يعتمد على نوع الشروط المطلوب توفرها فى مقاومة التشقق : فى حالة الشروط من النوع الاول ، يجرى التصميم بواسطة احمال التصميم مع ادخال معامل تجاوز الحمل $n>1$ (كما هى الحالة عند حساب المقاومة) ؛ وفى حالة الشقوق من النوع الثانى والنوع الثالث ، يجرى التصميم بالنسبة لتأثير الاحمال (الاحمال المؤثرة عمليا) مع ادخال معامل تجاوز الحمل $n = 1$. ان الحساب

ظروف خدمة الانشاءات	مقاومة تشقق الانشاءات والعرض الاقصى للفتحات الشقوق القصيرة الاجل ($a_{cr.sh-t}$) والطويلة الاجل ($a_{cr.l-t}$) عند وجود قضبان واسلاك التسليح	
	نوع الشروط المطلوب توفرها فى	
	قضبان تسليح من الاصناف A-I, A-II, A-III	قضبان تسليح من الاصناف AT-IV، AT-V، AT-VI اسلاك تسليح من الاصناف B-I, Bp-I	اسلاك تسليح فولاذية من العنصرين B-II و Bp-II عندما يبلغ قطر السلك ٣ مم ، وبن العنصر K-7 عندما يبلغ قطر السلك ٤ مم وأكثر
القطع الانشائية المعرضة لتأثير ضغط السوائل والغازات ، مع وجود القطع فى حالة شد تام...	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,2\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,1\,mm$	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,1\,mm$	النوع الاول من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,1\,mm$
القطع الانشائية المعرضة لضغط جزئى الانضغاط...	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,3\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,2\,mm$	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,2\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,1\,mm$	النوع الثانى من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,1\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,05\,mm$
القطع الانشائية المعرضة لضغط المواد او الاجسام السائلة...	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,3\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,2\,mm$	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,2\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,1\,mm$	النوع الثانى من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,1\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,05\,mm$
القطع الانشائية الاخرى ، المستخدمة فى الهواء...	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,4\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,3\,mm$	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,3\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,15\,mm$	النوع الثانى من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,15\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,1\,mm$
القطع الانشائية الاخرى ، المستخدمة فى الاماكن المغلقة...	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,4\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,3\,mm$	النوع الثالث من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,4\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,3\,mm$	النوع الثانى من الشروط $a_{cr.sh-t} = 0,15\,mm$ ، $a_{cr.l-t} = 0,1\,mm$

جدول ٢-٣

نظام حساب الاحمال عند التصميم بواسطة مقاومة التشقق

نوع الشروط المطلوب توفرها فى مقاومة تشقق الانشاءات الخرسانية المسلحة	نظام حساب الاحمال عند التصميم بواسطة :			
	تكوّن الشقوق	فتحات الشقوق		انسداد الفتحات
		القصيرة الاجل	الطويلة الاجل	
النوع الاول	التأثير الموحد لكافة الاحمال (ماعدا الاحمال الخاصة) مع معامل تجاوز الحمل $n > 1$ (كما هى الحالة عند حساب المقاومة)	–	–	–
النوع الثانى	التأثير الموحد لكافة الاحمال (ما عدا الاحمال الخاصة) مع معامل تجاوز الحمل $n > 1$ (يجرى الحساب لايضاح ضرورة مراجعة الفتحات القصيرة الاجل للشقوق ومراجعة انسدادها)	التأثير الموحد لكافة الاحمال (ما عدا الاحمال الخاصة) مع معامل تجاوز الحمل $n = 1$	–	التأثير الموحد للاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل مع معامل تجاوز الحمل $n = 1$
النوع الثالث	التأثير الموحد لكافة الاحمال (ما عدا الاحمال الخاصة) مع معامل تجاوز الحمل $n = 1$ (يجرى الحساب لايضاح ضرورة مراجعة فتحات الشقوق	كالسابق	التأثير الموحد لكافة الاحمال (ما عدا الاحمال الخاصة) مع معامل تجاوز الحمل $n = 1$	–

والتصميم بواسطة تكوّن الشقوق ، لايضاح ضرورة مراجعة فتحات الشقوق القصيرة الاجل فى حالة الشروط من النوع الثانى ، يجرى بالنسبة لتأثير احمال التصميم مع ادخال معامل تجاوز الحمل $n > 1$ ؛ والتصميم بواسطة تكون الشقوق لايضاح ضرورة مراجعة فتحات الشقوق فى حالة الشروط من النوع الثالث ، يجرى بالنسبة لتأثير الاحمال ، مع ادخال معامل تجاوز الحمل $n = 1$.

وعند حساب مقاومة التشقق (التصميم بواسطة مقاومة التشقق) يؤخذ فى الاعتبار التأثير الموحد لكافة الاحمال ماعدا الاحمال الخاصة (special loads) . ان الاحمال الخاصة

تؤخذ فى الاعتبار عند حساب مقاومة التشقق ، فى تلك الحالات التى تؤدى فيها الشقوق الى حدوث كارثة بالنسبة للانشاء . والحساب او التصميم بواسطة انسداد الشقوق ، اى حساب انسداد الشقوق ، فى حالة الشروط من النوع الثانى ، يجرى بالنسبة لتأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل ، مع ادخال معامل تجاوز الحمل $n = 1$. وان نظام اجراء الحساب او التصميم المذكور ، مبين فى الجدول (٢-٣) .

وفى الاقسام الطرفية للقطع الانشائية السابقة الاجهاد ، لا يسمح بتكوّن الشقوق فى حدود طول منطقة انتقال الاجهادات من قضبان التسليح الى الخرسانة l_{transm} ، عند التأثير الموحد لكافة الاحمال (باستثناء الاحمال الخاصة) ، الداخلة فى الحساب مع معامل تجاوز الحمل $n = 1$. وسبب وجود هذا الشرط يعود الى ان ظهور الشقوق قبل أوانها فى الخرسانة ، فى الاقسام الطرفية للقطعة الانشائية ، قد يؤدى الى انتزاع قضبان واسلاك التسليح من الخرسانة عند تعرضها للاحمال ، ويؤدى بالتالى الى الانهيار المفاجىء للانشاء برمته .

وعندما تظهر الشقوق اثناء عملية انتاج وشحن وتركيب القطعة الانشائية ، فى منطقة الخرسانة التى ستتعرض فيما بعد للانضغاط عند تأثير الحمل ، فانها تؤدى الى تخفيض القوى اللازمة لتكوين الشقوق فى المنطقة التى ستتعرض للشد عند تأثير الحمل ، زيادة عرض فتحات الشقوق وزيادة الارتخاء (sagging) . ان تأثير هذه الشقوق يؤخذ فى الاعتبار عند تصميم الانشاءات . وبالنسبة للقطع الانشائية ، المستثمرة فى ظروف تأثير الاحمال الكثيرة التكرار ، والمصممة للتحمل المأمون ، لا يسمح بوجود الشقوق فى هذه الحالة .

٨ – مبادىء التصميم الاساسية

الحالات الحدية من المجموعة الاولى . عند حساب المقاومة ، يعتمد على المرحلة III لحالة الاجهاد والانفعال . ويمتلك مقطع الانشاء هنا المقاومة اللازمة اذا كانت قيمة القوى الناجمة عن احمال التصميم لا تزيد على قيمة القوى التى يتحملها المقطع فى حالة المقاومات التصميمية المعينة للمواد ، مع اخذ عامل الخدمة فى الاعتبار . وان القوى الناجمة عن احمال التصميم T (مثل عزم الانحناء ، او القوة الطولية) تعتبر دالة للأحمال الاساسية q^b ، ولمعاملات تجاوز الحمل n ولعوامل اخرى C (مثل المخطط التصميمى ، المعامل الدينامى وغيرهما) .

ان القوى التى يتحملها المقطع T_{sec} ، تعتبر بدورها دالة لشكل وابعاد المقطع S ، مقاومة المواد R_c^b ، R_s^b ، عوامل الامان k_c ، k_s وعوامل الخدمة m_c ، m_s .

ويعبر عن شرط المقاومة هنا ، بالمتباينة التالية :

$$T(q^b, n, C) \leqslant T_{sec}(S, R_c^b, k_c^{-1}, m_c, R_s^b, k_s^{-1}, m_s) \qquad \text{(II-18)}$$

ولما كان لدينا : $q^b n = q$ ، $R_c^b k_c^{-1} = R_c$ ، $R_s^b k_s^{-1} = R_s$ ؛ يمكن اذن التعبير عن المتباينة (II-18) بمتباينة اكثر اختصارا هى :

$$T(q, C) \leqslant T_{sec}(S, R_c, m_c, R_s, m_s) \qquad \text{(II-19)}$$

وعند حساب التحمل ، يعتمد على المرحلة I لحالة الاجهاد والانفعال . ويتلخص الحساب هنا فى تحديد الاجهادات الناجمة فى الخرسانة وقضبان التسليح ، نتيجة لتأثير الاحمال الخارجية وقوى الانضغاط المسبق .

ويعتبر تحمل الانشاء مضمونا ، اذا كانت قيمة هذه الاجهادات لا تزيد على قيمة المقاومات التصميمية فى كل من الخرسانة وقضبان التسليح ، الموضوعة بأخذ عامل الخدمة فى الاعتبار ، فى حالة التكرار الكثير للاحمال .

الحالات الحديّة من المجموعة الثانية . ان حساب ظهور (تكون) الشقوق ، العمودية والمائلة على المحور الطولى للقطعة الانشائية ، يجرى لمراجعة مقاومة التشقق فى القطع الانشائية التى يجب أن تتوفر فيها شروط النوع الاول ، وكذلك للتأكد من احتمال ظهور الشقوق فى القطع الانشائية ، التى يجب ان تتوفر الشروط من النوعين الثانى والثالث فى مقاومتها للتشقق . ويعتبر ان الشقوق العمودية على المحور الطولى ، لا تظهر اذا كانت قيمة القوة T (عزم الانحناء أو القوة الطولية) الناجمة عن تأثير الاحمال سوف لا تزيد على قيمة القوة T_{cr} ، التى يمكن ان يتحملها مقطع القطعة الانشائية فى حالة وجود اجهادات شد فى الخرسانة تساوى $R_{ten\ II}$ قبل ظهور الشقوق :

$$T \leqslant T_{cr} \qquad \text{(II-20)}$$

ان نظام حساب الاحمال وقيم معاملات تجاوز الحمل n عند تحديد القوة T ، مدرجة فى الجدول (٢ – ٣) . ويعتبر بان الشقوق المائلة على المحور الطولى للقطعة ، سوف لا تظهر اذا كانت قيمة اجهادات الشد الرئيسية فى الخرسانة ، لا تزيد على قيمة $R_{ten\ II}$ مع اخذ العوامل المناظرة الاخرى فى الاعتبار .

ويتلخص حساب فتحات الشقوق ، العمودية والمائلة على المحور الطولى للقطعة الانشائية ، فى تحديد عرض فتحات الشقوق فى مستوى قضبان التسليح المشدودة ومقارنتها مع العرض الاقصى للشق :

$$a_{cr} \leqslant a_{cr.\,lim} \qquad \text{(II-21)}$$

جدول ٢ – ٤

الإنحناءات القصوى للقطع الخرسانية المسلحة

القطعة الانشائية	الإنحناء الاقصى باجزاء من طول الباع	الاحمال المأخوذة فى التصميم عند المعامل n = 1
عتبات سكنك المراقيع المتنقلة للمرافيع الكهربائية...	1/600	الاحمال الساكنة والطويلة الاجل والقصيرة الاجل
السقوف والارضيات ذات البلاطات المستوية ، التى ابواعها تساوى :		
$l < 6$ m	1/200	الاحمال الساكنة والطويلة الاجل
$6\text{ m} < l \leqslant 7{,}5$ m	3cm	
$l > 7{,}5$ m	1/250	
السقوف والارضيات ذات البلاطات المضلّعة ودرجات السلالم ، التى ابواعها تساوى :		
$l < 5$ m	1/200	كالسابق...
$5\text{ m} \leqslant l < 10$ m	2,5cm	
$l \geqslant 10$ m	1/400	
الالواح الهيكلية للجدران الحيطة او السياجات (فى التصميم المستوى) عندما يصل طول الالواح الى :		
$l < 6$ m	1/200	الاحمال الساكنة ، الاحمال الطويلة الاجل والاحمال القصيرة الاجل
$6\text{ m} \leqslant l \leqslant 7{,}5$ m	3cm	
$l > 7{,}5$ m	1/250	

ان المعطيات المتعلقة بالعرض الاقصى لفتحات الشقوق ، مدرجة فى الجدول (٢ – ٣) .

اما حساب الازاحات فيتلخص فى ارتخاء القطعة الناجم عن تأثير الاحمال مع الاخذ فى الاعتبار مدة تأثيرها الزمنية ومقارنتها مع الارتخاء الاقصى بحيث تكون $f \leqslant f_{lim}$.

وتحدد الارتخاءات القصوى ، استنادا الى شروط ومتطلبات مختلفة منها : الشروط التكنولوجية التى تعتمد على الاشتغال الطبيعى للمرافيع ، الوحدات الآلية الصناعية ، المكنات وغيرها ؛ الشروط الانشائية التى تعتمد على تأثير القطع الانشائية المجاورة التى تحد من قيمة الانفعالات ؛ ضرورة المحافظة على المعينة مسبقا وغيرها ؛ الشروط المتعلقة بالمسألة الجمالية ، أى بالمظهر الخارجى للانشاء .

ان الارتخاءات القصوى للقطع الانشائية السابقة الاجهاد ، يمكن ان تزداد على ارتفاع التقوس (hogging) اذا كان هذا لم يحدد بشروط تكنولوجية او انشائية .

ان نظام حساب الاحمال عند حساب الارتخاءات هو كما يلى : عند وجود شروط تحديد تكنولوجية او انشائية بالنسبة لتأثير الاحمال الطويلة الاجل ، والقصيرة الاجل ؛ عند وجود شروط تحديد جمالية بالنسبة لتأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل . وفى هذه الحالة ، يؤخذ معامل تجاوز الحمل مساويا لما يلى $n = 1$.

ان قيم الارتخاءات القصوى المقررة فى المواصفات القياسية لمختلف انواع القطع الخرسانية المسلحة ، مدرجة فى الجدول (٢ – ٤) . وتؤخذ الارتخاءات القصوى للكوابيل (cantilivers) ، الحاصلة فى التنوء او التدلى (overhang) مساوية لضعف القيم المذكورة اعلاه .

وبالاضافة الى ذلك ، يجب اجراء حساب اضافى لعدم استقرار (تراوح) البلاطات الخرسانية المسلحة للارضيات ، غير المرتبطة مع القطع الانشائية المجاورة لها ، درجات السلالم (flights of stairs) ، المهابط (landings) وغيرها : وهنا يجب ان لا يزيد الارتخاء الاضافى الناجم عن الحمل المركز القصير الاجل البالغ ١٠٠ كم ، فى حالة المخطط الامثل لتسليط ذلك الحمل ، على ٧ر٠ مم .

البند الخامس
الاجهاد المسبق فى قضبان التسليح وفى الخرسانة

١ – أهمية الاجهادات المسبقة

ان للاجهاد المسبق المستحدث بطرق اصطناعية فى كل من قضبان التسليح الفولاذية والخرسانة ، أهمية كبيرة للغاية بالنسبة لسلوك القطع الانشائية اللاحق ، عند تعرضها للاحمال المختلفة . وفى حالة وجود اجهادات مسبقة قليلة فى قضبان التسليح ووجود انضغاط قليل فى الخرسانة ، يزول بمرور الزمن تأثير الاجهاد المسبق ، نتيجة لاسترخاء الاجهادات فى قضبان التسليح ، ولانكماش وزحفان الخرسانة وغير ذلك من العوامل التكنولوجية والانشائية الاخرى . وعندما توجد فى القطع الفولاذية اجهادات عالية قريبة القيمة من المقاومة الاساسية لها ، ينشأ فى الاسلاك الفولاذية خطر التمزق فى حالة الاجهاد ، أما فى القضبان والاسلاك الفولاذية المدلفنة على الساخن ، فينشأ خطر ظهور وتطور الانفعالات المتخلفة الكبيرة القيمة . واستنادا الى الابحاث وخبرة انتاج واستثمار القطع السابقة الاجهاد ، فقد تم تثبيت قيمة الاجهاد المسبق σ_0 و σ'_0 فى كل من قضبان التسليح الموضوعة فى منطقتى الشد

والانضغاط على التوالى ، نتيجة لتأثير الحمل الخارجى ، بواسطة المواصفات القياسية ، مع اخذ الانحرافات القصوى فى الاعتبار ، بالطريقة التى تجعلها تحقق الشروط التالية :

بالنسبة لقضبان التسليح الفولاذية :

$$\sigma_0 + p \leqslant R_s^b \; ; \quad \sigma_0 - p \geqslant 0{,}3R_s^b \qquad \text{(II-22)}$$

وبالنسبة لاسلاك التسليح الفولاذية :

$$\sigma_0 + p \leqslant 0{,}8R_s^b \; ; \quad \sigma_0 - p \geqslant 0{,}2R_s^b \qquad \text{(II-23)}$$

حيث $p = 0{,}05\sigma_0$ – فى حالة الشد بالطرق الميكانيكية ؛ $p = 0{,}1(300 + 3600/l)$ – فى حالة الشد بالطرق الكهربائية ؛ l – طول القضيب المشدود ، بالامتار (المسافة بين الحافات الخارجية للمساند) ؛ p – وحدة مقاسة بالميجاباسكال (MPa) .

وعند استخدام الطريقة الكهربائية الحرارية لشد قضبان واسلاك التسليح ، يجب ان لا تزيد درجة حرارة التسخين على ما يتراوح بين ٣٠٠ – ٣٥٠ مئوية وذلك لتجنب زوال التصليد .

ان قيمة الاجهاد الاولى القابل للتحكم فى قضبان واسلاك التسليح عند شدها على المساند ، مع اخذ الفقدان الناجم عن انفعال المثبّتات الطرفية σ_3 والاحتكاك مع صفائح المعايرة (templates) وهو σ_4 ، تساوى ما يلى :

$$\sigma_{in.\,j} = \sigma_0 - \sigma_3 - \sigma_4$$
$$\sigma'_{in.\,j} = \sigma'_0 - \sigma'_3 - \sigma'_4$$

والاجهاد الاولى المتحكم فيه فى حالة الشد على الخرسانة (مع الاخذ فى الاعتبار ان قسما من القوة يصرف على انضغاط الخرسانة) يساوى :

$$\sigma_{in.\,j} = \sigma_0 - n\sigma_{pr}$$
$$\sigma'_{in.\,j} = \sigma'_0 - n\sigma'_{pr}$$

حيث σ_{pr} – الاجهاد الناشىء فى الخرسانة عند الانضغاط (مع اخذ الفقدان الابتدائى فى الاعتبار) .

ان الانحرافات الصناعية (الانتاجية) المحتملة عن القيمة المعينة للاجهاد المسبق فى قضبان واسلاك التسليح ، يؤخذ فى الاعتبار عند التصميم ، بادخال عامل دقة الشد (tension accuracy factor) :

$$m_{ac} = 1 \pm \Delta m_{ac} \qquad \text{(II-24)}$$

حيث Δm_{ac} – الانحراف الاقصى للاجهاد المسبق فى فولاذ التسليح ، وتستخدم العلامة الموجبة (+) فى حالة التأثير الضار للاجهاد المسبق ؛ مثلا ، عند اجراء حسابات للمقاومة لقطع

جدول ٢ – ٥

اجهادات الانضغاط القصوى فى خرسانة القطع السابقة الاجهاد

(فى حالة درجة الحرارة التصميمية للهواء فى فصل الشتاء ، التى تزيد على – ٤٠ مئوية)

حالة الاجهاد فى القطع	طريقة شد القضبان والاسلاك الفولاذية	اجهاد الانضغاط فى الخرسانة باجزاء من R_0 ، لا تزيد على :	
		فى حالة الانضغاط المحورى	فى حالة الانضغاط اللامحورى
تقل قيمة اجهاد الانضغاط عند تأثير الحمل الخارجى	الشد على المساند	0,65	0,75
	الشد على الخرسانة	0,55	0,65
تزداد قيمة اجهاد الانضغاط عند تأثير الحمل الخارجى	الشد على المساند	0,5	0,55
	الشد على الخرسانة	0,45	0,5

التسليح الفولاذية الواقعة فى المنطقة المعرضة للانضغاط عند تأثير الحمل ، وكذلك فى الحسابات الخاصة بمرحلة انتاج وتركيب القطعة الانشائية ؛ اما العلامة السالبة (–) فتستخدم فى حالة التأثير النافع او الملائم للاجهاد المسبق . وعند استخدام الطريقة الميكانيكية لشد قضبان واسلاك التسليح ، تؤخذ القيمة $\Delta m_{a.c}$ مساوية للمقدار 0,1 ؛ اما عند الشد بالطريقة الكهربائية الحرارية فتساوى :

$$\Delta m_{ac} = 0{,}5(p/\sigma_0)(1 + 1\sqrt{n}) \qquad \text{(II-25)}$$

حيث n – عدد القضبان السابقة الاجهاد فى مقطع القطعة الانشائية ؛ p ، σ_0 – تحملان نفس المعنى الموجود فى الصيغة (22-II) .

وتسمح المواصفات القياسية بأخذ $\Delta m_{a.c} = 0$ عند حساب فقدان الاجهاد المسبق لقضبان اسلاك التسليح وعند حساب فتحات الشقوق وحساب الازاحات .

ان المقاومة الانتقالية او مقاومة المكعب الخرسانى للتهصر بحلول لحظة الانضغاط R_0 ، تؤخذ بحيث لا يتكون عند الانضغاط مستوى مرتفع جدا من الاجهادات σ_{pr}/R_0 ، يقترن بانفعالات زحفان كبيرة وفقدان كثير للاجهاد المسبق فى فولاذ التسليح . وينصح باتخاذ $R_0 \geqslant 0{,}8\bar{R}$ ولكن بحيث لا تقل عن ١٤ ميجاباسكال ؛ اما عند استخدام قضبان التسليح

الفولاذية ماركة AT-VI والكبلات السلكية ماركة K-7 ، يجب ان لا تقل القيمة المذكورة عن ٢٠ ميجاباسكال .

ولنفس الغرض بالذات ، تحدد قيم الاجهادات فى الخرسانة σ_{pr} فى حالة الانضغاط ؛ وهذه القيم يجب ان تزيد على القيم القصوى المقاسة باجزاء من المقاومة الانتقالية للخرسانة ، المدرجة فى الجدول (٢ – ٥) . واذا قلت قيمة اجهاد الانضغاط σ_{pr} عند تأثير الحمل الخارجى (وهذا ما يحدث غالبا) عندئذ تؤخذ القيمة التالية $\sigma_{pr} \leqslant 0{,}75R_0$ فى حالة الانضغاط اللامحورى والشد على المساند .

ان ماركات الخرسانة المصممة للقطع السابقة الاجهاد ، المنتجة من الخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، تبعا لنوع وصنف قطع التسليح الفولاذية السابقة الاجهاد ، قطرها ووجود المثبتات فى اطرافها ، تؤخذ فى حدود تتراوح بين ٢٠٠ – ٤٠٠ (جدول ٢ – ٦) . وبزيادة قطر قضبان التسليح ومقاومتها التصميمية ، تزداد كذلك قيم ماركات الخرسانة التصميمية المستخدمة .

جدول ٢ – ٦

ماركات الخرسانة التصميمية المستخدمة للقطع السابقة الاجهاد

نوع قضبان واسلاك التسليح السابقة الاجهاد	ماركات الخرسانة المصممة
اسلاك فولاذية :	
صنف B-II مع مثبتات	250
صنف Bp-II بدون مثبتات مع قطر يصل الى ٥ مم	250
كالسابق ، ٦ مم واكثر	400
كبلات تسليح فولاذية من الصنف K-7	350
قضبان فولاذية محززة الجانبية بدون مثبتات يتراوح قطرها بين ١٠ – ١٨ مم من الاصناف :	
A-IV , AT-IV	200
A-V , AT-V	250
AT-VI	350
كالسابق ، يبلغ قطرها ٢٠ مم واكثر ، من الاصناف :	
A-IV , AT-IV	250
A-V , AT-V	350
AT-VI	400

٢ – فقدان الاجهادات المسبقة فى قضبان واسلاك التسليح

ان الاجهادات الاولية المسبقة فى قضبان واسلاك التسليح لا تبقى ثابتة ، فهى تقل بمرور الزمن . وهناك نوعان من فقدان الاجهاد المسبق ، الاول الذى يحدث فى قضبان وأسلاك التسليح عند انتاج القطعة وانضغاط الخرسانة ، والثانى الذى يحدث بعد الانضغاط الخرسانة .

الفقدان الاول

١ – الفقدان الناجم عن استرخاء الاجهادات فى قضبان واسلاك التسليح عند الشد على المساند ، يعتمد على طريقة الشد ونوع فولاذ التسليح :

فى حالة طريقة الشد الميكانيكية (القياس بالميجاباسكال) :

للاسلاك والكبلات العالية المقاومة

$$\sigma_1 = (0{,}27\sigma_0/R_{sII} - 0{,}1)\sigma_0$$

للقضبان الفولاذية :

$$\sigma_1 = 0{,}1\sigma_0 - 20$$

وعند استخدام طريقة الشد الحرارية الكهربائية والحرارية الكهربائية الميكانيكية للقضبان والاسلاك :

للاسلاك والكبلات الفولاذية العالية المقاومة :

$$\sigma_1 = 0{,}05\sigma_0$$

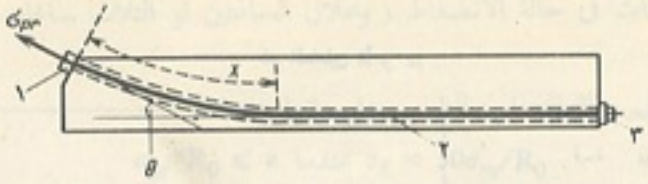
للقضبان الفولاذية

$$\sigma_1 = 0{,}03\sigma_0$$

حيث تؤخذ σ_0 هنا بدون حساب فقدان الاجهادات .

٢ – الفقدان الناجم عن اختلاف درجة الحرارة بين فولاذ التسليح وأجهزة الشد ، التى تتحمل قوى الشد ، فى حالة انضاج الخرسانة بالبخار او انضاجها بالحرارة (heat caring) :

$$\sigma_2 = 1{,}25\Delta t$$



شكل ٢ – ٦ . الرسم التخطيطى لتحديد فقدان الاجهاد المسبق لفولاذ التسليح الناجم عن الاحتكاك بجدران القناة:
١ – اجهزة الشد ، ٢ – قضيب فولاذى فى القناة ، ٣ – قطعة تثبيت طرفية

حيث Δt – الفرق بين درجة حرارة قضبان التسليح والمساند التى تتحمل قوى الشد (بالدرجات المئوية) . وفى حالة عدم وجود معطيات معينة تؤخذ $\Delta t = 65^\circ$ مئوية .

٣ – الفقدان الناجم عن انفعال المثبتات الموضوعة عند اجهزة الشد ، نتيجة لانضغاط الحلقات المعدنية ، تهصر الروؤس المفلطحة للبرشام (rivets) ، ازاحة القضبان فى الماسكات او المثبتات فى حالة الشد الميكانيكى على المساند

$$\sigma_3 = \lambda E_s/l$$

حيث $\lambda = 2mm$ – عند انضغاط الحلقات المعدنية المفلطحة بالطرق (upsetting) او تهصر الروؤس البرشامية ؛ $\lambda = 1{,}25 + 0{,}15d$ – عند ازاحة قضبان التسليح فى الماسكات الدائمة الاستخدام ؛ α – قطر القضيب (مم) ؛ l – طول القضيب المشدود (مم) – اى المسافة بين السطوح الخارجية لمساند القالب او المنصه . وفى حالة الشد بالطريقة الحرارية الكهربائية $\sigma_3 = 0$.

وعند الشد على الخرسانة :

$$\sigma_3 = (\lambda_1 + \lambda_2)E_s/l$$

حيث λ_1 – انضغاط الحلقات المعدنية (الوردات) الواقعة بين المثبتات والخرسانة فى القطعة الانشائية ، والذى يساوى ١ مم ؛ λ_2 – ازاحة المثبتات القدحية الشكل ، جلبات ربط الكبلات ، الصمولات (nuts) والماسكات ، تساوى ١ مم ؛ l – طول القضيب المشدود (طول القطعة الانشائية) .

٤ – الفقدان الناجم عن احتكاك القضبان والاسلاك :

أ) احتكاكها مع جدران القنوات او سطح القطعة الانشائية عند الشد على الخرسانة (شكل ٢ – ٦) :

$$\sigma_4 = \sigma_0[1 - \exp(-kx - \mu\theta)]$$

حيث x – طول قسم الكبل السلكى ؛ e – الاساس اللوغاريتمى الطبيعى ؛ θ – الزاوية الاجمالية لدوران محور القضبان فى القسم المنحنى (بالزوايا نصف القطرية) ؛ μ – معامل

جدول ٢ – ٧

قيم المعاملين k و μ

نوع القناة	قيمة μ		
	k	الكيلات السلكية المجدولة	القضبان الحزوزة الجانبية
قناة ذات سطح معدن	0,003	0,35	0,4
قناة ذات سطح خرسانة :			
مكون بأداة تشكيل جاسئة	0	0,55	0,65
مكون بأداة تشكيل مرنة	0,0015	0,55	0,65

الاحتكاك ؛ k – معامل يأخذ فى الاعتبار انحراف القناة عن الوضع المصمم . وان قيم المعاملين الاخيرين مدرجة فى الجدول (٢ – ٧) .

ب) الاحتكاك مع صفائح المعايرة عند الشد على المساند :

$$\sigma_4 = \sigma_0[1 - \exp(-0{,}23\theta)]$$

حيث θ – مجموع زوايا دوران محور القضبان (بالزوايا نصف القطرية) .

٥ – الفقدان الناجم عن انفعال القوالب الفولاذية عند انتاج القطع السابقة الاجهاد ، بشد القضبان او الاسلاك بواسطة المرافيع الرحالة :

$$\sigma_5 = [(t - 1)/2t](\Delta l/l)E_s$$

حيث Δl – خضوع المساند فى اتجاه محصلة قوى الانضغاط ، ويحدد من تصميم القالب ؛ l – المسافة بين السطوح الخارجية للمساند ؛ t – عدد مجموعات القضبان المشدودة فى وقت واحد .

وعند عدم توفر المعطيات المتعلقة بتصميم القوالب ، تؤخذ القيمة $\sigma_5 = 30MPa$. وعند الشد على المساند بواسطة مكنة اللف ، تختصر قيمة σ_5 الى النصف ؛ اما فى حالة الشد بالطريقة الكهربائية فتؤخذ $\sigma_5 = 0$.

٦ – الفقدان الناجم عن زحفان الخرسانة السريع الحدوث ، ويعتمد على ظروف تصلب الخرسانة ، مستوى الاجهادات وماركة الخرسانة المصممة . ويتطور هذا النوع من

فقدان الاجهادات فى حالة الانضغاط (وخلال الساعتين او الثلاث ساعات الاولى بعد الانضغاط) .

ونحصل فى حالة التصلب الطبيعى على ما يلى :

$$\sigma_6 = 50\sigma_{pr}/R_0 \quad \text{عندما} \quad \sigma_{pr}/R_0 \leqslant a$$

$$\sigma_6 = 50a + 100b(\sigma_{pr}/R_0 - a) \quad \text{عندما} \quad \sigma_{pr}/R_0 > a$$

حيث $a = 0{,}6$ و $b = 1{,}5$ للخرسانة ذات الماركة المصممة ٣٠٠ ؛ $a = 0{,}5$ و $b = 3$ للخرسانة ماركة ٢٠٠ ؛ $a = 0{,}4$ و $b = 3$ للخرسانة ماركة ١٥٠ ؛ σ_{pr} – اجهاد الانضغاط فى الخرسانة فى مستوى مركز ثقل قضبان واسلاك التسليح المجهدة F_s و F'_s ، الناشىء نتيجة لتأثير قوة الاجهاد المسبق N_0 ، مع اخذ الفقدان $\sigma_{1, 2, 3, 4, 5}$ فى الاعتبار . وفى حالة المعاملة الحرارية ، اى الانضاج بالبخار تحت الضغط العادى الجوى ، تضرب قيمة الفقدان الاجمالية فى معامل قيمته 0,85 .

الفقدان الثانى

٧ – ان قيم الفقدان الناجم عن استرخاء الاجهادات فى قضبان واسلاك التسليح فى حالة شد الأسلاك والقضبان العالية المقاومة على الخرسانة ، تؤخذ مساوية لما هى علية فى حالة الشد على المساند ايضا ، اى تساوى $\sigma_7 = \sigma_1$.

٨ – والفقدان الناجم عن انكماش الخرسانة وتقلص القطعة الانشائية ، يعتمد على نوع الخرسانة ، طريقة شد الاسلاك والقضبان ، ظروف التصلب . وقيم هذا النوع من الفقدان σ_8 مدرجة فى الجدول (٢ – ٨) .

٩ – تعتمد قيم الفقدان الناجم عن زحفان الخرسانة (اى الناجم عن تقلّص حجم القطعة الانشائية المناظر) على نوع الخرسانة ظروف التصلب ، مستوى الاجهادات ، اى نسبة الاجهاد الى المقاومة :

للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاحلاط المسامية ، تؤخذ استنادا الى الجدول (٢ – ٨) وتساوى :

$$\sigma_9 = 200k\sigma_{pr}/R_0 \quad \text{عندما} \quad \sigma_{pr}/R_0 \leqslant 0{,}6$$

$$\sigma_9 = 400k(\sigma_{pr}/R_0 - 0{,}3) \quad \text{عندما} \quad \sigma_{pr}/R_0 > 0{,}6$$

حيث σ_{pr} – تحدد بنفس طريقة تحديدها فى حالة الفقدان الناجم عن الزحفان الفورى (instantaneous creep) – σ_6 ؛ $k = 1$ – عند التصلب الطبيعى للخرسانة ؛ $k = 0{,}85$ – عند المعاملة الحرارية تحت الضغط الجوى العادى .

جدول ٢–٨

فقدان الاجهادات فى اسلاك وقضبان التسليح ،
الناجم عن انكماش الخرسانة (مقاسا بالميجاباسكال)

نوع وماركة الخرسانة	طريقة الشد		
	على المساند		على الخرسانة
	عند التصلب الطبيعى للخرسانة	عند المعاملة الحرارية للخرسانة تحت الضغط الجوى	بغض النظر عن ظروف التصلب
الخرسانة الثقيلة ماركة :			
٤٠٠ واقل	٤٠	٣٥	٣٠
٥٠٠	٥٠	٤٠	٣٥
٦٠٠ واكثر	٦٠	٥٠	٤٠
الخرسانة ذات الاخلاط المسامية الناعمة :			
أ) الكثيفة	٥٠	٤٥	–
ب) المسامية ما عدا الرمل البرليتى الانتفاخى	٦٥	٥٥	–
جـ) الرمل البرليتى الانتفاخى	٩٠	٨٠	–

وبالنسبة للخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، واستنادا الى معطيات الجدول (٢–٨) ، يحسب الفقدان σ_9 بواسطة الصيغ المذكورة اعلاه مع ضربها فى معامل قيمته 1,2 ؛ اما بالنسبة للخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، التى يدخل فى تركيبها الرمل البرليتى الانتفاخى ، فتستخدم نفس الصيغ المذكورة مع ضربها فى معامل قيمته 1,7 .

١٠ – الفقدان الناجم عن تهصّر الخرسانة تحت لفّات قضبان واسلاك التسليح الحلزونية او الدائرية (عندما يصل قطر المواسير او الخزانات المائية وغيرها حدا يصل الى ٣ م) :

$$\sigma_{10} = 30$$

١١ – الفقدان الناجم عن انفعالات انضغاط (تقلّص) الوصلات بين القوالب الحيكلية (blocks) السابقة الصب للانشاءات :

$$\sigma_{11} = n\lambda E_s/l$$

حيث λ – انضغاط (تفلطح) الوصلة الذى يساوى ٣ر٠ مم عند امتلاء الوصلات بالخرسانة ، ويساوى ٥ر٠ مم عند الوصلات الجافة ؛ n – عدد الوصلات فى الانشاء على طول قضبان واسلاك التسليح السابقة الاجهاد ؛ l – طول القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد (مم) .

ان قيمتى الفقدان الناجم عن الانكماش σ_8 وعن الزحفان σ_9 ، تعتمدان بصورة جوهرية على الزمن ورطوبة البيئة . واذا علمت مقدما المواعيد الفعلية لتعريض الانشاء للحمل ، عندئذ تضرب قيم هذا الفقدان فى المعامل التالى الذى يبلغ (بحيث لا تزيد قيمته على الواحد) :

$$\beta = 4t/(100 + 3t)$$

حيث t – المدة الزمنية المحسوبة بالأيام منذ يوم انتهاء صب القطعة الخرسانية (بالنسبة للفقدان σ_8) او منذ يوم انضغاط القطعة الخرسانية (بالنسبة للفقدان σ_9) .

وبالنسبة للانشاءات المستخدمة فى حالة رطوبة البيئة المحيطة ، التى تقل عن ٤٠ ٪ ، تزداد قيمة الفقدان الناجم عن الانكماش والفقدان الناجم عن الزحفان بنسبة ٢٥ ٪ .

اما بالنسبة للانشاءات المقرر استخدامها فى المناطق ذات المناخ الجاف الحار (مثل آسيا الوسطى) تزداد قيمة الفقدان الناجم عن كل من الانكماش والزحفان بنسبة ٥٠ .

وفى حالة شد القضبان والاسلاك على الخرسانة ، تؤخذ فى الاعتبار الانواع التالية من الفقدان :

الفقدان الاول – الناجم عن استرخاء الاجهادات فى فولاذ التسليح ، هبوط درجات الحرارة ، انفعال المثبتات ، احتكاك قضبان واسلاك التسليح مع صفائح المعايرة ، تشوّه القوالب الفولاذية ، وتشوه الخرسانة نتيجة للزحفان الفورى :

$$\sigma_I = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6$$

الفقدان الثانى – الناجم عن انكماش وزحفان الخرسانة :

$$\sigma_{II} = \sigma_8 + \sigma_9$$

وعند شد القضبان والاسلاك الفولاذية على الخرسانة ، تحسب قيم الفقدان التالية :

الفقدان الاول – الناجم عن المثبتات ، احتكاك القضبان والاسلاك مع جدران القنوات

(او مع سطح خرسانة الانشاءات) :

$$\sigma_I = \sigma_3 + \sigma_4$$

الفقدان الثانى – الناجم عن استرخاء الاجهادات فى فولاذ التسليح ، انكماش وزحفان الخرسانة ، تهصر (تحطم) الخرسانة تحت لفات فولاذ التسليح ، انفعال الوصلات الموجودة بين القوالب الهيكلية (فى الانشاءات المؤلفة من قوالب هيكلية سابقة الصنع ، اى جاهزة للتركيب) :

$$\sigma_{II} = \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 + \sigma_{10} + \sigma_{11}$$

ان الفقدان الاجمالى للاجهادات فى اية طريقة كانت من طرق الاجهاد المسبق (الشد) يساوى ما يلى :

$$\sigma_{loss} = \sigma_I + \sigma_{II}$$

وقد تصل قيمة الفقدان المذكور الى حد كبير – الى حوالى ٣٠ ٪ من الاجهاد الاولى المسبق . وعند تصميم الانشاءات السابقة الاجهاد ، يجب ان تؤخذ قيمة فقدان الاجهاد المسبق فيها ، بحيث لا تقل عن ١٠٠ ميجاباسكال .

٣ – الاجهادات فى قضبان واسلاك التسليح غير السابقة الاجهاد

فى القضبان والاسلاك الفولاذية غير السابقة الاجهاد للقطع الانشائية السابقة الاجهاد ، تنشأ بتأثير الانفعالات الموحدة لفولاذ التسليح والخرسانة ، اجهادات انضغاط أولية : عند انضغاط الخرسانة ، تكون قيمتها مساوية لقيمة الفقدان الناجم عن الزحفان الفورى للخرسانة :

$$\sigma_s = \sigma_6$$

اما عند استثمار وتشغيل الانشاء ، فنجدها مساوية ايضا لقيمة الفقدان الناجم عن انكماش وزحفان الخرسانة :

$$\sigma_s = \sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9$$

وبالنسبة لقضبان واسلاك التسليح غير المجهدة الموضوعة فى المنطقة المعرضة للشد عند انضغاط قطعة الانشاء تؤخذ القيمة التالية للفقدان :

$$\sigma_s = \sigma_8$$

٤ – قوى الانضغاط (الاجهاد) المسبق للخرسانة

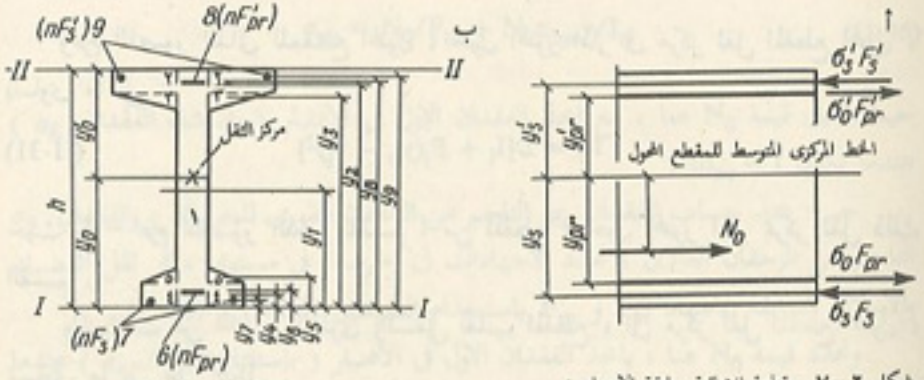
تؤخذ قوى الانضغاط (الاجهاد) المسبق للخرسانة ، مساوية لمحصلة القوى فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد وغير السابقة الاجهاد :

$$N_0 = \sigma_0 F_{pr} + \sigma'_0 F'_{pr} - \sigma_s F_s - \sigma'_s F'_s \qquad \text{(II-26)}$$

اما قيمة لا تمركزية هذه القوة بالنسبة لمركز ثقل المقطع المحوّل ، فتحدد من شرط توازن عزوم المحصلة والقوى المركبة (component forces) :

$$e_{0pr} = (\sigma_0 F_{pr} y_{pr} + \sigma'_s F'_s y'_s - \sigma'_0 F'_{pr} y'_{pr} - \sigma_s F_s y_s)/N_0 \qquad \text{(II-27)}$$

حيث σ_0 و σ'_0 – الاجهادات فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد ، الموضوعة على التناظر فى منطقتى الشد والانضغاط ، الناجمة عن تأثير الحمل الخارجى ، التى تؤخذ فى مرحلة الانضغاط مع ادخال الفقدان الاول ، وفى مرحلة الاستثمار ، تؤخذ مع ادخال الفقدان الكلى (الاجمالى) ؛ σ_s و σ'_s – اجهادات الانضغاط فى القضبان والاسلاك غير السابقة الاجهاد ، الموضوعة فى منطقتى الشد والانضغاط على التوالى ، الناجمة عن تأثير الحمل الخارجى ؛ F_{pr} و F'_{pr} – مساحة مقطع القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد ، الموضوعة فى منطقتى الشد والانضغاط على التوالى ، الناجمة عن الحمل الخارجى ؛ F_s و F'_s – مساحة مقطع القضبان والاسلاك غير السابقة الاجهاد الموضوعة فى منطقتى الشد والانضغاط على التوالى ، الناجمة عن تأثير الحمل الخارجى ؛ y_{pr} ، y'_{pr} ، y_s ، y'_s – المسافات من المحور المار فى مركز ثقل المقطع المحول ، الى نقاط تسليط القوة فى قضبان واسلاك التسليح .



شكل ٢ – ٧ . قطعة انشائية سابقة الاجهاد :

أ – مخطط توزيع قوى الانضغاط ؛ ب – مخطط توضيح عملية تحديد الخواص الهندسية للمقطع المحول (المكافىء) ؛ من ١ الى ٥ : اشكال العناصر الأولية للمقطع العرضى للقطعة ، من ٦ الى ٩ : فولاذ التسليح

٥ – المقطع المحوّل

لاجل تحديد الاجهادات فى مقاطع القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد ، فى المرحلة I قبل ظهور الشقوق ، يتم بحث المقطع الخرسانى المحوّل (المكافىء) الذى تستبدل فيه مساحة مقطع فولاذ التسليح ، بالمساحة المكافئة لها من مقطع الخرسانة . واستنادا الى معادلة انفعالات فولاذ التسليح والخرسانة ، تتم عملية التحويل هذه بالنسبة لمعايرى مرونة المادتين ، أى الفولاذ والخرسانة $n = E_s/E_c$.

وتساوى مساحة المقطع المحول للقطعة ما يلى (شكل ٢ – ٧ ، ب) :

$$F_{tr} = F + nF_{pr} + nF_s + nF'_{pr} + nF'_s \qquad (II\text{-}28)$$

حيث F – مساحة مقطع الخرسانة مطروحة منها مساحة مقطع القنوات والاخاديد المحفورة فيها .

والعزم الاستاتى للمقطع المحوّل حول المحور I – I المار فى السطح السفلى للمقطع ، يساوى ما يلى :

$$S_{tr} = \Sigma F_i y_i \qquad (II\text{-}29)$$

حيث F_i – مساحة قسم من المقطع ؛ y_i – المسافة من مركز ثقل القسم i من المقطع الى المحور I – I .

ان المسافة من مركز ثقل المقطع المحول الى المحور I – I ، تساوى ما يلى :

$$y_0 = S_{tr}/F_{tr} \qquad (II\text{-}30)$$

وعزم القصور الذاتى للمقطع المحول ، حول المحور المار فى مركز ثقل المقطع المحول ، يساوى ما يلى :

$$I_{tr} = \Sigma[I_i + F_i(y_0 - y_i)^2] \qquad (II\text{-}31)$$

حيث I_i – عزم القصور الذاتى للقسم i من المقطع ، حول المحور المار بمركز ثقل ذلك القسم .

والمسافات من الحدين العلوى والسفلى لقلب المقطع ، الى مركز ثقل المقطع المحول ، تساوى ما يلى على التوالى :

$$r_{k.\,top} = I_{tr}/F_{tr}y_0 \quad , \quad r_{k.\,bot} = I_{tr}/F_{tr}(h - y_0) \qquad (II\text{-}32)$$

٦ – اجهادات الانضغاط المسبقة فى الخرسانة

عند انضغاط الخرسانة من كافة الجوانب ، تنشأ فيها الانفعالات غير مرنة ، ويكتسب الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة شكلا منحنيا . ولاجل السهولة ، يتم تحديد الاجهادات فى الخرسانة ، فى حالة الانضغاط على اساس السلوك المرن للمقطع والرسم البيانى الخطىّ للاجهادات :

$$\sigma_{pr} = N_0/F_{tr} \pm N_0e_{0pr}y/I_{tr} \qquad (II\text{-}33)$$

واستنادا الى الغاية المرجوة من الحساب ، يتم تحديد الاجهادات فى الخرسانة فى المستويات المختلفة من حيث ارتفاع المقطع :

أ– عند تثبيت قيمة الاجهاد المتحكم فيه فى الاسلاك والقضبان الفولاذية ، المشدودة على الخرسانة ، تحدد الاجهادات فى الخرسانة ، فى مستوى القوى الموجودة فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد :

$$\sigma_{pr} = N_0/F_{tr} \pm N_0e_{0pr}y_{pr}/I_{tr} \qquad (II\text{-}34)$$

$$\sigma'_{pr} = N_0/F_{tr} - N_0e_{0pr}y'_{pr}/I_{tr} \qquad (II\text{-}35)$$

ويتم تحديد N_0 هنا مع اخذ الفقدان الاول للاجهادات فى الاعتبار عند $m_{ac} = 1$.

ب – عند مراجعة الاجهادات القصوى فى حالة الانضغاط ، يتم تحديد الاجهادات فى الخرسانة فى مستوى الالياف المنضغطة الى اقصى حد :

$$\sigma_{pr} = N_0/F_{tr} + N_0e_{0pr}y/I_{tr} \qquad (II\text{-}36)$$

حيث تعين قيمة N_0 هنا ، مع اخذ الفقدان الاول فى الاعتبار (باستثناء الفقدان σ_6) عندما تكون $m_{ac} = 1$.

جـ – عند حساب الفقدان σ_6 الناجم عن الزحفان الفورى للخرسانة ، والفقدان σ_9 الناجم عن الزحفان العادى ، تحدد الاجهادات فى الخرسانة فى مستوى مركز ثقل القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد F_{pr} و F'_{pr} باستخدام الصيغتين (II-34) و (II-35) .

وتحدد قيمة N_0 هنا ، باخذ الفقدان الاول فى الاعتبار (باستثناء الفقدان σ_6) عندما تكون $m_{ac} = 1$.

٧ – التغيّر التدريجى للاجهادات المسبقة فى القطع الانشائية بعد تعرضها للحمل الخارجى

القطع المحورية الشد . عند انتاج القطعة الانشائية ، يتم شد قضبان واسلاك التسليح الفولاذية الى حد الاجهاد المتحكم فيه الأولى $\sigma_{in.\,j}$ على مساند قوالب الصب ، ثم تصب الخرسانة فى القوالب وتعامل بالحرارة وتترك فى القالب الى ان تكتسب مقاومتها الانتقالية اللازمة R_0 . وفى هذه الحالة التى سنسميها بالحالة ١ ، يحدث الفقدان الاول للاجهاد σ_1 ، فى قسمه الاساسى (شكل ٢ – ٨) . وبعد ذلك عند تحرير القضبان والاسلاك من مساند القوالب ، ينتقل الاجهاد المسبق الى الخرسانة ويتطور الزحفان الفورى فى القطعة المصبوبة ، ويكون السبب فى ظهور فقدان الاجهاد σ_6 ، وتسمى هذه الحالة بالحالة ٢ .

ان الاجهاد المسبق فى القضبان والاسلاك الفولاذية ، مع أخذ الانضغاط المرن للخرسانة فى الاعتبار ، يساوى :

$$\sigma_{in.\,j} - \sigma_1 - n\sigma_c$$

حيث تؤخذ σ_1 بدون حساب الفقدان σ_3 و σ_4 وذلك لانهما يؤخذان فى الاعتبار عند حساب الفقدان $\sigma_{in.j}$.

وبمرور الزمن يحدث الفقدان الثانى للاجهادات σ_{II} ، وكذلك تنخفض قيمة الاجهادات المرنة فى الخرسانة .

وتسمى هذه الحالة بالحالة الثالثة ٣ . ان الاجهاد المسبق فى القضبان والاسلاك مع اخذ الفقدان الكلى والانضغاط المرن للخرسانة فى الاعتبار ، فى هذه الحالة يساوى ما يلى :

$$\sigma_{in.\,j} - \sigma_{loss} - n\sigma_{c1}$$

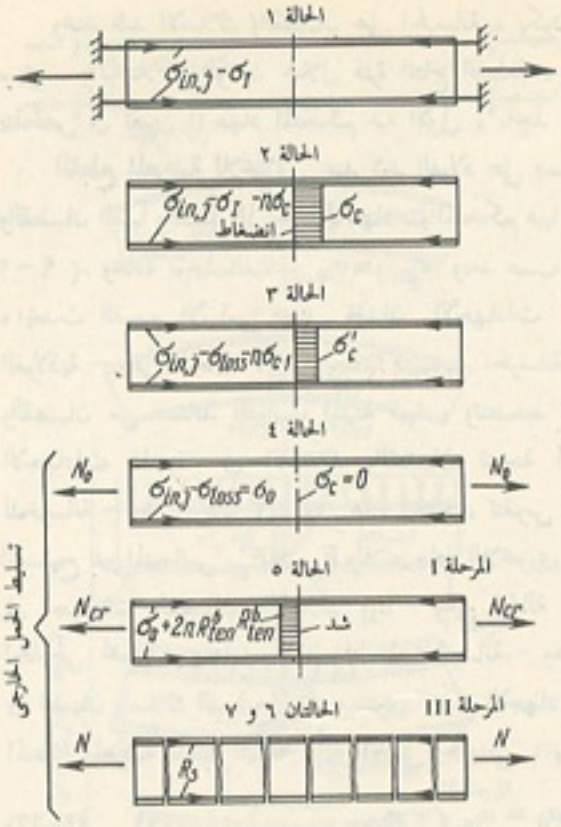
وبعد تحميل القطعة الانشائية ، عند الزيادة التدريجية للحمل الخارجى ، تخمد الاجهادات الناجمة فى الخرسانة عن الانضغاط المسبق ، وتسمى هذه الحالة بالحالة ٤ .

ان الاجهاد المسبق فى القضبان والاسلاك ، مع حساب الفقدان فى مستوى انعدام الاجهاد ، اى اجهاد الصفر (zero stress) فى الخرسانة فى هذه الحالة يساوى ما يلى :

$$\sigma_0 = \sigma_{in.\,j} - \sigma_{loss}$$

والزيادة اللاحقة للحمل تؤدى الى ظهور اجهادات الشد القصوى فى الخرسانة R_{ten} ، وتسمى هذه الحالة بالحالة ٥ ؛ اى نهاية المرحلة I من مراحل حالة الاجهاد والانفعال .

وعندما نعتبر بان زيادة الاجهاد فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد بعد خمود الانضغاط فى الخرسانة ، استنادا الى قابلية الشد القصوى للخرسانة ، وهى



شكل ٢ – ٨ . تعاقب عملية تغير الاجهادات فى القطعة الانشائية السابقة الاجهاد المحورية الشد

$\varepsilon^{ul}_{c,\,ten} = 2R^b_{ten}/E_c$ ، والانفعالات الموحدة لكل من الفولاذ والخرسانة ، نجد ان :

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \varepsilon^{ul}_{c,\,ten} E_s = 2R^b_{ten} E_s / E_c = 2nR^b_{ten}$$

اما الاجهاد الناجم فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد المشدودة ، قبل ظهور الشقوق ، فهو يساوى :

$$\sigma_0 + 2nR^b_{ten}$$

وقبل تكوّن الشقوق ، تزيد قيمة الاجهاد فى القضبان والاسلاك المشدودة ، على الاجهاد المناظر الناجم فى القطع الخالية من الاجهاد المسبق ، بمقدار σ_0 .

وهذا هو سبب وجود مقاومة التشقق الاكبر قيمة بكثير ، ففى القطع الانشائية السابقة الاجهاد ، المعرضة للشد المحورى ، وبعد ظهور الشقوق فى المرحلة II لحالة الاجهاد والانفعال ، تقوم القضبان والاسلاك الفولاذية بتحمل قوة الشد . وبقدر زيادة الحمل ، يزداد تفتح الشقوق تبعا لذلك . وعند الزيادة اللاحقة للحمل ، تصل الاجهادات فى القضبان والاسلاك الفولاذية الى قيمتها القصوى ، وهنا يحدث الانهيار ، اى تحل المرحلة III .

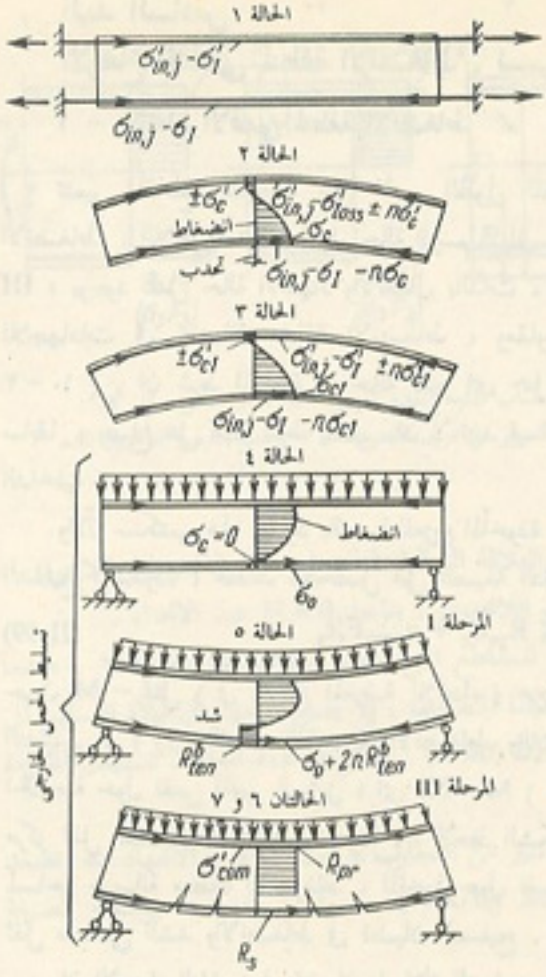
وعند شد الاسلاك والقضبان على الخرسانة ، يكون تعاقب حالات الاجهاد مماثلا لما سبق . والاختلاف الوحيد خلال فترة انتاج القطعة ، وقبل التحميل بالحمل الخارجي ، يتلخص فى تعيين الاجهاد المتحكم فيه الاولى ، بأخذ انضغاط الخرسانة فى الاعتبار .

القطع المعرضة للانحناء . عند شد الفولاذ على مساند القوالب ، يتم سحب الاسلاك والقضبان العليا والسفلى الى حد الاجهادات المتحكم فيها الاولية وهى $\sigma_{in.\,j}$ ، $\sigma'_{in.\,j}$ (شكل ٢ – ٩). وعادة تؤخذ القيمة $\sigma'_{in.\,j} = \sigma_{in.\,j}$. وبعد صب الخرسانة وتصلبها بالمعاملة الحرارية ، يحدث القسم الاساسى من فقدان الاجهادات المسبقة فى الاسلاك والقضبان الفولاذية – وهى الحالة ١ . وبعد اكتساب الخرسانة المقاومة اللازمة ، تحرر الاسلاك والقضبان من مساند القوالب المثبتة فيها ، وتنضغط الخرسانة عندئذ . وهنا تقل قيمة الاجهادات المسبقة فى الاسلاك والقضبان نتيجة للزحفان الفورى والانضغاط المرن للخرسانة – وهى الحالة ٢ . وفى هذه الحالة ، تتقوس (تنحنى) القطعة الانشائية نتيجة للتسليح غير المتجانس $F_{pr} > F'_{pr}$ وللانضغاط اللامحورى . وبمرور الزمن يحدث الفقدان الثانى فى اجهادات القضبان والاسلاك σ_{II} – وهى الحالة ٣ . وبعد تعرّض القطعة للحمل الخارجى تخمد اجهادات الانضغاط فى الخرسانة – وهى الحالة ٤ . ان الاجهاد المسبق فى قضبان واسلاك التسليح ، فى مستوى انعدام الاجهاد (اجهاد الصفر) فى الخرسانة ، فى المنطقة المعرضة للشد نتيجة لتأثير الحمل الخارجى ، يساوى ما يلى فى هذه الحالة :

$$\sigma_0 = \sigma_{in.\,j} - \sigma_{loss} \qquad \text{(II-37)}$$

وعند زيادة الحمل ، تصل الاجهادات فى خرسانة منطقة الشد الى القيمة القصوى لمقاومة الشد R^b_{ten} – وهى الحالة ٥ . وهذه هى نهاية المرحلة I من مراحل الاجهاد والانفعال فى حالة الانحناء . وقيمة الاجهاد فى قضبان واسلاك التسليح فى هذه المرحلة هى $\sigma_0 + 2nR_{ten}$.

وفى حالة الانحناء ، كما فى حالة الشد أيضا ، نجد ان قيمة الاجهاد فى القضبان والاسلاك المشدودة ، قبل ظهور الشقوق ، تزيد على قيمة الاجهاد المناظرة فى قضبان واسلاك القطع غير السابقة الاجهاد ، بمقدار σ_0 . وبهذا تتحدد المقاومة الاكثر قيمة نسبيا ، لتكوّن الشقوق عند تعرض القطع السابقة الاجهاد للانحناء . وعند زيادة الحمل ، تظهر الشقوق فى منطقة الشد ، وتبدأ المرحلة II من مراحل الاجهاد والانفعال . وبزيادة الحمل اكثر فاكثر ، تصل اجهادات الشد فى كل من القضبان الفولاذية والخرسانة الى قيمتها القصوى ، ويحدث التمزّق والانهيار – وهى المرحلة III . ان القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد التى تبلغ مساحة مقطعها F'_{ten} ، الموضوعة فى المنطقة المنضغطة بتأثير الحمل الخارجى ، تنفعل فى



شكل ٢ – ٩ . تعاقب عملية تغير الاجهادات فى القطعة السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء

وقت واحد مع خرسانة منطقة الانضغاط ، وهنا تقل قيمة اجهادات الشد المسبقة فيها . وعند وجود اجهادات الانضغاط القصوى فى الخرسانة ، تبلغ قيمة الاجهادات فى القضبان والاسلاك الفولاذية لهذه المنطقة ما يلى :

$$\sigma_{com} = R_{s.\,com} - \sigma'_0 \qquad \text{(II-38)}$$

ان قيمة الاجهاد σ'_0 تحدد بادخال عامل دقة الشد وهو $m_{ac} > 1$ مع أخذ الفقدان فى الاعتبار . وعند $\sigma'_0 < R_{s.com}$ تصبح القضبان ذات المقطع F'_{ten} منضغطة ، اما عند $\sigma'_0 > R_{s.com}$ فتصبح مشدودة ، وفى هذه الحالة تنخفض قليلا السعة الحملية للقطعة السابقة الاجهاد .

البند السادس

الارتفاع الاقصى لمنطقة الانضغاط . نسب التسليح الحدية (النهائية)

١ – الارتفاع الاقصى لمنطقة الانضغاط

تتميّز المقاطع العمودية على المحور الطولى للقطع المعرضة للانحناء ، اللامحورية الانضغاط ، اللامحورية الشد – فى حالة الرسم البيانى ذى العلامتين للاجهادات فى المرحلة III ، بوجود نفس حالة الاجهاد والانفعال بالذات ، مع وجود الرسم البيانى الاصطلاحى للاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط ، ومقاومة تصميمية قدرها R_{pr} (شكل ٢ – ١٠) . ان شرط المقاومة فى حالة تأثير اى حمل خارجى كان من الاحمال المذكورة سابقا ، يصاغ على هيئة شرط يقضى بأن لا تزيد قيمة عزم القوى الخارجية على عزم القوى الداخلية .

والآن سنكتب هذا الشرط بالنسبة للعزوم المأخوذة حول المحور المار فى مركز ثقل قضبان التسليح المشدودة ، عندئذ سنحصل على الصيغة التالية :

$$M \leqslant R_{pr}S_c + \sigma_{com}F'_s z_s \qquad \text{(II-39)}$$

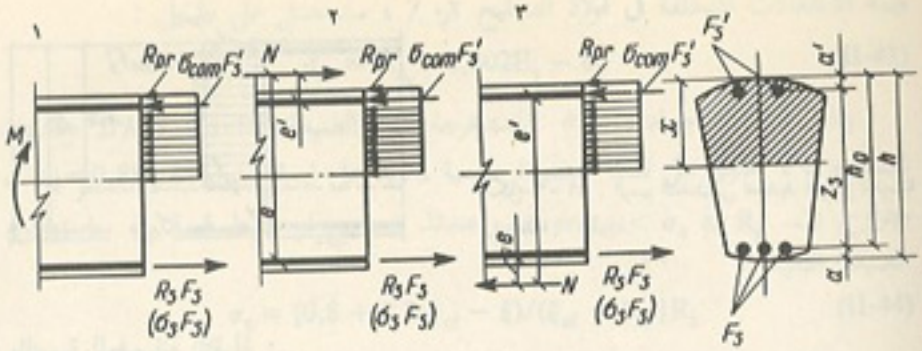
حيث M – تمثل (فى القطع المعرضة للانحناء) عزم القوى الخارجية الناجم عن احمال التصميم ؛ (وفى القطع اللامحورية الانضغاط واللامحورية الشد) – عزم القوة الطولية الخارجية حول نفس المحور السابق ؛ أى $M = Ne$ (حيث e هى المسافة من القوة N الى مركز ثقل القضبان الفولاذية المشدودة ، (لاحظ الشكل ٢ – ١٠) ؛ S_c – العزم الاستاتى لمساحة خرسانة منطقة الانضغاط ، الماخوذ حول نفس المحور ؛ z_s – المسافة بين مركزى ثقل منطقتى الشد والانضغاط فى قضبان التسليح .

ان الاجهاد الناشىء فى قضبان واسلاك التسليح ، الموضوعة فى المنطقة المنضغطة بتأثير الحمل – $\sigma_{com} = R_{s.com} - \sigma'_0$ يحدد من قيمة σ'_0 المستخرجة بوجود عامل دقة الاجهاد m_{ac} الذى تزيد قيمته على الواحد . وفى القطع الخالية من الاجهاد المسبق ، نجد ان $\sigma_{com} = R_{s.com}$.

ان ارتفاع منطقة الانضغاط للمقاطع التى ينتمى سلوكها الى الحالة ١ ، عند عدم وصول المقاومة الى حدها الاقصى فى قضبان التسليح المشدودة وفى الخرسانة المنضغطة ، يحدد (اى الارتفاع) من معادلة توازن القوى القصوى كما يلى :

$$R_{pr}F_c + \sigma_{com}F'_s - R_sF_s \pm N = 0 \qquad \text{(II-40)}$$

حيث F_c – مساحة خرسانة منطقة الانضغاط ، التى تعتمد على ارتفاع منطقة الانضغاط ؛ وبالنسبة للمقطع المستطيل تساوى $F_c = bx$.



شكل ٢ – ١٠ . الرسوم التخطيطية التى توضح حساب مقاومة المقطع العرضى الذى له اى شكل مماثل كان :
١ – المقطع العرضى المعرض للانحناء ، ٢ – المقطع العرضى اللامحورى الانضغاط ، ٣ – المقطع العرضى اللامحورى الشد

وفى المعادلة (II-40) تستخدم العلاقة السالبة «–» فى حالة الانضغاط اللامحورى ، والعلامة الموجبة «+» فى حالة الشد اللامحورى ، وتؤخذ $N = 0$ عند الانحناء .

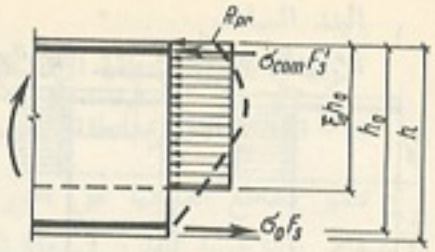
ان ارتفاع منطقة الانضغاط x للمقاطع التى ينطبق سلوكها على الحالة ٢ ، عندما يحدث الانهيار بصورة قصيفة فى الخرسانة المنضغطة ، ولا يصل الاجهاد فى فولاذ التسليح الى قيمته القصوى ، يحدد ايضا من المعادلة (II-40) . ولكن فى هذه الحالة ، تستبدل المقاومة التصميمية R_s بالاجهاد σ_s .

واستنادا الى تحليل نتائج عدد كبير من التجارب ، ثبت أن قيمة الاجهاد σ_s تعتمد على الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط $\xi = x/h_0$ ؛ ويمكن تحديدها بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$\sigma_s = [R_{s.com}/(1 - \xi_0/1{,}1)](\xi_0/\xi - 1) + \sigma_0 \qquad \text{(II-41)}$$

حيث $\xi_0 = x_0/h_0$ تمثل الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط عندما تبلغ قيمة الاجهاد فى قضبان التسليح $\sigma_s = \sigma_0$ (او $\sigma_s = 0$ – $\sigma_s = 0$ – فى القطع الانشائية الخالية من الاجهاد المسبق) .

وكما انه عند $\sigma_s = \sigma_0$ (او عند $\sigma_s = 0$) تكون قيمة الارتفاع النسبى الحقيقى لمنطقة الانضغاط هى $\xi_{act} = 1$ ، اذن يمكن اعتبار ξ_0 بمثابة معامل تصحيح (correction factor) يأخذ فى الاعتبار الفرق بين الرسمين البيانيين المستطيلين الفعلى والنظرى للاجهادات فى الخرسانة . وفى هذه الحالة ، نجد ان القوى الناجمة فى خرسانة منطقة الانضغاط تساوى $N_c = \xi_0 bh_0 R_{pr}$ (شكل ٢ – ١١) . وقد ثبت استنادا الى المعطيات التجريبية ، انه



شكل ٢ – ١١ . الرسم التخطيطى لتحديد خواص الخرسانة فى منطقة الانضغاط

بالنسبة للخرسانة الثقيلة :

$$\xi_0 = 0,85 - 0,008R_{pr}$$

(حيث R_{pr} تقاس بالميجاباسكال , MPa) ؛
وبالنسبة للخرسانة الخفيفة :

$$\xi_0 = 0,8 - 0,008R_{pr}$$

ان قيمة ξ_0 المستخرجة من هذه الصيغ التجريبية تسمى بطبيعة الخواص الانفعالية لخرسانة منطقة الانضغاط .

ان الحد الاول من الطرف الايمن للصيغة (II-41) يمثل زيادة الاجهادات $\Delta\sigma_s$ فى القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد أو يمثل الاجهاد σ_s فى قضبان واسلاك القطع الانشائية الخالية من الاجهاد المسبق . واذا كان الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط هو $\xi < \xi_0$ ، فسوف يصبح الاجهاد σ_s ، اجهاد شد ، اما اذا كان الارتفاع المذكور هو $\xi > \xi_0$ ، عندئذ يصبح اجهاد الانضغاط (شكل ٢ – ١٢) .

ان الارتفاع النسبى الاقصى لمنطقة الانضغاط $\xi_R = x_R/h_0$ ، الذى تبدأ عنده اجهادات الشد فى قضبان التسليح بالوصول الى قيمها القصوى يمكن استخراجه من العلاقة (II-41) اذا تعادلت قيمة الاجهاد σ_s ، مع قيمة الاجهاد الاسمى الاقصى σ_A ، عندئذ سنحصل على ما يلى :

$$\xi_R = \xi_0/[1 + (\sigma_A/R_{s.com})(1 - \xi_0/1,1)] \qquad (II-42)$$

ان العلاقة بين σ_s و ξ التى هى اساس المعادلة (II-41) نجمت عن الفرضية التى تنص على ان الانفعالات المرنة وحدها ، تنشأ فى قضبان واسلاك التسليح . ولهذا السبب ، يجب بالنسبة للاسلاك والقضبان الخالية من نقطة الخضوع الطبيعية ، ان نستخدم الاجهاد الاسمى الاقصى σ_A ، المناظر لانفعالات القضبان والاسلاك عند الاجهادات $\sigma_{0,2}$ ، باعتبارها مرنة تماما (شكل ٢ – ١٣) . واذا اخذنا فى الاعتبار أنه عند مثل هذه الاجهادات ، تبلغ

قيمة الانفعالات المتخلفة فى فولاذ التسليح ٠٫٢ ٪ ، سنحصل على ما يلى :

$$\sigma_A = R_s + 0,002E_s - \sigma_0 \qquad (II-43)$$

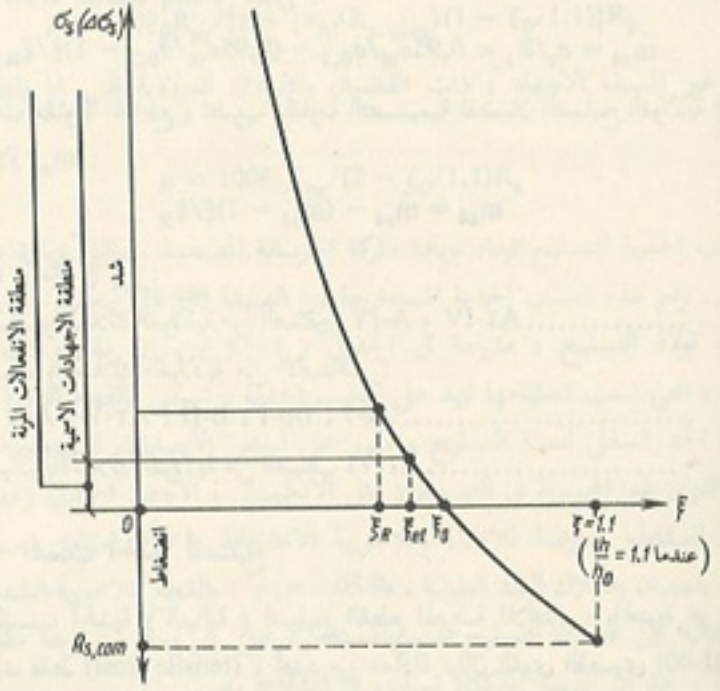
واذا كانت الاجهادات σ_s المستخرجة من الصيغة (II-41) لاسلاك وقضبان التسليح ، لا تحتوى على نقطة خضوع طبيعية ، تزيد على قيمة حد المرونة $\sigma_{el} = 0,8R_s$ ، ويتراوح بين $\sigma_{el} < \sigma_s \leqslant R_s$ ، يجب عندئذ تصحيح او ضبط قيمة σ_s باستخدام الصيغة التالية :

$$\sigma_s = [0,8 + 0,2(\xi_{el} - \xi)/(\xi_{el} - \xi_R)]R_s \qquad (II-44)$$

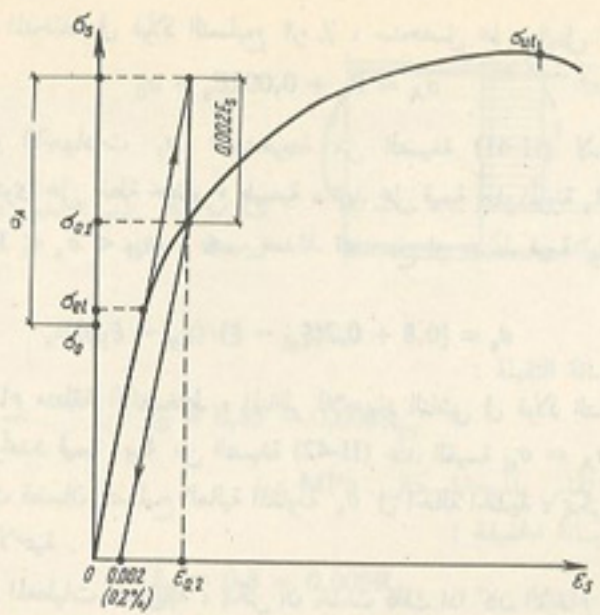
حيث ξ_{el} –ارتفاع منطقة الانضغاط ، المناظر للاجهاد الناشى فى فولاذ التسليخ ، الذى يساوى σ_{el} ؛ وتحدد قيمة ξ_{el} من الصيغة (II-42) عند القيمة $\sigma_A = \sigma_{el}$.

ان اجهادات قضبان التسليح العالية المقاومة σ_s فى الحالة الحدية ، يمكن ان تزيد على نقطة الخضوع الاسمية .

واستنادا الى المعطيات التجريبية ، يمكن ان يحدث ذلك اذا كان الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط ، المستخرج من الصيغة (II-40) اقل من الارتفاع الاقصى ، اى $\xi < \xi_R$. والزيادة تكون اكبر ، كلما قلت قيمة ξ .



شكل ٢ – ١٢ . العلاقة الوضعية بين الاجهادات القصوى فى فولاذ التسليح وارتفاع منطقة الانضغاط فى المرحلة III



شكل ٢ – ١٣ . الرسم البيانى لتحديد الاجهاد الاسمى الاقصى (σ_A) فى فولاذ التسليح الذى لا يحتوى على نقطة خضوع طبيعية

ويعبر عن العلاقة المذكورة بالمعامل التالى :

$$\bar{m}_{s4} = \sigma_s/R_s = 0{,}95\sigma_{ul}/\sigma_{0,2} - (0{,}95\sigma_{ul}/\sigma_{0,2} - 1)\xi/\xi_R \qquad (II\text{-}45)$$

وفى حسابات مقاومة المقاطع ، تضرب المقاومة التصميمية لقضبان التسليح الفولاذية فى عامل خدمة الفولاذ m_{s4} :

$$m_{s4} = \bar{m}_{s4} - (\bar{m}_{s4} - 1)\xi/\xi_R \qquad (II\text{-}46)$$

حيث $\bar{m}_{s4}$ تؤخذ كما يلى :

للقضبان والاسلاك الفولاذية من الصنفين A-IV و AT-IV 1,2

للقضبان والاسلاك الفولاذية من الاصناف :

A-V ، AT-V ، B-II ، Bp-I ، K-7 1,15

للقضبان والاسلاك الفولاذية من الصنف AT-VI 1,1

٢ – النسب الحدية للتسليح

ان النسب الحدية (النهائية) لتسليح القطع المعرضة للانحناء ، والمحتوية على قضبان مقاومة الشد فقط (tensile steel) ، تحدد من معادلة توازن القوى القصوى (II-40) عندما يكون ارتفاع منطقة الانضغاط مساويا للارتفاع النهائى . وفى هذه الحالة يكون لدينا :

$$R_{pr}bx_R - R_sF_s = 0$$

جدول ٢ – ٩

النسب الحدية لتسليح القطع الانشائية المعرضة للانحناء

صنف الفولاذ	نسبة التسليح عند ماركة الخرسانة المصممة		
	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠
A-III	١٫٨ / ١٫٣٧	٢٫٢ / ١٫٩٧	٢٫٧ / ٢٫٤
A-II	٢ / ١٫٧٤	٢٫٧٥ / ٢٫٤٥	٣٫٤ / ٣

ملحوظة : الأرقام الواردة فى بسط كل كسر تمثل نسب التسليح للخرسانة الثقيلة اما الأرقام الواردة فى المقام فتمثل نسب التسليح للخرسانة ذات الاحلاط المسامية .

ومنها ينتج ان

$$\mu = 100\xi_R R_{pr}/R_s \qquad (II\text{-}47)$$

والنسب الحدية للتسليح مع الاخذ فى الاعتبار قيم المعادلة (II-42) للقطع المسبقة الاجهاد تساوى :

$$\mu = 100\xi_0 R_{pr}/[1 + (\sigma_A/R_{s.com})(1 - \xi_0/1{,}1)]R_s \qquad (II\text{-}48)$$

وللقطع غير المسبقة الاجهاد ، ذات القضبان والاسلاك الفولاذية التى لها نقطة خضوع طبيعية :

$$\mu = 100\xi_0 R_{pr}/(2 - \xi_0/1{,}1)R_s \qquad (II\text{-}49)$$

ان النسب الحدية للتسليح تزداد بزيادة ماركة الخرسانة المصممة ، وتقل بزيادة صنف فولاذ التسليح . وقيم هذه النسب الحدية المستخرجة من الصيغة (II-49) لبعض ماركات الخرسانة واصناف فولاذ التسليح ، مدرجة فى الجدول (٢ – ٩) . ان مقاطع القطع المعرضة للانحناء ، التى نسب تسليحها تزيد على النسب الحدية ، تسمى بالقطع الزائدة التسليح .

ان الحد السفلى لنسبة التسليح ، مقرر على اساس الاعتبارات التصميمية – لتحمل مختلف القوى غير المحسوبة فى التصميم (مثل الانكماش ، الاجهاد الحرارى وغير ذلك) . وبالنسبة للمقاطع المعرضة للانحناء واللامحورية الانضغاط $b \times h$ تساوى نسبة التسليح الصغرى بقضبان واسلاك الشد الطولية ، $\mu_1 = 0{,}05\%$ ؛ وللقطع اللامحورية الشد عند وقوع القوة الطولية بين قضبان التسليح ضمن مسافة z_s على كل وجه من اوجه مقطع القطعة الانشائية ، نجد ان النسبة المذكورة تساوى $\mu_1 = 0{,}05\%$.

وفى المقاطع التى على شكل T التى تقع شفهاتها (flanges) فى منطقة الانضغاط ، نجد ان نسبة التسليح الصغرى تعود الى مساحة المقطع العرضى للضلع ، وتساوى bh .

الفصل الثالث

القطع الانشائية المعرضة للانحناء

البند الاول
الخواص التصميمية

ان اكثر القطع المعرضة للانحناء انتشارا فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، هى البلاطات والعتبات . ويطلق اسم العتبات على القطع الانشائية المستوية ، التى ثخنها h_s يقل كثيرا عن طولها l_s وعرضها b_s . اما اسم العتبات فيطلق على القطع الانشائية الطولية ، التى طولها l اكبر بكثير من ارتفاعها h وعرضها b . ان البلاطات والعتبات تدخل فى تركيب الكثير من الانشاءات الخرسانية المسلحة ، ومن اكثرها : الارضيات والسقوف المستوية ، السابقة الصنع والمصبوبة فى الموقع (شكل ٣ – ١) ، وكذلك الانشاءات المختلطة المؤلفة من أقسام سابقة الصنع واقسام مصبوبة فى الموقع .

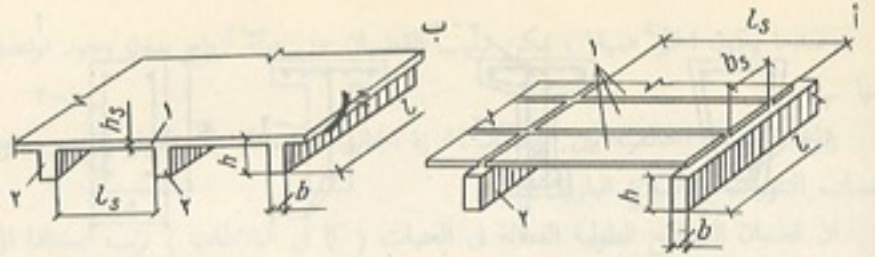
وقد تكون البلاطات والعتبات وحيدة الباع (single-span) او متعددة الابواع (multi-span) .

العتبات . يتراوح ثخن العتبات فى الانشاءات المصبوبة فى الموقع بين ٥٠ – ١٠٠ مم ، وفى الانشاءات السابقة الصنع ، قد يقل ثخنها عن ذلك .

ويبين الشكل (٣ – ٢ ، أ) بلاطة وحيدة الباع مستندة على طرفين متقابلين ، بينما يبين الشكل (٣ – ٢ ، ب) بلاطة متعددة الابواع مستندة على عدد من المساند المتوازية . ان مثل هذه العتبات تنفعل مثل انفعال الانشاءات العتبية عند تعرضها لمختلف انواع الاحمال ، اذا لم تتغير قيمتها فى الاتجاه العمودى على الباع .

وتسلح البلاطات بشبكات فولاذية ملحومة (راجع البند الثانى من الفصل الاول) . وتوضع الشبكات فى البلاطات بحيث تنتظم قضبان التسليح الفعالة فيها على امتداد الباع وتقاوم (تتحمل) قوى الشد الناجمة فى الانشاء عند تعرضه للانحناء تحت تأثير الحمل ، وفقا للرسوم البيانية لعزوم الانحناء (شكل ٣ – ٢) . ولهذا السبب ترتب الشبكات فى اسفل ابواع البلاطات ، وفى البلاطات المتعددة الابواع ، ترتب فى الاسفل وفى الاعلى فوق المساند المتوسطة (البينيّة) . ان تسليح البلاطات المتعددة الابواع بالشبكات الفولاذية ، قد يكون تسليحا متواصلا (شكل ٣ – ٢ ، ب) أو منفصلا (شكل ٣ – ٢ ، جـ) .

ان اقطار قضبان التسليح الفعالة ، تتراوح بين ٢ – ١٠ مم ، وترتب على مسافة (فاصلة) تتراوح بين ١٠٠ – ٢٠٠ مم عن بعضها البعض .

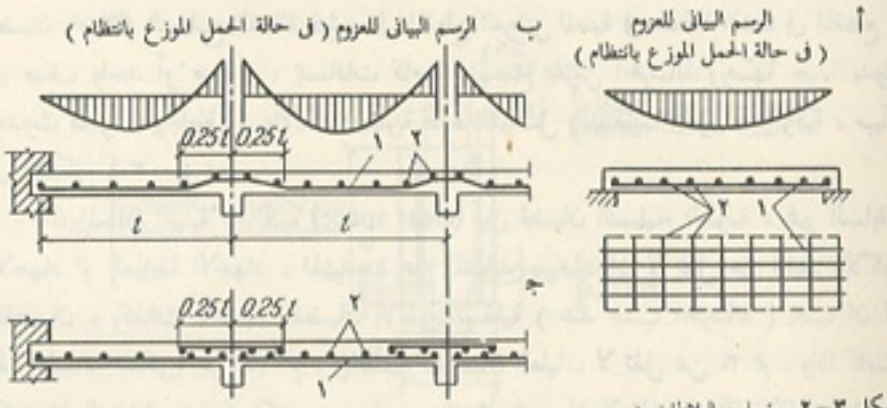


شكل ٣ – ١ . تصاميم الارضيات المركبة من قطع خرسانية مسلحة :
أ – ارضية سابقة الصنع ؛ ب – ارضية مصبوبة فى الموقع ؛ ١ – بلاطات ، ٢ – عتبات

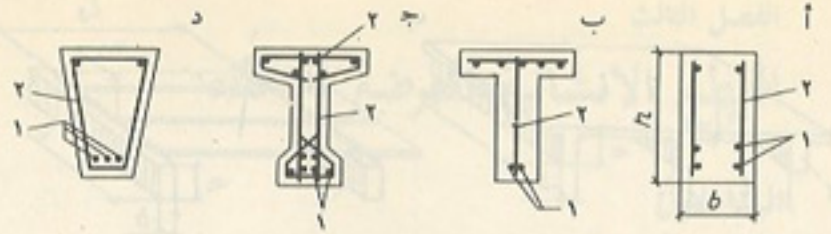
وثخن الطبقة الخرسانية الواقية (الغطاء الخرسانى) لقضبان التسليح الفعالة ، يجب ان لا يقل عن ١٠ مم ؛ وفى البلاطات الثخينة جدا (الاثخن من ١٠٠) – يجب ان لا يقل ثخن الطبقة الواقية عن ١٥ مم .

وتوضع القضبان المستعرضة للشبكات (القضبان التوزيعية) لتأمين الوضع التصميمى للقضبان الفعالة ، تخفيض الانفعالات الانكماشية والحرارية للانشاءات ، توزيع التأثير الموضعى للاحمال المركزة على مساحة أوسع . وتؤخذ القضبان المستعرضة بقطر أقل بحيث لا تقل مساحة المقطع الكلية عن ١٠ ٪ من مساحة مقطع القضبان الفعالة الموضوعة فى موضع تأثير عزم الانحناء الاقصى ، وترتب بفاصلة تتراوح بين ٢٥٠ – ٣٠٠ مم بين بعضها البعض ، بحيث لا تكون أعرض من ٣٥٠ مم .

ان تسليح البلاطات بقضبان فولاذية منفصلة مع ربطها على هيئة شبكات بواسطة اليد باستخدام اسلاك رابطة ، لا يستخدم عمليا فى الوقت الحاضر الا فى حالات خاصة (فى



شكل ٣ – ٢ . تسليح البلاطات :
أ – بلاطة وحيدة الباع ؛ ب – بلاطة متعددة الابواع تحتوى على فولاذ تسليح متواصل ؛ جـ – كالسابق ، تحتوى على فولاذ تسليح منفصل ؛ ١ – قضبان التسليح الفعالة ، ٢ – قضبان تركيبية (توزيعية)



شكل ٣ – ٣ . اشكال المقطع العرضى للعتبات مع مخططات التسليح :
أ – مقطع مستطيل ؛ ب – مقطع على شكل – T ؛ جـ – مقطع على شكل I ؛ د – مقطع على شكل شبه منحرف ؛ ١ – قضبان طولية ، ٢ – قضبان مستعرضة

البلاطات ذات الشكل الخارجى المعقد التخطيط او المحتوية على عدد كبير من الفتحات وغيرها) عندما لا يمكن استخدام الشبكات الملحومة القياسية الابعاد والحجوم .

العتبات الخرسانية المسلحة . ان مقاطع هذه العتبات قد تكون مستطيلة ، على شكل T ، على شكل I وعلى شكل شبه منحرف (شكل ٣ – ٣) .

ويتراوح ارتفاع العتبات h ضمن نطاق واسع : انه يتراوح بين ١ /١٠ و ١ /٢٠ من طول الباع ، تبعا لنوع الحمل ونوع الانشاء . ولغرض التوحيد القياسى ، يؤخذ الارتفاع باضعاف العدد ٥٠ مم ، اذا لم يزد على ٦٠٠ مم ، واضعاف العدد ١٠٠ فى حالة الابواع الاطول من ذلك .

ان عرض المقاطع العرضية المستطيلة b ، يؤخذ فى حدود تتراوح بين h (0,3 – 0,5) ، وعلى الخصوص ١٠٠ ، ١٢٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ ، ٢٢٠ ، ٢٥٠ مم وبعد ذلك يؤخذ باضعاف العدد ٥٠ مم . ولتقليل كمية الخرسانة المستهلكة ، يؤخذ عرض العتبات ، أقل ما يمكن . اما قضبان واسلاك التسليح الفعالة فترتب فى المقطع العرضى للعتبة فى منطقة الشد فى المقطع ، فى صف واحد أو صفين ، بمسافات فاصلة تسمح بفرش الخرسانة ورصّها جيدا بدون حدوث فجوات وتجاويف . والابعاد المطلوبة لهذه الفواصل والطبقات الخرسانية الواقية ، مبيّنة فى الشكل (٣ – ٤) .

ان المسافة البينية الخالصة (clear space) بين قضبان التسليح الطولية ، غير السابقة الاجهاد او السابقة الاجهاد ، المشدودة على المساند ، يجب ان لا تقل عن القطر الاكبر للقضبان ، وكذلك بالنسبة للقضبان الافقية السفلية (عند صب الخرسانة) يجب ان لا تقل المسافة المذكورة عن ٢٥ مم ، وبالنسبة للقضبان العليا ، لا تقل عن ٣٠ مم . واذا كانت القضبان السفلية مرتبة فى اكثر من صفين ، عندئذ يجب ان لا تقل المسافة الافقية الفاصلة بين قضبان الصف الثالث (من الاسفل) والصفوف الموجودة فى اعلى ذلك الصف ، عن ٥٠ مم .

وعندما يكون الخيّز ضيقا ، يمكن ترتيب القضبان على هيئة أزواج بدون وجود فواصل بينها .

وتؤخذ المسافة الخالصة بين القضبان المحززة الجانبية ، استنادا الى القطر الاسمى بدون حساب النتوءات والاضلاع البارزة .

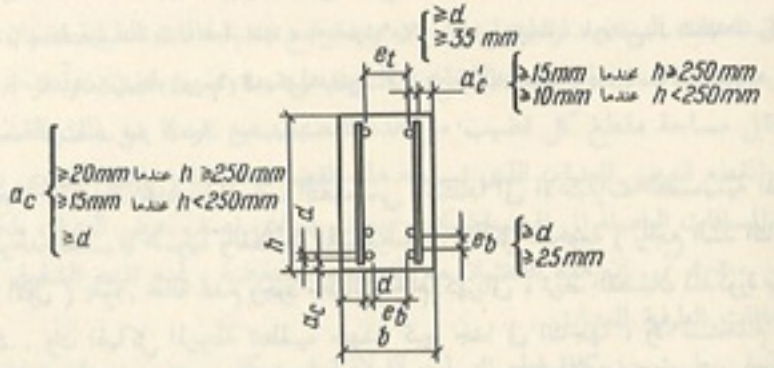
ان قضبان التسليح الطولية الفعالة فى العتبات (كما فى البلاطات) ترتب استنادا الى الرسوم البيانية لعزوم الانحناء فى مناطق الشد ، حيث يجب عليها ان تتحمل اجهادات وقوى الشد الطولية ، الناجمة عند تعرض الانشاء للانحناء تحت تأثير الحمل .

ومساحة مقطع قضبان التسليح الطولية الفعالة F_s (المحددة فى التصميم) يجب ان تبلغ فى القطع المعرضة للانحناء ، حدا لا يقل عن ٠٫٠٥ ٪ من مساحة خرسانة المقطع الفعال للقطعة ، المحسوبة للمقطع المستطيل بضرب عرضه b فى ارتفاعه الفعال $h_0 = h - a$ (حيث h – ارتفاع المقطع ؛ a – المسافة من القوة المحصلة فى قضبان التسليح الى حافة المقطع التي وضعت القضبان بقربها) .

ولاجل التسليح الطولى ، تستخدم عادة قضبان فولاذية محززة الجانبية (كما تستخدم قضبان ملساء بصورة أقل) يتراوح قطرها بين ١٢ – ٣٢ مم .

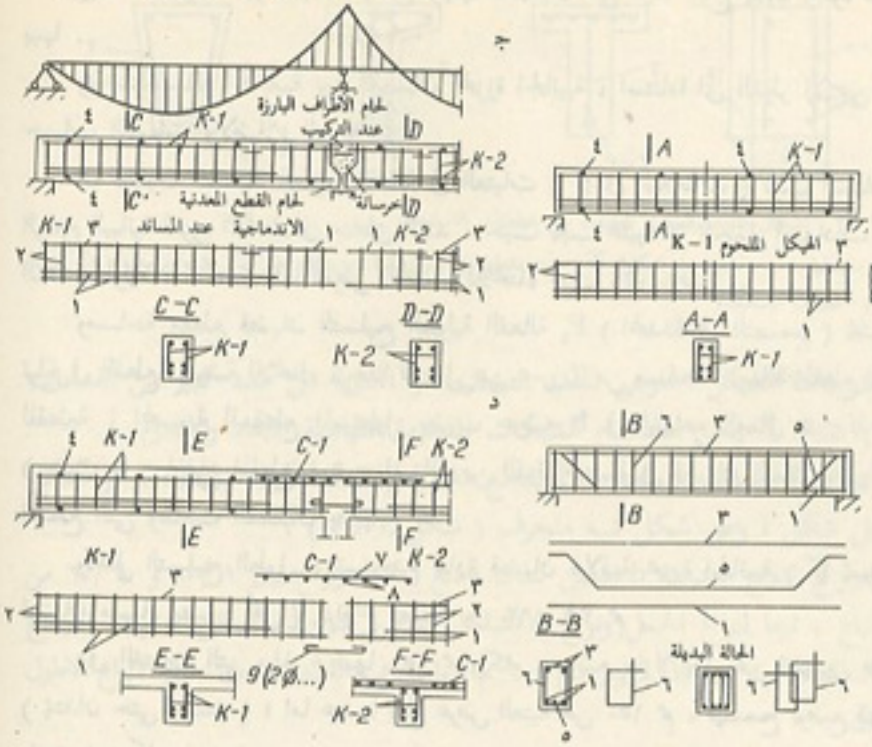
وفى العتبات التى يبلغ عرضها ١٥٠ مم واكثر ، يوضع ما لا يقل عن قضيبين طوليين (يمتدان حتى المسند) ؛ اما عندما يقل عرض العتبة عن ١٥٠ مم ، فيسمح بوضع قضيب واحد (هيكل واحد) .

وفى العتبات الخرسانية المسلحة ، تؤثر مع عزوم الانحناء فى نفس الوقت ، قوى القص ايضا (shearing forces) . وهذه الحالة تدعو الى ضرورة وضع قضبان تسليح مستعرضة .



شكل ٣ – ٤ . ترتيب قضبان التسليح فى المقطع العرضى للعتبات : a_c – الطبقة الواقية للقضبان الفعالة ، a'_c – الطبقة الواقية للقضبان التركيبية : d – القطر الاكبر للقضبان الفعالة ، e_b – المسافة الخالصة بين القضبان الطولية السفلية (عند الصب) ، e_t – المسافة الخالصة بين القضبان العلوية (عند الصب)

الرسم البياني للعروض (الناجمة عن الحمل الموزع بانتظام)



شكل ٣ – ٥ . مخططات تسليح العتبات :

أ – عتبة وحيدة الباع مسلحة بهياكل فولاذية ملحومة ؛ ب – عتبة وحيدة الباع مسلحة بهياكل مربوطة ؛ جـ – عتبة متعددة الأنواع سابقة الصنع ذات مقطع عرضى مستطيل ؛ د – عتبة متعددة الأنواع مصبوبة فى الموقع ذات مقطع على شكل – T ؛ ١ – قضبان تسليح طولية فعالة ، ٢ – القضبان المستعرضة لهياكل التسليح ، ٣ – القضبان التركيبية الطولية ، ٤ – القضبان التوصيلية المستعرضة ، ٥ – قضبان فعالة ذات اقسام محنية ، ٦ – اطواق هياكل التسليح المربوطة ، ٧ – القضبان الفعالة للشبكات فوق المساند ، ٨ – القضبان التركيبية (التوزيعية) للشبكات فوق المساند ، ٩ – القضبان التوصيلية (قضبان لا يقل قطرها عن ١٠ مم ، ولا يقل ايضا عن نصف قطر القضبان التوصيلية السفلية)

وكمية هذه القضبان تحدد بالحساب التصميمى واستنادا الى الاعتبارات التصميمية المعيّنة .

وتوحّد القضبان الطولية والقضبان المستعرضة فى هياكل ملحومة (راجع البند الثانى من الفصل الاول) ، ١٠، – الة عدم وجود مكنات لحام كهربائى ، تربط القضبان المذكورة بواسطة الاسلاك . وان الهياكل المربوطة تتطلب جهدا كبيرا جدا فى انتاجها ، ولا تستخدم الا فى الحالات التى لا تسمح فيها الظروف الموقعية باستخدام الهياكل الملحومة . وتربط الهياكل الملحومة المستوية مع بعضها البعض بواسطة قضبان افقية مستعرضة توضع على مسافات تتراوح بين ١ – ٥ر١ م من بعضها البعض ، فتتكون بذلك هياكل تسليح مجسمة .

ان كيفية تسليح العتبات الوحيدة الباع بالهياكل الفولاذية الملحومة ، مبينة فى الشكل (٣ – ٥ ، أ) . وعند التسليح بواسطة الهياكل المربوطة بالاسلاك (شكل ٣ – ٥ ، ب) تكون الاطواق الفولاذية فى العتبات المستطيلة المقطع ، مقفلة ؛ اما فى العتبات ذات المقطع T ، التى يكون فيها الضلع القائم للمقطع مرتبطا من طرفيه مع البلاطة المصبوبة ، يمكن أن تكون الأطواق الفولاذية مفتوحة من الاعلى . وفى العتبات التى يزيد عرضها على ٣٥ سم ، توضع اطواق رابطة متعددة الفروع (multiple stirrups) . وان قطر الاطواق الرابطة للهياكل المربوطة ، يجب ان لا يقل عن ٦ مم عندما يبلغ ارتفاع العتبة حدا يصل الى ٨٠٠ مم ، ولا يقل عن ٨ مم عندما يزيد الارتفاع على ذلك .

واستنادا الى الشروط الحسابية التصميمية ، نجد ان المسافة الطولية بين القضبان المستعرضة (او الاطواق) فى القطع الانشائية الخالية من القضبان المحنيّة ، يجب ان تساوى ما يلى : فى العتبات التى يصل ارتفاعها الى ٤٠٠ مم – لا اكثر من h/2 بحيث لا يزيد على ١٥٠ مم ؛ فى العتبات التى يزيد ارتفاعها على ٤٠٠ مم – لا اكثر من h/3 بحيث لا يزيد على ٥٠٠ مم . وهذه الشروط تنطبق على الاقسام العتبية الواقعة بين المساند ، التى طولها يساوى ١ /٤ طول باع القطعة فى حالة الحمل الموزع بانتظام ؛ اما بالنسبة للاحمال المركزة ، يمتد القسم المذكور بالاضافة الى ذلك ، الى مسافة أبعد تصل الى موضع اقرب حمل مؤثر على العتبة . وفى القسم الباقى من العتبة ، يمكن ان تكون المسافة بين القضبان المستعرضة (الاطواق) اكبر من ذلك ولكن لا تزيد على 3/4h ، ولا تبلغ اكثر من ٥٠٠ مم .

ان القضبان المستعرضة (الاطواق) فى العتبات (وفى الاضلاع القائمة للمقاطع T) التى يزيد ارتفاعها على ١٥٠ مم ، توضع حتى اذا لم تكن هناك حاجة اليها طبقا للتصميم ؛ وعندما يقل الارتفاع عن ١٥٠ مم ، يمكن عدم وضع القضبان المستعرضة .

وفى العتبات التى يزيد ارتفاعها على ٧٠٠ مم ، توضع عند الحافات الطرفية قضبان طولية اضافية على مسافات (على امتداد الارتفاع) لا تزيد على ٤٠٠ مم بين قضيب وآخر ؛ ويجب أن لا تقل مساحة مقطع كل قضيب من هذه القضبان عن ١ر٠ ٪ من ذلك القسم من مساحة المقطع العرضى للعتبة ، الذى تسلحه هذه القضبان مباشرة (بارتفاع يساوى نصف مجموع المسافات الواصلة الى اقرب قضبان ، وبعرض يساوى نصف عرض العتبة ، ولكن لا اكثر من ٢٠٠ مم) . ان هذه القضبان مع القضبان المستعرضة ، تمنع تفتح الشقوق المائلة عند الحافات الطرفية للعتبات .

ولاجل ربط وتوحيد كافة قطع التسليح الفولاذية فى هيكل موحد ، مستقر بثبات عند صبّ الخرسانة ، ولتثبيت اطراف القضبان المستعرضة ، توضع عند الحافات العليا للعتبات

قضبان تركيبية طولية يتراوح قطرها بين ١٠ – ١٢ مم . وفى العتبات السابقة الصنع يمكن استخدام القضبان التركيبية بمثابة قضبان تصميمية فى ظروف الشحن والتركيب .

وبدلا من القضبان المستعرضة او بالاضافة اليها ، يمكن ان تستخدم فى العتبات قضبان مائلة . وهذه القضبان تعمل بصورة اكثر فعالية من القضبان المستعرضة ، وذلك لانها أكثر ملاءمة لاتجاه اجهادات الشد الرئيسية فى العتبة . ولكن القضبان المستعرضة اسهل استخداما عند انتاج العتبات ، لذلك فانها تفضّل على القضبان المائلة .

وتوضع القضبان المائلة عادة بزاوية ٤٥ درجة على القضبان الطولية . وفى العتبات المرتفعة المقطع (اكثر من ٨٠٠ مم) يمكن زيادة زاوية الميل الى ٦٠ درجة ، وفى العتبات غير المرتفعة المقطع ، وكذلك عندما تكون الأحمال مركزة ، تنخفض زاوية الميل الى ٣٠ درجة .

وعند تسليح العتبات بالهياكل المربوطة (من الصنفين A-I و A-II) فانه لاجل الاقتصاد فى الفولاذ وتحسين تصميم الهيكل ، يستحسن حنى بعض القضبان الطولية الفعالة ، فى باع العتبة (لاحظ الشكل ٣ – ٥ ، ب) . ان نصف قطر الانحناء المذكور يجب ان لا يقل عن 10d . ويجب ان تنتهى الاقسام المحنية باقسام مستقيمة لا يقل طولها عن $0{,}8l_{an}$ (راجع الفقرة الرابعة من البند الثالث – الفصل الاول) ولا يقل عن 20d فى منطقة الشد او عن 10d فى منطقة الانضغاط . وان الاقسام المستقيمة من القضبان المنحنية الملساء ، تنتهى بخطاطيف (hooks) .

ان العتبات المتعددة الابواع السابقة الصنع ، تتألف من قطع منفردة وحيدة الباع مسلحة بهياكل ملحومة (لاحظ الشكل ٣ – ٥ ، جـ) . ويحدد موضع القضبان الفعالة فى الهياكل ، واطوال تلك القضبان ، من الرسم البيانى لعزوم الانحناء ، كما هى الحالة فى العتبات المتواصلة ، اى المتعددة الابواع .

وفى الوصلات الواقعة فوق المساند المتوسطة (البينيّة) تلحم الاقسام البارزة للقضبان الفعالة العليا ، مع بعضها البعض عند التركيب ، باستخدام حشية تركيب معدنية بواسطة اللحام فى حوض من المعدن المنصهر ، كما تلحم القضبان السفلى مع حشيات المساند المعدنية بواسطة تركيبات مسندية خاصة مبيّتة فى القطع السابقة الصنع . وبعد انجاز اللحامات اللازمة ، تغطى الوصلة بالخرسانة (تصب بالخرسانة) .

وفى العتبات T المتعددة الابواع المصبوبة ، المسلحة بهياكل فولاذية ملحومة (لاحظ الشكل ٢ – ٥ ، د) ، توضع شبكات ملحومة فوق المساند المتوسطة . وتكون قضبانها الطولية الفعالة متجهة بمحاذاة الباع ؛ والغرض منها هو مقاومة او تحمل قوى منطقة الشد فوق المساند ، التى تنشأ فى هذه المواضع فى العتبات المتعددة الابواع .

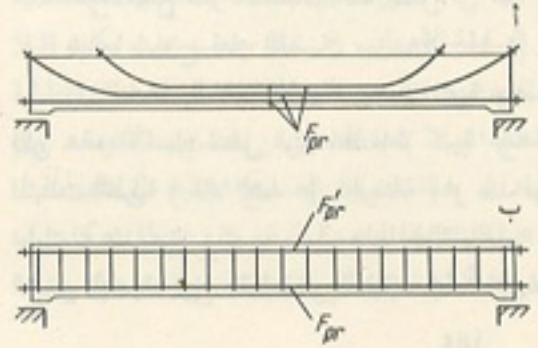
اما فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء ، فيتم ترتيب قضبان واسلاك التسليح طبقا للرسوم البيانية لعزوم الانحناء وقوى القص ، الناجمة نتيجة لتأثير الحمل .

ان التسليح بواسطة القضبان والاسلاك السابقة الاجهاد المنحنية (شكل ٣ – ٦ ، أ) هو اكثر ملاءمة للشكل الخارجى لمسار اجهادات الشد الرئيسية ، لذلك فهو اكثر واقعية ، ولكنه اصعب من التسليح بواسطة القضبان المستقيمة (شكل ٣ – ٦ ، ب) . وفى الحالة الاخيرة ، غالبا ما يوضع بالاضافة الى فولاذ التسليح F_{pr} الذى يتحمل اجهادات منطقة الشد المعرضة للحمل ، فولاذ التسليح F'_{pr} ايضا ، فى الوجه المعاكس للعتبة ، بكمية تتراوح بين $(0{,}15 - 0{,}25)F_{pr}$. وهذا مفيد فى العتبات الكبيرة الارتفاع ، حيث تؤثر قوى الانضغاط خارج قلب المقطع وتولد شدا فى الوجه المقابل من المقطع ، يمكن ان يؤدى الى تكوين الشقوق فى هذه المنطقة (اثناء عملية انتاج القطع) .

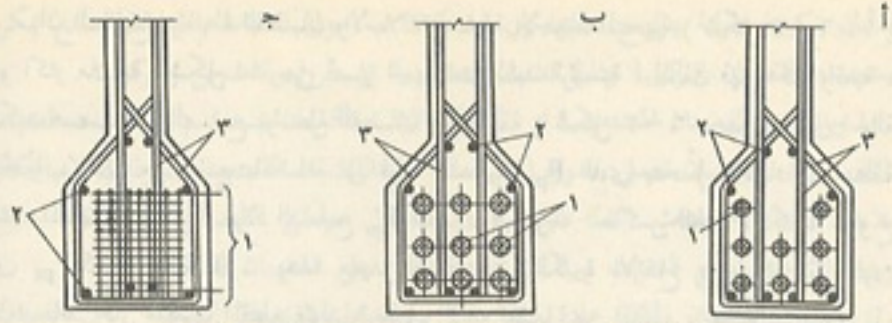
وفى القطع او العتبات ذات المقطع الصغير الارتفاع ، يمكن عدم وضع القضبان السابقة الاجهاد عند الوجه العلوى للعتبة ، ويمكن اخماد تفتح الشقوق العلوية (السطحية) باستخدام قضبان تركيبية غير سابقة الاجهاد .

ان الشكل الافضل للمقطع العرضى للعتبات المعرضة للانحناء ، هو الشكل I (لاحظ الشكل ٣ – ٣ ، جـ) . اما فى حالة الوترة الغليضة للعتبة المعرضة للانحناء فالشكل الافضل هو T (لاحظ الشكل ٣ – ٣ ، ب) . ان شفة المقطع المنضغطة ، تكون متناسبة الابعاد طبقا لشرط مقاومة محصلة الانضغاط التابعة لزوج القوى الداخلى لعزم الانحناء ، الناجم فى القطعة المعرضة للحمل ، اما عرض منطقة الشد ، فيؤخذ طبقا لشرط ترتيب قضبان التسليح فيها ، وكذلك طبقا لشرط تأمين مقاومة هذا القسم من المقطع ، فى حالة انضغاط العتبة (فى العتبات السابقة الاجهاد) .

ان فولاذ التسليح يرتب فى مناطق الشد فى المقاطع العرضية للعتبات ، طبقا لما هو مبين فى الشكل (٣ – ٧) . وفى هذه الحالة ، تؤخذ الطبقة الخرسانية الواقية ، والمسافة الفاصلة بين القضبان ، والكبلات المشدودة على المساند ، طبقا لما هو مبين فى الشكل (٣ – ٤) . واذا شدت القضبان والاسلاك الفولاذية على الخرسانة ، عندئذ يجب ان لا تقل المسافة



شكل ٣ – ٦ . الرسم التخطيطى لتسليح العتبات السابقة الاجهاد :
أ – قضبان تسليح منحنية سابقة الاجهاد ؛
ب – قضبان تسليح مستقيمة سابقة الاجهاد



شكل ٣-٧ . ترتيب فولاذ التسليح فى منطقة الشد من المقطع العرضى للعتبات السابقة الاجهاد :

أ - التسليح بالقضبان الفولاذية المخرزة المقطع ؛ ب - التسليح بالكبلات السلكية المجدولة المارة فى القنوات ؛ جـ - التسليح بالاسلاك العالية المقاومة ؛ ١ - قضبان سابقة الاجهاد ، ٢ - قضبان طولية غير سابقة الاجهاد ، ٣ - قضبان مستعرضة

الفاصلة بين سطح العتبة وسطح القناة ، عن ٤٠ مم ولا تقل عن عرض القناة بالذات . وهذه المسافة الممتدة حتى السطوح الجانبية للعتبة ، يجب بالاضافة الى ذلك ان لا تقل عن نصف ارتفاع القناة . وان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية لقضبان واسلاك التسليح الواقعة فى الاخاديد او خارج حافات العتبة ، يجب ان لا يقل عن ٢٠ مم ابتداء من السطح الخارجى للخرسانة الاضافية المفروشة . كما يجب ان لا تقل المسافة الفاصلة الخالصة بين القنوات ، بالنسبة للقضبان والاسلاك المشدودة على الخرسانة ، عن مقدار قطر القناة ، ولا تقل باى حال عن ٥٠ مم .

وتؤخذ زاوية ميل القضبان المنحنية المشدودة على الخرسانة ، بحيث لا تزيد على ٣٠ درجة ، ويؤخذ قطر الانحناء وفقا للترتيب التالى (منعا لحدوث فقدان كبير فى الاجهادات المسبقة) :

عندما يبلغ قطر الاسلاك ٥ مم (واقل) وقطر الكبلات ٤٫٥ - ٩ مم ... لا اقل من ٤ مم كالسابق ، بقطر يساوى ٦ - ٨ مم (واقل) وقطر الكبلات ١٢ - ١٥ مم ... لا اقل من ٦ مم

عندما يبلغ قطر القضبان حدا يصل الى ٢٥ مم .... لا اقل من ١٥ مم

عندما يتراوح قطر القضبان بين ٢٨ - ٤٠ مم ..... لا اقل من ٢٠ مم

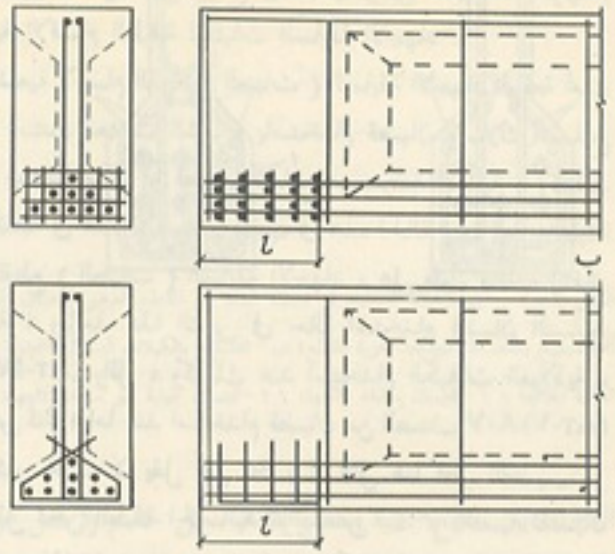
وفى العتبات السابقة الاجهاد ، هناك اهمية خاصة لتصميم الاقسام القريبة من المساند . ففى هذه الاقسام تنتقل قوى انضغاط كبيرة جدا ، من الفولاذ الى الخرسانة عن طريق المثبتات الطرفية (عند الشد على الخرسانة) او عند فولاذ التسليح الخالى من قطع التثبيت فى نهاياته ، عند مواضع تثبيته . وفى هذه الحالة بالذات ، عند التأثير اللامحورى لفولاذ التسليح السابق الاجهاد على القطعة او العتبة ، تنشأ اجهادات موضعية زائدة فى القسم الطرفى

للعتبة ، يمكن ان تؤدى الى ظهور الشقوق التى تنفتح فى جانب واعلى العتبة عند طرفها . ولهذا السبب يجب تعزيز وتقوية الاقسام الطرفية للعتبات السابقة الاجهاد .

وينصح ان تتم التقوية الموضعية لاقسام القطع (العتبات) السابقة الاجهاد الواقعة تحت المثبتات ، وكذلك فى مواضع استناد معدات الشد ، باستخدام قضبان واسلاك التسليح السابقة الاجهاد بواسطة قطع معدنية مبيّتة او قضبان تسليح مستعرضة اضافية ، وكذلك بزيادة مساحة المقطع العرضى للعتبة فى هذه الاقسام . ويجب فى هذه الحالة زيادة ثخن الطبقة الخرسانية الواقية عند اطراف القطع (العتبات) السابقة الاجهاد ، على طول منطقة انتقال القوى من الفولاذ الى الخرسانة ؛ ويؤخذ هذا الثخن فى حالة استخدام قضبان التسليح الفولاذية من الصنف A-IV (AT-IV) واقل ، وكذلك عند استخدام الكبلات الفولاذية ، بحيث لا يقل (اى الثخن) عن 2d ؛ اما عند استخدام قضبان من الصنف A-V (AT-V) فما فوق ، يؤخذ الثخن المذكور بحيث لا يقل عن 3d (d تمثل هنا قطر القضيب او الكبل) . وهنا يجب أن لا يقل ثخن الطبقة الخرسانية الواقية عن ٤٠ مم بالنسبة لقضبان التسليح (من كافة الاصناف) ولا يقل عن ٢٠ مم بالنسبة لكبلات التسليح المجدولة . وبالنسبة للاقسام الطرفية للقطع الانشائية ، يسمح باخذ ثخن الطبقة الخرسانية الواقية ، كما هو عليه فى الطول الباقى من القطعة عند وجود قطعة ساندة فولاذية ، مثبتة جيدا فى خرسانة القطعة السابقة الاجهاد ، ووجود قضبان تسليح اضافية مستعرضة او غير مباشرة ، تنتشر على امتداد كافة القضبان الطولية السابقة الاجهاد .

واذا رتب فولاذ التسليح السابق الاجهاد عند اطراف القطع الانشائية ، ترتيبا مركزا عند السطحين العلوى والسفلى ، عندئذ لا بد من وضع قضبان اضافية مستعرضة سابقة الاجهاد او غير سابقة الاجهاد عند طرف القطعة .

ويجب اتمام الشد المسبق للقضبان المستعرضة ، قبل الشد المسبق للقضبان الطولية ، كما يجب ان تكون قوى الشد فيها ، ذات قيمة لا تقل عن ١٥ ٪ من قوى شد القضبان الطولية لمنطقة الشد عند المقطع الواقع فوق المسند ، اى مقطع المسند . ويجب ان تكون القضبان المستعرضة غير السابقة الاجهاد ، مثبتة جيدا عند الاطراف بواسطة لحامها مع القطع المعدنيّة المبيّتة . ان مقطع القضبان العرضية غير السابقة الاجهاد ، يجب ان يصمم بحيث يكون قابلا لتحمل (مقاومة) نسبة من القوى لا تقل عن ٢٠ ٪ من القوى الناشئة فى القضبان الطولية السابقة الاجهاد (للمنطقة السفلى لمقطع المسند) ، المحددة من حساب المقاومة . وفى اطراف القطع الانشائية السابقة الاجهاد فى حالة قضبان التسليح الخالية من المثبتات ، وكذلك فى حالة وجود مثبتات ، تجرى عملية التقوية الموضعية للخرسانة بواسطة شبكات او اطواق فولاذية اضافية ، تشمل كافة القضبان الطولية (شكل ٣ - ٨) . ويؤخذ طول منطقة



شكل ٣-٨ . التقوية الموضعية للاقسام الطرفية للعتبات السابقة الاجهاد :
أ- بواسطة الشبكات الملحومة المستعرضة ؛ ب- بواسطة الاطواق المعدنية او الشبكة الملحومة المطوقة

التقوية مساويا لضعف طول قطع التثبيت ، وفى حالة عدم وجود قطع للتثبيت ، يؤخذ الطول المذكور بحيث لا يقل عن $0,6l_{tr}$ (راجع البند الثالث من الفصل الاول) ، ولا يقل عن ٢٠ سم .

وفى الاقسام الطرفية للقطع الانشائية السابقة الاجهاد ، فى حالة قضبان التسليح الخالية من المثبتات الطرفية ، لا تسمح المواصفات القياسية بظهور الشقوق فيها فى حالة التأثير الموحد لكافة الاحمال (عدا الاحمال الخاصة) . وبالنسبة لمرحلة الانضغاط المسبق يمكن السماح بظهور هذه الشقوق فى القسم المعرض للشد (نتيجة للاجهاد المسبق) من اقسام المقطع ، اذا انعدم هنا وجود قضبان التسليح السابقة الاجهاد الخالية من المثبتات ، وطول منطقة انتقال الاجهادات لا يزيد على $2h_0$ (حيث h_0 تمثل الارتفاع الفعال لمقطع القطعة عند حافة المسند) وعلى شرط وضع قضبان طولية غير سابقة الاجهاد ، ترتب فى جدار القطعة الانشائية فى القسم المعرض للشد عند الانضغاط من اقسام المنطقة القريبة من المسند ، بطول لا يقل عن $2h_0$ من بداية منطقة انتقال الاجهادات الى الخرسانة . ومساحة مقطع هذه القضبان الفولاذية ، يجب ان لا تقل عن ٢ر٠ ٪ من مساحة مقطع القطعة الواقع فوق المسند مباشرة .

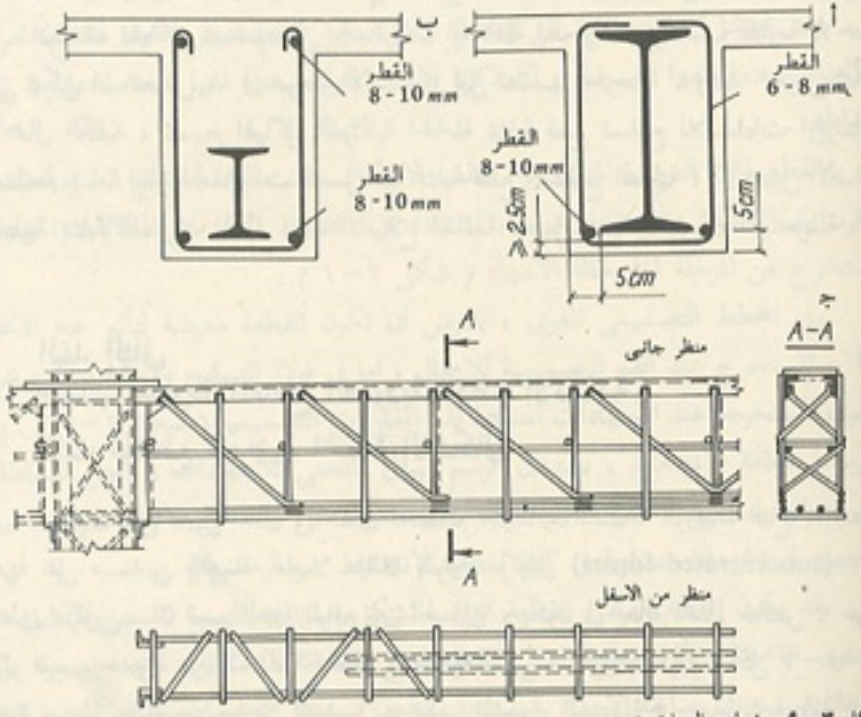
وعند المساند الطرفية الطليقة (غير المثبتة) للقطع الانشائية المعرضة للانحناء (كالعتبات والبلاطات) ولغرض تأمين تثبيت القضبان الطولية (الواصلة الى المساند) يجب ان تمتد هذه القضبان الى ما وراء الوجه الداخلى للمسند ، بمسافة لا تقل عن 5d ، اذا لم

يتوقع ظهور الشقوق فى القسم القريب من المسند ، حسب التصميم ، استنادا الى الصيغة (3-62) ؛ اما فى حالة توقع ظهور الشقوق ، عندما لا يراعى الشرط (3-62) يجب ان لا تقل المسافة المذكورة عن 10d .

ان طول منطقة التثبيت l_{an} عند المسند الطرفى الطليق ، يحدد من الصيغة (1-20) ومن السطر الثانى فى الجدول (١ - ٢) . واذا كانت $l_{an}<10d$ يمكن اخذ طول الوصلة المثبتة l_{an} من الجدول ، ولكن بحيث لا يقل عن 5d . وفى هذه الحالة ، وكذلك عند لحام اطراف القضبان مع قطع التثبيت الفولاذية المبيّتة ، لا يحدث اى انخفاض فى المقاومة التصميمية للقضبان الطولية الواقعة عند قسم العتبة فوق المسند مباشرة .

ان اجهاد انضغاط الخرسانة عند المسند (المستخرج بتقسيم رد فعل المسند على مساحة تحميل القطعة) يجب ان لا يزيد على $0,5R_{pr}$.

وفى القطع المعرضة للانحناء ، فى ظروف معينة ، تستخدم المقاطع الفولاذية المدلفنة (المقاطع الفولاذية الجاسئة) والهياكل الفولاذية الملحومة المجسمة ، بمثابة قطع تسليح حاملة ، اى مقاومة للاحمال .



شكل ٣-٩ . تسليح العتبات :
أ و ب- بفولاذ تسليح جاسىء حامل ؛ جـ- بهيكل فولاذى ملحوم

والقطع ذات التسليح الجاسىء تكون على نوعين : النوع الاول الذى ترتب فيه المقاطع الفولاذية الجاسئة على امتداد ارتفاع مقطع العتبة برمته (شكل ٣ – ٩ ، أ) ؛ والنوع الثانى الذى توضع فيه المقاطع الفولاذية الجاسئة كلها فى منطقة الشد من مقطع العتبة (شكل ٣ – ٩ ، ب) .

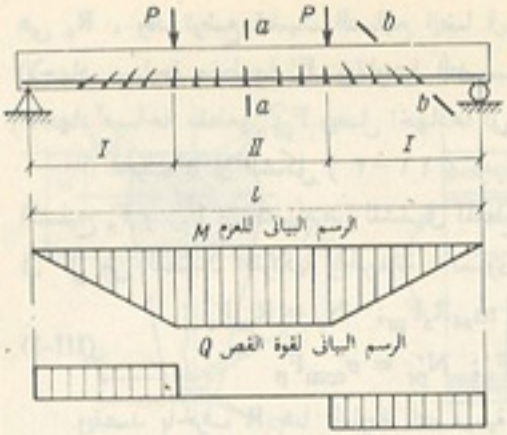
وتوضع فى العتبات من كلا النوعين المذكورين ، قطع تسليح فولاذية اضافية ، على هيئة شبكات او اطواق ملحومة وقضبان تركيبية طولية يتراوح قطرها بين ٨ – ١٠ مم . وان قطع التسليح الفولاذية هذه ، تقلل فتحات الشقوق فى الخرسانة وتحسن التصاقها مع قطع التسليح الجاسئة . وفى العتبات من النوع الاول ، توضع القضبان المستعرضة بدون حساب مسبق ، بقطر يتراوح بين ٦ – ٨ مم . اما فى العتبات من النوع الثانى ، فتوضع القضبان المستعرضة استنادا الى الحساب الخاص بها ، وهنا يمكن ان توضع بالاضافة الى الاطواق والشبكات ، قضبان منحنية ملحومة مع الشفة العليا للمقطع . ان ثخن الطبقة الخرسانية الواقية (الغطاء الخرسانى) لقطع التسليح الفولاذية الجاسئة ، يجب ان لا يقل عن ٥٠ مم .

ان الهياكل الملحومة الحاملة (المقاومة للحمل) تنتج على هيئة هياكل مجسمة مؤلفة من قضبان مدورة ومحززة الجانبية وكذلك من مقاطع مدلفنة صغيرة (شكل ٣ – ٩ ، جـ) .

ان بهذه الهياكل تصمم مثل الجمالونات الفولاذية الملحومة ، وتحسب لمقاومة الاحمال التى يمكن ان تتعرض لها فى مرحلة الانشاء ، قبل تصلب الخرسانة . وعند التعرض لتأثير الاحمال الكلية ، تصبح الهياكل الفولاذية الحاملة بمثابة قطع تسليح للانشاءات الخرسانية المسلحة ؛ اما اوتار الجمالونات، فتعمل هنا بمثابة قطع التسليح الطولية ؛ كما تعمل الاضلاع القطرية بمثابة القضبان المحنيّة ، اما الاضلاع القائمة فتعمل بمثابة القضبان المستعرضة .

البند الثانى
حساب مقاومة المقاطع العمودية للقطع الانشائية
ذات المقاطع العرضية المختلفة الاشكال

لنبحث على سبيل المثال ، احدى العتبات الخرسانية المسلحة الوحيدة الباع ، المحمولة بحرية على مسندين والمحملة تحميلا متماثلا بقوتين مركزتين (concentrated forces) ، او حملين مركزيّين . ان قسم العتبة الواقع بين الحملين ، يكون فى حالة انحناء خالص ، حيث يؤثر ضمن حدودة عزم الانحناء M فقط ، اما قوة القص فتساوى صفرا (شكل ٣ – ١٠) . وعند مرحلة معينة من مراحل التحميل ، تظهر الشقوق العمودية فى خرسانة منطقة الشد لهذا القسم من العتبة ، اى الشقوق المتجهة بصورة عمودية على المحور الطولى للعتبة . اما فى



شكل ٣ – ١٠ . المرسم التخطيطى لقطعة انشائية معرضة للانحناء: I – منطقة تأثير العزم M وقوة القص Q ، II – منطقة تأثير العزم ، a-a – مقطع عمودى ، b-b – مقطع مائل

الاقسام الواقعة بين المسند والحمل ، فيؤثر فى وقت واحد كل من عزم الانحناء M وقوة القص Q . وتتكون فى هذه المنطقة شقوق مائلة .

واستنادا الى ذلك ، تحسب مقاومة القطع المعرضة للانحناء ، فى كل من المقاطع العمودية (a-a) والمقاطع المائلة (b-b) .

وقد تحدثنا فى البند الاول من الفصل الثانى ، عن طبيعة انهيار وتحطم القطع المعرضة للانحناء من مقاطعها العمودية ، كما ذكرنا الاسس التى يستند عليها حساب مقاومة تلك المقاطع .

القطع ذات العرضية المتماثلة من مختلف الاشكال : ان مقاومة المقاطع العمودية للقطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء ، استنادا الى المجموعة الاولى من الحالات الحدية ، تستخرج من المرحلة III لحالة الاجهاد (شكل ٢ – ١) .

وفى المخطط التصميمى للقوى ، يفترض ان تكون القطعة معرضة لتأثير عزم الانحناء M ، المستخرج عند القيم التصميمية للاحمال ، اما فى فولاذ التسليح وفى الخرسانة ، فتؤثر القوى المستخرجة عند الاجهادات المساوية لقيم المقاومات التصميمية (شكل ٣ – ٢) . وفى خرسانة منطقة الانضغاط ، يستبدل الرسم البيانى المنحنى للاجهادات (لاجل البساطة) برسم بيانى مستطيل ، الامر الذى لا يؤثر تأثيرا ملموسا على قيمة عزم الانحناء . وتؤخذ قيمة الاجهاد فى الخرسانة متساوية فى كافة منطقة الانضغاط ، وقدرها R_{pr} .

وقد يكون المقطع العرضى للقطعة مختلف الشكل ، متماثلا بالنسبة للمحور المنطبق على مستوى الانحناء . وفى منطقة الشد التابعة لمقطع القطعة الانشائية ، توجد بصورة عامة قضبان تسليح غير سابقة الاجهاد ، مساحة مقطعها تساوى F_s ، ومقاومتها التصميمية للشد هى R_s ، كما توجد قضبان سابقة الاجهاد مساحة مقطعها F_{pr} ، ومقاومتها التصميمية للشد

هى R_s . وقد توضع قضبان التسليح ايضا فى منطقة الانضغاط : قضبان غير سابقة الاجهاد مساحة مقطعها F'_s ومقاومتها التصميمية للانضغاط $R_{s.com}$ وقضبان سابقة الاجهاد مساحة مقطعها F'_{pr} ويصل اجهادها الى حد معين σ'_{com} .

ان الحرف a فى الشكل (٣ – ١١) يرمز الى المسافة بين محصلة القوى فى قضبان التسليح F_s و F_{pr} والوجه المعرض للشد فى المقطع . وان قيم محصلات الاجهادات المتعامدة فى كل من القضبان الفولاذية والخرسانة ، تساوى ما يلى :

$$\left.\begin{aligned} N_s = R_s F_s;\ \ N_{pr} = m_{s4} R_s F_{pr};\ \ N_c = R_{pr} F_c \\ N'_s = R_{s.\,com} F'_s;\ \ N'_{pr} = \sigma'_{com} F'_p \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-1)}$$

ويقصد بالحرف R هنا المقاومة التصميمية للمواد ؛ بينما m_{s4} تمثل المعامل الاضافى للخدمة ، الذى يأخذ فى الاعتبار زيادة مقاومة قضبان التسليح المشدودة السابقة الاجهاد ذات المقاومة العالية ، التى تزيد اجهاداتها على نقطة الخضوع الاصطلاحية ، المحسوبة من الصيغة الوضعية (II-46) :

$$m_{s4} = \bar{m}_{s4} - (\bar{m}_{s4} - 1)\xi/\xi_R \qquad \text{(III-2)}$$

حيث $\bar{m}_{s4}$ – القيمة القصوى للمعامل m_{s4} ، المأخوذة كما يلى :

لفولاذ التسليح من الصنفين A-IV و AT-IV 1,2

كالسابق ، من الاصناف A-V ، AT-V ، B-II ، Bp-II ، K-7 ، 1,15

كالسابق ، من الصنف AT-VI 1,1

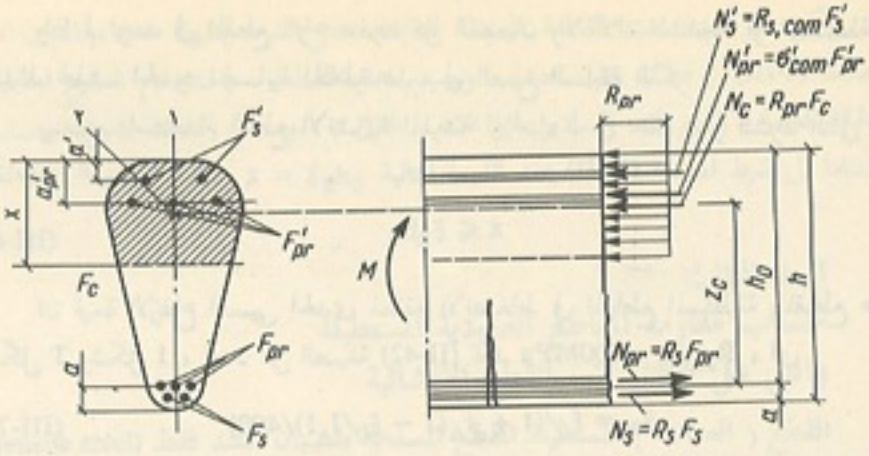
ولكن المعامل m_{s4} يؤخذ عادة بحيث لا تزيد قيمته على 1,1 فى حالة وجود وصلات ملحومة لفولاذ التسليح من الصنفين A-IV و A-V فى منطقة القطعة الانشائية التى تزيد فيها عزوم الانحناء بمقدار ٩٪ على قيمة العزم التصميمى الاقصى .

وبالنسبة للصيغة (3-2) يحسب الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط $\xi = x/h_0$ من العلاقة (III-3) عند $m_{s4} = 1$ ، اما ξ_R – فهى القيمة الحدية للارتفاع النسبة لمنطقة انضغاط الخرسانة ، التى عندها تحل الحالة الحدية للقطعة فى وقت واحد مع وصول الاجهاد فى القضبان المشدودة الى قيمة مساوية للمقاومة التصميمية للفولاذ ، وتحدد من الصيغة (III-7) .

ومن شرط مساواة مجموع مساقط كافة القوى المتعامدة على محور القطعة ، للصفر :

$$R_s F_s + m_{s4} R_s F_{pr} - R_{pr} F_c - R_{s.\,com} F'_s - \sigma'_{com} F'_{pr} = 0 \qquad \text{(III-3)}$$

يمكن تحديد مساحة مقطع الخرسانة F_c فى منطقة الانضغاط ، وبواسطتها يمكن تحديد ارتفاع منطقة الانضغاط x .



شكل ٣ – ١١ . الرسم التخطيطى للقوى عند حساب مقاومة المقطع العرضى العمودى للقطع الانشائية المعرضة للانحناء :
١ – محور تماثل مقطع القطعة الانشائية ، ٢ – مركز ثقل مساحة عرسانة منطقة الانضغاط

ان مقاومة القطعة الانشائية تعتبر كافية ، اذا كانت قيمة عزم الانحناء الخارجى المصمم ، لا تزيد على السعة الحملية المصممة للمقطع ، المعبر عنها على هيئة عزم القوى الداخلية العكسى الاتجاه . وفى حالة العزوم المأخوذة حول المحور العمودى على مستوى تأثير عزم الانحناء والمار فى نقطة تأثير محصلة القوى فى كافة القضبان المشدودة F_s و F_{pr} ، عندئذ يتم التعبير عن شرط المقاومة بواسطة المتباينة التالية :

$$M \leqslant R_{pr} F_c z_c + R_{s.\,com} F'_s (h_0 - a') + \sigma'_{com} F'_{pr} (h_0 - a'_{pr}) \qquad \text{(III-4)}$$

وعند استخدام الصيغتين (III-3) و (III-4) يحدد الاجهاد σ'_{com} فى الفولاذ F'_{pr} من الصيغة التالية :

$$\sigma'_{com} = 400 - m_{ac}\sigma_0 \qquad \text{(III-5)}$$

حيث 400MPa – تمثل اجهادات الانضغاط مقاسة بالميجاباسكال المحددة من شرط الانفعالات الموحدة للفولاذ والخرسانة فى حالة الانضغاطية القصوى ، اى $\varepsilon_c^{ult} E_s = 0{,}0020 \times 200000 = 400\text{MPa}$ ؛ حيث m_{ac} – تمثل معامل دقة شد او سحب قضبان التسليح F'_{pr} ، الذى يساوى 1,1 ؛ σ_0 – تمثل اجهاد الشد المسبق فى قضبان التسليح F'_{pr} مع اخذ الفقدان المناظر فى الاعتبار .

وعند القيمة $m_{ac}\sigma_0 < 400\text{MPa}$ ، تكون القضبان الفولاذية منضغطة ، وهو الأمر الموضح فى الشكل (٣ – ١١) ؛ بينما تكون مشدودة فى الحالة المخالفة لذلك .

واذا لم توجد فى المقطع انواع منفردة من القضبان والاسلاك المشدودة او المنضغطة ، عندئذ تحذف الحدود الحسابية المناظرة لها ، فى الصيغ السابقة الذكر .

وينصح باستخدام القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، فى حالة توفر الشرط التالى فى مقاطعها العرضية :

$$x \leqslant \xi_R h_0 \qquad \text{(III-6)}$$

ان قيمة الارتفاع النسبى الحدى لمنطقة الانضغاط فى المقاطع المستطيلة والمقاطع على شكل T وشكل I ، تحدد من الصيغة (II-42) عند $R_{s.com} = 400MPa$ ، اى :

$$\xi_R = \xi_0/[1 + \sigma_A(1 - \xi_0/1,1)/400] \qquad \text{(III-7)}$$

حيث ξ_0 – خصائص منطقة انضغاط الخرسانة ، المحددة للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، من الصيغة التالية :

$$\xi_0 = a - 0,008R_{pr} \qquad \text{(III-7a)}$$

وفيها تؤخذ قيمة R_{pr} مقاسة بالميجاباسكال ؛ اما قيمة a فتساوى 0,85 للخرسانة الثقيلة و 0,8 للخرسانة ذات الاخلاط المسامية .

وفى الصيغة (III-7) يؤخذ الاجهاد الاسمى (الاصطلاحى) فى فولاذ التسليح استنادا الى الصيغة (II-43) عندما : $0,002E_s = 400MPa$ مساويا لما يلى :

$$\sigma_A = R_s + 400 - \sigma_0 \qquad \text{(III-8)}$$

وللفولاذ الخالى من نقطة الخضوع (من الصنف A-IV فما فوق) وللاسلاك من الصنفين B-II و Bp-II ، والكبلات السلكية المجدولة ، وتؤخذ $\sigma_A = R_s$ للفولاذ الذى له نقطة خضوع معينة (من الاصناف A-I ، A-II ، A-III) والاسلاك الفولاذية (من الصنفين B-I و Bp-I) ، التى لا تستخدم عادة لغرض الاجهاد المسبق .

وهنا R_s – تمثل المقاومة التصميمية للشد ، للقضبان والاسلاك الفولاذية بدون اعتبار المعامل m_{a4} ولكن باخذ عوامل الخدمة الاخرى فى الاعتبار m_{ac} ؛ σ_0 – تمثل قيمة الاجهاد المسبق فى الفولاذ مع اخذ الفقدان المناظر للاجهاد فى الاعتبار ، عند معامل دقة الشد m_{ac} الذى تقل قيمته عن الواحد .

وعند استخدام الخرسانة ذات عامل الخدمة $m_{c1} = 0,85$ (الملحق II فى آخر الجزء الثانى من الكتاب) ، يحسب الاجهاد σ'_{com} فى الصيغة (III-4) من المعادلة $\sigma_{com} = (500 - m_{ac}\sigma_0)$ ولكن لا يجب ان يزيد على $R_{s.com}$ ؛ اما فى الصيغة (III-7) فيوضع الرقم 500 عوضا عن الرقم 400 .

ولكن اذا استخدمت القطعة المعرضة للانحناء عند الشرط $x > \xi_R h_0$ ، المثبت من الصيغة (III-3) ، عندئذ يجب حساب وتصميم هذه القطعة ، باستخدام الصيغ الخاصة بالحالة العامة (راجع البند السادس من الفصل الثانى) ؛ ويسمح كذلك باجراء الحساب استنادا الى شرط المعادلة (III-4) عند القيمة التالية $x = \xi_R h_0$.

البند الثالث
حساب مقاومة المقاطع العمودية المستطيلة والتى على شكل T ، للقطع الانشائية

القطع (العتبات) المستطيلة المقطع المسلحة بقضبان الشد فقط (tensile steel).

ان القطعة الانشائية ذات المقطع العرضى المستطيل المسلح بقضبان فولاذية لمقاومة الشد فقط (غير سابقة الاجهاد) تتميّز بالخواص الهندسية التالية (شكل ٣ – ١٢) :

$$F_c = bx \quad ; \quad z_c = h_0 - 0,5x \qquad \text{(III-9)}$$

حيث h_0 و b – تمثلان الارتفاع الفعال وعرض المقطع على التوالى .

ويحدد ارتفاع منطقة الانضغاط استنادا الى المعادلة (III-3) من الصيغة التالية :

$$bxR_{pr} = R_s F_s \qquad \text{(III-10)}$$

ويكون شكل شرط المقاومة استنادا الى الصيغة (III-4) كما يلى :

$$M \leqslant R_{pr} bx(h_0 - 0,5x) \qquad \text{(III-11)}$$

ومن السهل كذلك استخدام الصيغة الخاصّة بالعزوم المأخوذة حول المحور المار فى مركز ثقل منطقة الانضغاط :

$$M \leqslant R_s F_s(h_0 - 0,5x) \qquad \text{(III-12)}$$

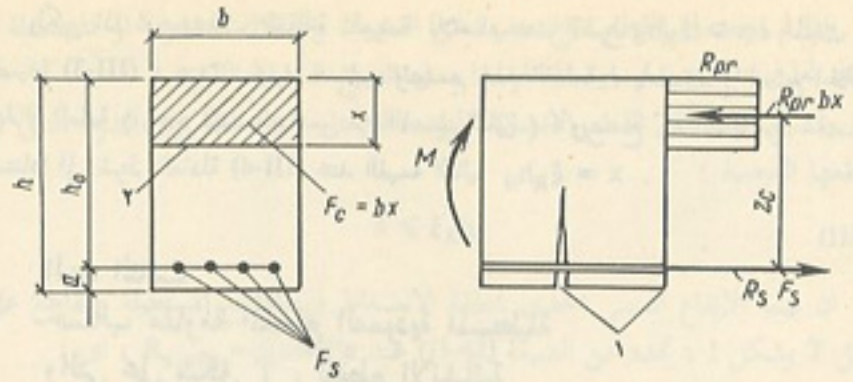
ان الصيغ (III-10) و (III-11) او (III-12) تستخدم فى آن واحد معا . وهى صحيحة فى حالة $x < \xi_R h_0$ حيث ξ_R تحدد من الصيغة (III-7) .

ان معامل التسليح فى هذه الحالة

$$\mu = F_s/bh_0 \qquad \text{(III-13)}$$

والنسبة المئوية للتسليح $\mu \times 100$ مع الاخذ فى الاعتبار العلاقة (III-10) وقيمة $\xi = x/h_0$ ، يمكن تصورهما على الشكل التالى :

$$\mu = \xi R_{pr}/R_s$$
$$\mu = 100\xi R_{pr}/R_s(\%) \qquad \text{(III-14)}$$



شكل ٣ – ١٢ . المقطع العرضى المستطيل المحتوى على قضبان التسليح المقاومة للشد فقط ، والرسم التخطيطى للقوى عند حساب مقاومة المقطع العمودى للقطعة الانشائية : ١ – الشقوق العمودية ، ٢ – محور التعادل

ومن هذه الصيغة يمكن تحديد مساحة فولاذ التسليح القصوى المسموح بها فى المقطع المستطيل ، بواسطة القيم القصوى للمقدار ξ_R من الشرط (III-7) – راجع البند السادس من الفصل الثانى .

واذا كانت $x > \xi_R h_0$ ، عندئذ يحسب عزم الانحناء من الصيغ (III-2) أو (III-12) عندما تكون $x = \xi_R h_0$.

وينتج من تحليل المعادلات او الصيغ (III-11) و (III-12) ان السعة الحملية للقطعة (العتبة) يمكن ان تتحقق فى حالة المجاميع المختلفة لابعاد المقطع العرضى للقطعة وكمية الفولاذ الموجودة فيه . وفى الظروف الواقعية ، نجد ان تكاليف القطع الخرسانية المسلحة ، القريبة من التكاليف المثلى ، تنتج عند القيم التالية :

للعتبات – μ تتراوح بين ١ – ٢ ٪ ؛ ξ بين ٠٫٣ – ٠٫٤
للبلاطات – μ تتراوح بين ٠٫٣ – ٠٫٦ ٪ ؛ ξ بين ٠٫١ – ٠٫١٥

وتتم مراجعة مقاومة المقطع ذى الابعاد المعلومة b ، x ، F_s (على فرض معرفة المواد والعزم M) حسب التتابع التالى : يستخرج ارتفاع منطقة الانضغاط x من الصيغة (III-10) ، ويراجع الارتفاع باستخدام الشرط (III-6) ثم تستخدم الصيغة (III-11) او الصيغة (III-12) .

ويعتبر المقطع العرضى ناجح الاختيار ، اذا كانت سعته الحملية ، المعبّر عنها بواسطة العزم ، تزيد على قيمة العزم المصمم بنسبة لا تفوق ٣ – ٥ ٪ .

مثال ٣ – ١ . اذا علمنا بان عزم الانحناء المصمم الناجم عن تأثير الاحمال الساكنة ، الاحمال المتحركة الطويلة الاجل والقصيرة الاجل ، هو $M = 74kNm$ ، ويعدا المقطع العرضى للعتبة هما $b = 20cm$ و $h = 40cm$ ، وفولاذ التسليح الطول يتألف من قضبان محززة الجانبية قطرها ١٦ مم ، أى $4 \varnothing 16mm$ من الصنف A-III ، والخرسانة ثقيلة وماركتها ٢٠٠ (عامل خدمة الخرسانة هو $m_{c1} = 0,85$) .

المطلوب هنا مراجعة مقاومة العتبة عند القطع العمودى .

الحل . من الملاحق I ، V ، VI الموجودة فى آخر الجزء الثانى من الكتاب ، نجد ان :

$$F_s = 8,04cm^2 \; ; \; R_s = 340MPa \; ; \; R_{pr} = 9MPa$$

ان الارتفاع الفعال للقطع العتبة ، باعتبار $a = 3,5cm$ يساوى ما يلى :

$$h_0 = h - a = 40 - 3,5 = 36,5 \text{ cm}$$

وارتفاع منطقة الانضغاط يستخرج من المعادلة (III-10) كما يلى :

$$x = R_s F_s / m_{c1} R_{pr} b = (340 \times 8,04)/(0,85 \times 9 \times 20) = 17,9 \text{ cm}$$

ونجد قيمة ξ_R ξ_0 من الصيغتين (III-7a) و (III-7) :

$$\xi_0 = 0,85 - 0,008 R_{pr} = 0,85 - 0,008 \times 0,85 \times 9 = 0,79$$

$$\xi_R = \xi_0/[1 + R_s(1 - \xi_0/1,1)/500] =$$
$$= 0,79/[1 + 340(1 - 0,79/1,1)/500] = 0,666$$

ان الشرط (III-6) يتحقق هنا وذلك لأن :

$$\xi = x/h_0 = 17,9/36,5 = 0,490$$

وهذه القيمة اقل من $\xi_R = 0,666$

والسعة الحملية للمقطع ، استنادا الى الصيغة (III-12) هى :

$$R_s F_s (h_0 - 0,5x) = 340 \times 8,04 \times (36,5 - 0,5 \times 17,9) = 75\,300 \text{ MPa cm}^3$$

وهذه القيمة تزيد بمقدار ١٫٨ ٪ على القيمة المطلوبة استنادا الى العزم المصمم $M = 74kNm$ (مع العلم ان كل $MPacm^2$ تساوى او تكافىء $100N$) . وهذا يعنى ان العتبة تحقق شرط المقاومة المطلوب فى المقطع العمودى .

وتم اختيار المقاطع استنادا الى العزم المعلوم بواسطة الصيغ (III-10) و (III-11) او (III-12) عند وجود علامة المساواة فيها .

وفى التطبيق العملى ، لحساب وتصميم المقاطع المستطيلة المحتوية على فولاذ الشد فقط ، يستخدم الجدول المساعد رقم (٣ – ١) . وبتحوير الصيغتين (III-11) و (III-12) نحصل على ما يلى :

$$M = A_0 b h_0^2 R_{pr} \qquad \text{(III-15)}$$

$$F_s = M/\eta h_0 R_s \qquad \text{(III-16)}$$

حيث

$$A_0 = x(1 - 0,5x/h_0)/h_0 = \xi(1 - 0,5\xi) \qquad \text{(III-17)}$$

$$\eta = z_c/h_0 = 1 - 0,5x/h_0 = 1 - 0,5\xi \qquad \text{(III-18)}$$

ومن المعادلة (III-15) نحصل على الصيغة اللازمة لتحديد الارتفاع الفعال للمقطع :

$$h_0 = \sqrt{M/A_0 b R_{pr}} \qquad \text{(III-19)}$$

الجدول المساعد لحساب وتصميم القطع المعرضة للانحناء ذات
القطع المستطيل ، والمسلحة بفولاذ مقاومة فقط

$\xi = x/h_0$	$\eta = z_c/h_0$	A_0	$\xi = x/h_0$	$\eta = z_c/h_0$	A_0
0,01	0,995	0,01	0,37	0,815	0,301
0,02	0,99	0,02	0,38	0,81	0,309
0,03	0,985	0,03	0,39	0,805	0,314
0,04	0,98	0,039	0,4	0,8	0,32
0,05	0,975	0,048	0,41	0,795	0,326
0,06	0,97	0,058	0,42	0,79	0,332
0,07	0,965	0,067	0,43	0,785	0,337
0,08	0,96	0,077	0,44	0,78	0,343
0,09	0,955	0,085	0,45	0,775	0,349
0,1	0,95	0,095	0,46	0,77	0,354
0,11	0,945	0,104	0,47	0,765	0,359
0,12	0,94	0,113	0,48	0,76	0,365
0,13	0,935	0,121	0,49	0,755	0,37
0,14	0,93	0,13	0,5	0,75	0,375
0,15	0,925	0,139	0,51	0,745	0,38
0,16	0,92	0,147	0,52	0,74	0,385
0,17	0,915	0,155	0,53	0,735	0,39
0,18	0,91	0,164	0,54	0,73	0,394
0,19	0,905	0,172	0,55	0,725	0,399
0,2	0,9	0,18	0,56	0,72	0,403
0,21	0,895	0,188	0,57	0,715	0,408
0,22	0,89	0,196	0,58	0,71	0,412
0,23	0,885	0,203	0,59	0,705	0,416
0,24	0,88	0,211	0,6	0,7	0,42
0,25	0,875	0,219	0,61	0,695	0,424
0,26	0,87	0,226	0,62	0,69	0,428
0,27	0,865	0,236	0,63	0,685	0,432
0,28	0,86	0,241	0,64	0,68	0,435
0,29	0,855	0,248	0,65	0,675	0,439
0,3	0,85	0,255	0,66	0,67	0,442
0,31	0,845	0,262	0,67	0,665	0,446
0,32	0,84	0,269	0,68	0,66	0,449
0,33	0,835	0,275	0,69	0,655	0,452
0,34	0,83	0,282	0,7	0,65	0,455
0,35	0,825	0,289			
0,36	0,82	0,295			

وباستخدام الصيغتين (III-17) و (III-18) وضع الجدول (٣ – ١) لقيم المعاملين A_0 و η . ان استخدام هذا الجدول ، يبسط الحسابات الرياضية الى درجة كبيرة .

ان اختيار بعدى المقاطع العرضية b و h ، يجرى حسب التسلسل التالى : يعطى عرض المقطع b وقيمة المعامل ξ التى ينصح باستخدامها ، والتى استنادا اليها تستخرج قيمة المعامل A_0 من الجدول (٣ – ١) . ثم تستخدم الصيغة (III-19) لحساب الارتفاع الفعال للمقطع h_0 ، ثم يتم ايجاد الارتفاع الكلى $h = h_0 + a$ واستنادا اليه يتم تحديد البعد القياسى المطلوب . واذا كان البعدان المعطيان b و h لا يفيان بالشروط التصميمية (الانشائية) او الانتاجية ، عندئذ تجرى مراجعتهما وتدقيقهما باعادة الحساب من جديد .

ان مساحة مقطع فولاذ التسليح F_s تحدد حسب التسلسل التالى : نحسب قيمة A_0 من الصيغة (III-15) ؛ ثم نوجد قيم η و ξ للمقطع من الجدول (٣ – ١) ونحدد قيمة F_s من الصيغة (III-16) ، مع مراجعتنا فى نفس الوقت للشرط (III-6) .

ويمكن استخدام الجدول (٣ – ١) ايضا ، لمراجعة مقاومة العتبة . ونحسب قيمة $\mu = F_s/bh_0$ استنادا الى المعطيات المتوفرة عن المقطع ، ونحسب كذلك قيمة ξ من الصيغة (III-14) ، بمراجعتها طبقا للشرط (III-6) . وبعد ذلك بالاعتماد على قيمة ξ توجد من الجدول (٣ – ١) قيمة A_0 ونحسب باستخدام الصيغة (III-15) قيمة عزم الانحناء ، الذى يتحمله المقطع المذكور .

مثال ٣ – ٢ . لدينا عتبة مستطيلة المقطع ، وفيها عزم الانحناء المصمم الناجم عن تأثير الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطويلة الاجل والقصيرة الاجل يساوى $M = 85kNm$. والخرسانة من النوع الثقيل ماركة ٣٠٠ (عامل الخدمة للخرسانة هو $m_{c1} = 0,85$) ، وفولاذ التسليح يتألف من قضبان محززة الجانبية من الصنف A-II .

المطلوب تحديد ابعاد المقطع b ، h والمساحة F_s .

الحل . نستخدم الملحقين I و V فى آخر الجزء الثانى من الكتاب ، لايجاد قيمة $R_{pr} = 9MPa$ وقيمة $R_s = 270MPa$. ثم نفرض ان عرض المقطع $b = 20cm$ و $\xi = 0,35$. ونجد ان قيمة $\xi = 0,35$ فى الجدول (٣ – ١) تناظر القيمة $A_0 = 0,289$. اذن من الصيغة (III-19) نحصل على ما يلى :

$$h_0 = \sqrt{M/A_0 b R_{pr} m_{c1}} =$$

$$= \sqrt{8\,500\,000/[0,289 \times 20 \times 9 \times 0,85(100)^*} = 43,8 \text{ cm}$$

والارتفاع الاجمالى لمقطع العتبة $h = h_0 + a = 43,8 + 3,5 = 47,3 cm$. والآن نفرض أن $h = 45cm$ (اضعاف العدد 5cm) والارتفاع الفعال المناظر يساوى $h_0 = 45 - 3,5 = 41,5cm$. ثم نستخدم الصيغة (III-15) لحساب ما يلى :

$$A_0 = M/bh_0^2 R_{pr} m_{c1} = 8\,500\,000/[20 \times 41,5^2 \times 9 \times 0,85(100^*)] = 0,323$$

---

* يعبر عن البسط بوحدات N cm ، وعن المقام بوحدات $MPa\,cm^3$ ، لذلك يجب ان تضرب الاخيرة فى (100) لكى تتساوى وحدات القياس .

وبجد من الجدول (٣ – ١) أن القيمة A_0 تناظرها القيمتان $\eta = 0{,}797$ و $\xi = 0{,}405$. ومن الصيغة (III-16) نجد ما يلى :

$$F_s = M/\eta h_0 R_s = 8\,500\,000/[0{,}797 \times 41{,}5 \times 270(100)] = 9{,}55\ cm^2$$

ثم نستخدم الصيغتين (III-7a) و (III-7) لايجاد القيم التالية :

$$\xi_0 = 0{,}85 - 0{,}008R_{pr} = 0{,}85 - 0{,}008 \times 0{,}85 \times 9 = 0{,}79$$

$$\xi_R = \xi_0/[1 + R_s(1 - \xi_0/1{,}1)/500] =$$

$$= 0{,}79/[1 + 270(1 - 0{,}79/1{,}1)/500] = 0{,}687$$

اذن من هنا يتحقق الشرط (III-6) وذلك لان :

$$\xi = 0{,}405 < \xi_R = 0{,}687$$

وهكذا يمكن استخدام الكمية التالية من الفولاذ 4∅18A-II اى اربعة قضبان قطرها ١٨ م من الصنف A-II ، (راجع الملحق VI فى نهاية الجزء الثانى من الكتاب) ، ومساحة مقطع الفولاذ تساوى $F_s = 10{,}18 cm^2$.

مثال ٣ – ٣ . لدينا بلاطة معرضة لعزم انحناء مصمم قدره $M = 3800 Nm$ يؤثر على كل متر من طول مقطعها العرضى (ناجم عن الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطويلة الأجل والقصيرة الاجل) . تخن المقطع $h = 8cm$ وهو مسلح بشبكة قياسية ملحومة رقمها 150/250/6/4 (استنادا الى المواصفات القياسية السوفييتية GOST 8478-66) مصنوعة من اسلاك فولاذية ملساء عادية من الصنف B-I . والخرسانة المستخدمة من النوع الثقيل ماركة ١٥٠ (وعامل خدمة الخرسانة هو $m_{c1} = 1$) .

المطلوب مراجعة مقاومة البلاطة .

الحل . نستخدم الملاحق I ، V ، VII لايجاد القيمتين $R_s = 315MPa$ ، $R_{pr} = 7MPa$ ، والمساحة التصميمية لمقطع القضبان (الطولية) الفعالة لكل ١ م من طول شبكة التسليح ، تساوى $F_s = 2{,}07 cm^2$.

ان الارتفاع الفعال للبلاطة هو :

$$h = h_0 - a = 8 - 1{,}5 = 6{,}5\ cm$$

ونسبة التسليح تساوى :

$$\mu = 100F_s/bh_0 = (100 \times 2{,}07)/(100 \times 6{,}5) = 0{,}32\%$$

ومن الصيغة (III-14) نجد ما يلى :

$$\xi = \mu R_s/100R_{pr} = (0{,}32 \times 315)/(100 \times 7) = 0{,}144$$

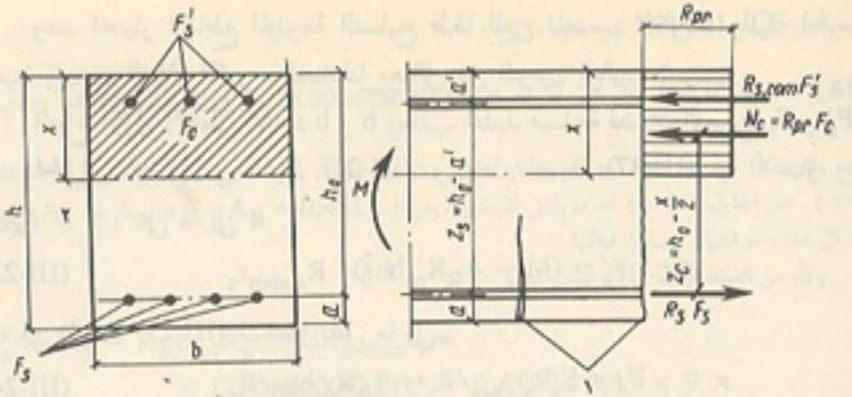
وهذه القيمة اقل من قيمة ξ_R بوضوح .

وقيمة $\xi = 0{,}144$ فى الجدول (٣ – ١) تناظر القيمة $A_0 = 0{,}134$. ومن الصيغة (III-15) نجد ما يلى :

$$A_0 bh_0^2 R_{pr} = 0{,}134 \times 100 \times 6{,}5^2 \times 7 = 3960\ MPa\ cm^2$$

وهذا يعنى ان السعة الحملية للمقطع هى اكبر من السعة اللازمة حسب العزم المصمم $M = 3800 Nm$ (كما سبق وذكرنا ، فان كل $1MPa \cdot cm^2$ يساوى 100N) .

القطع الانشائية المستطيلة المقطع المزدوجة التسليح (المسلحة بقضبان شد وقضبان انضغاط) . فى التطبيق العملى الانشائى ، يمكن مصادفة حالات استخدام القطع الانشائية المزدوجة التسليح (شكل ٣ – ١٣) ، بالرغم من ان قضبان الانضغاط تكون اقل فعالية من قضبان الشد .



شكل ٣ – ١٣ . القطع العرضى المستطيل المحتوى على قضبان التسليح المزدوجة ، مع الرسم التخطيطى للقوى عند حساب مقاومة المقطع العمودى للقطعة الانشائية : ١ – الشقوق العمودية ، ٢ – محور التعادل

واذا وضعت فى منطقة الانضغاط (عند تأثير الحمل) فى القطعة المعرضة للانحناء قضبان طولية (مع $R_{s.com} \leqslant 400MPa$) قد أخذت فى الاعتبار (اى القضبان) عند التصميم ، عندئذ لمنع تحدب القضبان الطولية ، يتم وضع قضبان مستعرضة : فى الهياكل الملحومة ، على مسافات لا تقل عن 20d ، وفى الهياكل المربوطة ، على مسافات لا تزيد على 15d (حيث d تمثل القطر الاصغر للقضبان الطولية المنضغطة) ولا تزيد باى حال على ٥٠٠ م .

وبتعويض F_c و z_c من المعادلة (III-9) فى الصيغة (III-4) نحصل على شرط مقاومة القطعة المعرضة للانحناء ذات المقطع المستطيل ، المسلح بقضبان شد وقضبان انضغاط (فى حالة عدم وجود F_{pr} و F'_{pr}) :

$$M \leqslant R_{pr}bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{s.com}F'_s(h_0 - a') \qquad (III\text{-}20)$$

وبتعويض F_c فى المعادلة (III-3) نحصل على معادلة لتحديد موقع حدود منطقة الانضغاط :

$$R_{pr}xb = R_sF_s - R_{s.com}F'_s \qquad (III\text{-}21)$$

ويقصد بذلك هنا ، مراعاة الشرط $x \leqslant \xi_R h_0$. ونحتاج حسب التصميم الى قضبان الانضغاط ، اذا كان لدينا فى حالة التسليح بقضبان الشد فقط ما يلى $x > \xi_R h_0$. عندئذ تتم مراجعة مقاومة المقطع من الشرط التالى :

$$M \leqslant A_R R_{pr} bh_0^2 + R_{s.com}F'_s(h_0 - a') \qquad (III\text{-}22)$$

حيث $A_R = A_0$ – من الجدول (٣ – ١) للقيمة $\xi = \xi_R$ المحسوبة من الصيغة (III-7) .

وعند اختيار المقاطع المزدوجة التسليح طبقا للعزم المصمم المعلوم ، ولماركة الخرسانة المعينة وصنف الفولاذ المقرر ، تصادفنا مسائل من النوعين التاليين :

النوع الأول . تعطى الابعاد b و h ويطلب تحديد مساحة قضبان التسليح F_s و F'_s

الحل . نحصل من الشرط (III-20) ، باخذ الصيغة (III-17) فى الاعتبار وعند $x = \xi_R h_0$ ، على ما يلى :

$$F'_s = (M - A_R R_{pr} b h_0^2)/ R_{s.com} z_s \qquad \text{(III-23)}$$

اما من المعادلة (III-21) فنحصل على ما يلى :

$$F_s = F'_s R_{s.com}/R_s + \xi_R R_{pr} b h_0/R_s \qquad \text{(III-24)}$$

النوع الثانى . تعطى ابعاد المقطع b و h ومساحة القضبان F'_s ، ويطلب تحديد مساحة قضبان التسليح F_s .

الحل . بالرجوع الى الصيغة (III-17) نحصل من الشرط (III-20) على ما يلى :

$$A_0 = (M - R_{s.com} F'_s z_s)/R_{pr} b h_0^2 \qquad \text{(III-25)}$$

واذا كانت $A_0 \leqslant A_R$ ، تؤخذ من الجدول (٣ – ١) قيمة ξ ومن المعادلة (III-21) ما يلى :

$$F_s = R_{s.com} F'_s/R_s + \xi R_{pr} b h/R_s \qquad \text{(III-26)}$$

واذا كانت $A_0 > A_R$ تكون كمية الفولاذ F'_s المفترضة من قبلنا ، غير كافية .

وعند مراجعة مقاومة المقطع (جميع المعطيات معلومة) يحسب ارتفاع منطقة الانضغاط من المعادلة (III-21) ثم يراجع الشرط (III-20) .

ان القطع السابقة الاجهاد ، عند احتواء مقطعها العرضى على قضبان التسليح F_{pr} و F'_{pr} ، تصمم بطريقة مماثلة لما سبق شرحه ، وكذلك باستخدام الصيغتين (III-3) و (III-4) ولكن مع الابقاء على كافة حدود المعادلات .

مثال ٣ – ٤ . اذا علمنا ان عزم الانحناء المصمم ، الناجم عن تأثير الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطويلة الاجل والقصيرة الاجل يساوى $M = 250 kNm$ ، وابعاد المقطع العرضى للعتبة هى $b = 25cm$ و $h = 50cm$ ، والخرسانة من النوع الثقيل ماركة ٢٠٠ (عامل خدمة الخرسانة هو $m_{c1} = 0,85$) وفولاذ التسليح من الصنف A-II ، المطلوب تحديد مساحة الفولاذ F_s و F'_s .

الحل . ان هذا المثال يعتبر مسألة من النوع I . نستخدم الملحقين I و V لايجاد القيمتين $R_{pr} = 9MPa$ و $R_s = R_{s.com} = 270MPa$. ثم نفترض ان المسافة تساوى $a = 4cm$ ، $a' = 3cm$ ، عندئذ سنجد ما يلى :

$$h_0 = h - a = 50 - 4 = 46 \text{ cm}$$

$$z_s = h - a - a' = 50 - 4 - 3 = 43 \text{ cm}$$

ومن الصيغة (III-15) نقوم بايجاد ما يلى :

$$A_0 = M/m_{c1} R_{pr} b h_0^2 = 25\,000\,000/[0,85 \times 9 \times 25 \times 46^2(100)] = 0,619$$

ولدينا الآن للخرسانة ماركة ٢٠٠ وقضبان التسليح من الصنف A-II القيمة التالية $\xi_R = 0,687$ (راجع المثال ٣–٢) . ومن الجدول (٣ – ١) نجد ما يقابل القيمة ξ_R وهى قيمة $A_R = 0,451$ ، وبما ان $A_0 > A_R$ ، نحتاج هنا الى استخدام قضبان انضغاط فولاذية .

والآن من الصيغة (III-23) نحسب ما يلى :

$$F'_s = (M - A_R m_{c1} R_p b h_0^2)/R_{s.com} z_s =$$
$$= [25\,000\,000(0,01)^* - 0,451 \times 0,85 \times 9 \times$$
$$\times 25 \times 46^2]/(270 \times 43) = 5,8 \text{ cm}^2$$

اذن يمكن استخدام (راجع الملحق السادس VI) القضبان 2 Ø 20A-II $(F_s = 6,28 cm^2)$.

وباستخدام الصيغة (III-24) نستخرج ما يلى :

$$F'_s - F'_s R_{s.com}/R_s + \xi_R m_{c1} R_{pr} b h_0/R_s =$$
$$= 5,8 + (0,687 \times 0.85 \times 9 \times 25 \times 46)/270 = 28,2 \text{ cm}^2$$

وهكذا يمكننا استخدام ما يلى :

$$, 3 \varnothing 28A — II + 2 \varnothing 25A — II (F_s = 28,29 \text{ cm}^2)$$

أى نستخدم ثلاثة قضبان فولاذية قطرها 28mm من الصنف A-II مع قضيبين قطرهما 25cm من الصنف A-II بحيث تبلغ مساحة فولاذ المقطع العرضى الكلية $28,29 cm^2$.

مثال ٣ – ٥ . لدينا قضبان تسليح معدنية من الصنف A-III $(R_s = R_{s.com} = 340MPa)$ ، وقضبان تسليح منضغطة 2 Ø 20A-III مساحة الفولاذ فيها تساوى $F'_s = 6,28 cm^2$. اما بقية المعطيات فهى نفس المعطيات الواردة فى المثال ٣ – ٤ . المطلوب تحديد مساحة مقطع قضبان التسليح F_s .

الحل . ان هذا المثال يعتبر مسألة من النوع الثانى . نستخدم الصيغة (III-25) لحساب ما يلى :

$$A_0 = (M - R_{s.com} F'_s z_s)/m_{c1} R_{pr} b h_0^2 = [25\,000\,000\,(0,01) -$$
$$- (340 \times 6,28 \times 43)]/(0,85 \times 9 \times 25 \times 46^2) = 0,391$$

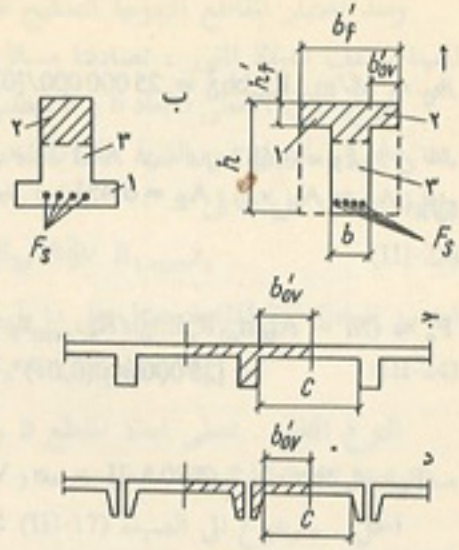
وهذه القيمة اقل من $A_R = 0,451$ المناظرة للقيمة الحدية للمقدار $\xi_R = 0,687$. وهكذا يمكن اعتبار كمية الفولاذ المفروضة F'_s كافية لهذا الفرض . وفى الجدول (٣ – ١) نجد ان القيمة $A_0 = 0,391$ تناظر القيمة $\xi = 0,532$.

والآن نستخرج القيمة F_s من الصيغة (III-26) كما يلى :

$$F_s = R_{s.com} F'_s/R_s + \xi m_{c1} R_{pr} b h_0/R_s =$$
$$= 6,28 + (0,532 \times 0,85 \times 9 \times 25 \times 46)/340 = 20 \text{ cm}^2$$

---

* لقد ادخل المضروب فيه (0,01) لاجل تحويل وحدات القياس Ncm الى الوحدات $MPa\ cm^3$.



شكل ٣ – ١٤ . تصاميم المقطع شكل–T :
أ– عتبة تقع شفتها فى منطقة الانضغاط ؛ ب– عتبة تقع شفتها فى منطقة الشد ؛ جـ–مقطع شكل T ضمن تصميم ارضية مصبوبة فى الموقع ؛ د–مقطع شكل T ضمن أرضية (سابقة الصنع) ؛ ١–شفة القطع ، ٢–منطقة الانضغاط ، ٣–ضلع

القطع الانشائية ذات المقطع العرضى شكل T . ان المقاطع التى على شكل حرف T (T-sections) تصادفنا فى التطبيق العملى فى احيان كثيرة للغاية ، فى كل من القطع الخرسانية المسلحة المستقلة–مثل العتبات (شكل ٣ – ١٤ ، أ ، ب) وفى تركيب الانشاءات–مثلا فى الارضيات والسقوف اللوحية المضلعة المصبوبة والسابقة الصنع على حد سواء (شكل ٣ – ١٤ ، جـ ، د) . ويتألف المقطع T من قسمين : الشفة (flange) والضلع القائم (rib) .

وبالمقارنة مع المقاطع المستطيلة (لاحظ الخط المنقط فى الشكل ٣ – ١٤ ، أ) نجد ان المقطع T افضل بكثير من الناحية العملية وذلك لانه عند نفس السعة الحملية الواحدة (السعة الحملية للقطعة الخرسانية المسلحة ، لا تعتمد على مساحة مقطع الخرسانة فى منطقة الشد) تستهلك كمية اقل من الخرسانة ، نتيجة لتقلص ابعاد منطقة الشد .

ولنفس السبب السابق بالذات ، نجد ان الاكثر ملاءمة هو المقطع T الذى تقع شفته فى منطقة الانضغاط (شكل ٣ – ١٤ ، أ) وذلك لان الشفة الواقعة فى منطقة الشد (شكل ٣ – ١٤ ، ب) لا ترفع من السعة الحملية للقطعة الانشائية .

ان المقاطع شكل T ، تسلح عادة بقضبان الشد فقط .

وعندما تكون الشفهات عريضة ، نجد ان الاقسام المتدلية (overhangs) الاكثر بعدا عن الضلع القائم للمقطع ، تكون اقل اجهادا . ولهذا السبب يدخل فى الحساب ما يسمى بالقسم المتدلى المكافىء الذى عرضه b_{ov} (شكل ٣ – ١٤ ، جـ ، د) .

ويؤخذ مساويا لما يلى : فى كل جهة من جهتى الضلع القائم ، بما لا يزيد على نصف

المسافة الخالصة الفاصلة بين الاضلاع c بحيث لا تزيد على سدس (1/6) باع القطعة الانشائية المصممة ؛ وفى القطع ذات الشفة التى ثخنها يساوى $h'_f < 0,1h$ بدون اضلاع قائمة مستعرضة او باضلاع قائمة بينها–توضع على مسافة اكبر من المسافة بين الاضلاع الطولية ، وعرض كل قسم متدل داخل فى الحساب b_{ov} ، لا يجب ان يزيد على $6h'_f$.

وبالنسبة للعتبات المنفردة ذات المقطع T (ذات الشفهات المتدلية) يجب ان يبلغ عرض القسم المتدلى b_{ov} الداخل فى الحساب (شكل ٣ – ١٤ ، أ) ما يلى :

عندما $h'_f \geqslant 0,1h$ ليس اكثر من $6h'_f$

عندما $0,05h \leqslant h'_f < 0,1h$ ليس اكثر من $3h'_f$

وعند $h'_f < 0,05h$ لا تؤخذ اقسام الشفة المتدلية فى الاعتبار عند التصميم . وعند تصميم المقاطع T ، توجد حالتان لوضعية محور التعادل او الحد السفلى لمنطقة الانضغاط : اولا ، ضمن حدود الشفة (شكل ٣ – ١٥ ، أ) وتحت الشفة (شكل ٣ – ١٥ ، ب) .

ان الحد السفلى لمنطقة الانضغاط يقع ضمن حدود الشفة ، اى $x \leqslant h'_f$ فى المقاطع ذات الاقسام المتدلية الكبيرة .

وفى هذه الحالة ، يصمم المقطع T ، كما يصمم المقطع المستطيل الذى أبعاده b'_f و h_0 (شكل ٣ – ١٥ ، أ) وذلك لأن مساحة الخرسانة فى منطقة الشد ، لا تؤثر على قيمة السعة الحملية للمقطع .

ان الصيغ التصميمية الحسابية (للقطع الانشائية غير السابقة الاجهاد) هى :

$$R_{pr}b'_f x = R_s F_s \qquad \text{(III-27)}$$

$$M \leqslant R_{pr}b'_f(h_0 - 0,5x) \qquad \text{(III-28)}$$

او بشكل آخر :

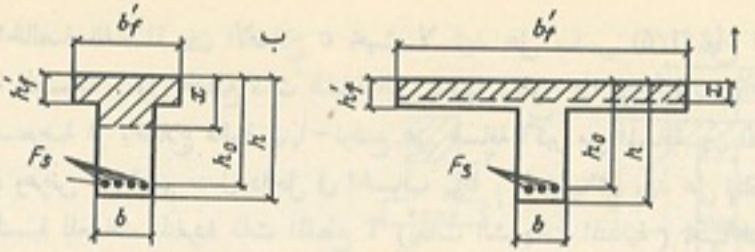
$$M \leqslant A_0 R_{pr} b'_f h_0^2 \qquad \text{(III-29)}$$

حيث A_0 – معامل تؤخذ قيمته من الجدول (٣ – ١) .

ان الحد السفلى لمنطقة الانضغاط ، يقع تحت الشفة ، اى $x > h'_f$ ، فى المقاطع ذات الاقسام المتدلية الضيقة . وفى هذه الحالة ، تتألف منطقة انضغاط المقطع ، من انضغاط الضلع القائم واقسام الشفة المتدلية .

ويستخرج موقع الحد السفلى لمنطقة الانضغاط (ارتفاع منطقة الانضغاط) من المعادلة التالية :

$$R_s F_s = R_{pr} bx + R_{pr}(b'_f - b)h'_f \qquad \text{(III-30)}$$



شكل ٣ – ١٥ . حالتان تصميميتان للمقاطع شكل T:

أ – محور التعادل يمر ضمن الشفة ؛ ب – محور التعادل يقع اسفل الشفة

ان شرط المقاومة ، فى حالة تأثير العزوم المأخوذة حول المحور العمودى على مستوى الانحناء والمار فى نقطة تأثير محصلة القوى فى قضبان الشد ، يكون على الشكل التالى :

$$M \leqslant R_{pr}bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{pr}(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0{,}5h'_f) \qquad \text{(III-31)}$$

ويجب تحقيق الشرط $x \leqslant \xi_R b$ بالنسبة للمقاطع شكل T . وتبين التجربة العملية لتصميم المقاطع ، انه يمكن تحديد ارتفاع مقطع العتبة T ، باستخدام الصيغة التالية :

$$h = (7 \ldots 9)\sqrt[3]{M} \qquad \text{(III-32)}$$

حيث h تقاس بالسنتمترات ويقاس العزم M بوحدات القياس kNm . وعادة يؤخذ عرض الضلع القائم مساويا لما يلى :

$$b = (0{,}4 \ldots 0{,}5)h \qquad \text{(III-33)}$$

وتكون ابعاد الشفة b'_f و h'_f معلومة فى اغلب الاحيان من التوزيع النسبى لابعاد القطعة الانشائية . وان مقطع فولاذ التسليح F_s المحسوب لملاءمة العزم المصمم ، يؤخذ تبعا لحالة التصميم (اى تبعا لوضعية محور التعادل) . فاذا كان محور التعادل يمر ضمن حدود الشفة ، عندئذ تستخرج المساحة F_s من حساب المقطع باعتباره مستطيل الشكل ويحتوى على قضبان الشد فقط ، عند الابعاد b_f و b_0 ، من الجدول (٣ – ١) .

ان حالة التصميم للمقطع شكل T ، يمكن ان تحدد من الدلائل التالية :

١) اذا كانت كافة المعطيات المتعلقة بالمقطع معلومة بما فى ذلك F_s ، عندئذ فى حالة معرفة

$$R_sF_s \leqslant R_{pr}b'_fh'_f \qquad \text{(III-34)}$$

يمر محور التعادل للمقطع T فى الشفة ؛ وخلافا لذلك ، فان المحور المذكور يقطع الضلع القائم .

٢) اذا كانت الابعاد b'_f ، h'_f ، b ، h معلومة ، وعزم الانحناء المصمم معلوما ايضا ، ولكن F_s مجهولة ، عندئذ فى حالة معرفة

$$M \leqslant R_{pr}b'_fh'_f(h_0 - 0{,}5h'_f) \qquad \text{(III-35)}$$

نجد ان الحد السفلى لمنطقة الانضغاط ، اى محور التعادل يمر فى الشفة ، وخلافا لذلك ، فان المحور المذكور يقطع الضلع القائم .

وفى الحالة التى يمر فيها محور التعادل فى اسفل الشفة ، يمكن تحوير الصيغتين (III-31) و (III-30) بأخذ المعادلة $x = \xi h_0$ والصيغة (III-17) فى الاعتبار :

$$R_sF_s = \xi R_{pr}bh_0 + R_{pr}(b'_f - b)b'_f \qquad \text{(III-36)}$$

$$M \leqslant A_0R_{pr}bh_0^2 + R_{pr}(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0{,}5h'_f) \qquad \text{(III-37)}$$

حيث تؤخذ قيمة ξ وقيمة A_0 من الجدول (٣ – ١) .

ويمكن استخدام هذه الصيغ لاختيار المقاطع العرضية . وعندما يراد تحديد F_s ، عندئذ نستخدم الصيغة (III-37) لحساب A_0 :

$$A_0 = [M - R_{pr}(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0{,}5h'_f)]/R_{pr}bh_0^2 \qquad \text{(III-38)}$$

وبعد ذلك نستخدم الجدول (٣ – ١) لا يجاد قيمة ξ المناظرة لقيمة A_0 المستخرجة اعلاه ، فنحصل على ما يلى استنادا الى الصيغة (III-36) :

$$F_s = [\xi bh_0 + (b'_f - b)h'_f]R_{pr}/R_s \qquad \text{(III-39)}$$

واذا كان من الضرورى مراجعة مقاومة المقطع بوجود كافة المعطيات المعلومة ، من الافضل عندئذ تحديد حالة التصميم من الصيغة (III-35) وبعد ذلك (اذا كان محور التعادل واقعا تحت شفة المقطع) تستخدم الصيغة (III-30) لحساب ارتفاع منطقة الانضغاط x ، وبعد ذلك نلجأ الى استخدام الصيغة (III-31) .

مثال ٣ – ٦ . اذا علمنا ان عزم الانحناء المصمم الناجم عن تأثير الاحمال الساكنة والمتحركة الطويلة الاجل والقصيرة الاجل فى العتبة ذات المقطع T ، يساوى $M = 450kNm$ ، والارتفاع $h = 70cm (h_0 = 66cm)$ ، والعرض $b = 25cm$ ، والعرض المصمم للشفة $b'_f = 60cm$ ، و $h'_f = 8cm$ ، والخرسانة من النوع الثقيل من الماركة ٢٠٠ (عامل خدمة الخرسانة هو $m_{c1} = 0{,}85$) ، وفولاذ التسليح يتألف من قضبان حزمة الجانبية من الصنف A-III . المطلوب تحديد مساحة مقطع الفولاذ F_s .

الحل . نستخرج القيمتين $R_{pr} = 9MPa$ و $R_s = 340MPa$ من الملحقين الاول I والخامس V فى نهاية الجزء الثانى من هذا الكتاب .

ونحدد حالة التصميم من الصيغة (III-35) :

$$m_{c1}R_{pr}b'_f h'_f(h_0 - 0{,}5h'_f) =$$

$$\doteq 0{,}85 \times 9 \times 60 \times 8(66 - 0{,}5 \times 8) = 228\,000 \text{ MPa cm}^3$$

وهذه القيمة اقل من القيمة المطلوبة حسب العزم الذى يساوى $M = 450kNm$. اذن فان محور التعادل يقطع الضلع القائم للمقطع . والآن من الصيغة (III-38) نستخرج القيمة التالية :

$$A_0 = [M - m_{c1}R_{pr}(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0,5h'_f)]/m_{c1}R_{pr}bh_0^2 =$$
$$= [4\,500\,000(0,01) - 0,85 \times 9(60 - 25)8(88 -$$
$$- 0,5 \times 8)]/(0,85 \times 9 \times 25 \times 66^2) = 0,381$$

ونجد فى الجدول (٣ – ١) ان هذه القيمة تناظر $\xi = 0,512$. واستنادا الى الصيغة (III-39) نجد ان مساحة مقطع الفولاذ F_s المطلوبة ، ستساوى ما يلى :

$$F_s = [\xi bh + (b'_f - b)h'_f]m_{c1}R_{pr}/R_s =$$
$$= [0,512 \times 25 \times 66 + (60 - 25)8]0,85 \times 9/340 = 25,3\ cm$$

اذن يمكننا ان نأخذ (راجع الملحق VI) قضيبين قطرهما ٢٠ مم من الصنف A-III مع اربعة قضبان قطرها ٢٥ مم من الصنف A-III ، اى :

$$2 \varnothing 20A\text{-}III + 4 \varnothing 25A\text{-}III$$

ومساحة الفولاذ ستكون $F_s = 25,91cm^2$.

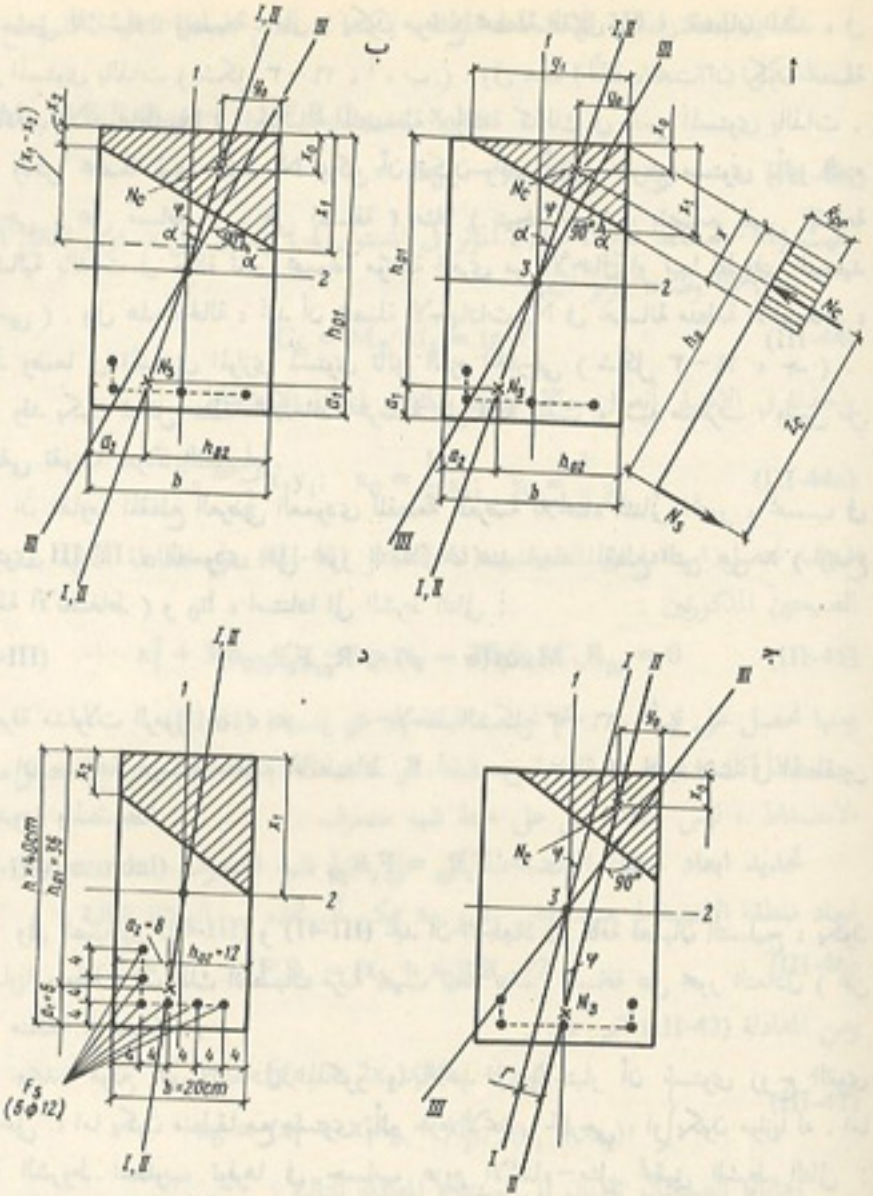
ان قيمة $\xi = 0,512$ هنا هى اصغر من القيمة النهائية $\xi_R = 0,666$ (راجع المثال ٣ – ١) . وهكذا نجد هنا ان شرط استخدام الصيغ الحسابية التصميمية متوفر تماما .

البند الرابع
حساب مقاومة المقطع العمودى للقطع الانشائية
فى حالة الانحناء الثنائى المحور

ان القطع الانشائية التى تستخدم عمليا اكثر من غيرها ، هى القطع ذات المقاطع العرضية التى تحتوى على محور تماثل واحد على الاقل (axis of symmetry) . وفى هذه الحالة ، اذا كان مستوى تأثير عزم الانحناء الخارجى (الناجم عن الاحمال المعلومة وردود فعل المساند) مائلا على مستوى تماثل المقطع العرضى ، عندئذ تكون القطعة معرضة للانحناء الثنائى المحور (غير المتماثل) .

ان القطع المعرضة للانحناء الثنائى المحور قد تسلح بصورة عامة بقضبان طولية ، ترتب على طول محيط المقطع . واذا كانت القطعة الانشائية معرضة لنوع واحد من التأثير فقط – مثل الانحناء الثنائى المحور مع ثبات مستوى تأثير العزم الخارجى للانحناء ، ففى مثل هذه القطعة ، يكون من الافضل ترتيب قضبان التسليح الطولية بصورة مركزة ، اى فقط على امتداد منطقة الشد فى المقطع العرضى ، بحيث تكون أبعد ما يمكن عن محور التعادل . ولنبحث الآن اكثر القطع الانشائية المعرضة للانحناء الثنائى المحور ، ذات المقطع العرضى المستطيل ، التى تستخدم غالبا فى الانشاءات العملية (شكل ٣ – ١٦) .

ونتيجة لتصميم وحساب الانشاء ، تحدد قيمة عزم الانحناء الخارجى وموضع مستوى تأثيره . ويمر هذا المستوى عادة فى المحور الهندسى للقطعة الانشائية ، المأخوذ فى المخطط



شكل ٣ – ١٦ . الرسوم التخطيطية لحساب مقاومة القطع الانشائية فى حالة الانحناء الثنائى المحور (غير المتماثل) :
أ – مستوى تأثير العزم الخارجى I-I ومستوى تسليط زوج القوى الداخل II-II ينطبقان على بعضهما البعض ، منطقة انضغاط المثلث ؛ ب – كالسابق ، فى حالة المنطقة التى على شكل شبه منحرف ؛ جـ – المستويان I-I و II-II متوازيان ؛ د – معطيات للمثال (٣ – ٧) ، 1 و 2 محورا تماثل المقطع المستطيل ، III-III مستوى عمودى على محور التعادل ، N_s – موضع محصلة القوى فى قضبان الشد ، N_c – موضع محصلة القوى فى خرسانة منطقة الانضغاط (وفى قضبان الانضغاط الفولاذية اذا كانت موضوعة طبقا لحاجة التصميم)

التصميمى للانشاء . وبطبيعة الحال ، يكون موضع محصلة القوى N_s فى قضبان الشد ، فى نفس المستوى بالذات (شكل ٣ – ١٦ ، أ ، ب) . وفى هذه الحالة ، يجب ان تكون محصلة اجهادات الانضغاط N_c فى الخرسانة المنضغطة ، واقعة كذلك فى نفس المستوى بالذات .

ولكن محصلة قوى الشد N_s يمكن أن تكون واقعة أيضا خارج مستوى تأثير العزم الخارجى ، على مسافة ما ، هى المسافة r مثلا (نتيجة لحساب وتصميم نفس القطعة الانشائية بالذات فى حالة تأثير مجموعة مؤتلفة اخرى من الاحمال او تبعا لظروف التوحيد القياسى) . وفى هذه الحالة ، نجد أن محصلة الاجهادات N_c فى خرسانة منطقة الانضغاط ، تأخذ وضعا فى المستوى الموازى لمستوى تأثير العزم الخارجى (شكل ٣ – ١٦ ، جـ) .

وقد يكون شكل منطقة انضغاط الخرسانة على هيئة مثلث او شبه منحرف . وليس من المنطقى تقويتها بفولاذ التسليح .

ان مقاومة المقطع العرضى العمودى للقطعة المعرضة للانحناء الثنائى المحور ، تحسب فى المستوى III-III ، العمودى على محور التعادل ، عند ابعاد المقطع التى هى x (ارتفاع منطقة الانضغاط) و h_0 ، استنادا الى الشرط التالى :

$$M\cos(\alpha - \varphi) \leqslant R_{pr}F_c z_c \qquad \text{(III-40)}$$

(لمعرفة مدلولات الرموز α ، φ و z_c – لاحظ الشكل ٣ – ١٦ ، أ) .

ان مساحة خرسانة منطقة الانضغاط F_c تحدد من معادلة قيم المحصلات فى المنطقتين المشدودة والمنضغطة :

$$F_sR_s = F_cR_{pr} \qquad \text{(III-41)}$$

وفى الصيغتين (III-40) و (III-41) نجد ان الاجهاد فى كافة قضبان التسليح ، يكون متساويا ، وذلك لان تلك القضبان مرتبة بحيث تبعد بنفس المسافة عن محور التعادل (عن حد منطقة الانضغاط) .

ويحدد موقع محور التعادل المذكور ، بالاخذ فى الاعتبار أن مستوى زوج القوى الداخلى ، اما يكون منطبقا مع مستوى تأثير عزم الانحناء الخارجى ، او يكون موازيا له . اما بقية الشروط المطلوب توفرها فى حساب عزوم الانحناء – مثل تحقيق الشرط التالى : $\xi = x/h_0 < \xi_R$ ، حساب المقاومة الزائدة لفولاذ التسليح العالى المقاومة – فتبقى كما هى بالنسبة للانحناء الثنائى المحور ايضا .

ويمكن كذلك حساب وتصميم القطع الانشائية المعرضة للانحناء الثنائى المحور ، بمقارنة مساقط العزم الخارجى M_1 وعزم زوج القوى الداخلى M النازلة على مستوى التماثل I :

$$M_1 = M\cos\varphi \leqslant F_sR_s(h_{01} - x_0) \qquad \text{(III-42)}$$

تحديد ابعاد منطقة الانضغاط المثلثة . يمكننا ان نضع المعادلة التالية ، للمقطع المبين فى الشكل (٣ – ١٦ ، أ) :

$$M_2/M_1 = F_sR_s(h_{02} - y_0)/F_sR_s(h_{01} - x_0) =$$
$$= (h_{02} - y_0)/(h_{01} - x_0) \qquad \text{(III-43)}$$

حيث M_2 – مسقط عزم الانحناء ، المؤثر فى المستوى I ، والنازل على مستوى التماثل II .

والآن اذا وضعنا الرمز التالى

$$C_b = M_2/M_1 = \operatorname{tg}\varphi \qquad \text{(III-44)}$$

واخذنا فى الاعتبار أنه فى حالة الشكل المثلث لمنطقة الانضغاط :

$$F_c = \frac{1}{2}x_1y_1; \quad x_0 = \frac{1}{3}x_1; \quad y_0 = \frac{1}{3}y_1 \qquad \text{(III-44a)}$$

سوف نحصل استنادا الى الصيغتين (III-41) و (III-43) على المعادلة التالية بعد تحوير الصيغتين المذكورتين :

$$x_1^2 + 3(h_{02}/C_b - h_{01})x_1 - 2F_sR_s/C_bR_{pr} = 0 \qquad \text{(III-45)}$$

ومنها نحصل على قيمة x_1 . ثم نحسب قيمة y_1 من الصيغة (III-41) .

فاذا كانت قيمة x_1 الناجمة ، سالبة ، او كانت $y_1 > b$ ، فهذا يعنى ان شكل منطقة الانضغاط ، ليس مثلثا ، بل على هيئة شبه منحرف .

تحديد ابعاد منطقة الانضغاط التى على هيئة شبه المنحرف (trapezoidal) . ان ابعاد منطقة الانضغاط هنا ، وهى x_1 و x_2 يمكن أن تحدد من العلاقة التالية :

$$F_sR_s = (x_1 + x_2)bR_{pr}/2 \qquad \text{(III-46)}$$

ومن المعادلة (III-43) التى فيها :

$$\left.\begin{aligned} y_0 &= b(x_1 + 2x_2)/3(x_1 + x_2) \\ x_0 &= (x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2)/3(x_1 + x_2) \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-47)}$$

وهاتان الصيغتان تؤديان الى استنتاج المعادلة التالية :

$$x_1^2 + (b/C_b - C_1)x_1 + C_1(3h_{02}/C_b - 2b/C_b - 3h_{01} + C_1) = 0 \qquad \text{(III-48)}$$

ومنها ينتج أن :

$$C_1 = 2F_sR_s/bR_{pr} \qquad \text{(III-49)}$$

وهذه الصيغ تنطبق أيضا على الحالة التى يكون فيها مستوى محصّلات القوى فى منطقتى الشد والانضغاط ، موازيا لمستوى عزم الانحناء الفعّال (شكل ٣ – ١٦ ، جـ) .

مثال ٣–٧ . لدينا قطعة خرسانية مسلحة مستطيلة المقطع (شكل ٣–١٦ ، د) وهي معرضة للانحناء الثابت المحور ، والمعطيات الاخرى هي : $M_1 = 50kNm$ ، $M_2 = 7kNm$ (وهي العزوم الناجمة عن الاحمال الساكنة والاحمال المؤقتة الطويلة الاجل والقصيرة الاجل) ؛ ماركة الخرسانة الثقيلة ٢٠٠ (معامل خدمة الخرسانة $m_{c1} = 0,85$ ؛ $R_{pr} = 9MPa$) ، وفولاذ التسليح يتألف من $6\varnothing12mm$ $(F_s = 6,79cm^2)$ من الفولاذ صنف $(R_s = 270MPa)$ A-II .

المطلوب مراجعة مقاومة القطعة الخرسانية المسلحة .

الحل . من الصيغة (III-44) نجد ان نسبة مساقط عزم الانحناء الفعال هي :

$$C_b = tg\varphi = M_2/M_1 = 7/50 = 0,14$$

واستنادا الى موقع محصلة القوى في قضبان منطقة الشد (لاحظ النقطة N_s واحداثياتها على الشكل ٣–١٦ ، د) نجد ان :

$$tg\varphi = 2/14 = 0,143$$

وهكذا فان مستوى تأثير عزم الانحناء الخارجي ومستوى زوج القوى الداخلي ، ينطبقان على بعضهما البعض عمليا . وهنا نستخدم الصيغة (III-49) لايجاد ما يلي :

$$C_1 = 2F_sR_s/bm_{c1}R_{pr} = (2 \times 6,79 \times 270)/(20 \times 0,85 \times 9) = 24$$

وبتعويض معطيات هذه المسألة في المعادلة (III-48) نحصل على ما يلي :

$$x_1^2 + (20/0,14 - 24)x_1 + 24(3 \times 12/0,14 - 2 \times 20/0,14 - 3 \times 36 + 24) = 0$$

وهكذا نجد ان $x_1 = 20cm$.

ومن الصيغة (III-46) نحصل على ما يلي :

$$x_2 = 2F_sR_s/bm_{c1}R_{pr} - x_1 = 24 - 20 = 4\ cm$$

ومن المعادلة (III-47) نحصل على ما يلي :

$$x_0 = (x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2)/3(x_1 + x_2) = (20^2 + 20 \times 4 + 4^2)/3(20 + 4) = 6,9\ cm$$

وباستخدام الشرط (III-42) نجد ان $M_1 \leqslant F_3R_3(h_{01} - x_0)$ وهذا يعني ان

$$5\,000\,000\ N\ cm < 6,79 \times 270(36 - 6,9(100)) = 5\,330\,000\ N\ cm$$

وكما يتضح من هذه النتيجة ، فان مقاومة القطعة الخرسانية المسلحة كافية تماما . اي ان الشرط (III-6) ينطبق تماما على هذه الحالة (لقد اهملنا الحسابات الكاملة لغرض الاختصار) .

البند الخامس
حساب مقاومة المقاطع العمودية للقطع الانشائية المسلحة بفولاذ التحميل الجاسيء

١ – خواص مقاومة القطع المحتوية على فولاذ التحميل الجاسيء

ان فولاذ التحميل الجاسيء (stiff reinforcement) يسلك اثناء فترة اقامة الانشاء قبل تصلب الخرسانة ، مثل سلوك الانشاء الفولاذي العادي . وهكذا فان القطع الفولاذية للتحميل ، تصمم بالنسبة للاحمال المؤثرة عليها اثناء فترة اقامة الانشاء (مثل وزن الخرسانة والقوالب المؤقتة ، الشحن المؤقت ، دفع الريح وغير ذلك) استنادا الى المواصفات القياسية لتصميم الانشاءات المعدنية .

وفي ظروف استثمار الانشاء بعد ان تكتسب الخرسانة المقاومة اللازمة لها ، نجد ان فولاذ التحميل يعمل او يقاوم الحمل بالاشتراك مع الخرسانة في نفس الوقت .

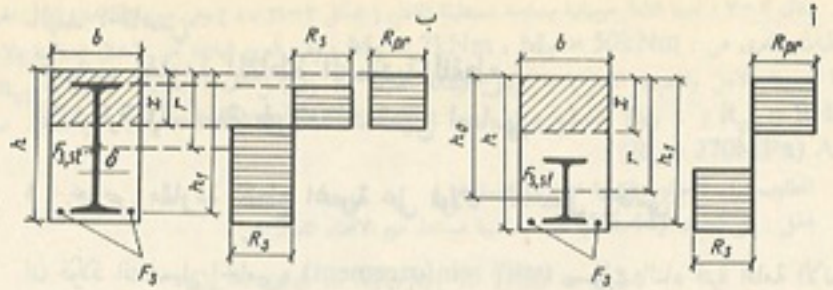
وقد اثبتت التجارب ان فولاذ التحميل (المقاطع الفولاذية المدلفنة الجاسئة والهياكل الفولاذية المجسمة الملحومة) تعمل بالاشتراك مع الخرسانة عملا موحدا ، من البداية حتى مرحلة الانهيار . ونجد في هذه الحالة ان مقاومة فولاذ التحميل (الذي يملك نقطة خضوع معينة) ومقاومة الخرسانة ، تستخدمان بصورة كاملة . ان السعة الحمليّة للقطع الخرسانية المسلحة الحاوية لفولاذ التحميل الصلب ، لا تعتمد على الاجهادات الاوليّة الناجمة في فولاذ التحميل في مرحلة اقامة الانشاء .

ان مساحة المقطع العرضي لفولاذ التحميل تؤخذ اقل ما يمكن ، حسب ما تسمح به احمال التركيب . اما عند الحساب بالنسبة لاحمال التشغيل فيمكن ان يضاف الى المقطع الخرساني المسلح ، فولاذ تسليح مرن يشترك في مقاومة الاحمال . وان حساب وتصميم مقاومة القطع الخرسانية المسلحة ، المحتوية على هياكل تحميل فولاذية جاسئة ملحومة ، لا يختلف عن حساب القطع الخرسانية المسلحة العادية .

٢ – القطع الانشائية المستطيلة المقطع

عند حساب وتصميم القطع الانشائية المحتوية على فولاذ التحميل الجاسيء هناك وضعان مختلفان لمحور تعادل المقطع هما :

الوضع الاول . عندما لا يقطع محور التعادل ، فولاذ التحميل الجاسيء (شكل ٣–١٧ ، أ) . وتؤخذ الرسوم البيانية للاجهادات (اجهادات الانضغاط في الخرسانة



شكل ٣ – ١٧ . المقاطع العرضية المستطيلة للقطع الانشائية المعرضة للانحناء المسلحة بفولاذ جامىء :

أ – محور التعادل لا يقطع السطح الجانبى للفولاذ الجامىء ؛ ب – محور التعادل يقطع السطح الجانبى للفولاذ الجامىء

واجهادات الشد فى الفولاذ) مستطيلة الشكل . ويتلخص حساب المقاومة فى مراجعة الشرط التالى :

$$M \leqslant 0{,}5R_{pr}bx^2 + R_{s.\,st}F_{s.\,st}(r - x) + R_sF_s(h_1 - x) \qquad \text{(III-50)}$$

لقد اخذت العزوم هنا حول محور التعادل ؛ $F_{s.st}$ – تمثل مساحة مقطع فولاذ التسليح الجامىء ؛ $R_{s.st}$ – المقاومة التصميمية للفولاذ الجامىء ، اما بقية الرموز فهى نفس الرموز الموجودة فى الشكل (٣ – ١٧ ، أ) .

ويحدد موضع محور التعادل من المعادلة التالية :

$$bxR_{pr} = R_{s.\,st}F_{s.\,st} + R_sF_s \qquad \text{(III-51)}$$

الوضع الثانى . عندما يقطع التعادل وترة (web) مقطع الفولاذ الجامىء (شكل ٣ – ١٧ ، ب) . وتحسب مقاومة المقطع من الشرط التالى :

$$M \leqslant 0{,}5R_{pr}bx^2 + R_{s.\,st}[T + (r - x)^2\delta] + R_sF_s(h_1 - x) \qquad \text{(III-52)}$$

حيث T – العزم اللدن لمقاومة الفولاذ الجامىء ؛ $(r - x)^2\delta$ – عامل تصحيح لعزم المقاومة اللدن ، وذلك لان العزم فى الصيغة (III-52) يؤخذ حول محور تعادل المقطع برمته ؛ اما العزم T – فيؤخذ حول محور تعادل مقطع الفولاذ فقط .

وبالنسبة للمقاطع على شكل I وعلى شكل ـــ ، يكون لدينا $T = 1{,}17W$ (حيث W – عزم المقاومة فى الحالة المرنة) .

ويحدد موقع محور التعادل فى هذه الحالة ، من المعادلة التالية :

$$bxR_{pr} = 2R_{s.\,st}(r - x)\delta + R_sF_s \qquad \text{(III-53)}$$

وفى كلتا الحالتين ، يجب ان يتحقق الشرط التالى فى منطقة انضغاط المقطع :

$$x \leqslant \xi_R h_0$$

حيث h_0 – المسافة الواصلة بين محصلة قوى الشد فى الفولاذ الجامىء والفولاذ المرن ، وبين السطح المنضغط للمقطع ؛ ξ_R – القيمة القصوى (النهائية) لمنطقة الانضغاط ، المحددة طبقا للوصف الموجود فى البند الثانى من هذا الفصل .

٣ – القطع الانشائية التى مقاطعها على شكل T

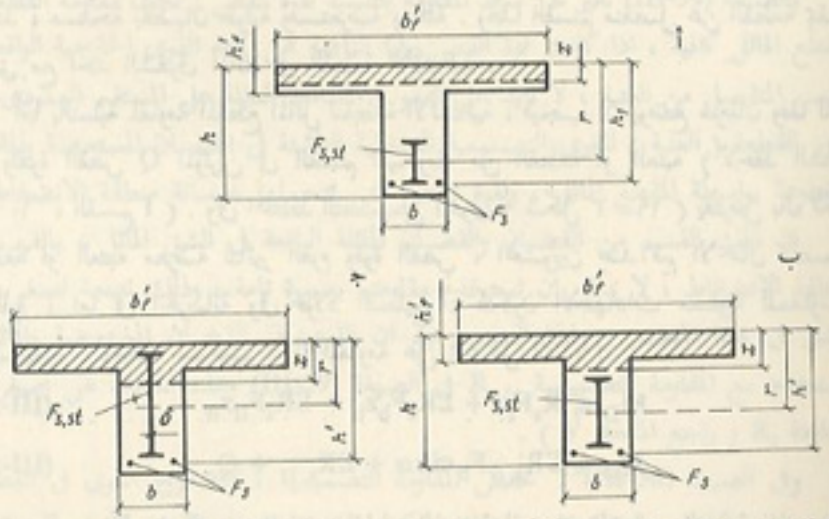
اذا كانت $x \leqslant h'_f$ ومحور التعادل لا يقطع فولاذ التسليح الجامىء (شكل ٣ – ١٨ ، أ) ، عندئذ يحسب باعتباره مستطيل الشكل ابعاده b'_f و h ؛ ويدخل فولاذ التسليح الجامىء فى الحساب على قدم المساواة مع الفولاذ المرن .

واذا كان $x > h'_f$ ، ولكن محور التعادل لا يقطع فولاذ التسليح الجامىء (شكل ٣ – ١٨ ، ب) ، عندئذ بوضع معادلة العزوم المأخوذة حول محور التعادل فى المقطع ، سنحصل على شرط المقاومة التالى :

$$M \leqslant [(b'_f - b)h'_f(x - 0{,}5h'_f) + 0{,}5bx^2]R_{pr} + \\ + R_{s.\,st}F_{s.\,st}(r - x) + R_sF_s(h' - x) \qquad \text{(III-54)}$$

ويحدد موقع محور التعادل من المعادلة التالية :

$$[(b'_f - b)h'_f + bx]R_{pr} = R_{s.\,st}F_{s.\,st} + R_sF_s \qquad \text{(III-55)}$$



شكل ٣ – ١٨ . المقاطع العرضية على شكل T للقطع المعرضة للانحناء المسلحة بفولاذ جامىء :

أ – محور التعادل يقع ضمن الشفة ولا يقطع السطح الجانبى للفولاذ الجامىء ؛ ب – محور التعادل يقع تحت الشفة ولا يقطع السطح الجانبى للفولاذ الجامىء ؛ جـ – محور التعادل يقع تحت الشفة ويقطع السطح الجانبى للفولاذ الجامىء

وعندما تكون $x > h'_f$ ومحور التعادل يقطع فولاذ التسليح الجانبي (شكل ٣ – ١٨ ، جـ) عندئذ ستكون المعادلات المماثلة للمعادلات السابقة ، على الشكل التالى :

$$M \leqslant [(b'_f - b)h'_f(x - 0{,}5h'_f) + 0{,}5bx^2]R_{pr} + \\ + R_{s.\,st}[T + (r - x)^2\delta] + R_sF_s(h' - x) \qquad \text{(III-56)}$$

$$[(b'_f - b)h'_f - bx]R_{pr} = R_{s.\,st}2(r - x)\delta + R_sF_s \qquad \text{(III-57)}$$

وعند الحسابات بواسطة الصيغ المرقمة من (III-54) الى (III-57) يجب مراعاة تحقيق الشرط $x \leqslant \xi_R h_0$.

البند السادس
حساب مقاومة المقاطع المائلة

١ – الصيغ الأساسية للحساب

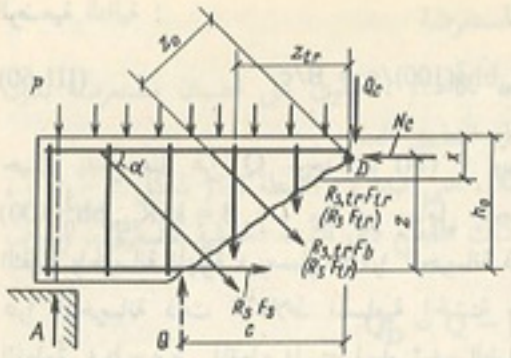
ان انهيار القطع المعرضة للانحناء من المقطع المائل ، يحدث نتيجة للتأثير الموحد لكل من عزوم الانحناء وقوى القص فى المقطع المبحوث . وتبعا لذلك تتطور القوى الداخلية فى فولاذ التسليح ، الذى تقطعه الشقوق المائلة ، وكذلك تتطور تلك القوى فى خرسانة منطقة الانضغاط . ويبين الشكل (٣ – ١٩) قسما من اقسام قطعة خرسانية مسلحة ، يقع بقرب المسند ، مسلحة بقضبان طولية ومستعرضة ومائلة . وهذا القسم منفصل عن القطعة بمقطع ينطبق مع احد الشقوق المائلة فى القطعة الانشائية .

أما بالنسبة لمقاومة المقطع المائل للقطعة الانشائية ، فيجب ان يوضع شرطان وفقا للعزم M ولقوة القص Q المؤثرين فى القسم المبحوث من القطعة او العتبة (لاحظ الشكل ٣ – ١٠ ، القسم I) . وفى المخطط التصميمى للقوى (شكل ٣ – ١٩) يفترض بان تكون القطعة او العتبة معرضة لتأثير العزم وقوة القص ، المحسوبين عند قيم الاحمال المصممة المناظرة ، اما فى الخرسانة وفى فولاذ التسليح ، فتكون الاجهادات مساوية للمقاومات التصميمية . وهكذا سيكون شرطا المقاومة على الشكل التالى :

$$M_D \leqslant R_sF_sz + \Sigma R_sF_bz_b + \Sigma R_sF_{tr}z_{tr} \qquad \text{(III-58)}$$

$$Q_D \leqslant \Sigma R_{s.\,tr}F_b \sin\alpha + \Sigma R_{s.\,tr} + Q_c \qquad \text{(III-59)}$$

حيث F_s ، F_{tr} ، F_b – مساحات المقاطع العرضية لقضبان التسليح الطولية والمستعرضة (الاطواق) والمائلة (المحنية) على التوالى ؛ Q_c – قوة القص التى تتحملها خرسانة منطقة الانضغاط فى المقطع العرضى المائل ؛ α – زاوية ميل القضبان المحنية على المحور الطولى



شكل ٣ – ١٩ . المخطط التصميمى للقوى (الاحمال) فى المقطع المائل (القيم الموضوعة داخل الاقواس تمثل القوى فى القضبان الفولاذية المستعرضة والمائلة ، المأخوذة عند حساب وتصميم المقاطع المائلة تبعا لعزم الانحناء)

للقطعة ؛ z ، z_b و z_{tr} – أذرع القوى (lever arms) فى القضبان الطولية والمائلة والمستعرضة على التوالى ؛ M_D و Q_D – عزم الانحناء المصمم وقوة القص ، المحدّدان بالنسبة للنقطة D .

ان الصيغة (III-58) تعبر عن شرط المقاومة استنادا الى عزم الانحناء : تكون مقاومة القطعة الانشائية فى المقطع المائل كافية ، اذا كان عزم انحناء M_D كافة القوى الخارجية الواقعة فى القسم المنفصل من العتبة ، المأخوذ حول مركز (محور) منطقة الانضغاط ، لا يزيد على مجموع القوى التصميمية الداخلية ، الناجمة فى القضبان الطولية والمستعرضة والمائلة ، حول نفس نقطة الارتكاز (fulcrum) المذكورة هنا .

والصيغة (III-59) تعبر عن شرط المقاومة بالنسبة لقوة القص : تكون مقاومة القطعة فى المقطع المائل كافية ، اذا كانت قوة القص Q_D الناجمة عن كافة القوى الخارجية الواقعة فى القسم المنفصل من العتبة ، لا تزيد على مجموع المساقط النازلة على المستقيم العمودى على محور القطعة (العتبة) للقوى التصميمية الداخلية الناشئة فى القضبان المستعرضة والمائلة ، المقطوعة بواسطة المقطع المائل ، ولقوة القص التى تتحملها خرسانة منطقة الانضغاط .

ان ذلك القسم من القضبان والقضبان المائلة الواقعة فى الشق المائل ، بالقرب من منطقة الانضغاط ، لا يمكن ان تستخدم مقاومتها بصورة تامة ، وذلك نتيجة لصغر فتحة الشق فى هذا الموضع . ولهذا السبب نجد ان القوى فى القضبان المستعرضة والمائلة ، تستخدم مع المقاومة التصميمية $R_{s.tr}$ فى الصيغة (III-59) وهذه المقاومة هى اصغر من المقاومة R_s (راجع الملحق V) .

وفى الصيغة (III-58) لا تخفض المقاومة التصميمية ، لان عزوم القوى فى القضبان المستعرضة والمائلة ، الواقعة بقرب نقطة الارتكاز ، قليلة القيمة ولا تؤثر تأثيرا ملموسا على النتائج النهائية .

ان قوة القص المصممة ، التى تتحملها خرسانة منطقة الانضغاط ، تحدد من الصيغة

الوضعية التالية :

$$Q_c = k_2 R_{ten} b h_0^2 (100)/c = B/c \qquad \text{(III-60)}$$

حيث يعبر هنا عن Q بوحدات (N) ؛ ويعبر عن R_{ten} بوحدات (MPa) ؛ $B = k_2 R_{ten} b h_0^2 (100)$ ؛ و k_2 هو معامل التجربة ، الذى يؤخذ مساويا ٢ للخرسانة الثقيلة والخرسانة المهوّاة ؛ ومساويا ١٫٧٥ للخرسانة ذات الاخلاط المسامية الخشنة ، ومساويا ١٫٥ للخرسانة ذات الاخلاط المسامية الخشنة والناعمة ؛ h_0 – الارتفاع الفعال لمقطع القطعة ؛ b – عرض المقطع المستطيل او ثخن الضلع القائم (الوترة) فى المقطعين T و I ؛ c – مسقط المقطع المائل على محور القطعة الانشائية (العتبة) .

ان شرط المقاومة تبعا لعزم الانحناء (III-58) يحقق عادة بدون حساب ، وذلك بمراعاة بعض الشروط التصميمية المعينة ، التى سنتحدث عنها ادناه . اما شرط المقاومة تبعا لقوة القص (III-59) فيتطلب عادة اجراء حساب خاص .

واستنادا الى النصائح العملية التطبيقية ، يجب بالنسبة للقطع ذات المقاطع العرضية المستطيلة والتى على شكل T وغير ذلك من المقاطع المماثلة ، ان يراعى الشرط الخاص بالقيمة القصوى لقوة القص :

$$Q \leqslant 0{,}35 R_{pr} b h_0 (100) \qquad \text{(III-61)}$$

(Q تقاس هنا بوحدات N ، و R_{pr} بوحدات MPa) . وهذا الشرط يؤمن مقاومة الخرسانة فى وترة المقطع بين الشقوق المائلة الناجمة هنا عن تأثير قوى الانضغاط المائلة . وبالنسبة للقطع الانشائية السابقة الاجهاد ، التى تحتوى بصورة عامة على قضبان طولية ومستعرضة ومائلة سابقة الاجهاد ، يجب ان توضع حدود مناظرة لها فى كل من الصيغتين (III-58) و (III-59) تماما كما فعلنا سابقا فى الصيغتين (III-3) و (III-4) عند حساب مقاومة المقطع العمودى للقطعة الانشائية (العتبة) .

ولا يتم حساب مقاومة القطع تبعا لقوة القص ، اذا لم تنشأ فيها (تبعا للتصميم) شقوق مائلة . وهذا يتقرر باستخدام العلاقة الوضعية التالية :

$$Q \leqslant k_1 R_{ten} b h_0 (100) \qquad \text{(III-62)}$$

حيث k_1 – معامل تبلغ قيمته بالنسبة للخرسانة الثقيلة والخرسانة المهوّاة ٠٫٦ ، وللخرسانة ذات الاخلاط المسامية ٠٫٤ (حيث تقاس Q بوحدات N نيوتن = ١٠٫ داين ؛ اما R_{ten} فتقاس بوحدات MPa ميجاباسكال) .

٢ – حساب وتصميم القضبان المستعرضة

لنبحث الآن قطعة انشائية معرضة للانحناء ، تحتوى على قضبان مستعرضة بدون قضبان محنية ، وهى الاكثر استخداما فى التطبيق العملى .

ومن بين كافة المقاطع المائلة المحتملة ، التى تبدأ من النقطة B (شكل ٣ – ٢٠) ، سنأخذ فى الاعتبار لاغراض التصميم ، ذلك المقطع ذى السعة الحملية الصغرى . وسوف نأخذ فى الاعتبار ما يلى :

$$Q_D = Q - pc \qquad \text{(III-63)}$$
$$\Sigma R_{s.\,tr} F_{tr} = q_{tr} c$$

حيث Q – قوة القص فى بداية المقطع المائل (شكل ٣ – ٢٠) ؛ q_{tr} – القوة التى تتحملها المقاطع العرضية ، لكل وحدة طول من القطعة الانشائية .

وبتعويض الصيغتين (III-60) و (III-63) فى الصيغة (III-59) نجد ما يلى :

$$Q \leqslant (q_{tr} + p)c + B/c \qquad \text{(III-64)}$$

ومن الواضح هنا ان السعة الحملية الصغرى للمقطع المائل ، ستحدد هنا من الشرط التالى :

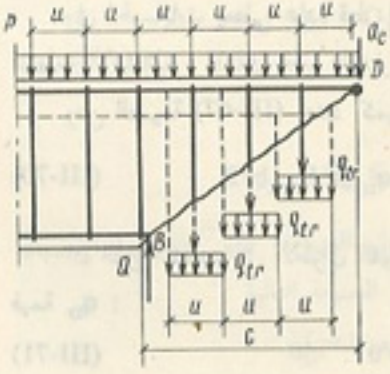
$$dQ/dc = (q_{tr} + p) - B/c^2 = 0$$

ومن هذه الصيغة نحصل على قيمة مسقط المقطع المائل المصمم ، وهى :

$$c = \sqrt{B/(q_{tr} + p)} = \sqrt{k_2 R_{ten} b h_0^2/(q_{tr} + p)} \qquad \text{(III-65)}$$

ان تعويض هذه القيمة فى الصيغة (III-64) يعطينا شرط المقاومة تبعا لقوة القص مع الاخذ فى الاعتبار القيمة الصغرى للسعة الحملية للمقطع المائل :

$$Q \leqslant 2\sqrt{B(q_{tr} + p)}$$



شكل ٣ – ٢٠ . القوى فى القضبان المستعرضة المأخوذة عند حساب وتصميم المقاطع المائلة للعتبة

وبتعويض قيمة B الناجمة من الصيغة (III-60) فى الصيغة السابقة اعلاه ، نحصل على قوة القص التى تتحملها الاطواق الفولاذية والخرسانة فى المقطع المصمم المائل :

$$Q_{tr.c} = 2\sqrt{k_2 R_{ten} b h_0^2 (q_{tr} + p)} \qquad \text{(III-66)}$$

وفى الظروف الواقعية ، نجد ان الحمل p يعتبر فى كثير من الحالات ، منتظم التوزيع لغرض اجراء الحساب فقط ، اما فى حقيقة الامر فهو مركز فى اماكن منفردة .

وقد لا يوجد أى تأثير لهذا الحمل على امتداد المقطع المائل ولهذا السبب ، يجب اخذ الحمل فى الاعتبار ، فى حالة واحدة فقط ، هى عندما يكون الحمل منتظم التوزيع بالفعل ، مثلا كما فى حالة ضغط الماء او التربة .

وبتعويض $p = 0$ فى الصيغتين (III-65) و (III-66) نجد ان السعة الحملية للمقطع ، تبعا لقوة القص ، المؤمنة بمقاومة خرسانة منطقة الانضغاط ومقاومة الاطواق الفولاذية ، ستساوى ما يلى :

$$Q_{tr.c} = 2\sqrt{k_2 b h_0^2 R_{ten} q_{tr}} \qquad \text{(III-67)}$$

وفى هذه الحالة ، سيحدد طول مسقط المقطع المصمم المائل ، من الصيغة التالية :

$$c_0 = \sqrt{k_2 R_{ten} b h_0^2 / q_{tr}} \qquad \text{(III-68)}$$

واستنادا الى الرسم التخطيطى الموضح فى الشكل (٣ – ٢٠) ، يمكن كتابة العلاقتين التاليتين :

$$F_{tr} = f_{tr} n \quad , \quad q_{tr} u = R_{s.tr} F_{tr} \quad \text{أو} \quad q_{tr} u = R_{s.tr} f_{tr} n \qquad \text{(III-69)}$$

حيث u – المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة (الاطواق) ؛ f_{tr} – المقطع العرضى لقضيب مستعرض واحد (فرع واحد للطوق) ؛ n – عدد القضبان المستعرضة فى المقطع العرضى للقطعة .

وفى الحسابات يعطى عادة قطر القضبان المستعرضة وعدد القضبان فى المقطع العرضى للقطعة الانشائية ، لذلك يعتبر المقدار $f_{tr} n = F_{tr}$ بمثابة مقدار معلوم القيمة مسبقا .

ومن الصيغة (III-67) تحدد كمية فولاذ التسليح المستعرض :

$$q_{tr} = Q^2 / 4 k_2 b h_0^2 R_{ten} \quad \text{أو} \quad q_{tr} \geqslant R_{ten} b/2 \qquad \text{(III-70)}$$

ان القوة الموجودة فى الاطواق الفولاذية ، المؤثرة فى وحدة طول القطعة ، يجب ان تحقق قيمة q_{tr} :

$$q_{tr} = R_{s.tr} F_{tr} / u \qquad \text{(III-71)}$$

ويجب ان نأخذ فى الاعتبار ، ان المسافة بين قضبان التسليح المستعرضة لا يجب ان تزيد على ما سبق ، عندما يمر المقطع المائل فى الحدود الواقعة بين قضيبين مستعرضين متجاورين ، وان سعته الحملية تعتمد فقط على مقاومة خرسانة منطقة الانضغاط . وفى هذه الحالة ، يصبح الشرط $Q \leqslant Q_c$ واقعيا . والآن نضع نصب أعيننا الصيغة (III-60) التى ادخل فيها المعامل الذى قيمته 0,75 ، والذى يأخذ بالاعتبار الانحرافات المحتملة للاتجاه الحقيقى للشقوق ، عن الاتجاه المصمم والمحسوب ، نتيجة لعدم تجانس الخرسانة ، وكذلك الاخطاء المتوقعة فى ترتيب الاطواق الفولاذية . وفى هذه الحالة ، يجب ان لا تزيد المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة ، على القيمة التالية :

$$u_{max} = 0{,}75 k_2 R_{ten} b h_0^2 / Q \qquad \text{(III-72)}$$

وعند تحديد المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة ، يجب بالاضافة الى القوى المصممة ، ان نأخذ فى الاعتبار ايضا الشروط التصميمية (راجع البند الاول من هذا الفصل) .

ان كمية قضبان التسليح المستعرضة (المسافة الفاصلة ، القطر) قد تكون مختلفة من حالة الى اخرى . وان بداية المقاطع المصممة المائلة ، تحدد على حافة المسند وفى الموضع الذى فيه تكون $Q = Q_{tr.cII}$ (شكل ٣ – ٢١ ، أ) . وتؤخذ تبعا لذلك القيم التصميمية لقوة القص . ان قسم القطعة الانشائية ، الذى كمية او شدة تسليحه هى $q_{tr.1}$ ، يمتد من المسند الى الموضع الذى فيه تكون $Q = Q_{tr.cII}$ (شكل ٣ – ٢١ ، أ) .

وعند تأثير الحمل المركز P ، المؤثر على العتبة على مسافة تساوى $a < c_0$ من المسند ، يمكن ان يحدث الانهيار من المقطع المائل ، اى يظهر شق مائل ، يبدأ من المسند وينتهى فى موضع تأثير الحمل (شكل ٣ – ٢١ ، ب ، المقطع I – I) . ويمكن الحصول على شرط المقاومة لمثل هذا المقطع ، استنادا الى الصيغة (III-64) التى يؤخذ فيها $c = a$:

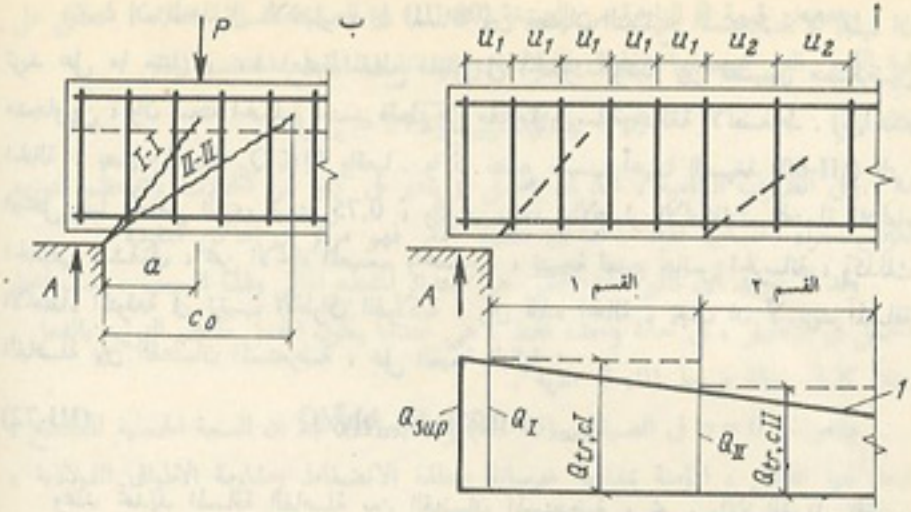
$$Q_1 \leqslant q_{tr} a + B/a$$

او بأخذ الصيغة (III-60) فى الاعتبار كما يلى :

$$Q_1 \leqslant q_{tr} a + k_2 R_{ten} b h_0^2 / a \qquad \text{(III-73)}$$

ومن هنا ينتج ان القوة المؤثرة على وحدة طول العتبة ، التى تتحملها القضبان المستعرضة فى المقطع I – I ، يمكن ان تستخرج من الصيغة التالية :

$$q_{tr}^{I-I} = Q_1/a - k_2 R_{ten} b h_0^2 / a^2 \qquad \text{(III-74)}$$



شكل ٣ – ٢١ . المقاطع المائلة المصممة فى اقسام العتبة :

أ – بمسافات فاصلة (خطوات) مختلفة بين القضبان المستعرضة ؛ ب – بين المسند والحمل المركز عندما تكون $a < C_0$ ؛ ١ – الرسم البيانى لقوة القص Q

واستنادا الى المعادلة (III-70) نجد ان القوة المؤثرة فى القضبان المستعرضة ، خلف الحمل او القوة P ، يمكن ان تستخرج من المعادلة التالية :

$$q_{tr}^{II-II} = (Q_I - P)^2/4k_2bh_0^2R_{ten} \qquad (III-75)$$

ويتم تحديد كمية قضبان التسليح المستعرضة استنادا الى اكبر قيمة من القيمتين q_{tr}^{I-I} او q_{tr}^{II-II} .

مثال ٣ – ٨ . لدينا عتبة ابعاد مقطعها $b = 20cm$ ، $h = 40cm$ ، $h_0 = 36,5cm$ وهى معرضة لقوة قص Q قدرها 80kN ، والخرسانة من النوع الثقيل ماركة ٢٠٠ وعامل خدمة الخرسانة هو $m_{cI} = 1$. وقضبان التسليح المستعرضة من الفولاذ صنف A-II .

المطلوب ايجاد قيمتى F_{tr} و u_{max} .

الحل . نجد من الملحقين I و V فى نهاية الجزء الثانى من هذا الكتاب ما يلى : $R_{pr} = 9MPa$ ؛ $R_{ten} = 0,75MPa$ ، $R_{s.tr} = 215MPa$ وعند مراجعة الشرطين التاليين (III-61) و (III-62) نجد ان :

$$k_1R_{ten}bh_0(100) \leqslant Q \leqslant 0,35R_{pr}bh_0(100)$$

$$0,6 \times 0,75 \times 20 \times 36,5(100) = 33\,000\ N < Q =$$

$$= 80\,000\ N < 0,35 \times 9 \times 20 \times 36,5(100) = 2\,300\,000\ N$$

وكما يظهر من هنا ، نجد ان القضبان المستعرضة ضرورية هنا ، وان ابعاد المقطع العرضى للعتبة ، معقولة فى هذه الحالة .

والآن نأخذ قضيبين مستعرضين بقطر يساوى ٦ مم $(d_{tr} = 6mm)$ ، $(f_{tr} = 0,283cm^2)$ ، $n = 2$ ؛

$$F_{tr} = 0,283 \times 2 = 0,566cm^2 .$$

واستنادا الى المعادلة (III-70) نجد ان القوة المصممة لوحدة طول العتبة ، التى تتحملها القضبان المستعرضة ، تساوى ما يلى :

$$q_{tr} = 80\,000^2/[4 \times 2 \times 20 \times 36,5^2 \times 0,75(100)] =$$

$$= 400\ N/cm < [0,75(100) \times 20]/2 = 750\ N/cm$$

اما المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة فتستخرج من المعادلة (III-71) كما يلى :

$$u = R_{s.tr}F_{tr}/q_{tr} = [215(100) \times 0,566]/750 = 16,2\ cm$$

واستنادا الى الشرط (III-72) نجد ان :

$$u_{max} = 0,75k_2R_{ten}bh_0^2/Q = [0,75 \times 2 \times 0,75 \times$$

$$\times 20 \times 36,5^2(100)]/80\,000 = 37\ cm$$

واستنادا الى الشروط التصميمية (راجع البند الاول من هذا الفصل) نجد ان $u \leqslant h/2 = 40/2 = 20cm$ و $u \leqslant 15cm$ اذن نأخذ المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة ، مساوية لاصغر القيمتين اعلاه وهى : $u = 15cm$.

٣ – حساب وتصميم القضبان المحنيّة

فى الوقت الحاضر لا تستخدم القضبان المحنيّة (bent bars) فى تسليح القطع الانشائية الا بصورة نادرة نسبيا – وذلك لتقوية الاقسام المنفردة من العتبة ، التى تؤثر فيها قوى قص كبيرة . وان مواضع انحناء هذه القضبان (المواضع التى تنقل فيها بعض قضبان التسليح الطولية من منطقة الشد الى منطقة الانضغاط) تثبت بواسطة حساب المقاطع العمودية والمائلة (شكل ٣ – ٢٢) . وتوضع الاقسام المحنية فى المناطق التى فيها $Q > Q_{tr.c}$. راجع الصيغة (III-67) .

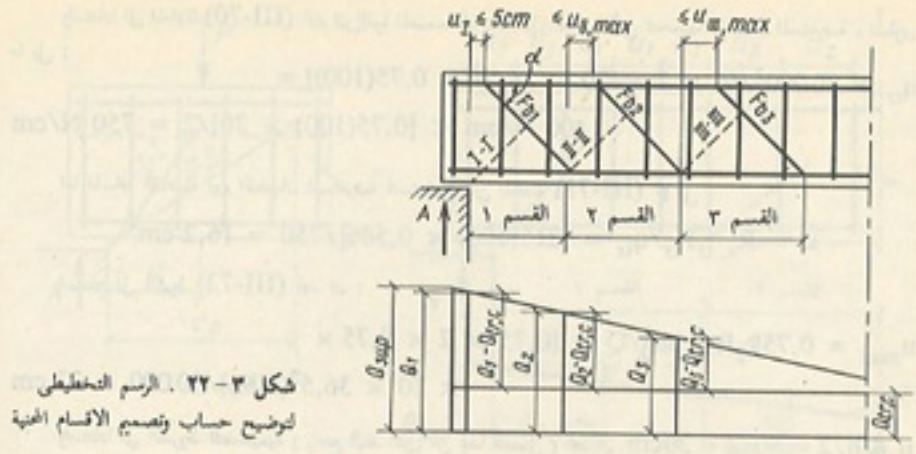
ان شرط مقاومة القطعة الانشائية فى المقطع المائل مع اخذ الاقسام المحنية من القضبان فى الاعتبار ، وهو الشرط المحدد من الصيغة (III-59) يمكن ان يكتب على الشكل التالى :

$$Q \leqslant R_{s.tr}F_b \sin\alpha + Q_{tr.c} \qquad (III-76)$$

ومن هذه المعادلة نستخرج مساحة مقطع القضبان المحنية :

$$F_b = (Q - Q_{tr.c})/R_{s.tr} \sin\alpha \qquad (III-77)$$

والمقطع المائل المصمم فى كل قسم من العتبة (لاحظ الشكل ٣ – ٢٢) هو ذلك المقطع الذى تنطبق بدايته مع الاحداثى الاكبر لقوة القص ، أى عند حافة أو وجه المسند وعند بداية انحناء القضبان . وعند التسليح المتماثل المنتظم بالقضبان المستعرضة فى كافة الاقسام ، تستخرج الاحداثيات التصميمية لقوى القص فى القضبان المحنية $(Q - Q_{tr.c})$ بتصغير الرسم البيانى لقوى القص بمقدار يساوى $Q_{tr.c}$. ان مساحات المقاطع العرضية للقضبان المحنية فى الاقسام ١ ، ٢ ، ٣ استنادا الى حساب المقاطع المائلة I – I ، II – II ،



شكل ٣ – ٢٢ . الرسم التخطيطى لتوضيح حساب وتصميم الاقسام المنحنية

III – III ، تساوى ما يلى على التوالى :

$$\left.\begin{aligned} F_{b1} &= (Q_1 - Q_{tr.c})/R_{s.tr}\sin\alpha \\ F_{b2} &= (Q_2 - Q_{tr.c})/R_{s.tr}\sin\alpha \\ F_{b3} &= (Q_3 - Q_{tr.c})/R_{s.tr}\sin\alpha \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-78)}$$

وترتب الاقسام المنحنيّة كما مبين فى الشكل (٣ – ٢٢) : ان المسافة الفاصلة بين الوجه الداخلى للمسند وقمة القضيب المنحنى الاول ، يجب ان تكون $u_1 = 5cm$ ، اما المسافة الخالصة بين القضبان المنحنية المتعاقبة المتجاورة u_{II} و u_{III} فيجب ان لا تزيد على ما يلى :

$$u_n \leqslant 0{,}75k_2R_{ten}bh_0^2/Q_{n.max} \qquad \text{(III-79)}$$

حيث $Q_{n.max}$ – القيمة القصوى لقوة القص عند القسم المناظر . واذا كان المقطع المائل ، المناظر لاقل سعة حملية تبعا لقوة القص (مع المسقط الذى يساوى c_0 للمقطع المائل) يقطع قضيبين من القضبان المنحنيّة ، مثل المقطع I – I فى القسم ١ (شكل ٣ – ٢٣) ، عندئذ يعبر عن شرط المقاومة فى المقطع I – I بواسطة المتباينة التالية :

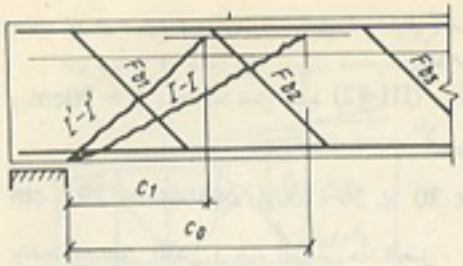
$$Q_1 \leqslant Q_{tr.c} + (F_{b1} + F_{b2})R_{s.tr}\sin\alpha \qquad \text{(III-80)}$$

ومنها ينتج ان :

$$F_{b1} + F_{b2} = (Q_1 - Q_{tr.c})/R_{s.tr}\sin\alpha \qquad \text{(III-81)}$$

وهنا يصبح من الضرورى مراجعة المقاومة فى المقطع المائل I – I الذى طول مسقطه يساوى c_1 :

$$F_{b1} = [Q_1 - (q_{tr}c_1 + B/c_1)]/R_{s.tr}\sin\alpha \qquad \text{(III-82)}$$



شكل ٣ – ٢٣ . الرسم التخطيطى لتوضيح حساب وتصميم الاقسام المنحنية

ومساحة المقطع العرضى للقضيب المنحنى الاول $F_{tr.1}$ فى هذه الحالة ، لا تحدد من الصيغة (III-78) ولكن استنادا الى القيمة الاكبر من القيمتين المحسوبتين من الصيغتين (III-81) و (III-82) .

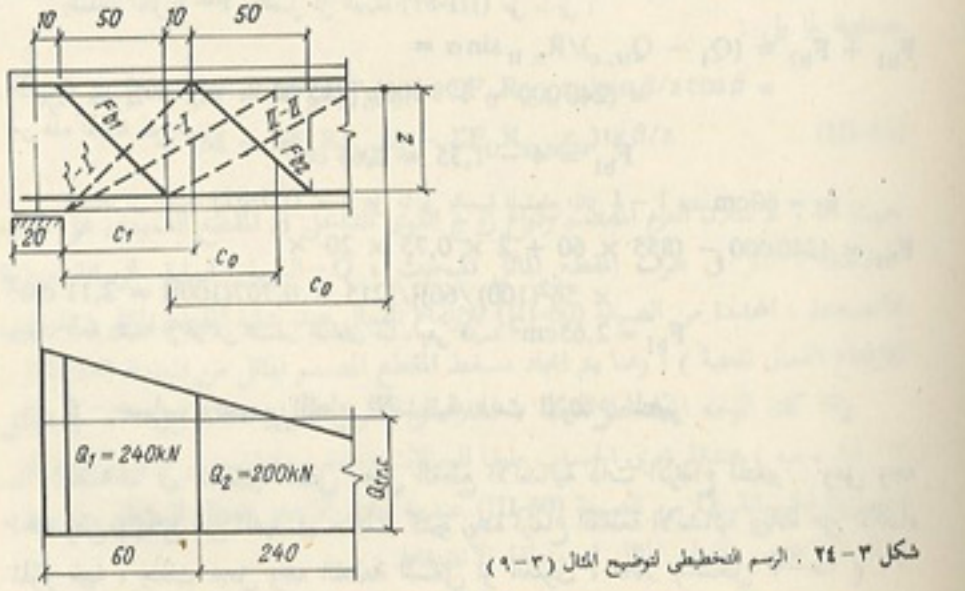
مثال ٣ – ٩ . لدينا عتبة مستطيلة المقطع ابعاده هى $b = 20cm$ ، $h = 60cm$ ، $h_0 = 56cm$ والعتبة من الخرسانة الثقيلة ماركة ٢٠٠ ومعامل الخدمة $m_{c1} = 1$ ، $R_{pr} = 9MPa$ ، $R_{ten} = 0{,}75MPa$ والقضبان المنحنية من الفولاذ صنف A-II ، $R_{s.tr} = 215MPa$ ؛ والقضبان المستعرضة (الاطواق) من الفولاذ صنف A-I ، $R_{s.tr} = 170MPa$. وموضع كل من القضبان المنحنية والرسم البيانى لقوة القص ، مبينان فى الشكل (٣ – ٢٤) .

المطلوب ايجاد مساحة مقطع القضبان المستعرضة والقضبان المنحنية .

الحل . ان مراجعة الشرطين (III-61) و (III-62) تجعلنا نحصل على ما يلى :

$$0{,}6 \times 0{,}75 \times 20 \times 56(100) = 50\,500\ N < 240\,000\ N$$

$$< 0{,}35 \times 9 \times 20 \times 56(100) = 353\,000\ N$$



شكل ٣ – ٢٤ . الرسم التخطيطى لتوضيح المثال (٣ – ٩)

وهكذا نجد ان تسليح العتبة بقضبان مستعرضة (اطواق) ضروريا فى هذه الحالة ، وابعاد مقاطعها العرضية معقولة هنا .

الان سنأخذ فى حالتنا هذه قضبين مستعرضين قطرهما $d = 8mm$ $(f_{tr} = 0{,}503cm^2)$ ، $n = 2$ و $u = 20cm$ ، وهذا ما يجعل الشرط (III-72) يتحقق تماما :

$$u = 20\ cm < u_{max} 0{,}75 k_2 R_{ten} bh_0^2/Q =$$
$$= [0{,}75 \times 2 \times 0{,}75 \times 20 \times 56^2(100)]/240\,000 = 29{,}5\ cm$$

والشرط التصميمى المذكور فى البند الاول من هذا الفصل :

$$u = 20cm = h/3$$

واستنادا الى الصيغة (III-71) نجد ان القوة المؤثرة على وحدة طول العتبة ، والتى تتحملها القضبان المستعرضة ، تساوى ما يلى :

$$q_{tr} = R_{s.\,tr} F_{tr}/u = [170(100) \times 0{,}503 \times 2]/20 = 855\ N/cm$$

اما قوة القص التى تتحملها القضبان المستعرضة والخرسانة ، فتحسب من الصيغة (III-67) :

$$Q_{tr.\,c} = 2\sqrt{k_2 bh_0^2 R_{ten} q_{tr}} =$$
$$= 2\sqrt{2 \times 20 \times 56^2 \times 0{,}75 \times 855(100)} = 179\,500\ N$$

ولحساب وتصميم القضبان المائلة ، نوجد مسقط المقطع المصمم المائل من الصيغة (III-68) :

$$c_0 = \sqrt{k_2 bh_0^2 R_{ten}/q_{tr}} = \sqrt{[2 \times 0{,}75 \times 20 \times 56^2(100)]/855} = 105\ cm$$

ان المقطع المائل هنا $I - I$ يقطع قضبين عتيّن ، والمقطع $II - II$ يقطع قضبا عتيا واحدا فقط .

ان المساحة المطلوبة للمقطع العرضى للقضيب المنحنى التالى تحدد من الصيغة (III-78) كما يلى :

$$F_{b2} = (Q_2 - Q_{tr.\,c})/R_{s.\,tr} \sin\alpha =$$
$$= (200\,000 - 179\,500)/[215 \times 0{,}707(100)] = 1{,}35\ cm^2$$

وللمقطع المائل $I - I$ ، نحصل من الصيغة (III-81) على ما يلى :

$$F_{b1} + F_{b2} = (Q_1 - Q_{tr.\,c})/R_{s.\,tr} \sin\alpha =$$
$$= (240\,000 - 179\,500)/[215 \times 0{,}707(100)] = 4\ cm^2$$

ومن هذه المعادلة ينتج ان :

$$F_{b1} = 4 - 1{,}35 = 2{,}65\ cm^2$$

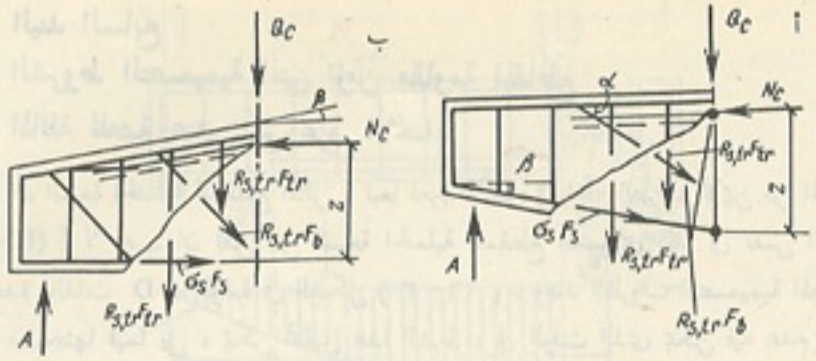
واستنادا الى الصيغة (III-82) نحصل على ما يلى بالنسبة للمقطع المائل $I - I$ عند $c_1 = 60cm$:

$$F_{b1} = [240\,000 - (855 \times 60 + 2 \times 0{,}75 \times 20 \times$$
$$\times 56^2(100)/60)]/[215 \times 0{,}707(100)] = 2{,}11\ cm^2$$

وسوف نأخذ القيمة الاكبر من القيمتين الناتجتين هنا ، وهى القيمة $F_{b1} = 2{,}65cm^2$.

٤ – حساب وتصميم القطع الانشائية ذات الارتفاع المتغيّر

تصادفنا فى التطبيق العملى بعض القطع الانشائية ذات الارتفاع المتغير . وعلى وجه الخصوص ، يكون من المفيد فى حالات كثيرة زيادة ارتفاع القطعة الانشائية بزيادة عزم الانحناء المؤثر فيها ، وذلك بجعل وجه القطعة السفلى او العلوى ، مائلا (شكل ٣ – ٢٥) .



شكل ٣ – ٢٥ . مخطط القوى فى المقاطع المائلة للقطع الانشائية المتغيرة الارتفاع

واذا كانت زاوية ميل وجه القطعة المعرض للشد ، على المحور الطولى تساوى β (شكل ٣ – ٢٥ ، أ) ، عندئذ يمكن التعبير عن شرط مقاومة المقطع المائل لقوة القص ، بواسطة الشرط التالى :

$$Q \leqslant \Sigma R_{s.\,tr} F_b \sin\alpha + \Sigma R_{s.\,tr} F_{tr} + Q_c + \sigma_s F_s \sin\beta \qquad \text{(III-83)}$$

حيث تكون مساقط القوى فى منطقة الشد ، النازلة على المحور على منطقة الانضغاط ، مساوية لما يلى :

$$\sigma_s F_s \sin\beta = (M - \Sigma F_b R_{s.\,tr} z_b - \Sigma F_{tr} R_{s.\,tr} z_{tr}) \sin\beta/z \cos\beta =$$
$$= (M - \Sigma F_b R_{s.\,tr} z_b - \Sigma F_{tr} R_{s.\,tr} z_{tr}) tg\beta/z \qquad \text{(III-84)}$$

حيث M و z تمثلان العزم المصمم وذراع زوج القوى الداخلى فى المقطع العمودى على الوجه المنضغط ، المار فى طرف المقطع المائل المبحوث ؛ Q – السعة الحملية لخرسانة منطقة الانضغاط ، المحددة من الصيغة (III-60) للارتفاع الفعال عند بداية المقطع المائل (المساوى للارتفاع الفعال للعتبة) ؛ وهنا يتم ايجاد مسقط المقطع المصمم المائل من المعادلة (III-68) .

واذا كان الوجه المنضغط للعتبة ، مائلا على المحور الطولى للعتبة بزاوية β (شكل ٣ – ٢٥ ، ب) عندئذ يجرى الحساب طبقا للحالات العامة ؛ وهنا تستخرج قيمة القوة التى تتحملها الخرسانة Q_c من الصيغة (III-60) عندما يكون الارتفاع الفعال للمقطع وهو h_0 ، واقعا عند طرف المقطع المائل فى منطقة الانضغاط .

البند السابع
الشروط التصميمية التى تؤمن مقاومة المقاطع المائلة للعتبة عند تأثير عزم الانحناء

ان السعة الحملية للمقطع المائل ، تبعا لعزم الانحناء [راجع الطرف الايمن من المتباينة (III-58)] لا يجب ان تقل عن السعة الحملية للمقطع العمودى المار فى نفس النقطة الواحدة بالذات D ، المؤشرة فى الشكل (٣ – ٢٦) . وعند الظروف التصميمية المعينة ، التى سنبحثها فيما يلى ، يمكن تحقيق هذا الشرط ، فى الوقت الذى يمكن فيه عدم اجراء حساب المقاطع المائلة بالنسبة لتأثير عزم الانحناء .

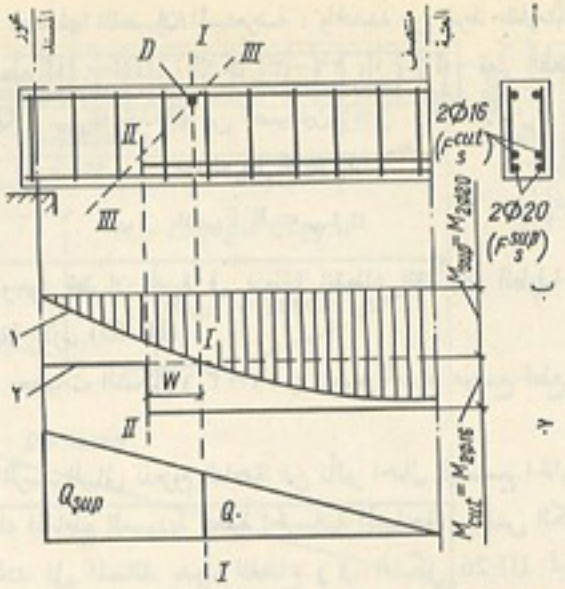
واذا تم تثبيت قضبان التسليح الطولية عند المسند الطليق استنادا الى التعليمات الواردة فى البند الاول من هذا الفصل ، اى تؤمن المقاومة التامة للقضبان الطولية فى باع العتبة ، عندئذ تضمن شروط مقاومة العتبة للانحناء فى كافة المقاطع المائلة ، التى تبدأ عند سطح المسند .

وبالنسبة للمنطقة القريبة من المسند ، فى القطع او العتبات ذات القضبان الطولية الخالية من المثبتات الطرفية ، تؤخذ المقاومة التصميمية للفولاذ بصورة منخفضة استنادا الى ما جاء فى البند الاول ، عند الحساب بواسطة الصيغة (III-58) .

واذا كان تثبيت القضبان الطولية غير كاف لتأمين عملها بمقاومتها التامة فى المقطع المبحوث ، عندئذ تتخذ الاجراءات الخاصة بتقوية المثبتات : مثل وضع قضبان تسليح غير مباشرة فى منطقة التثبيت ، لحام حلقات تثبيت او قطع معدنية مبيّتة مع اطراف القضبان ، حتى القضبان المثبتة للقضبان الطولية ؛ وهنا يجب ان نجعل الطول المثبت للقضبان لا يقل عن 10d .

ان العتبات تسلح فى اغلب الاحيان بدون استخدام قضبان محنية . وفى هذه الحالة ، اذا مدّت كافة قضبان الشد الطولية ، المحددة فى المقطع العمودى ذى عزم الانحناء الاقصى ، الى المساند مع تثبيتها بصورة مناسبة ، عندئذ نجد ان شرط المقاومة تبعا لعزم الانحناء ، يتحقق فى اى مقطع كان من المقاطع المائلة ، حتى بدون اخذ القضبان المستعرضة فى الاعتبار ، وذلك بفضل وجود القضبان الطولية فقط . وفى هذه الظروف ، تنتفى الحاجة الى حساب مقاومة المقاطع المائلة تبعا لعزم الانحناء .

ولغرض الاقتصاد فى كمية الفولاذ ، يمكن عدم مد قسم من القضبان الطولية (لا يزيد على ٥٠ ٪ من المساحة المصممة للفولاذ) الى المساند تماما ، بل يقطع فى نقطة معينة من الباع ، حيث لا حاجة فيها اليه استنادا الى حساب مقاومة القطعة او العتبة فى المقاطع العمودية .



شكل ٣ – ٢٦ . تحديد موضع قطع القضبان فى الباع :

أ – مخطط التسليح ؛ ب – الرسم البيانى للعزوم ؛ جـ – الرسم البيانى لقوى القص ؛ I – I موضع القطع النظرى لقضيبين قطرهما ١٦ م ، II – II موضع القطع الفعلى للقضيبين المذكورين ؛ ١ – الرسم البيانى للعزوم الناجمة عن تأثير الحمل ، ٢ – الرسم البيانى للعزوم التى تتحملها المقاطع العمودية للقطع الانشائية (وهو الرسم البيانى لمواد البناء)

والقضبان المقطوعة يجب ان تمتد الى ما وراء نقطة انقطاعها النظرية ، تبعا للرسم البيانى لعزوم الانحناء (المقطع I – I فى الشكل ٣ – ٢٦) بمسافة قدرها w ، التى على امتدادها (لضمان تحقيق شرط المقاومة بالنسبة لعزوم الانحناء) يعوض عن الاقسام المقطوعة من القضبان الطولية ، بوجود القضبان المستعرضة (الاطواق) .

واستنادا الى هذه الاعتبارات والى ظروف تثبيت القضبان المقطوعة فى الخرسانة ، أثبتت الابحاث النظرية والتطبيقية ، بان طول المسافة w يؤخذ مساويا لاكبر قيمة من القيمتين التاليتين :

$$\left.\begin{aligned} w &= (Q - Q_b)/2q_{tr.w} + 5d \\ w &= 20d \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-85)}$$

حيث Q – قوة القص المصممة فى نقطة القطع النظرى للقضيب الطولى (المقطع I – I فى الشكل ٣ – ٢٦) المناظرة للحمل الذى حددت عند تأثيره هذه النقطة ؛ Q_b – قوة القص التى تتحملها القضبان المحنية فى موضع او نقطة القطع النظرى ، اذا كانت العتبة مسلحة بقضبان محنية اضافة الى القضبان المستعرضة (الاطواق) ؛ $q_{tr.w}$ – القوة المؤثرة على وحدة

طول العتبة ، التى تتحملها القضبان المستعرضة ، والمحددة من شرط مقاومتها لعزم الانحناء فى المقطع المائل (المقطع III – III فى الشكل ٣ – ٢٦ ، أ) ؛ d – قطر القضيب المقطوع .

ان قيمتى Q_b و $q_{tr.w}$ تحددان من الصيغتين :

$$Q_b = R_s F_b \sin\alpha \qquad \text{(III-86)}$$

$$q_{tr.w} = R_s F_{tr}/u \qquad \text{(III-87)}$$

وعند عدم وجود قضبان محنية فى منطقة انقطاع القضبان الطولية ، تؤخذ القيمة $Q_b = 0$ فى الصيغة الأولى (III-85) .

واستنادا الى معطيات الشكل (٣ – ٢٦) يتضح تحديد موضع قطع القضبان الطولية فى باع العتبة .

وتوضع على الرسم البيانى للعزوم الناجمة عن تأثير احمال التصميم الخارجية ، احداثيات العزم الذى تتحمله المقاطع العمودية للعتبة الخرسانية المسلحة ، بنفس الكمية من القضبان الطولية ، التى تمتد الى المساند بدون انقطاع (فى الشكل III-26 نجد ان F_s^{sup} هى لقضيبين قطرهما ٢٠ مم ؛ $M_{sup} = M_{2\varnothing 20}$) . وقيمة هذا الاحداثى ، تستخرج من الصيغة التالية :

$$M_{sup} = R_s F_s^{sup} z_c \qquad \text{(III-88)}$$

ان نقاط تقاطع الاحداثى M_{sup} مع الرسم البيانى للعزوم المصممة ، تحدد موضع الانقطاع النظرى I – I . اما موضع الانقطاع الفعلى للقضبان الطولية وهو II – II فيبعد عن موضع الانقطاع (القطع) النظرى بمسافة قدرها w . وقد بيّن الرسم البيانى لقوى القص ، الاحداثى Q الداخل فى الصيغة (III-85) المستخدمة لتحديد w .

مثال ٣ – ١٠ . لدينا عتبة خرسانية مسلحة (شكل ٣ – ٢٧) خرسانتها ماركة ٢٠٠ ($m_{c1} = 0,85$ ؛ $R_{pr} = 9MPa$) ، وقضبان التسليح الطولية من الصنف A-II ($R_s = 270MPa$) ، والقضبان المستعرضة من الصنف A-I ($R_s = 210MPa$) ، وبلغ قطرها ٨ مم ($f_{tr} = 0,503cm^2$) والمسافة الفاصلة بينها هى $u = 20cm$ ، وباع العتبة يساوى $l = 6m$. والحمل المصمم هو $q = 43,2kN/m$ وابعاد مقطع العتبة هى : الارتفاع $h = 60cm$ ($h_0 = 55cm$) ، والعرض $b = 20cm$.

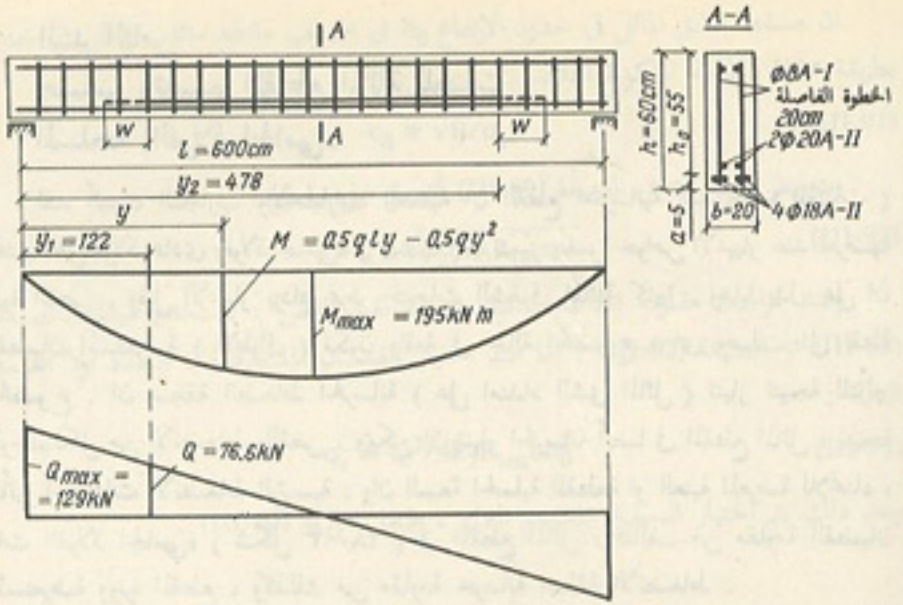
المطلوب ايجاد نقطة قطع القضيبين الطوليين للشد ، الواقعين فى الصف الثانى من المقطع .

الحل . نحسب مقاومة العتبة فى المقطع العمودى المسلح ، بعد قطع القضيبين الطوليين . ان مساحة مقطع القضبان الاربعة الباقية التى قطرها ١٨ مم هى $F_s^{sup} = 10,18cm^2$. وارتفاع منطقة الانضغاط يساوى :

$$x = R_s F_s^{sup}/m_{c1} R_{pr} b = (270 \times 10,18)/(0,85 \times 9 \times 20) = 18 \text{ cm}$$

ونستخدم الصيغة (III-88) لحساب العزم الذى تتحمله القضبان الاربعة التى قطرها ١٨ مم :

$$M = R_s F_s^{sup}(h_0 - 0,5x) = 270 \times 10,18(55 - 0,5 \times 18)(100) =$$
$$= 12\,600\,000 \text{ N cm} = 126 \text{ kN m}$$



شكل ٣ – ٢٧ . رسم تخطيطى يوضح المثال (٣ – ١٠)

ونستخرج موضع القطع النظرى من الشرط التالى :

$$M = 0,5qly - 0,5qy^2$$

$$126 = 0,5 \times 43,2 \times 6y - 0,5 \times 43,2y^2$$

ومنها يتبع ان :

$$y_1 = 1,22 \text{ m} \quad ، \quad y_2 = 4,78 \text{ m}$$

والآن نحصل من المعادلة (III-87) على ما يلى :

$$q_{tr.w} = R_s f_{tr} n/u = [210 \times 0,503 \times 2(100)]/20 = 1\,050 \text{ N/cm}$$

اما قوة القص عند موضع القطع النظرى للقضبان ، فنستخرج من المثلثات المتشابهة الموجودة فى الرسم البيانى لقوة القص :

$$Q = Q_{max}(1 - 2y_1/l) = 129(1 - 2 \times 1,22/6) = 76,6 \text{ kN}$$

وعند $Q_b = 0$ (لا توجد قضبان محنية) نحصل من الصيغة (III-85) على ما يلى :

$$w = Q/2q_{tr.w} + 5d = 76\,600/(2 \times 1\,050) + 5 \times 2 =$$
$$= 36 + 10 = 46 \text{ cm}$$
$$w = 20d = 20 \times 2 = 40 \text{ cm}$$

وهكذا نأخذ القيمة $w \geqslant 46cm$.

البند الثامن
حساب وتصميم المقاطع المائلة للعتبات المسلحة بالفولاذ الجاسىء

لقد أثبتت التجارب والاختبارات العملية ان القطع الخرسانية المسلحة (العتبات) المحتوية على فولاذ عادى وفولاذ جاسىء (صلب) ، تتميّز بنفس خواص الانهيار عند تعرضها لقوة القص . وقبل الانهيار يزداد عرض فتحات الشقوق المائلة كثيرا . وهذا يدل على ان القضبان المستعرضة (الاطواق) تكون واقعة فى حالة الخضوع ، اى وصلت الى نقطة الخضوع . ان منطقة انضغاط الخرسانة (على امتداد الشق المائل) تنهار نتيجة للتأثير الموحد لكل من الانضغاط والقص . ويمكن ان تنهار الخرسانة أيضا فى المقطع المائل ، نتيجة لتأثير اجهادات الانضغاط الرئيسية . وان السعة الحملية للقطعة او العتبة المعرضة للانحناء ، ذات الفولاذ الجاسىء (شكل ٣ – ٢٨) فى المقطع المائل ، تتألف من مقاومة القضبان المستعرضة ووترة المقطع ، وكذلك من مقاومة خرسانة منطقة الانضغاط .

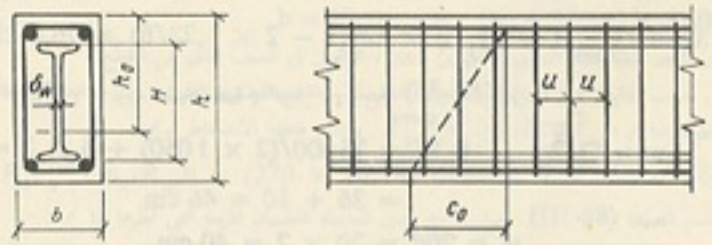
وهنا سيكون شرط المقاومة على الشكل التالى :

$$Q \leqslant (H\delta_w R_{s.\,st}/h_0 + R_{s.\,tr}\, f_{tr} n/u)c_0 + k_2 R_{ten} b h_0^2/c_0 = \\ = q_s c_0 + B/c_0 \qquad \text{(III-89)}$$

حيث

$$\left.\begin{aligned} q_s &= H\delta_w R_{s.\,st}/h_0 + R_{s.\,tr} f_{tr} n/u \\ B &= k_2 R_{ten} b h_0^2 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-90)}$$

وهنا H – تمثل ارتفاع مقطع الفولاذ الجاسىء ؛ h_0 – الارتفاع الفعال للمقطع ، مقاسا من الوجه المنضغط للمقطع الى محصلة القوى فى منطقة الشد فى كل من الفولاذ المرن والفولاذ الجاسىء ؛ δ_w – عرض وترة المقطع الفولاذى .



شكل ٣ – ٢٨ . الرسم التخطيطى الذى يوضح تصميم المقاطع المائلة للقطع الانشائية المعرضة للانحناء ذات المقطع المستطيل ، المسلحة بقضبان تسليح جاسئة

ان مسقط الشق المائل فى حدود الارتفاع h_0 فى اضعف مقطع مائل ، يمكن ان يحدد بطريقة مماثلة للطريقة المذكورة اعلاه :

$$c_0 = \sqrt{B/q_s} \qquad \text{(III-91)}$$

وبتعويض قيمة c_0 فى الصيغة (III-89) نحصل على ما يلى :

$$Q \leqslant 2\sqrt{k_2 b h_0^2 R_{ten} q_s} \qquad \text{(III-92)}$$

وعند مراجعة مقاومة المقاطع المائلة بالنسبة لقوة القص ، تستخدم مباشرة الصيغة (III-89) او الصيغة (III-92) . اما عند اختيار القضبان المستعرضة ، فتحدد أولا القيمة التالية :

$$q_s = Q^2/4k_2 R_{ten} b h_0^2 \qquad \text{(III-93)}$$

وبعد ذلك يتم اختيار التسليح المصمم اللازم ، طبقا للعلاقة (III-90) .

الفصل الرابع

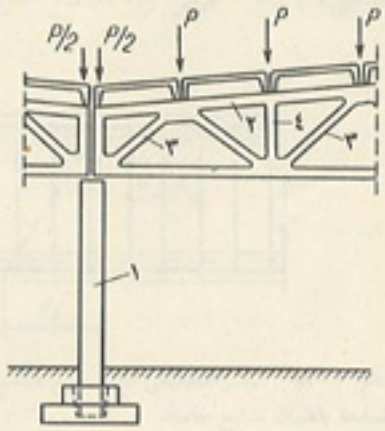
القطع الانشائية المعرضة للانضغاط

البند الاول
الخواص التصميمية للقطع المعرضة للانضغاط

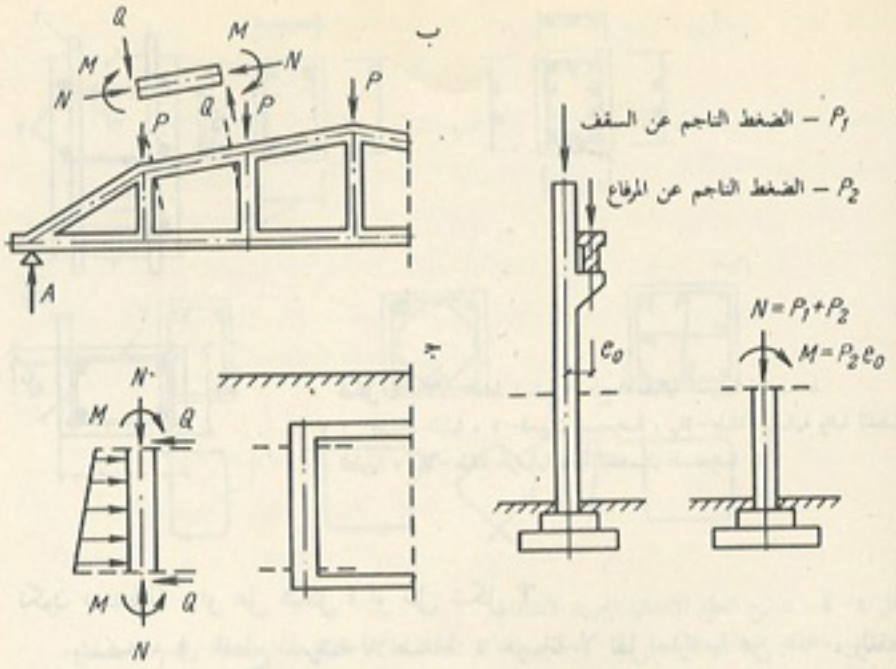
ان القطع المعرضة للانضغاط المحورى (القطع المحورية الانضغاط) تشمل نظريا القطع الانشائية التالية : الاعمدة المتوسطة فى المبانى والانشاءات ، الاوتار العليا فى الجمالونات ، المحملة فى مواضع وصلاتها ، الاضلاع القطرية الصاعدة والاضلاع القائمة لشبكات الجمالونات (شكل ٤ – ١) ، وكذلك بعض القطع الانشائية الاخرى . وفى الحقيقة ، نظرا لعدم اتقان الاشكال الهندسية للتصاميم الانشائية ، اختلاف ابعادها الحقيقة عن الابعاد المقررة فى التصميم النظرى ، عدم تجانس الخرسانة وغيرها من الاسباب الاخرى ، نجد عادة ان الانضغاط المحورى الخالص ، لا يلاحظ له وجود ، بل يحدث انضغاط لا محورى ، مصحوب بما يسمى باللاتمركزيات الطارئة .

ان شكل المقطع العرضى للقطع المحورية الانضغاط غالبا ما يكون مربعا او مستطيلا . وتحدد ابعاد المقطع العرضى للاعمدة بواسطة الحساب ؛ ولغرض التوحيد القياسى لاحجام قوالب الصب المؤقتة وهياكل التسليح الفولاذية ، تحدد ابعادها بحيث تكون من اضعاف العدد ٥٠ مم .

ولكى يكون صب الخرسانة جيد النوعية ، لا ينصح باستخدام الاعمدة المصبوبة ذات المقاطع العرضية التى تقل أبعادها عن ٢٥ سم .



شكل ٤ – ١ . القطع الانشائية المحورية الانضغاط :
١ – اعمدة متوسطة (عند التحميل المتكافىء من كلا الجانبين) ،
٢ – الوتر العلوى للجمالون (عند تسليط الحمل فى الوصلات) ،
٣ – أضلاع قطرية صاعدة ، ٤ – أضلاع قائمة



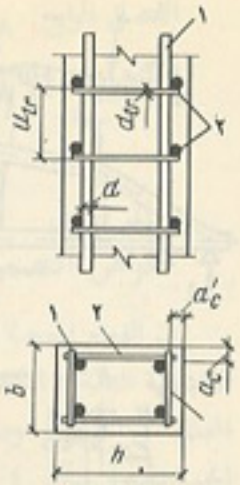
شكل ٤ – ٢ . القطع الانشائية اللامحورية الانضغاط :
أ – عمود المبنى الصناعى ؛ ب – الوتر العلوى للجمالون الخالى من الاضلاع القطرية ؛ جـ – جدار الخزان تحت الارضى

ومن الاعمدة المعرضة للانضغاط اللامحورى ، هى اعمدة المبانى الصناعية ذات الطابق الواحد ، التى يؤثر عليها الضغط الناجم عن المرافيع (شكل ٤ – ٢ ، أ) ، الاوتار العليا للجمالونات الخالية من الاضلاع القطرية (شكل ٤ – ٢ ، ب) ، جدران الخزانات الجوفية ذات المسقط الافقى المستطيل ، التى تتحمل الضغط الجانبى للتربة او السائل والضغط العمودى الناجم عن السقف (شكل ٤ – ٢ ، جـ) . وتؤثر فى هذه الانشاءات قوة الانضغاط N وعزم الانحناء M . ان المسافة بين اتجاه قوة الانضغاط والمحور الطولى للقطعة الانشائية e_0 ، تسمى باللامركزية . وبصورة عامة ، يمكن تحديد اللامركزية فى اى موضع من قطعة الانشاءات المحددة استاتيا ، باستخدام الصيغة التالية :

$$e_0 = M/N + e_a \qquad \text{(IV-1)}$$

حيث e_a – اللامركزية الطارئة (للتفاصيل راجع البند الثانى من الفصل الرابع) .

وبالنسبة لقطع الانشاءات غير المحددة استاتيا ، نجد ان $e_0 = M/N$ ولكن يجب ان تكون اكبر او مساوية للمقدار e_a ؛ اى $e_0 \geqslant e_a$. ومن الافضل ان تكون المقاطع العرضية للقطع اللامحورية الانضغاط ، متطورة فى مستوى تأثير العزم ، اما من حيث الشكل فقد



شكل ٤ – ٣ . مخطط تسليح القطع الانشائية المعرضة للانضغاط:
١ – قضبان طولية ، ٢ – قضبان مستعرضة ، a_c – طبقة خرسانية واقية للقضبان الطولية ، a'_c – طبقة خرسانية واقية للقضبان المستعرضة

تكون مستطيلة ، او على شكل I او على شكل T .

وتستخدم فى القطع المعرضة للانضغاط ، خرسانة لا تقل ماركاتها عن ٢٠٠ ، وللقطع الشديدة التحميل – لا تقل عن ٣٠٠ . ان الاعمدة تسلح بقضبان فولاذيّة طولية (قضبان فعالة) يتراوح قطرها بين ١٢ – ٤٠ م ، مصنوعة على الاغلب من الفولاذ المدلفن على الساخن من الصنف A-III ، وقضبان مستعرضة (اطواق) من الفولاذ المدلفن على الساخن من الصنف A-I او اسلاك مسحوبة على البارد ، من الفولاذ المنخفض الاشابة (شكل ٤ – ٣) .

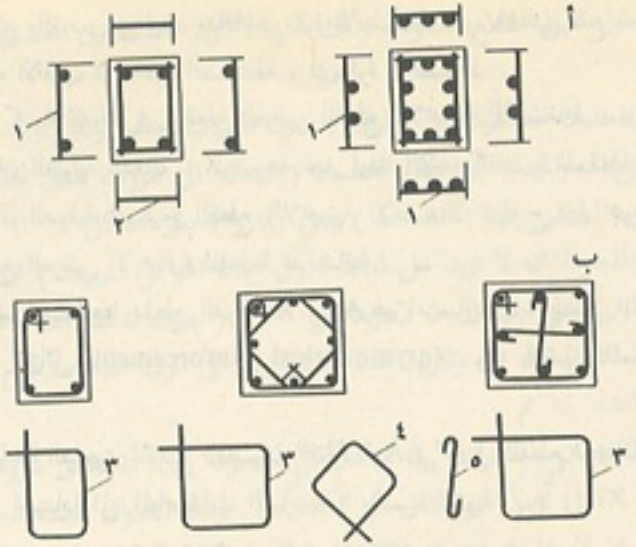
ويتم توحيد ووصل القضبان الطولية والقضبان المستعرضة ، فى هياكل تسليح مستوية او مجسمة ، ملحومة او مربوطة (شكل ٤ – ٤) . ان كمية القضبان الطولية الموضوعة فى المقطع العرضى للقطع المحورية الانضغاط ، تقيّم باستخدام نسبة التسليح μ او النسبة المئوية للتسليح :

$$\mu 100 = (F_s F) 100\%$$

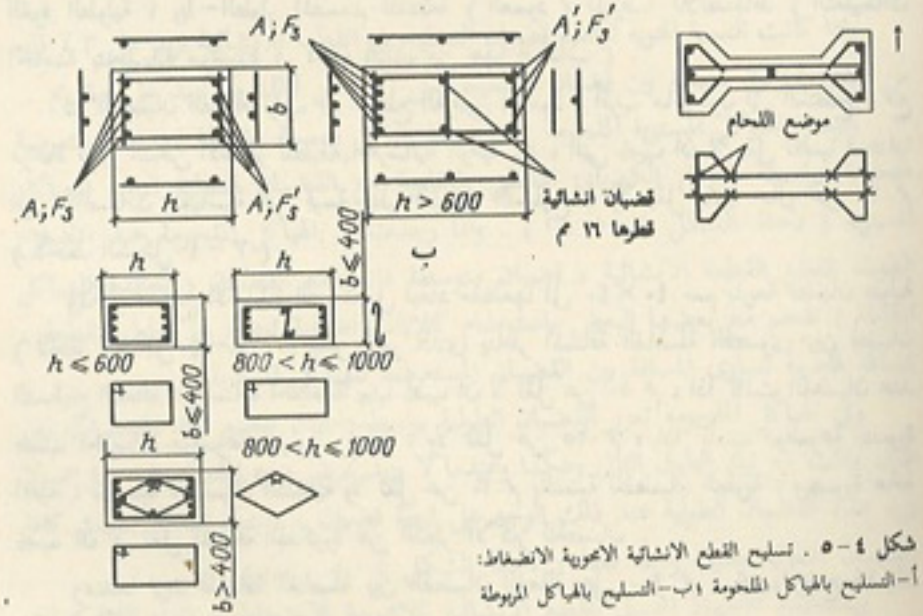
حيث F_s – المساحة الاجمالية لمقطع القضبان الطولية ؛ F – مساحة المقطع العرضى للقطعة الانشائية . .

وفى التطبيق العملى ، لا تزيد النسبة المئوية للتسليح فى القطع الانشائية المحورية الانضغاط على ٣٪ .

وفى القطع الانشائية ذات اللامركزيّات المصممة ، ترتب القضبان الطولية بالقرب من الاضلاع القصيرة للمقطع العرضى للقطعة (شكل ٤ – ٥) : A التى مساحة مقطعها



شكل ٤ – ٤ . تسليح القطع الانشائية المحورية الانضغاط:
أ – التسليح بالهياكل الفولاذية الملحومة ؛ ب – التسليح بالهياكل المربوطة ؛ ١ – هياكل ملحومة ، ٢ – قضبان توصيلية ، ٣ – اطواق ، ٤ – اطواق اضافية ، ٥ – خطاطيف ماسكة



شكل ٤ – ٥ . تسليح القطع الانشائية المحورية الانضغاط:
أ – التسليح بالهياكل الملحومة ؛ ب – التسليح بالهياكل المربوطة

العرضى F_s تقع بالقرب من ابعد حافة عن قوة الانضغاط ، و A' التى تقع مساحة مقطعها F'_s عند الوجه الاقرب الى القوة الضاغطة ، أى قوة الانضغاط .

وتصمم كمية الفولاذ فى المقطع العرضى للقطع اللامحورية الانضغاط ، بواسطة مساحة مقطع القضبان الطولية الفعالة ، الموضوعة عند احد الاوجه القصيرة للمقطع العرضى . ان مساحة الفولاذ العملية لتسليح القطع اللامحورية الانضغاط تتراوح بين ٠٫٥ – ١٫٢ ٪ من مساحة المقطع العرضى الاجمالية للقطعة الانشائية .

واذا كانت مساحتا مقطع الفولاذ A و A' غير متساويتين ، يسمى التسليح عندئذ بالتسليح غير المتماثل (asymmetrical reinforcément) . وانه يفضل دائما على التسليح غير المتماثل .

ان المساحة الصغرى لمقطع القضبان الفولاذية A و A' فى القطع المعرضة للانضغاط ، تكون كما يلى استنادا الى المواصفات القياسية (بالنسبة المئوية ٪) :

0,05 فى القطع التى فيها $l_0/r_g < 17$

0,1 فى القطع التى فيها $17 \leqslant l_0/r_g \leqslant 35$

0,2 فى القطع التى فيها $30 \leqslant l_0/r_g \leqslant 83$

0,25 فى القطع التى فيها $l_0/r_g > 83$

حيث l_0/r_g – تمثل نسبة القضافة (slenderness ratio) ، اى نسبة الطول الى نصف قطر التدويم الادنى للعمود ؛ r_g – نصف قطر التدويم لمقطع العمود فى مستوى لا تمركزية القوة الطولية ؛ l_0 – الطول المصمم للقطعة (العمود) المعرضة للانضغاط (التعليمات الخاصة بتحديده موجودة فى الجزء الثانى من هذا الكتاب) .

ان القضبان الفعالة ترتب فى المقطع العرضى للعمود ، أقرب ما يكون الى السطح ، مع مراعاة توفير التخن الاصغر للطبقة الخرسانية الواقية a_c ، التى يجب ان لا يقل ثخنها استنادا الى المواصفات القياسية عن قيمة قطر قضبان التسليح ، ولا يقل باى حال عن ٢٠ مم (لاحظ الشكل ٤ – ٣) .

ويمكن تسليح الاعمدة التى تصل ابعاد مقطعها الى ٤٠ × ٤٠ سم باربعة قضبان طولية (لاحظ الشكل ٤ – ٤) ، وهو الامر الذى يناظر المسافة الفاصلة القصوى بين قضبان التسليح الفعالة ؛ والمسافة الخالصة بينها يجب ان لا تقل عن ٥٠ مم ، اذا كانت القضبان عند صب الخرسانة موضوعة بصورة رأسية ؛ ولا تقل عن ٢٥ مم ، اذا كانت موضوعة بصورة افقية ، بالنسبة للقضبان السفلية ولا تقل عن ٣٠ مم بالنسبة للقضبان العلوية ، وبصورة عامة يجب ان لا تقل المسافة المذكورة عن القطر الاكبر للقضبان .

وعندما تزيد المسافة الفاصلة بين القضبان الفعالة على ٤٠٠ مم ، يجب وضع قضبان

متوسطة على طول محيط مقطع العمود ، وذلك لكى لا تزيد المسافة بين القضبان الطولية على ٤٠٠ مم .

وتوضع القضبان المستعرضة (الاطواق) بدون حساب خاص ولكن بمراعاة المواصفات القياسية وشروطها . والمسافة بين هذه القضبان (استنادا الى ظروف تأمين مقاومة القضبان الطولية للتحدب الجانبى عند الانضغاط) وهى u_{tr} (لاحظ الشكل ٤ – ٣) ، يجب فى حالة الهياكل الملحومة ان لا تزيد على 20d ، وفى حالة الهياكل المربوطة ، ان لا تزيد على 15d ، ولكن يجب على اية حال ان لا تزيد على ٥٠٠ مم (حيث d تمثل اصغر قطر للقضبان الطولية المعرضة للانضغاط) . وتقرب هذه المسافة u_{tr} الى اقرب عدد صحيح بحيث تصل الى اضعاف العدد ٥٠ مم .

ان قطر القضبان المستعرضة d_{tr} فى الهياكل الملحومة يجب أن يحقق شروط الالتحامية (راجع الملحق IX فى آخر الجزء الثانى من الكتاب) . وقطر الاطواق المستخدمة فى الهياكل المربوطة ، يجب ان لا يقل عن ٥ مم ، ولا يقل ابدا عن 0,25d حيث d تمثل القطر الاكبر لقضبان التسليح الطولية .

وثخن الطبقة الواقية للقضبان المستعرضة a'_c يجب ان لا يقل عن ١٥ مم . ولا ينصح بربط القضبان الطولية على امتداد طول القطعة الانشائية .

وفى مواضع وصلات الهياكل على امتداد الطرف المتراكب للقضبان ، يجب ان لا تزيد المسافة الفاصلة بين القضبان المستعرضة على 10d (حيث d تمثل قطر القضبان المربوطة) .

واذا كانت النسبة المئوية لكمية قضبان التسليح فى القطعة الانشائية تزيد على ٣ ٪ فانه من الضرورى ترك مسافة بين قضبان التسليح ليس اكثر من 10d ولا تزيد على ٣٠٠ مم .

وتوصل الهياكل المستوية الملحومة ، على هيئة هياكل مجسمة بواسطة قضبان مستعرضة ملحومة بواسطة اللحام الكهربائى النقطى بالمقاومة مع القضبان الطولية الزاوية للهياكل المستوية (لاحظ الشكل ٤ – ٥ ، أ) . واذا وجدت فى الهياكل الملحومة عند الاضلاع الطويلة لمقطع القطعة الانشائية ، قضبان متوسطة فان هذه القضبان (العائدة للهياكل المقابلة) تلحم مع بعضها البعض باستخدام كلابات اضافية توضع على طول القطعة ، بمسافة فاصلة تساوى المسافة بين القضبان المستعرضة للهياكل المستوية .

وفى الهياكل الملحومة تعزز القضبان الطولية بواسطة اطواق توضع عند المنحنيات بين طوق وثالث مع ترك الطوق الثانى وهكذا وعندما لا يزيد عرض وجه المقطع على ٤٠٠ مم ولا يزيد عدد القضبان الطولية عند ذلك الوجه على اربعة قضبان ، يسمح عندئذ بشبك كافة القضبان الطولية بطوق واحد فقط (لاحظ الشكل ٤ – ٥ ، ب) .

ويستخدم الاجهاد المسبق للقطع الانشائية اللامحورية الانضغاط ، ذات اللامركزيات

الكبيرة لقوة الانضغاط عندما تكون عزوم الانحناء كبيرة وتؤدى الى حدوث الشد فى قسم من المقطع ، وكذلك يستخدم الاجهاد المسبق فى القطع الانشائية ذات اللدونة .

ان زيادة مقاومة التشقق وجسوءة القطعة الانشائية بواسطة الاجهاد المسبق ، مفيدة فى الحالة الاول لفترة التشغيل وفى الحالة الثانية ، مفيدة لفترة انتاج وشحن وتركيب القطعة الانشائية .

وليس من المنطقى والمفيد استخدام القطع المحورية الانضغاط ، اللدنة جدا ، وذلك لان السعة الحملية فيها تنخفض بشدة نتيجة لانضغاطيتها الكبيرة . وفى كافة الاحوال ، يجب ان تكون لدونة القطع الانشائية المنتجة من الخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الانخلاط المسامية ، مساوية للمقدار $\lambda = l_0/r \leqslant 200$ فى اى اتجاه كان ، وبالنسبة لاعمدة المبانى $\lambda = l_0/r \leqslant 120$.

البند الثانى
تصميم القطع الانشائية فى حالة اللاتمركزيات الطارئة

لقد أثبتت التجارب العملية ، أن مقاومة القطع القصيرة المحورية الانضغاط ، للقوة الخارجية ، تتألف من كل من مقاومة الخرسانة ومقاومة القضبان الطولية . وفى هذه الحالة ، تصل الخرسانة عادة الى مقاومتها القصوى ، اما قضبان التسليح الفولاذية فتصل الى نقطة الخضوع . وهذا يعتمد على وجود الانفعالات غير المرنة الكبيرة فى الخرسانة ، نتيجة للاجهاد الشديد الذى تتعرض له .

وفى القطع الطويلة (المرنة) المحورية الانضغاط ، يؤثر الانضغاط اللامحورى تأثيرا ملموسا على السعة الحملية ، نتيجة لوجود اللاتمركزيات الطارئة ، وكذلك التأثير الطويل الاجل للاحمال وظهور التحدّب (buckling) . وتنص المواصفات القياسية الخاصة ، على وجود حساب وتصميم القطع المحورية الانضغاط ، مثل حساب القطع اللامحورية الانضغاط ، مع اخذ اللاتمركزيات الطارئة فى الاعتبار . وتؤخذ قيمة اللاتمركزية الطارئة ، مساوية لاكبر القيم التالية : ١ \ ٣٠ من ارتفاع المقطع العرضى للقطعة ، ١ \ ٦٠٠ من القطعة (او قسمها الواقع بين نقطتين ثابتتين) ، ولكن يجب ان لا تقل فى اى حال عن ١ سم .

ان بعض القطع الانشائية المستطيلة المقطع ، وخاصة ذات التسليح المتماثل بالقضبان الفولاذية من الاصناف A-I ، A-II و A-III عند $l_0 \leqslant 20h$ وعند قيمة اللاتمركزية المأخوذة $e_0 = e_0^a$ ، يسمح حسب المواصفات القياسية ، ان تصمم وتحسب تبعا للسعة الحملية ، اى التصميم بواسطة السعة الحملية (المجموعة الاولى للحالات الحدية) ، مثلما عليه الحالة

بالنسبة للقطع المحورية الانضغاط ، وذلك استنادا الى الشرط التالى :

$$N \leqslant m\varphi(R_{pr}F + R_{s.com}F_s) \qquad (IV\text{-}2)$$

حيث N – قوة الانضغاط الطولية ، المحسوبة بالنسبة لاحمال التصميم ؛ $F = hb$ – مساحة المقطع العرضى للقطعة ؛ h و b – ارتفاع وعرض المقطع على التوالى ؛ F_s – مساحة مقطع كافة القضبان الطولية ؛ m – عامل الخدمة الذى يساوى 0,9 فى حالة $h \leqslant 200mm$ ويساوى 1 فى حالة $h > 200mm$ ؛ φ – معامل يحسب استنادا الى العلاقة التجريبية ، ويأخذ فى الاعتبار فترة التحميل ، لدونة وطبيعة فولاذ تسليح القطعة الانشائية :

$$\varphi = \varphi_c + 2(\varphi_{st} - \varphi_c)R_{s.com}F_s/R_{pr}F \qquad (IV\text{-}3)$$

ولكن قيمته تؤخذ بحيث تزيد على φ_{st} ؛ وهنا تؤخذ قيمتا كل من φ_{st} و φ_c من الجدول (٤ – ١) الذى فيه N_l تمثل القوة الطولية الناجمة عن الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطويلة الاجل .

ان السعة الحملية للقطعة المحورية الانضغاط ، تراجع باستخدام الصيغة (IV-2) فى حالة وجود كافة المعطيات المتعلقة بابعاد المقطع العرضى وفولاذ التسليح والمواد الانشائية والاحمال المؤثرة ؛ وللقيام بذلك يجب سلفا ايجاد قيمة المعامل φ من الصيغة (IV-3) ومن معطيات الجدول (٤ – ١) .

واذا كانت ابعاد المقطع العرضى معلومة وكان المطلوب ايجاد مساحة مقطع القضبان الفولاذية فقط ، يجب عندئذ استخدام الصيغة (IV-2) التى نستخرج منها مساحة مقطع القضبان الفولاذية المطلوبة :

$$F_s = N/m\varphi R_{s.com} - FR_{pr}/R_{s.com} \qquad (IV\text{-}4)$$

حيث تحدد قيمة φ بواسطة التقريب المتعاقب .

ان ابعاد المقاطع العرضية للقطع المحورية الانضغاط ومساحة مقطع القضبان الفولاذية عند الاحمال المعلومة والطول المصمم والمواد الانشائية المعروفة ، تحدد اولا بمعرفة كل من $\varphi = m = 1$ و $F_s = 0,01F$.

وتستخدم الصيغة (IV-2) لحساب مساحة مقطع الفولاذ :

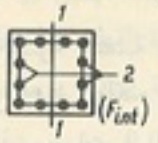
$$F = N/m\varphi(R_{pr} + \mu R_{s.com}) \qquad (IV\text{-}5)$$

وتعيّن ابعاد المقطع العرضى للقطعة مع اخذ التوحيد القياسى فى الاعتبار . وبعد ذلك تحسب قيمة l_0/h والمساحة F_s بالطريقة المذكورة اعلاه . واذا ظهر ان النسبة المئوية لتسليح المقطع المصمم لا تحقق الشرط :

$$\mu_{min}\% \leqslant \mu\% \leqslant \mu_{max}\% \ (3\%)$$

جدول ٤ – ١

قيم المعاملين φ_c و φ_{st}



N_l/N \ l_0/h	≤6	8	10	12	14	16	18	20
				المعامل φ_c				
0	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,86	0,84
0,5	0,92	0,91	0,9	0,89	0,86	0,82	0,78	0,72
1	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,76	0,69	0,61
				المعامل φ_{st}				
0	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,86	0,84
0,5	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,83	0,79
1	0,92	0,91	0,9	0,89	0,87	0,84	0,79	0,74
0	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79
0,5	0,92	0,91	0,9	0,88	0,85	0,81	0,76	0,71
1	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,77	0,70	0,63

أ) عندما تكون مساحة المقطع العرضي للقضبان المتوسطة F_{int} ، عند الحواف الموازية للمستوى المبحوث، اقل من $1/3F_s$

ب) عندما تكون مساحة المقطع العرضي للقضبان المتوسطة F_{int} ، عند الحواف الموازية للمستوى المبحوث ، لا تقل عن $1/3F_s$

1 – 1 المستوى المبحوث؛

2 – القضبان المتوسطة؛

F_s – مساحة المقطع العرضي لكافة القضبان الطولية .

عندئذ يجب تغيير ابعاد المقطع العرضي للقطعة وحساب قيمتي φ و F_s من جديد . ويمكن اعتبار المقطع العرضي جيد الاختيار ، اذا كانت قيمة μ تتراوح بين ١ و ٢ ٪ .

مثال ٤ – ١ . لدينا عمود معرض للانضغاط المحوري ومعطياته هي : الطول الفعال $l_0 = 6,4m$ ، القوة الطولية المصممة $N = 1500kN$ ، القوة الناجمة عن تأثير الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطويلة الاجل $N_l = 1000kN$ ، ماركة الخرسانة الثقيلة 200 ، وعامل خدمة الخرسانة $m_{c1} = 0,85$ ، وقضبان التسليح فولاذية عجزة ومدلفنة على الساخن من الصنف A-II . المطلوب ايجاد ابعاد المقطع العرضي للعمود ومساحة مقطع قضبان التسليح .

الحل . استنادا الى معطيات الملحقين I و V في نهاية الجزء الثاني من الكتاب نجد ان $R_{pr} = 9MPa$ ، $R_{s.com} = 270MPa$ ؛ وعندما تكون $\varphi = m = 1$ و $\mu = 0,01$ ، نجد من الصيغة (IV-5) ما يلي :

$$F = N/(m_{c1}R_{pr} + \mu R_{s.com}) =$$
$$= 1500000(0,01)/(0,85 \times 9 + 0,01 \times 270) = 1450\ cm^2$$

والآن نأخذ عمودا ابعاده ٤٠ × ٤٠ سم في المقطع العرضي ، بحيث تكون $F = 1600cm^2$. والنسب الضرورية ستكون في هذه الحالة كما يلي :

$$l_0/b = 640/40 = 16$$
$$N_l/N = 100/150 = 0,667$$

ان عامل الخدمة يساوي $m = 1$ ، وذلك لان $h = 40cm$ ، وهي اكبر من ٢٠ سم . وباستخدام طريقة التقريب من الداخل ، نجد من الجدول (٤ – ١) القيم التالية : $\varphi_c = 0,8$ و $\varphi_{st} = 0,853$ (باعتبار أن $F_{int} < 1/3F_s$) . عندئذ باستخدام الصيغة (IV-3) نحصل على ما يلي :

$$\varphi = \varphi_c + 2(\varphi_{st} - \varphi_c)R_{s.com}\mu/m_{c1}R_{pr} =$$
$$= 0,78 + [2(0,853 - 0,8)270 \times 0,01]/(0,85 \times 9) =$$
$$= 0,78 + 0,04 = 0,82$$

وبما ان φ يجب ان لا تزيد عن φ_{st} ، نأخذ $\varphi = 0,82$. ومن الصيغة (IV-4) نجد ما يلي :

$$F_s = N/m\varphi R_{s.com} - Fm_{c1}R_{pr}/R_{s.com} =$$
$$= 1500000(0,01)/(1 \times 0,82 \times 270) -$$
$$- (1600 \times 0,85 \times 9)/270 = 22,4\ cm^2$$

وهذه الابعاد المأخوذة للمقطع العرضي للعمود ، تكون النسبة المئوية للتسليح هي :

$$\mu = (22,4 \times 100)/(40 \times 40) = 1,4\%$$

وباستخدام النسبة $\mu = 0,014$ التي وجدناها بهذه الطريقة ، وباستخدام المعادلة (III-3) نحصل على القيمة المقسومة φ ثانية وهي $\varphi = 0,83$. ان اعادة الحساب من جديد تعطينا القيمة التالية $F_s = 21,6cm^2$. والقيمة الناجمة لنسبة التسليح ($\mu = 1,4$) تقع ضمن القيم المعقولة . اذن يمكننا أن نأخذ عمودا ابعاد مقطعه العرضي هي ٤٠ × ٤٠ سم ومسلح بأربعة قضبان طولية من الصنف A-II قطرها ٢٠ مم واربعة قضبان طولية من الصنف A-II قطرها ١٨ مم ($F_s = 22,74cm^2$) . وعند توزيع القضبان المذكورة على المقطع العرضي ، نجد ان الشرط $F_{int} < 1/3F_s$ يتحقق في هذه الحالة ، لذلك سوف لا نحتاج الى حسابات اخرى .

ونأخذ اقطار القضبان المستعرضة في الهياكل الفولاذية الملحومة مساوية للمقدار $d_{tr} = 8mm$ (راجع الملحق IX في نهاية الجزء الثاني من هذا الكتاب ؛ الهياكل ذات قضبان التسليح الوحيدة الاتجاه) والمسافات الفاصلة تساوي $u_{tr} \leqslant 20d = 20 \times 1,8 = 36cm$ ، لان $u_{tr} \leqslant 35cm$.

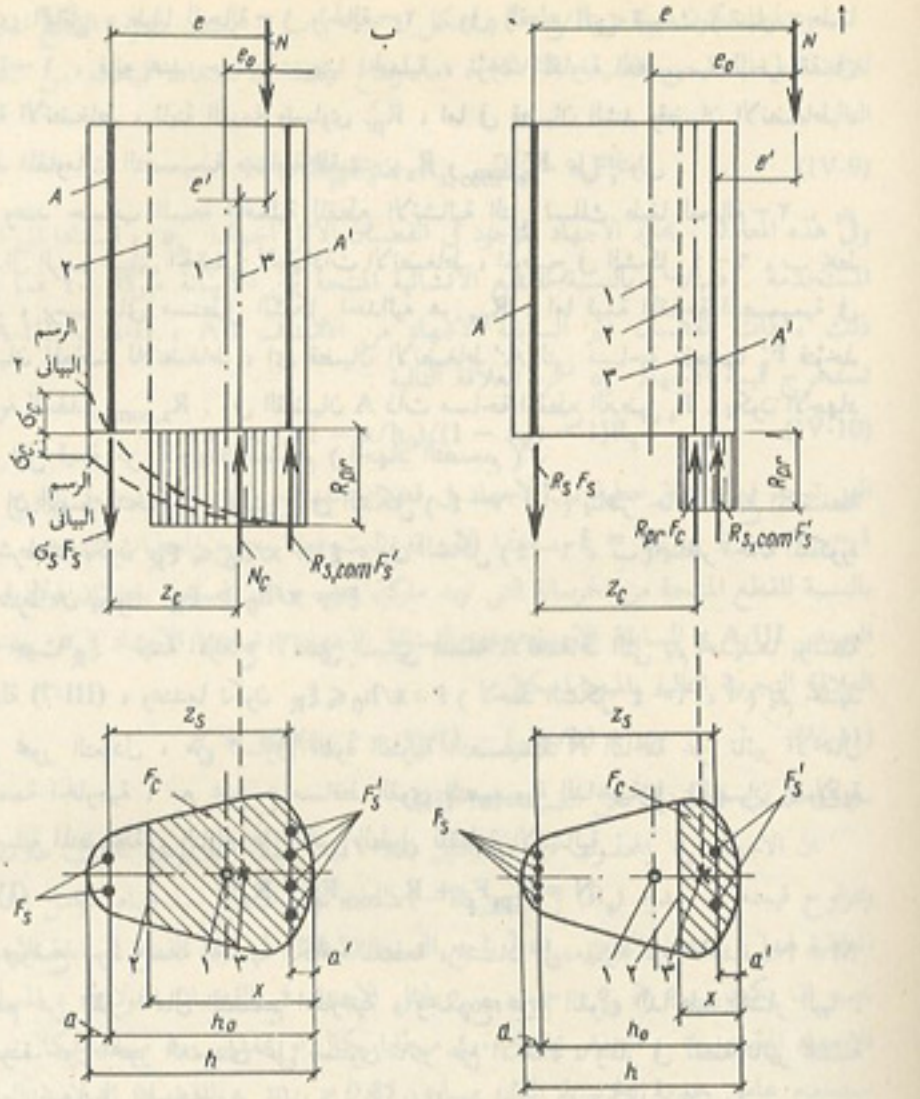
البند الثالث
حساب وتصميم القطع التى لها اى مقطع عرضى متماثل ، اللامحورية الانضغاط فى مستوى التماثل

عند تحميل القطع الانشائية التى لها مقطع عرضى متماثل ، اللامحورية الانضغاط فى مستوى التماثل ، الى حد السعة الحملية القصوى ، تلاحظ حالتان من حالات الانهيار فى المرحلة الثالثة ، وهما :

الحالة – ١ : وهى تعود الى القطع اللامحورية الانضغاط ، ذات اللاتمركزيّات الكبيرة نسبيا للقوة الطولية . ان حالة الاجهاد (مثل انهيار القطعة) قريبة من حيث طبيعتها من حالة القطع المعرضة للانحناء غير الزائدة التسليح (شكل ٤ – ٦ ، أ) . ويكون ذلك القسم من المقطع الاكثر بعدا عن نقطة تأثير القوة ، معرضا للشد ، ويحتوى على شقوق مرتبة فى الاتجاه العمودى للمحور الطولى للقطعة الانشائية . وقوى الشد فى هذه المنطقة ، تتحملها القضبان الفولاذية ؛ اما ذلك القسم من المقطع القريب من قوة الانضغاط ، فيكون معرضا للانضغاط ، مع القضبان الفولاذية الموجودة ضمنه أيضا . ويبدأ انهيار المقطع عند الوصول الى نقطة الخضوع (الطبيعية او الاصطلاحية) فى قضبان الشد . وتنتهى مرحلة الانهيار تماما بالوصول الى المقاومة القصوى للخرسانة والقضبان الفولاذية ، مع الحفاظ على الاجهاد الدائم فى قضبان الشد ، اذا كانت للقضبان نقطة خضوع طبيعية معينة ، او الحفاظ على الاجهاد المتزايد ، اذا لم تكن للقضبان اية نقطة خضوع طبيعية . وان عملية الانهيار او التحطم ، تحدث تدريجيا بصورة سلسة .

الحالة – ٢ : وهى تعود الى القطع اللامحورية الانضغاط ، ذات اللاتمركزية الصغيرة نسبيا للقوة الضاغطة . وتشمل هذه الحالة نوعين من حالة الاجهاد : اولا ، عندما يكون المقطع برمته منضغطا (الشكل ٤ – ٦ ، ب ، الرسم البيانى ١ ، المخطط بخط منقّط) ؛ ثانيا ، عندما يكون القسم الاكبر من المقطع منضغطا ، وهو القسم الواقع بقرب القوة الطولية ، ويكون القسم المقابل له ، معرضا لشد ضعيف نسبيا (الشكل ٤ – ٦ ، ب ، الرسم البيانى ٢) . وان القطع الانشائية تتحطم وتنهار ، نتيجة للتغلّب على المقاومات القصوى فى كل من الخرسانة وقضبان التسليح ، فى ذلك القسم من المقطع ، الاقرب الى القوة المؤثرة . وفى هذه الحالة ، نجد ان الاجهادات (اجهادات الانضغاط او الشد) فى قسم المقطع البعيد عن قوة الانضغاط ، تبقى منخفضة ولا تستخدم مقاومة المواد هنا استخداما كاملا .

وتحسب القطع اللامحورية الانضغاط فى مستوى تأثير العزم ، بأخذ اللامركزية التصميمية للقوى الطولية فى الاعتبار واللامركزية الطارئة e_a [(راجع الصيغة (IV-1)] .



شكل ٤ – ٦ . المخططات التصميمية للقطع الانشائية اللامحورية الإنضغاط:
أ–عند $\xi = x/h_0 > \xi_R$ ، ب–عند $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$ ، ١ – المحور الهندسى للقطعة الانشائية فى المخطط التصميمى للانشاء ، ٢ – محور التعادل ، ٣ – مركز ثقل مساحة الخرسانة فى منطقة الانضغاط ، A – فولاذ التسليح الاكثر بعدا عن موقع قوة الانضغاط الطولية ، A′ – فولاذ التسليح القريب من موقع قوة الانضغاط الطولية

وتتم مراجعة مقاومة القطعة فى المستوى العمودى على مستوى الانحناء ، بالنسبة لتأثير القوة الطولية ، مع اخذ اللامركزية الطارئة e_a فى الاعتبار حتما .

ويبين الشكل (٤ – ٦) الرسوم التخطيطية للقوى المأخوذة فى الاعتبار عند حساب مقاومة القطع الانشائية (ذات اى مقطع متماثل) المعرضة للانضغاط بلامركزية معينة فى

مستوى التماثل ، طبقا للحالة – ١ والحالة – ٢ . وفى القطع التى تسلك (تنهار) طبقا للحالة – ١ ، فانه عند حساب سعتها الحملية ، تؤخذ المقاومة التصميمية للخرسانة فى منطقة الانضغاط ، ثابتة القيمة وتساوى R_{pr} ، اما فى قضبان الشد وقضبان الانضغاط ، فتؤخذ المقاومات التصميمية مساوية للقيمتين R_s و $R_{s.com}$ على التوالى .

وعند حساب السعة الحملية للقطع الانشائية التى تسلك طبقا للحالة – ٢ ، يتم استبدال الرسم البيانى الحقيقى لاجهادات الانضغاط ، الموضح فى الشكل ٤ – ٦ ، ب بخط منقط ، برسم بيانى مستطيل الشكل احداثيه هو R_{pr} ، اما قيمة المقاومة التصميمية فى القضبان المعرضة للانضغاط ، اى قضبان الانضغاط A′ التى مساحة مقطعها F'_s فتؤخذ مساوية للمقدار $R_{s.com}$. وفى القضبان A ذات مساحة المقطع العرضى F_s ، يكون الاجهاد σ_s اقل قيمة من الاجهاد المصمم (اجهاد التصميم) .

ان الرسم التخطيطى للقوى ، فى الشكل (٤ – ٦ ، أ) يناظر حالة القطع المنضغطة على شرط ان يكون $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$ ، وفى الشكل (٤ – ٦ ، ب) يناظر الحالة المذكورة على شرط ان يكون $\xi = x/h_0 > \xi_R$.

حيث ξ_R – قيمة الارتفاع الاقصى النسبى لمنطقة الانضغاط التى يتم تحديدها بواسطة المعادلة (III-7) ، وعندما تكون $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$ (لاحظ الشكل ٤ – ٦ ، أ) يتم تحديد موقع محور التعادل ، من تساوى القوة الطولية التصميمية N الناجمة عن تأثير الاحمال المصممة الخارجية ، مع مجموع مساقط القوى التصميمية الداخلية فى القضبان الفولاذية والخرسانة المنضغطة ، النازلة على المحور الطولى للقطعة الانشائية :

$$N = R_{pr}F_c + R_{s.com}F'_s - R_sF_s \qquad (IV\text{-}6)$$

ويوضع شرط السعة الحملية الكافية للقطعة ، استنادا الى مقارنة عزم الانحناء $M = Ne$ الناجم عن تأثير احمال التصميم الخارجية ، ومجموع عزوم القوى الداخلية المشار اليها ، المأخوذة حول المحور العمودى على مستوى تأثير عزم الانحناء ، والمار فى نقطة تأثير محصلة القوى الناجمة فى القضبان A ، المعرضة للشد نتيجة لتأثير القوة الخارجية :

$$Ne \leqslant R_{pr}F_cz_c + R_{s.com}F'_sz_s \qquad (IV\text{-}7)$$

وفى الصيغة (IV-7) لدينا :

$$z_s = h_0 - a' \qquad (IV\text{-}8)$$

وفى الشكل (٤ – ٦ ، أ) يدل الرمزان e و e′ على المسافة من القوة الطولية N الى مركز ثقل مساحة مقطع القضبان المشدودة F_s والقضبان المنضغطة F'_s على التوالى ، نتيجة لتأثير القوى الخارجية .

وعندما تكون $\xi = x/h_0 > \xi_R$ (شكل ٤ – ٦ ، ب) تحسب مقاومة القطع المعرضة للانضغاط ايضا من الصيغة (IV-7) ، اما ارتفاع منطقة الانضغاط فيحدد من المعادلة التالية :

$$N = R_{pr}F_c + R_{s.com}F'_s - \sigma_sF_s \qquad (IV\text{-}9)$$

وفى هذه المعادلة ، يحدد الاجهاد الموجود فى القضبان الاقل اجهادا σ_s ، استنادا الى المواد المستخدمة . فمثلا ، بالنسبة للقطع الانشائية المنتجة من الخرسانة ماركة ٤٠٠ فما دون ذلك ، ذات القضبان غير السابقة الاجهاد من الاصناف A-I ، A-II و A-III ، تستخرج قيمة الاجهاد σ_s من العلاقة التالية :

$$\sigma_s = [2(1 - x/h_0)/(1 - \xi_R) - 1]R_s \qquad (IV\text{-}10)$$

التى توجد فيها علاقة خطية بين الاجهاد فى قضبان التسليح وقيم ξ فى حدود تتراوح بين $\xi = x/h_0 = 1$ و $\xi = \xi_R$ ، وهذا الامر قد اثبت فعلا بنتائج المعطيات التجريبية . اما بالنسبة للقطع المنتجة من الخرسانة التى تزيد ماركتها على ٤٠٠ ، المسلحة بقضبان فولاذية من الصنف A-III (السابقة الاجهاد وغير السابقة الاجهاد) فيحدد الاجهاد σ_s بواسطة العلاقة التجريبية التالية بالميجاباسكال :

$$\sigma_s = 400(\xi_0/\xi - 1)/(1 - \xi_0h_0/h) + \sigma_0 \qquad (IV\text{-}11)$$

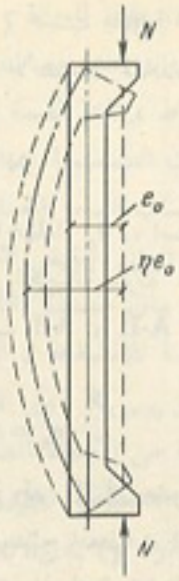
حيث تحسب قيمة ξ_0 من الصيغة (III-7a) .

ان الاجهاد σ_s المحسوب من الصيغتين (IV-10) و (IV-11) يؤخذ حسب علامته ؛ وتتراوح قيمته فى حدود (R_s) و ($-R_{s.com}$) اللتان تؤخذان مع استخدام عوامل الخدمة المناظرة لهما ، باستثناء العامل m_{s4} [راجع الصيغة (III-2)] . وفى القطع السابقة الاجهاد يجب ان يكون $\sigma_s \geqslant \sigma_{com}$ ، حيث σ_{com} تمثل الاجهاد فى القضبان الفولاذية ، المساوى للاجهاد المسبق σ_0 ، المصغر بمقدار ٤٠٠ ميجاباسكال او بمقدار ٥٠٠ ميجاباسكال ، اذا استخدم عامل خدمة الخرسانة الذى يساوى $m_{c1} = 0,85$. وللقضبان الفولاذية العالية المقاومة الحالية من نقطة الخضوع الطبيعية ، تصح العلاقة (IV-11) الى حد الاجهاد $\sigma_s = 0,8R_s$. ولذلك ، اذا نتج لدينا عند الحساب بواسطة الصيغة (IV-11) العلاقة التالية $\sigma_s > 0,8R_s$ ، عندئذ يتم ايجاد القيمة المتزايدة للاجهاد σ_s ، بالتقريب الخطى من الداخل بين القيمتين $0,8R_s$ و R_s بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma_s = [0,8 + 0,2(\xi_{c1} - \xi)/(\xi_{c1} - \xi_R)]R_s \qquad (IV\text{-}12)$$

حيث ξ_R – تحسب من الصيغة (III-7) عندما :

$$\sigma_s = R_s + 400(\text{او } 500) - \sigma_0$$



شكل ٤ – ٧ . حساب اللامركزية الناجمة عن التحدب

اما ξ_{el} فتحسب عندما :

$$\sigma_s = 0{,}8R_s - \sigma_0$$

واذا كانت $\sigma_s > R_s$ ، عندئذ تستخدم القيمة R_s مع عامل الخدمة m_{s4} المستخرج من الصيغة (III-2) . وللقطع التى فيها $l_0/r > 35$ لا يؤخذ العامل m_{s4} فى الاعتبار .

ان القطعة الانشائية القضيفة (المرنة) اللامحورية الانضغاط ، تتحدب ، ونتيجة لتحدبها تزداد قيمة اللامركزية الاولية e_0 للقوة الطولية N (شكل ٤ – ٧) . وفى هذه الحالة يزداد عزم الانحناء ويحدث الانهيار عند تأثير قوة طولية اقل N بالمقارنة مع القطعة القصيرة (غير القضيفة) .

وعندما تكون نسبة القضافة هى $l_0/r > 14$ ، يمكن حساب وتصميم القطع القضيفة اللامحورية الانضغاط ، باستخدام الصيغ المشروحة اعلاه ، ولكن باخذ اللامركزية المتزايدة ، الناجمة عن ضرب قيمتها الاولية e_0 فى المعامل $\eta (> 1)$ فى نظر الاعتبار .

ويمكن استخراج قيمة المعامل η من العلاقة التالية :

$$\eta = 1/(1 - N/N_{cr}) \qquad \text{(IV-13)}$$

وهنا نجد ان :

$$N_{cr} = (6{,}4E_c/l_0^2)\{[0{,}11/(0{,}1 + t/k_{pr}) + 0{,}1]/k_1 + I_{s.\,tr}\} \qquad \text{(IV-14)}$$

ان المعادلة (IV-14) تأخذ فى الاعتبار خصائص الخرسانة المسلحة : وجود الخرسانة والقضبان الفولاذية ضمن المقطع العرضى ، الخواص غير المرنة للخرسانة المنضغطة ، وجود

الشقوق فى منطقة الشد ، تأثير الاحمال الطويلة الاجل على جسوءة القطعة الانشائية وحالتها الحدية .

وفى الصيغة (IV-14) نجد ان :

E_c – معامل المرونة الابتدائى للخرسانة ؛

l_0 – الطول المصمم للقطعة (المعلومات الخاصة بتحديده موجودة فى الجزء الثانى من الكتاب) ؛

I – عزم القصور الذاتى للمقطع الخرسانى ؛

$I_{s.tr}$ – عزم القصور الذاتى المحوّل لمقطع القضبان الفولاذية ، حول مركز ثقل المقطع الخرسانى .

ان المعاملين k_1 (الذى يأخذ فى الاعتبار تأثير الاحمال الطويلة الاجل على تحدب القطعة فى الحالة الحدية) و k_{pr} (الذى يأخذ فى الاعتبار تأثير الاجهاد المسبق للقضبان الفولاذية ، على جسوءة القطعة الانشائية فى الحالة الحدية ، مع فرض وجود انضغاط منتظم للقضبان السابقة الاجهاد) يحددان من العلاقتين الوضعيتين التاليتين :

$$k_1 = 1 + \beta M_l/M \qquad \text{(IV-15)}$$

$$k_{pr} = 1 + 40\sigma_{c.\,pr}e_0/R_{prII}h \qquad \text{(IV-16)}$$

ويقصد بالرمزين M و M_l فى الصيغة (IV-15) بصورة عامة ، دلالة للعزمين المأخوذين حول المحور الموازى لمحور التعادل ، المار فى مركز اكثر قضيب تعرضا للشد او اقل قضيب تعرضا للانضغاط (فى حالة الانضغاط التام للمقطع) نتيجة للتأثير الموحد لكافة الاحمال فى الحالة الاولى ، ونتيجة لتأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل فى الحالة الثانية . اما قيمة المعامل β فتؤخذ من الجدول (٤ – ٢) .

وفى الصيغة (IV-16) لدينا الرموز التالية : $\sigma_{c.\,pr}$ – اجهاد انضغاط الخرسانة ، مع اخذ الفقدان الاجمالى فى الاعتبار ؛ R_{prII} – مقاومة الموشور الخرسانى ، المأخوذة للحساب بواسطة المجموعة الثانية من الحالات الحدية .

وتؤخذ قيمة t فى الصيغة (IV-14) مساوية للمقدار :

$$t = e_0/h \qquad \text{(IV-17a)}$$

ولكن بحيث لا تقل عن قيمتها المحسوبة بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$t_{min} = 0{,}5 - 0{,}01l_0/h - 0{,}01R_{pr} \qquad \text{(IV-17b)}$$

حيث R_{pr} – تقاس بوحدات الميجاباسكال . وعندما تكون العلاقة $l_0/r_g < 14$ واضحة ، عندئذ تؤخذ القيمة $\eta = 1$.

جدول ٤-٢

قيم المعامل β فى الصيغة (IV-5)

β	نوع الخرسانة
1	خرسانة ثقيلة ومهواة خرسانة ذات اخلاط مسامية اصطناعية : خرسانة الكيرامزيت ، خرسانة الأجلوبورت (agloporite) ، خرسانة الخفاف
1	الخبث المعدنى (slag pumice)
1,5	ذات الرمل الكوارتزى كالسابق ، ذات الرمل المسامى خرسانة ذات اخلاط مسامية طبيعية – مثل الطف (tuff) وهو حجر مسامى من رماد البراكين ، الخفاف ، الخبث البركانى ، الرماد البركانى او
2,5	رماد اللابة (lava slag) – بغض النظر عن نوع الرمل

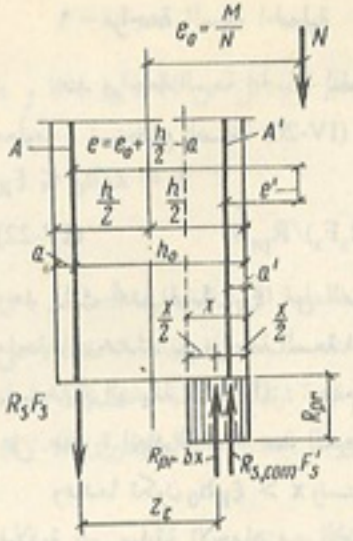
واذا ظهر ان $N > N_{cr}$ ، عندئذ يجب زيادة ابعاد المقطع العرضى .

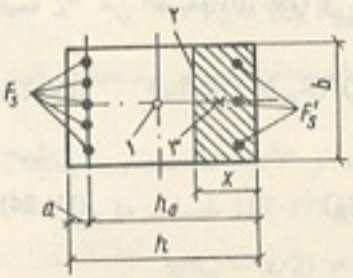
وتصمم القضبان المستعرضة للقطع الانشائية المعرضة للانضغاط اللامحورى ، لمقاومة قوى القص ، باستخدام الصيغ الخاصة بالقطع المعرضة للانحناء ، المشروحة فى البند السادس من الفصل الثالث .

البند الرابع
حساب وتصميم القطع الانشائية اللامحورية الانضغاط ، المستطيلة المقطع

من الشكل (٤ – ٨) نحصل للمقطع المستطيل على ما يلى :

$$\left.\begin{aligned} F_c &= bx \\ N_c &= R_{pr}bx \\ z_c &= h_0 - x/2 \end{aligned}\right\} \qquad (IV\text{-}18)$$





شكل ٤ – ٨ . الرسم التخطيطى لحساب وتصميم القطع الانشائية اللامحورية الانضغاط ذات القطع العرضى المستطيل: ١ – المحور الهندسى للقطعة الانشائية ، ٢ – محور التعادل ، ٣ – مركز ثقل مساحة الخرسانة فى منطقة الانضغاط

وباخذ هذه المعادلات فى الاعتبار ، نجد ان الصيغة الخاصة بحساب السعة الحملية (IV-7) تصبح على الشكل التالى :

$$N_c \leqslant R_{pr}bx(h_0 - x/2) + R_{s.com}F'_s(h_0 - a') \qquad (IV\text{-}19)$$

اما ارتفاع منطقة الانضغاط ، فيحدد من المعادلات التالية :

أ) عندما $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$

$$N = R_{pr}bx + R_{s.com}F'_s - R_sF_s \qquad (IV\text{-}20)$$

ب) عندما $\xi = x/h_0 > \xi_R$

$$N = R_{pr}bx + R_{s.com}F'_s - \sigma_sF_s \qquad (IV\text{-}21)$$

حيث تستخرج قيمة σ_s من الصيغة (IV-10) او الصيغة (IV-11) تبعا للمواد الانشائية المستخدمة .

١ – مراجعة السعة الحملية

عند مراجعة السعة الحملية للقطعة الانشائية ، عندما تكون كافة المعطيات المتعلقة بها معلومة ، تستخدم الصيغة (IV-20) لحساب ارتفاع منطقة الانضغاط ، على شرط ان تكون : $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$

$$x = (N - R_{s.com}F'_s + R_sF_s)/R_{pr}b \qquad (IV\text{-}22)$$

وبعد ذلك تحدد قيمة ξ_R من الصيغة (III-7) . ثم يراجع الشرط $x \leqslant \xi_R h_0$ ، فاذا كان متحققا ، عندئذ تتم مراجعة السعة الحملية للقطعة ، عند قيمة x المستخرجة بهذه الطريقة ، باستخدام الصيغة (IV-19) . وعدم مراعاة تحقيق الشرط التالى $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$ يدل على ضرورة ايجاد قيمة x عند الشرط $\xi = x/h_0 > \xi_R$ من الصيغة (IV-21) .

وعندما تكون $x > \xi_R h_0$ وتستخدم الخرسانة التى لا تزيد ماركتها على ٤٠٠ مع قضبان فولاذية غير سابقة الاجهاد من الاصناف A-I ، A-II و A-III ، يجب عندئذ تعويض قيمة σ_s من الصيغة (IV-10) فى المعادلة (IV-21) حيث نحصل على ما يلى :

$$x = (N + C - R_sF_s - R_{s.com}F'_s)/(R_{pr}b + C/h_0) \qquad (IV\text{-}23)$$

حيث

$$C = 2R_sF_s/(1 - \xi_R) \qquad (IV\text{-}24)$$

ان قيمة x المستخرجة من هذه الصيغة ، يجب ان تستخدم فى الصيغة (IV-19) لمراجعة السعة الحملية للقطعة .

اما اذا كانت $x > \xi_R h$ وتستخدم خرسانة ماركتها اكثر من ٤٠٠ مع قضبان فولاذية غير سابقة الاجهاد من الصنف A – IV فما فوق ، عندئذ يجب تعويض قيمة σ_s من الصيغة (IV-11) ، عندما $\sigma_0 = 0$ ، فى المعادلة (IV-21) ومنها نحصل على المعادلة التالية من الدرجة الثانية :

$$\xi^2 - (N - R_{s.com}F'_s - DF_s)\xi/R_{pr}bh_0 - DF_s\xi_0/R_{pr}bh_0 = 0 \qquad (IV\text{-}25)$$

حيث

$$D = 400/(1 - \xi_0 h_0/h)\ [MPa] \qquad (IV\text{-}26)$$

وعند ايجاد ξ من المعادلة (IV-25) ، يمكن استخراج قيمة $x = \xi h_0$ ، التى تستخدم أيضا فى الشرط (IV-19) لمراجعة السعة الحملية للقطعة الانشائية .

٢ – اختيار فولاذ التسليح

عند اختيار مساحة مقطع الفولاذ F_s و F'_s (تعتبر قيم كل من N ، l_0 ، b و h معروفة) تتحول الصيغ الحسابية الى الشكل التالى :

ان الشرط الذى يشمل مساحة الفولاذ هو :

$$\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$$

ومن الواضح ان الفولاذ A′ يتطلب وجوده فى مقطع القطعة الانشائية طبقا للتصميم ، فى الحالة التى يزيد فيها الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط ، عند حساب القضبان A فقط ، على القيمة القصوى للمقدار ξ_R . واذا اخذنا بالاعتبار ان قيمة ارتفاع منطقة الانضغاط وقيمة A_R المناظرة لها المستخرجة من الجدول (٣ – ١) ، فسوف نحصل من الصيغتين (IV-19) و (IV-20) على ما يلى :

$$F'_s = (Ne - A_R R_{pr} bh_0^2)/R_{s.com}z_s \qquad (IV\text{-}27)$$

$$F_s = (\xi_R R_{pr} bh_0 - N)/R_s + F'_s R_{s.com}/R_s \qquad (IV\text{-}28)$$

ان مساحة مقطع الفولاذ F'_s لا يجب ان تقل عن المساحة الصغرى الموضحة فى البند الاول من هذا الفصل .

وفى حالة معرفة مقطع القضبان الفولاذية F_s (استنادا الى الاعتبارات التصميمية وغيرها ، مثلا عند وجود عزوم ذات علامتين) ، تستخدم الصيغة (IV-19) لحساب ما يلى :

$$x(h_0 - x/2) = [Ne - R_{s.com}F'_s(h_0 - a')]/R_{pr}b$$

ان كافة القيم الواردة فى الطرف الايمن من هذه المعادلة ، معلومة . ومع ذلك ، فاننا بالاستناد الى الصيغة (III-17) نحصل على القيمة التالية :

$$A_0 = \xi(1 - \xi/2) \qquad (IV\text{-}29)$$

حيث $\xi = x/h_0$ تعتبر معروفة ، وكذلك نحصل على ما يلى :

$$A_0 = [Ne - R_{s.com}F'_s(h_0 - a')]/R_{pr}bh_0^2 \qquad (IV\text{-}30)$$

واستنادا الى ذلك ، يمكن ايجاد قيمة ξ المناظرة لقيمة A_0 من الجدول (٣ – ١) او يمكن حسابها من الصيغة التالية :

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} \qquad (IV\text{-}31)$$

وهكذا بمعرفتنا للقيمة $x = \xi h_0$ ، نحصل على مساحة الفولاذ F_s المطلوبة ، باستخدام الصيغة (IV-20) :

$$F_s = (\xi R_{pr} bh_0 - N)/R_s + F'_s R_{s.com}/R_s \qquad (IV\text{-}32)$$

وكثيرا ما يستخدم التسليح المتماثل فى التطبيق العملى وعلى وجه الخصوص فى القطع الانشائية المعرضة لتأثير عزوم الانحناء المتضادة العلامة ولكن المتقاربة من حيث القيم العددية .

وفى حالة التسليح المتماثل ، عندما تكون $F_s = F'_s$ ، و $R_{s.com} = R_s$ ، اى ان $R_{s.com}F'_s = R_sF_s$ ، يمكننا ان نحصل من المعادلة (IV-20) على ما يلى :

$$x = N/R_{pr}b \qquad \text{(IV-33)}$$

وباستخدام قيمة x هذه ، نحصل من الصيغة (IV-19) على ما يلى :

$$F_s = F'_s = N(e - h_0 + N/2R_{pr}b)/R_{s.com}(h_0 - a') \qquad \text{(IV-34)}$$

اذن الشرط الذى يشمل مساحة الفولاذ هو :

$$\xi = x/h_0 > \xi_R$$

ولنبحث الآن اختيار مقطع الفولاذ فى حالة استخدام خرسانة لا تزيد ماركتها على ٤٠٠ ، مع قضبان غير سابقة الاجهاد من الاصناف A-I ، A-II و A-III (وهى المواد التى تستخدم اكثر من غيرها فى الانشاءات العملية) . من الصيغة (IV-10) نستنتج ان الاجهادات فى القضبان او الفولاذ A تساوى ما يلى : $\sigma_s = R_s$ عند $\xi = \xi_R$ ؛ $\sigma_s = R_{s.com}$ عند $\xi = 1$ اى ان هذه الاجهادات تغير علامتها بسرعة ، بزيادة قيمة ξ .

وعندما تصل قيمة ξ الى اقصى حد لها وهو ξ_R ، تحدد مساحة فولاذ التسليح عندئذ باستخدام الصيغتين (IV-27) و (IV-28) .

وفى حالة مساواة اللاتمركزيات المصممة ، للصفر (حالة الانضغاط المحورى للقطعة) تكون قيمة الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط مساوية لما يلى :

$$\xi = h/h_0 = (1 + a/h_0) \approx 1{,}1$$

وفى هذه الحالة تكون قيمة الاجهاد فى قضبان التسليح A هى $\sigma_s = -R_{s.com}$. ولهذه الحالة ، نحصل من الصيغتين (IV-19) و (IV-21) على الصيغتين التاليتين لتحديد مساحة مقطع القضبان :

$$F'_s = (Ne - 0{,}5R_{pr}bh^2)/R_{s.com}(h_0 - a') \qquad \text{(IV-35)}$$

$$F_s = (N - R_{pr}bh)/R_{s.com} - F'_s \qquad \text{(IV-36)}$$

وفى هاتين الصيغتين ، خلافا للصيغتين السابقتين ، يظهر الارتفاع الكلى للمقطع h وليس الارتفاع h_0 .

والحالة التى تكون فيها $\sigma_s = 0$ ، نراها استنادا الى الصيغة (IV-10) تناسب القيمة $\xi = 0{,}5(1 + \xi_R)$ ، اى ان $x = 0{,}5(1 + \xi_R)h_0$.

عندئذ نحصل من المعادلة (IV-21) على ما يلى :

$$F'_s = [N - 0{,}5R_{pr}bh_0(1 + \xi_R)]/R_{s.com} \qquad \text{(IV-37)}$$

وهنا يمكن تحديد قيمة F_s انطلاقا من الاعتبارات التصميمية ، طبقا لشرط تأمين النسبة المئوية الصغرى للتسليح ، المشار اليه فى البند الاول من هذا الفصل .

ان الصيغ المذكورة اعلاه ، تعطينا القيم الدليلية لمساحتى مقطع الفولاذ F_s و F'_s .

وعند الظروف المخالفة للظروف المذكورة اعلاه (عند وجود قطع سابقة الاجهاد ، قضبان فولاذية عالية المقاومة ، خرسانة ماركة ٥٠٠ فما فوق) يمكن اختيار مقطع القضبان الفولاذية بطريقة التقريب المتعاقب .

ومجمل القول ، يمكننا أن نبين فيما يلى ، الخطوات المتعاقبة لحساب مقطع القضبان الفولاذية للقطع الانشائية ذات المقطع المستطيل والتسليح غير المتماثل :

١ – تسجّل المعطيات التصميمية التالية h_0 ، z_s ، $e_0 = M/N$ ، e_0/h ، l_0/h ، n ، وتحسب القيم التالية R_{pr} ، R_s ، $R_{s.com}$ ، E_s ، E_c .

٢ – يفترض وجود نسبة تسليح اختيارية هى :

$$\mu = (F_s + F'_s)/bh_0$$

وتكون فى حدود تتراوح بين 0,005 – 0,035 ، ثم تحسب القيم التالية t ، k_1 و N_{cr} .

واذا ظهر فى هذه الحالة ان N_{cr} اصغر من N ، عندئذ يجب زيادة أبعاد المقطع العرضى للقطعة .

٣ – يحدد المعامل η بواسطة الصيغة (IV-13) ومن ثم تحدد المسافات الواصلة بين القوة N والفولاذ A :

$$e = e_0\eta + h/2 - a \qquad \text{(IV-38)}$$

حيث تحسب قيمة e_0 من الصيغة (IV-1) .

٤ – تفترض قيم اختيارية للنسبة F_s/F'_s المتوقعة ، ثم تستخدم الصيغة (IV-22) لتحديد ارتفاع منطقة الانضغاط x ثم تحديد قيمة $\xi = x/h_0$ ، وبعد ذلك تستخدم الصيغ من رقم (IV-27) الى رقم (IV-31) لاختيار مقطع الفولاذ F_s و F'_s بحيث تؤخذ قيمهما التى لا تقل عن القيمة الصغرى المقررة (راجع البند الاول من هذا الفصل) .

٥ – تحسب قيمة النسبة المئوية للتسليح μ (معامل التسليح) فى المقطع الفولاذى المأخوذ :

$$\mu = (F_s + F'_s)/bh_0$$

فاذا كانت القيمة المذكورة تختلف عن القيمة الاصلية بما لا يزيد على ٠٫٠٠٥ يمكن اعتبار الحل نافذا .

وعندما يزيد الاختلاف بين القيمتين على الحد المذكور ، يجب اعادة حساب المقطع ثانية ، بافتراض نسبة اخرى للتسليح .

واذا ظهر نتيجة للحل ان $\mu > 0{,}035$ ، عندئذ يجب اعادة النظر فى ابعاد المقطع العرضى b و h او تغيير ماركة الخرسانة والقضبان الفولاذية .

٦ – مراجعة مقاومة القطعة ، مع الاخذ فى الاعتبار تأثير التحدب الحاصل فى المستوى العمودى على مستوى الانحناء ، كما هى الحالة بالنسبة للقطعة المعرضة للانضغاط ، ذات اللاتمركزيات الطارئة .

٧ – عندما يكون من الضرورى مراجعة كفاية السعة الحملية للقطعة الانشائية ، تستخدم لهذا الغرض الصيغ المرقمة من (IV-22) الى (IV-26) والشرط (IV-19) .

مثال ٤ – ٢ . اذا علمنا ان قوة الانضغاط الطولية المصممة تساوى $N = 600\text{kN}$ ، وعزم الانحناء المصمم $M = 162\text{kNm}$ ، وقوة الانضغاط الطولية الناتجة عن الحمل الساكن والحمل المتحرك الطويل الاجل $N_l = 400\text{kN}$ ، وعزم الانحناء الناجم عن نفس الاحمال $M_l = 100\text{kNm}$ ، وابعاد مقطع القطعة $b = 30\text{cm}$ و $h = 45\text{cm}$ ، والطول الفعال (بين الطرفين المثبتين مفصليا) يساوى $l_0 = 6{,}3\text{m}$ والخرسانة الثقيلة ماركتها ٣٠٠ اى (M-200) وعامل خدمة الخرسانة يساوى $m_{c1} = 0{,}85$ وفولاذ التسليح المستخدم من القضبان الحرزة ذات الصنف A-II .

المطلوب ايجاد مساحتى مقطع الفولاذ F_s و F'_s .

الحل . من الملاحق I ، IV ، V فى نهاية الجزء الثانى من الكتاب ، يمكننا ايجاد المعطيات التصميمية اللازمة وهى :

$$R_{pr} = 9\text{ MPa};\quad R_s = R_{s.\,com} = 270\text{ MPa}$$

$$E_s = 2{,}1 \times 10^5\text{MPa};\quad E_c = 2{,}15 \times 10^4\text{ MPa}$$

(خرسانة منضجة بالمعاملة الحرارية) .

والآن نحسب القيم الاضافية الضرورية كما يلى :

$$h_0 = h - a = 45 - 4 = 41\text{ cm}$$

$$z_g = h - a - a' = 45 - 4 - 4 = 37\text{ cm}$$

$$l_0/h = 630/45 = 14$$

$$n = E_s/E_c = (2{,}1 \times 10^5)/(2{,}15 \times 10^4) = 9{,}75$$

ثم نحدد قيمة اللاتمركزية الطارئة . وهذه القيمة يجب ان لا تقل عن ١\٣٠ من ضلع المقطع العرضى فى اتجاه الانحناء ، اى $1/30 \times 45 = 1{,}5\text{cm}$ ، وكذلك عن ١\٦٠٠ من طول القطعة الانشائية ، اى $1/600 \times 630 = 1{,}05\text{cm}$ ، ولكن يجب ان لا تقل باى حال عن ١ سم . والآن نأخذ القيمة الاكبر ، وهى $e_a = 1{,}5\text{cm}$ ، ثم نستخرج اللاتمركزية المصممة بواسطة الصيغة (IV-1) :

$$e_0 = M/N + e_a = 16\,200\,000/600\,000 + 1{,}5 = 28{,}5\text{ cm}$$

واللاتمركزية النسبية

$$e_0/h = 28{,}5/45 = 0{,}633$$

ونستخدم الآن نسبة فرضية للتسليح الطول μ (لكل الفولاذ الموجود فى القطعة) قدرها 0,02 .

واستنادا الى المعادلتين (IV-17a;b) و (IV-15) نحصل على :

$$t = e_0/h = 0{,}633$$

ولكنها يجب ان لا تقل عن :

$$t_{min} = 0{;}5 - 0{,}01l_0/h - 0{,}01R_{pr} =$$

$$= 0{,}5 - 0{,}01 \times 14 - 0{,}01 \times 9 \times 0{,}85 = 0{,}27$$

$$k_l = 1 + \beta M_l/M = 1 + (1 \times 100)/162 = 1{,}617$$

حيث $\beta = 1$ استنادا الى الجدول (٤ – ٢) .

والآن نستخدم المعادلة (IV-14) للحصول على ما يلى :

$$N_{cr} = 6{,}4E_c[I[0{,}11/(0{,}1 + t/k_{pr}) + 0{,}1]/k_l + I_{s.\,tr}]/l_0^2 =$$

$$= [6{,}4 \times 2{,}25 \times 10^4(100)[22{,}8 \times 10^4[0{,}11/(0{,}1 + 0{,}633) +$$

$$+ 0{,}1]/630^2 \times 1{,}617) + 9 \times 10^4 = 4\,350\,000\text{ N} = 4350\text{ kN}$$

حيث

$$I = bh^2/12 = (30 \times 45^3)12 = 22{,}8 \times 10^4\text{ cm}^4$$

$$I_{s.\,tr} = n\mu F(z_s/2)^2 = 9{,}75 \times 0{,}02(30 \times 45)(37/2)^2 = 9 \times 10^4\text{ cm}^4$$

ومن المعادلة (IV-16) نجد ان :

$$k_{pr} = 1$$

حيث $\sigma_{c.\,pr} = 0$ وذلك لان القطعة تعتبر غير سابقة الاجهاد . ومن المعادلة (IV-13) نحصل على قيمة η وكذلك من المعادلة (IV-32) نحصل على المسافة e :

$$\eta = 1/(1 - N/N_{cr}) = 1/(1 - 600/4\,350) = 1{,}16$$

$$e = e_0\eta + h/2 - a = 28{,}5 \times 1{,}16 + 45/2 - 4 = 51{,}6\text{ cm}$$

وبافتراض ان $F_s \approx F'_s$ ، نحصل من المعادلة (IV-22) على ما يلى :

$$x = (N - R_{s.\,com}F'_s + R_sF_s)/m_{c1}R_{pr}b = N/m_{c1}R_{pr}b =$$

$$= 600\,000(0{,}01)/(0{,}85 \times 9 \times 30) = 26{,}2\text{ cm}$$

ومنها نحصل على :

$$\xi = x/h_0 = 26{,}2/41 = 0{,}639$$

وبوجود القيمة $\xi_R = 0{,}687$ فى شروط المسألة (راجع المثال الثانى فى الفصل الثالث) نجد ان $\xi < \xi_R$. واستنادا الى الجدول (٣ – ١) نجد ان المقدار $\xi_R = 0{,}687$ يناظر المقدار $A_R = 0{,}451$.

وباستخدام المعادلة (IV-27) نحصل على ما يلى :

$$F'_s = (Ne - A_Rm_{c1}R_{pr}bh_0^2)/R_{s.\,com}z_s =$$

$$= [600\,000 \times 51{,}6(0{,}01) - 0{,}451 \times 0{,}85 \times 9 \times$$

$$\times 30 \times 41^2]/(270 \times 37) = 13{,}5\text{ cm}^2$$

وهذه القيمة تزيد على القيمة المأمونة الصغرى لنسبة التسليح التى تساوى 0,2 % ، وبما أنه عند القيم التالية :

$$r_g = \sqrt{I/F} = \sqrt{bh^2/12bh} = 0{,}289h = 0{,}289 \times 45 = 13 \text{ cm}$$

و

$$l_0/r_g = 630/13 = 48$$ (راجع البند الاول)

نحصل على :

$$F_{s.\,min} = 0{,}002 \times 30 \times 45 = 2{,}7 \text{ cm}^2$$

اذن يمكن تحديد قيمة F_s من المعادلة (IV-28) :

$$F_s = (\xi_R m_{c1} R_{pr} b h_0 - N)/R_s + F'_x R_{s.\,com}/R_s =$$
$$= [0{,}687 \times 0{,}85 \times 9 \times 30 \times 41 - 600\,000(0{,}01)]/270 +$$
$$+ 13{,}5 = 15{,}2 \text{ cm}^2$$

ان معامل التسليح الذى يحدد كما يلى :

$$\mu = (F_s + F'_s)/bh = (15{,}2 + 13{,}5)/30 \times 41 = 0{,}021$$

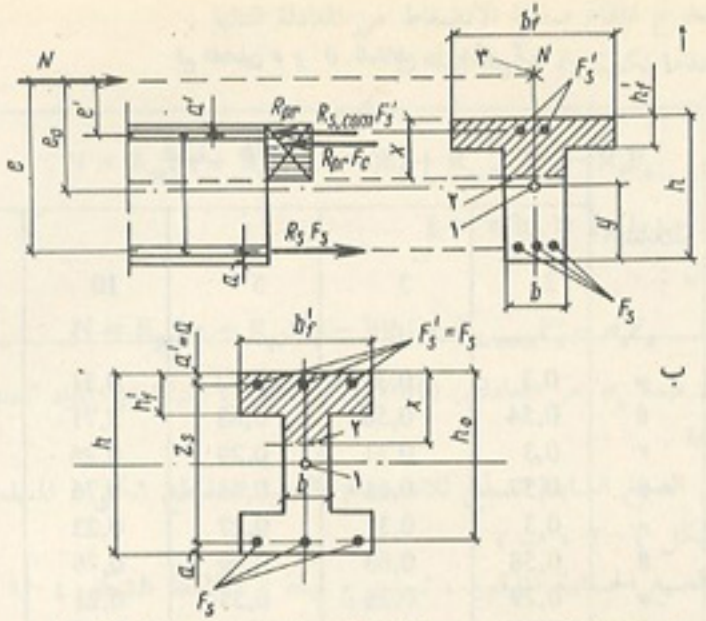
يعتبر قريبا من قيمته الفرضية التى اخذناها فى البداية وهى : $\mu = 0{,}02$ ، اذن يمكن اعتبار مساحة القضبان الفولاذية المطلوبة ، قد حسبت بصورة صحيحة .

البند الخامس
حساب وتصميم القطع الانشائية التى مقطعها على شكل T او I

ان القطع الانشائية اللامحورية الانضغاط ، التى من هذا النوع . تصادفنا فى أحيان كثيرة فى العقود والاعمدة وغيرها من الانشاءات . وفى القطع التى مقطعها على شكل T ، تقع الشفة عند الحافة الاكثر انضغاطا فى القطعة (شكل ٤ – ٩ ، أ) . وهنا توجد حالتان هما : الاولى ، عندما يكون محور التعادل مارا فى حدود الشفة ، يعتبر المقطع مستطيلا ، بعرض يساوى b'_f ؛ والثانية ، اذا كان محور التعادل يقطع الضلع القائم للمقطع T ، يعتبر الانضغاط مؤثرا فى الضلع القائم . وقيم عرض الشفة الداخلة فى الحساب ، تؤخذ مساوية لنفس القيم المستخدمة عند حساب انحناء المقاطع T (راجع البند الثالث من الفصل الثالث) .

وعندما تكون شفة المقطع T واقعة عند الوجه المعرض للشد (او الوجه الاقل انضغاطا) ، لا تؤخذ الشفة فى الاعتبار عند الحساب ، ويعتبر المقطع مثل المقطع المستطيل ، وعرضه المصمم يساوى عرض الضلع القائم .

ان حساب وتصميم المقاطع I يجرى وفقا لتصميم المقاطع T ، التى تقع شفتها فى منطقة



شكل ٤ – ٩ . الرسوم التخطيطية لحساب وتصميم القطع الانشائية التى مقطعها على شكل T او I :
أ – مقطع على شكل T (تقع شفته فى منطقة الانضغاط) ؛ ب – مقطع متماثل على شكل I ؛ ١ – المحور الهندسى للقطعة ؛ ٢ – محور التعادل ؛ ٣ – موضع تسليط القوة الطولية التى تضغط القطعة

الانضغاط ، وذلك لأن الشفة الواقعة فى منطقة الشد ، لا تؤخذ فى الاعتبار عند حساب مقاومة المقطع (شكل ٤ – ٩ ، ب) .

ويجرى حساب وتصميم القطع الانشائية التى مقطعها على شكل T ، والمعرضة للانضغاط اللامحورى ، التى تقع شفتها فى منطقة الانضغاط ، مثل حساب القطع التى لها اى مقطع متماثل كان ، وذلك استنادا الى تحقق أو عدم تحقق الشرط التالى :

$$\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$$

وفى البداية يحدد وضع محور التعادل .

وعند تحقق الشرط التالى :

$$N > R_{pr} b'_f h'_f \qquad \text{(IV-39)}$$

نجد أن محور التعادل يمر تحت شفة المقطع .

واذا كانت x اكبر من h'_f ، عندئذ تتم مراجعة مقاومة المقطع ، باستخدام الشرط التالى :

$$Ne \leqslant R_{pr} bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{pr}(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0{,}5h'_f) +$$
$$+ R_{s.\,com} F'_s(h_0 - a') \qquad \text{(IV-40)}$$

جدول ٤-٣

قيم المعاملين ν و θ للمقاطع على شكل T

h'_f/h	المعاملات	النسبة b'_f/b				
		2	3	5	10	15
0,1	ν	0,3	0,33	0,32	0,31	0,29
	θ	0,54	0,58	0,63	0,71	0,76
0,2	ν	0,3	0,31	0,29	0,26	0,23
	θ	0,57	0,61	0,68	0,76	0,79
0,3	ν	0,3	0,3	0,27	0,23	0,2
	θ	0,58	0,63	0,69	0,76	0,78
0,4	ν	0,29	0,28	0,25	0,21	0,19
	θ	0,58	0,63	0,68	0,74	0,76
0,5	ν	0,27	0,26	0,23	0,2	0,19
	θ	0,58	0,62	0,67	0,7	0,72

جدول ٤-٤

قيم المعامل ν للمقاطع على شكل I المتماثلة

h'_f/h	النسبة b'_f/b				
	2	3	5	10	15
0,1	0,32	0,34	0,37	0,4	0,42
0,15	0,33	0,35	0,36	0,39	0,41
0,2	0,33	0,35	0,36	0,38	0,39
0,25	0,32	0,34	0,35	0,37	0,37
0,3	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35
0,35	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34

ويستخرج ارتفاع منطقة الانضغاط من المعادلة التالية :

أ) عندما تكون $\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$

نجد ان :

$$N = R_{pr}bx + R_{pr}(b'_f - b)h'_f + R_{s.com}F'_s - R_sF_s \qquad (IV-41)$$

ب) وعندما $\xi = x/h_0 > \xi_R$

نجد ان :

$$N = R_{pr}bx + R_{pr}(b'_f - b)h'_f + R_{s.com}F'_s - \sigma_sF_s \qquad (IV-42)$$

حيث تحدد قيمة σ_s من المعادلتين (IV-10) او (IV-11) اعتمادا على المواد المستخدمة فى انتاج القطعة .

ونفس الصيغ السابقة تصلح للاستخدام بالنسبة للمقاطع شكل I المسلحة بصورة متماثلة (شكل ٤-٩ ، ب) .

وفى الصيغ الحسابية المذكورة ، تستخرج قيمة e (لاحظ الشكل ٤-٩ ، أ) كما يلى :

$$e = \eta e_0 + y - a \qquad (IV-43)$$

حيث y هى المسافة من مركز ثقل المقطع برمته الى الوجه المعرض للشد فى الضلع القائم . ويمكن اعتبار $y = \theta h$ ، مع تحديد قيمة θ من الجدول (٤-٣) .

وعند حساب قضافة القطعة الانشائية ، يمكن تحديد قيمة نصف قطر التدويم (الحركة التدويمية) فى مستوى الانحناء ، من الصيغة التالية :

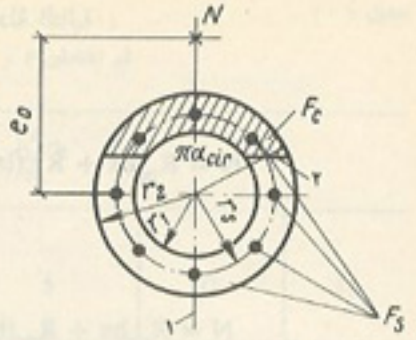
$$r_g = \nu h$$

حيث ν تمثل معامل يؤخذ لحساب المقاطع على شكل T ، من الجدول (٤-٣) ولحساب المقاطع على شكل I ، من الجدول (٤-٤) .

البند السادس
حساب القطع الانشائية الدائرية المقطع

ان المقاطع العرضية الدائرية ، تصادفنا فى تصاميم الاعمدة ، مساند او دعامات خطوط القوى الكهربائية ، المداخن (chimneys) وغيرها . وعادة تسلح القطع الانشائية الدائرية المقطع ، بقضبان طولية موزعة بصورة منتظمة على محيط المقطع (شكل ٤-١٠) .

والصيغ الحسابية التصميمية الخاصة بمثل هذه القطع ، والمدرجة فى المواصفات القياسية



شكل ٤ – ١٠ . الرسم التخطيطى لحساب وتصميم القطع ذات المقطع الدائرى:
١ – مستوى تأثير عزم الانحناء ، ٢ – محور التعادل

للبناء فى الاتحاد السوفييتى ، مشتقة على اساس المعطيات الاصلية العامة لحساب وتصميم القطع الانشائية المنوعة المقاطع العرضية ، مع ادخال معاملات وضعية .

ان مقاومة القطع المنضغطة ذات المقطع العرضى الدائرى (لاحظ الشكل ٤ – ١٠) تحسب من الشرط التالى (عند $r_1/r_2 \geqslant 0{,}5$) :

$$Ne_0 \leqslant (R_{pr}Fr_{av} + R_{s.\,com}F_{s.\,1}r_s)\sin(\pi\alpha_{cir})/\pi + R_sF_{s.\,1}k_sz_s \qquad (IV\text{-}44)$$

وتحسب المساحة النسبية لخرسانة منطقة الانضغاط من الصيغة التالية :

$$\alpha_{cir} = [N + (\sigma_0 + A_sR_s)F_{s.\,1}]/[R_{pr}F + (R_{s.\,com} + B_sR_s)F_{s.\,1}] \qquad (IV\text{-}45)$$

وذلك عندما تكون α_{cir} اكبر من 0,15 .

وفى الصيغتين (IV-44) و (IV-45) نجد ما يلى :

$$r_{av} = (r_1 + r_2)/2 \qquad (IV\text{-}46)$$

حيث r_s تمثل نصف قطر الدائرة المارة فى مركز ثقل قضبان التسليح الفولاذية ؛ $F_{s.1}$ – مساحة المقطع العرضى لكافة القضبان الطولية ؛ σ_0 – الاجهاد المسبق فى الفولاذ ، كما حدد باستخدام عامل دقة الشد $m_{sc} \geqslant 1$ ؛ z_s – المسافة من محصلة قوى الشد فى الفولاذ الى مركز ثقل المقطع :

$$z_s = (0{,}2 + 1{,}3\alpha_{cir})r_s \qquad (IV\text{-}47)$$

ولكن يجب ان لا تزيد على r_s ؛ k_s – معامل تحدد قيمته من العلاقة التالية :

$$k_s = A_s - B_s\alpha_{cir} \qquad (IV\text{-}48)$$

حيث

$$A_s = m_{s.\,cir} - \sigma_0/R_s \qquad (IV\text{-}49)$$

(للفولاذ من الاصناف A-I ، A-II و A-III نجد ان قيمة $m_{s.cir}$ تساوى 1 ؛ اما للفولاذ من الاصناف الاخرى فان قيمة $m_{s.cir}$ تساوى 1,1) ؛

$$B_s = A_s(1{,}5 + 60R_s \times 10^{-5}) \qquad (IV\text{-}50)$$

حيث يقاس المقدار R_s بالميجاباسكال .

واذا كانت قيمة α_{cir} المحسوبة من الصيغة (IV-45) اقل من 0,15 ، عندئذ يجب ايجاد قيمة α_{cir} المعوضة فى المعادلة (IV-44) من الصيغة التالية :

$$\alpha_{cir} = [N + (\sigma_0 + k_sR_s)F_{s.\,1}]/(R_{pr}F + R_{s.\,com}F_{s.\,1}) \qquad (IV\text{-}51)$$

حيث تحدد هنا قيمتا z_s و k_s من المعادلتين (IV-47) و (IV-48) عند قيمة $\alpha_{cir} = 0{,}15$.

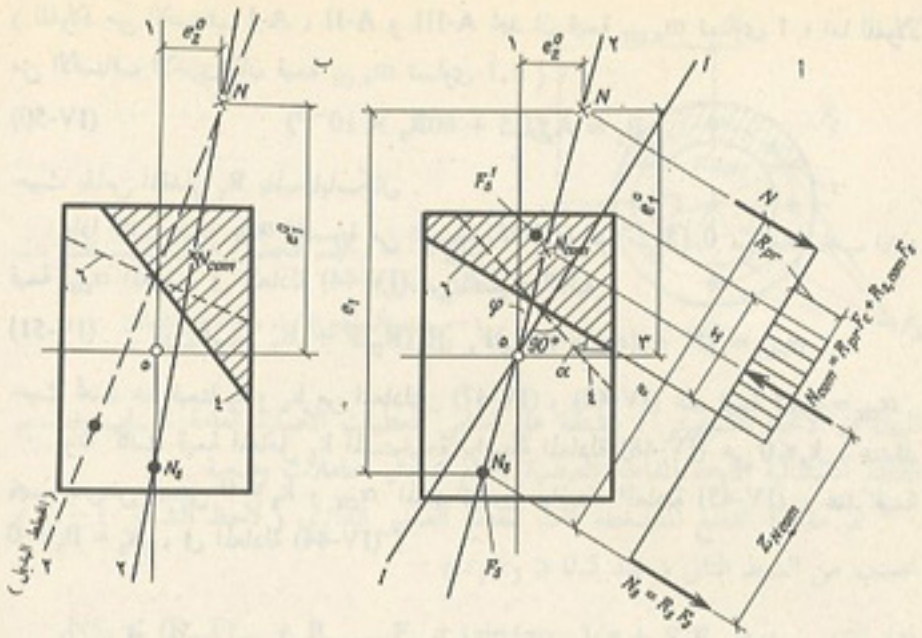
واذا كانت قيمة المعامل k_s المستخرجة بواسطة المعادلة (IV-48) هى $k_s \leqslant 0$ ، عندئذ يجب تعويض قيمتى $k_s = 0$ و α_{cir} المستخرجتين بواسطة المعادلة (IV-45) ، عند قيمة $A_s = B_s = 0$ ، فى المعادلة (IV-44) .

البند السابع
حساب القطع الانشائية المعرضة للانضغاط اللامحورى الثانى المحور

لنبحث الآن القطع المستطيلة المقطع العرضى المعرضة للانضغاط اللامحورى الثانى المحور ، اى عند تأثير قوة الانضغاط الخارجية N ، التى لها لا تمركزيتان هما e_1^0 و e_2^0 فى اتجاه محاور تماثل المقطع (شكل ٤ – ١١) . ان القطع المعرضة للانضغاط اللامحورى الثانى المحور ، يمكن ان تسلح بقضبان طولية ، مرتبة على طول محيط المقطع العرضى او مركزة فى اكثر المواضع اجهادا فى المقطع العرضى للقطعة الانشائية . وفى الحالة الثانية لترتيب قضبان التسليح ، تقل كمية الفولاذ المستهلكة ؛ لذلك تفضل على غيرها ، وسوف نبحث مثل هذه القطع بالذات .

ان قوة الانضغاط الخارجية N ومحصلات القوى الداخلية فى قضبان التسليح N_s (الموضوعة فى المنطقة الاكثر بعدا عن القوة N) و N_{com} (فى الخرسانة وفى القضبان فى منطقة الانضغاط ، الواقعة بقرب القوة N تماما) يجب ان تقع جميعها فى مستوى واحد ، يمكن ان ينطبق مع المحور الهندسى للقطعة (شكل ٤ – ١١ ، أ) او لا ينطبق معه (شكل ٤ – ١١ ، ب) .

وقد يكون شكل منطقة الانضغاط مستطيلا او على هيئة شبه منحرف . وكثيرا ما يكون من الافضل تقوية منطقة الانضغاط بالقضبان الفولاذية ، التى تؤخذ فى الاعتبار عند حساب مقاومة القطعة الانشائية .



شكل ٤ – ١١ . الرسم التخطيطى لحساب مقاومة القطع الانشائية المعرضة للانضغاط المائل المحور (وجود لا تمركزيتين) :
أ – مستوى القوى N ، N_s ، N_{com} ينطبق على المحور الهندسى للقطعة ؛ ب – مستوى القوى المذكور ، لا ينطبق على المحور الهندسى للقطعة ؛ ١ و ٣ – محورا تماثل المقطع المستطيل ، ٢ – مستوى تسليط القوى N ، N_{com} ، N_s ، ٤ – منطقة الانضغاط المائلة ، ٥ – المحور الهندسى للقطعة فى المخطط (التصميمى للانشاء ، ٦ – منطقة الانضغاط التى على شكل شبه منحرف ، N – قوة الانضغاط الخارجية ، N_s – محصلة القوى فى القضبان الفولاذية الاكثر بعدا عن القوة N ، N_{com} – محصلة القوى فى خرسانة منطقة الانضغاط (وفى قضبان الانضغاط ايضا ، اذا كانت موضوعة طبقا للتصميم) ، I – I المستوى العمودى على محور التعادل

ان المخطط التصميمى للقوى الداخلية فى المقطع العمودى للقطعة الانشائية ، مبين فى الشكل ٤ – ١١ ، أ . وهذا المخطط مشابه تماما للمخطط التصميمى للقطعة المعرضة للانضغاط اللامحورى فى مستوى تماثل المقطع العرضى للقطعة الانشائية (لاحظ الشكل ٤ – ٦ ، أ) .

وتحسب مقاومة القطعة الانشائية فى المستوى I – I العمودى على محور التعادل التابع للمنطقة المنضغطة ، ذات الابعاد x و h_0 ، من الصيغة الشرطية التالية :

$$Ne \leqslant (F_c R_{pr} + F'_s R_{s.\,com}) z_{N\,com} \qquad (IV\text{-}52)$$

حيث z_N – هى المسافة من محصلة القوى فى الخرسانة والفولاذ فى منطقة الانضغاط ، الى محصلة القوى فى الفولاذ الواقع فى المنطقة الاكثر بعدا عن القوة N .

وتستخرج مساحة خرسانة منطقة الانضغاط من شرط مساواة مجموع مساقط القوى الداخلية فى المقطع ، والقوة الضاغطة الخارجية ، للصفر ، ويكون هذا الشرط عند

$\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$ على الشكل التالى :

$$N + F_s R_s - F'_s R_{s.\,com} - F_c R_{pr} = 0 \qquad (IV\text{-}53)$$

وعند $\xi = x/h_0 > \xi_R$ على الشكل التالى :

$$N + F_s \sigma_s - F'_s R_{s.\,com} - F_c R_{pr} = 0 \qquad (IV\text{-}54)$$

حيث تحدد قيمة σ_s من المعادلة (IV-10) او المعادلة (IV-11) اعتمادا على المادة المستخدمة .

وفى المعادلات المرقمة من (IV-52) الى (IV-54) يعتبر الاجهاد متساويا فى كافة قضبان منطقتى الانضغاط أو الشد ، وذلك لان القضبان فى كل مجموعة ، تقع على نفس المسافة تقريبا من محور التعادل . ويمكن كذلك حساب وتصميم القطع المبحوثة اعلاه ، فى مستوى التماثل ١ ؛ وفى هذه الحالة يكتب شرط المقاومة على الشكل التالى (شكل ٤ – ١٢) :

$$Ne_1 \leqslant (F_c R_{pr} + F'_s R_{s.\,com})(h_{01} - x_0) \qquad (IV\text{-}55)$$

تحديد أبعاد منطقة الانضغاط المثلثة (الشكل ٤ – ١٢ ، أ) . لنفرض ان مساحتى مقطعى الفولاذ هما F'_s و F_s ، ومواقع القضبان الفولاذية فى المقطع العرضى ، قد ثبتت جميعها استنادا الى شروط المسألة المعلومة . والآن يمكن استنادا الى الشكل (٤ – ١٢ ، أ) ان نكتب المعادلات التالية (مع الابقاء على علامة المساواة) المماثلة للمعادلتين (IV-54) و (IV-55) :

$$N + F_s R_s - F'_s R_{s.\,com} - x_1 y_1 R_{pr}/2 = 0 \qquad (IV\text{-}56)$$

$$\left.\begin{aligned} Ne_1 &= R_{pr} x_1 y_1 (h_{01} - x_0)/2 + F'_s R_{s.\,com}(h_{01} - x_s) \\ Ne_2 &= R_{pr} x_1 y_1 (h_{02} - y_0)/2 + F'_s R_{s.\,com}(h_{02} - y_s) \end{aligned}\right\} \qquad (IV\text{-}57)$$

وعند تعويض ما يلى :

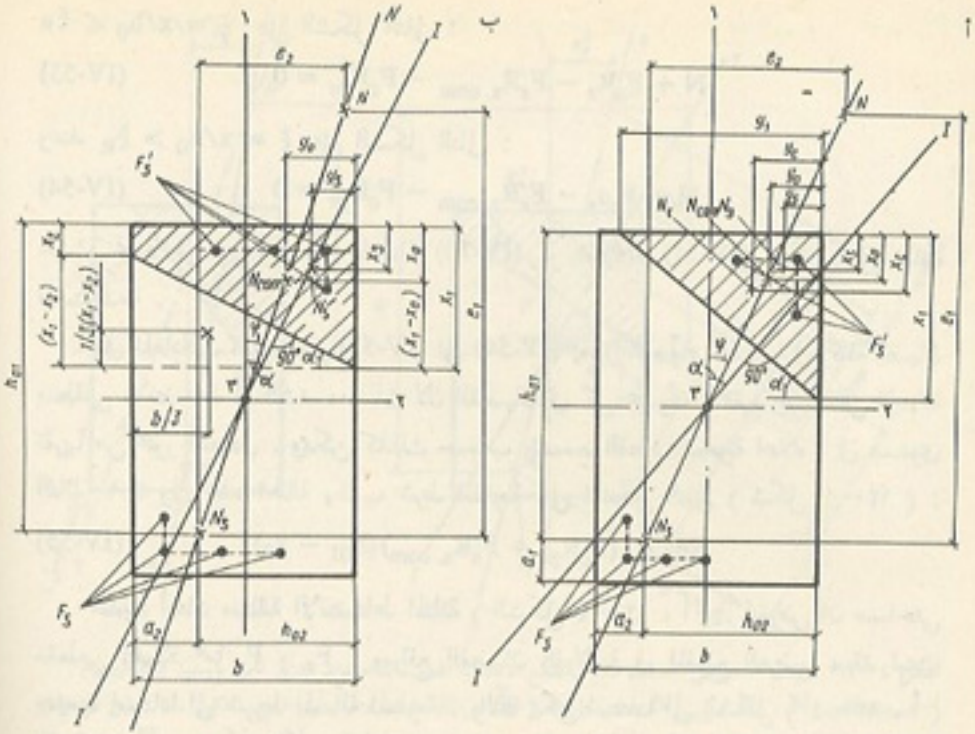
$$C_{com} = [Ne_1 - F'_s R_{s.\,com}(h_{01} - x_s)]/[Ne_2 - F'_s R_{s.\,com}(h_{02} - y_s)] \qquad (IV\text{-}58)$$

واستنادا الى المعادلة (IV-57) يمكن كتابة ما يلى :

$$C_{com} = [R_{pr} x_1 y_1 (h_{01} - x_0)/2]/[R_{pr} x_1 y_1 (h_{02} - y_0)/2] = (h_{01} - x_0)/(h_{02} - y_0) \qquad (IV\text{-}59)$$

ان احداثيات المحصّلة فى منطقة الانضغاط المثلثة ، التى ابعادها x_1 و y_1 ومساحة الفولاذ F'_s ، هى كالآتى (لاحظ الشكل ٤ – ١٢ ، أ) :

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= (x_1^2 y_1 + 6F'_s x_s R_{s.\,com}/R_{pr})/3(x_1 y_1 + 2F'_s R_{s.\,com}/R_{pr}) \\ y_0 &= (x_1 y_1^2 + 6F'_s y_s R_{s.\,com}/R_{pr})/3(x_1 y_1 + 2F'_s R_{s.\,com}/R_{pr}) \end{aligned}\right\} \qquad (IV\text{-}60)$$



شكل ٤ – ١٢ . الرسم التخطيطي لحساب مقاومة القطع الانشائية المعرضة للانضغاط الثنائي المحور (وجود لا تمركزيتين) ، ان مستوى القوى N ، N_s ، N_{com} يتطبق على المحور الهندسي للقطعة : أ – منطقة الانضغاط الثالثة الشكل ؛ ب – منطقة الانضغاط التي على شكل شبه منحرف ؛ ١ و ٢ – محورا تماثل المقطع المستطيل ، ٣ – المحور الهندسي للقطعة ، N – قوة الانضغاط الخارجية ، N_s – محصلة القوى في القضبان الفولاذية الاكثر بعدا عن القوة N ، N_s' – محصلة القوى في القضبان الفولاذية لمنطقة الانضغاط ، N_c – محصلة الاجهادات في خرسانة منطقة الانضغاط ، I – I المستوى العمودي على محور التعادل

وباستخدام الصيغتين المذكورتين في المعادلة (IV-59) وتعويض ما يلي :

$$x_1 y_1/2 = (N + F_s R_s - F_s' R_{s.com})/R_{pr} = C_2 \qquad (IV\text{-}61)$$

نحصل على المعادلة اللازمة لتحديد المقدار x_1 وهي :

$$x_1^2 + 3[(1 + F_s' R_{s.com}/C_2 R_{pr})(-h_{01} + C_{com} h_{02}) - F_s' R_{s.com}(C_{com} y_s - x_s)/C_2 R_{pr}]x_1 - 2C_2 C_{com} = 0 \qquad (IV\text{-}62)$$

وعند حل المعادلة المذكورة اعلاه لاستخراج قيمة x_1 ، نجد من المعادلة (IV-61) ما يلي :

$$y_1 = 2C_2/x_1$$

وبعد ذلك نستخدم المعادلة (IV-60) لاستخراج قيمة x_0 ، التي نعوضها في المعادلة (IV-55) .

تحديد ابعاد منطقة الانضغاط شبه المنحرفة (شكل ٤ – ١٢ ، ب) . يمكننا بالاستناد الى المعادلة (IV-53) ان نكتب الصيغة التالية :

$$N + F_s R_s - F_s' R_{s.com} - b(x_1 + x_2)R_{pr}/2 = 0 \qquad (IV\text{-}63)$$

والاحداثيان التابعان لمحصلة القوى في منطقة الانضغاط شبه المنحرفة ، التي ابعادها هي x_1 و x_2 ومساحة الفولاذ F_s هي كما يلي (راجع الشكل ٤ – ١٢ ، ب) :

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= [x_1(x_1 + x_2)b - bx_1^2 + b(x_1 - x_2)^2/3 + \\ &\quad + 2F_s' x_s R_{s.com}/R_{pr}]/[(x_1 + x_2)b + 2F_s' R_{s.com}/R_{pr}] \\ y_0 &= (b^2 x_1/3 + 2b^2 x_2/3 + 2F_s' y_s R_{s.com}/R_{pr})/[(x_1 + \\ &\quad + x_2)b + 2F_s' R_{s.com}/R_{pr}] \end{aligned}\right\} \qquad (IV\text{-}64)$$

وبتعويض هذه الصيغ في المعادلة (IV-59) واتخاذ العلاقة الفرضية التالية :

$$b(x_1 + x_2)/2 = (N + F_s R_s - F_s' R_{s.com})/R_{pr} = C_3 \qquad (IV\text{-}65)$$

نحصل على المعادلة التالية لتحديد قيمة x_1 :

$$x_1^2 + Ax_1 + B = 0 \qquad (IV\text{-}66)$$

حيث فيها :

$$\left.\begin{aligned} A &= C_{com} b - 2C_3/b \\ B &= 6[C_{com} h_{02} - 2C_{com} b/3 - h_{01} + 2C_3/3b)C_3 + \\ &\quad + F_s' R_{s.com}(C_{com} h_{02} - C_{com} y_s - y_{01} + x_s)/R_{pr}]/b \end{aligned}\right\} \qquad (IV\text{-}67)$$

وبتعويض قيمة x_1 المستخرجة من المعادلة السابقة في المعادلة رقم (IV-65) نحصل على ما يلي :

$$x_2 = 2C_3/b - x_1$$

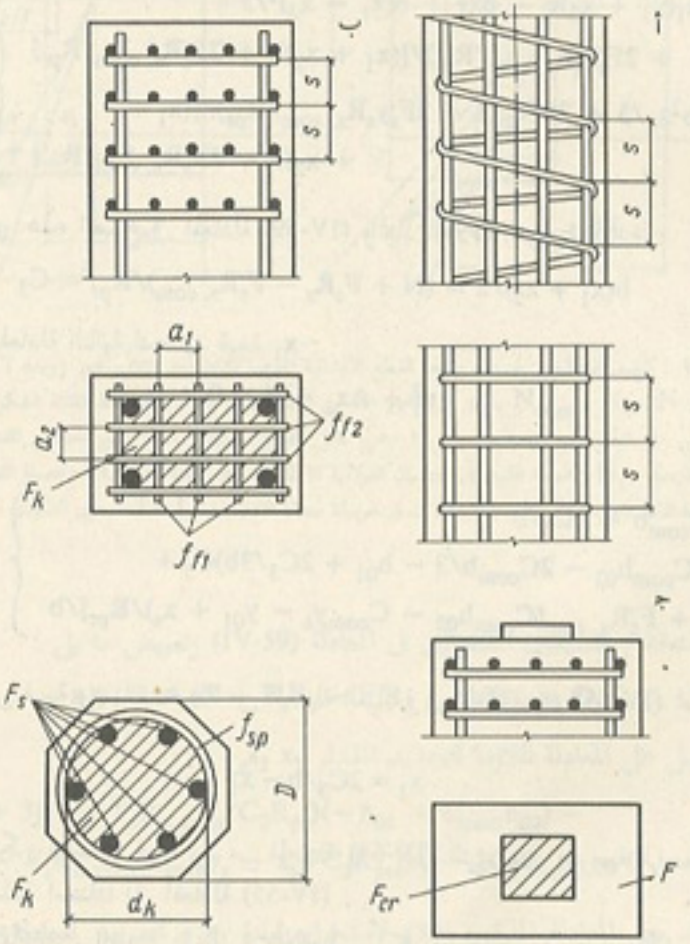
والآن يمكن حساب قيمة x_0 من المعادلة (IV-64) التي تعتبر ضرورية لمراجعة مقاومة القطعة الانشائية استنادا الى المعادلة (IV-55) .

ان اللامركزيات الطارئة تؤخذ في الاعتبار ، كما جاء ذكره في البند الاول من هذا الفصل ، اما تأثير التحدب فيؤخذ في الاعتبار كما جاء ذكره في البند الثالث من هذا الفصل .

البند الثامن
القطع المعرضة للانضغاط ، ذات التسليح غير المباشر لغرض التقوية

اذا وضعنا فى قطعة محورية الانضغاط قصيرة ، قضبان تسليح مستعرضة يمكنها ان تمنع الانفعالات الجانبية بصورة فعالة ، فسوف يمكن بذلك زيادة سعتها الحملية بشكل ملموس . ان مثل هذا التسليح يسمى بالتسليح غير المباشر (indirect reinforcement) .

وقد بحثت الانواع المختلفة للتسليح غير المباشر . وفى التطبيق العملى انتشر التسليح غير المباشر للقطع ذات المقطع الدائرى والمقطع المضلع ، وهو على هيئة قضبان واسلاك حلزونية



شكل ٤ – ١٣ . القطع المحورية الانضغاط ذات التسليح غير المباشر :
أ – بقضبان حلزونية او حلقات ملحومة ؛ ب – بشبكات ملحومة مستعرضة ؛ جـ – بشبكات ملحومة مستعرضة موضوعة تحت حشية المركز



شكل ٤ – ١٤ . عينة لجريبية للقطعة محورية الانضغاط ، مسلحة بقضبان حلزونية لغرض التقوية كما تظهر بعد اجراء الاختبار

او حلقات فولاذية ملحومة (شكل ٤ – ١٣ ، أ) . وفى القطع المستطيلة المقطع ، يستخدم التسليح غير المباشر المجسّم ، الذى يكون على هيئة شبكات عرضية ملحومة مرتبة قريبا من بعضها البعض (شكل ٤ – ١٣ ، ب) . ويستخدم التسليح غير المباشر بواسطة الشبكات العرضية الملحومة ، فى اغلب الاحيان للتعزيز الموضعى للاعمدة السابقة الصنع بالقرب من الوصلات والفواصل (شكل ٤ – ١٣ ، جـ) وكذلك تحت قطع التثبيت (المثبتات) وفى منطقة تثبيت قضبان التسليح السابقة الاجهاد (لاحظ الشكل ٣–٨) .

وقد كشفت التجارب عن وجود مقاومة انضغاط مرتفعة فى الخرسانة ، ضمن حدود قلب القطعة المحصور داخل الحلزون الفولاذى او الشبكة الفولاذية الملحومة . ان الحلزونات والحلقات الفولاذية تشبه الاطواق فى عملها على حجز الانفعالات الجانبية للخرسانة ، التى تنشأ عند الانضغاط الطولى . وبذلك تساعد على وجود مقاومة الخرسانة المرتفعة للانضغاط الطولى ، حتى بعد ظهور الشقوق الطولية الاولى فى الخرسانة . اما الخرسانة الواقعة ضمن حدود قلب القطعة ، تقاوم الاحمال الخارجية حتى بعد تشظى الطبقة الخارجية للخرسانة (شكل ٤ – ١٤) ، الى ان تصل الاجهادات فى القضبان المستعرضة الى نقطة الخضوع .

وتكون الانفعالات الطولية للقطع الانشائية المحتوية على قضبان تسليح غير مباشر ، كبيرة للغاية وتزداد قيمتها كلما زادت كمية التسليح المستعرض .

ان مقاومة القطع المنضغطة المحتوية على فولاذ تسليح غير مباشر من كافة الانواع ، تحسب عادة باستخدام الصيغ الحسابية المذكورة فى البنود السابقة من هذا الفصل ، التى فيها تؤخذ ابعاد المقطع العرضى على طول المحيط الخارجى للشبكات والحلقات او الحلزونات التابعة للتسليح غير المباشر ، كما تعوض قيمة R_{pr} بقيمة المقاومة المكافئة التى تستخرج من الصيغ الوضعية كما يلى :

عند التسليح بواسطة الشبكات الملحومة

$$R^{*}_{pr} = R_{pr} + k\mu^{f}_{ind}R^{f}_{s} \qquad \text{(IV-68)}$$

وعند التسليح بالحلزونات والحلقات الفولاذية

$$R^{*}_{pr} = R_{pr} + 2\mu^{sp}_{ind}(-7{,}5e_0/d_k) \qquad \text{(IV-69)}$$

وتستخدم الصيغتان المذكورتان اعلاه للقطع المنتجة من الخرسانة الثقيلة ، عندما تبلغ قضافتها ما يلى :

$$l_0/r_{g.k} \leqslant 35$$

حيث $r_{g.k}$ – نصف قطر التدويم لقلب المقطع ، المحاط بالقضبان الطرفية للتسليح المستعرض .

وفى الصيغة (IV-68) نجد أن :

R^{sp}_{s} – مقاومة الشد التصميمية لقضبان الشبكات ؛

μ^{f}_{ind} – نسبة تسليح الشبكات الفولاذية ، ويعبر عنها بما يلى :

$$\mu^{f}_{ind} = (f_{f1}a_1 + f_{f2}a_2)/a_1a_2s \qquad \text{(IV-70)}$$

حيث f_{f1} و a_1 – تمثلان على التوالى مساحة المقطع العرضى لقضيب واحد من الشبكة والخطوة (المسافة الفاصلة) بين القضبان الممتدة فى نفس الاتجاه الواحد ؛

f_{f2} و a_2 – تمثلان على التوالى مساحة المقطع العرضى لقضيب واحد من الشبكة والخطوة بين القضبان الممتدة فى الاتجاه الآخر ؛

s – الخطوة بين الشبكات الفولاذية المقاسة على امتداد القطعة الانشائية ؛

k – فعالية قضبان التسليح غير المباشر (القضبان الرابطة الجانبية) ، وتستخرج كما يلى :

$$k = (5 + \alpha)/(1 + 4{,}5\alpha) \qquad \text{(IV-71)}$$

حيث :

$$\alpha = \mu^{f}_{ind}R^{f}_{s}/R_{pr}$$

وفى الصيغة (IV-69) لدينا ما يلى :

R^{sp}_{s} – المقاومة التصميمية للحلزونات او الحلقات ؛

d_k – قطر قلب المقطع الخرسانى ؛

μ^{sp}_{ind} – نسبة التسليح غير المباشر الحلزونى او الحلقى ، وقيمتها تساوى ما يلى :

$$\mu^{sp}_{ind} = 4f_{sp}/d_ks \qquad \text{(IV-72)}$$

حيث : f_{sp} – مساحة المقطع العرضى للحلزون او الحلقة الفولاذية ؛

s – بين الحلزونات او الحلقات الرابطة .

ان القيمة الحديّة للمقدار ξ_R تحسب بواسطة المعادلة (III-7) التى تستخرج فيها قيمة ξ_0 بأخذ تأثير قضبان التسليح غير المباشر (القضبان الرابطة) فى الاعتبار باستخدام الصيغة التجريبية التالية :

$$\xi_0 = 0{,}85 - 0{,}008R_{pr} + b$$

وهنا يجب ان لا تزيد قيمة ξ_0 على 0,9 ؛ وتقاس R_{pr} بالميجاباسكال .وقيمة b تساوى $10\mu^{f}_{ind}$ او $10\mu^{sp}_{ind}$ ولكن لا تزيد على 0,15 باى حال .

ويكون التسليح غير المباشر مفيدا بموجب الحساب ، اذا كانت السعة الحملية للقطعة ، المحددة من الصيغ المذكورة اعلاه (عند وجود F_k و R^{*}_{pr}) اكبر من سعتها الحملية المحددة بالنسبة لمقطع القطعة برمته وقيمة المقاومة التصميمية R_{pr} بدون اخذ قضبان التسليح غير المباشر فى الاعتبار .

ولمنع ظهور الشقوق فى الطبقة الواقية للاعمدة فى فترة خدمتها ، تجرى مراجعة مقاومة الاعمدة ذات قضبان التسليح غير المباشر ، مراجعة اضافية تبعا للشرط التالى :

$$N \leqslant 1{,}8R_{pr}F_{tr}/(1 + e_0y/r^{2}_{tr}) \qquad \text{(IV-73)}$$

حيث F_{tr} و r_{tr} تمثلان مساحة المقطع العرضى ونصف قطر التدويم على التوالى ، للمقطع المحوّل العام ؛ e_0 – لا تمركزيّة القوة الطولية بالنسبة لمركز ثقل المقطع المحوّل ، المحددة باخذ اللاتمركزية الطارئة فى الاعتبار ، كما تم شرحه فى البند الاول من هذا الفصل ؛ y – المسافة من مركز ثقل المقطع المحول الى السطح الاكثر انضغاطا .

ان مساحة المقطع المحوّل تحدد فى هذه الحالة بصورة عادية ، ولكن معامل التحويل (reduction factor) وهو (R_s/R_{pr}) يؤخذ هنا مساويا للمقدار $n = 0{,}65$ (حيث تؤخذ قيمة R_s هنا بحيث لا تزيد على ٣٥٠ ميجاباسكال) .

ان القضبان والاسلاك الطرفية للشبكات الملحومة والحلزونات والحلقات ، يجب ان تشمل كافة قضبان التسليح الطولية الفعالة للقطع الانشائية .

ومن المفيد استخدام الاعمدة ذات قضبان التسليح الحلزونية والحلقية ، فى الحالات التى يراد فيها الحصول على قطعة انشائية ذات اصغر مقطع عرضى ممكن ، عند تعرضها لاحمال كبيرة القيمة . ويقل تأثير التسليح غير المباشر ، بصورة حادة فى الاعمدة النحيفة (المرنة) نتيجة للتحدب الجانبى . ولهذا السبب فانها غالبا ما تستخدم عمليا فى القطع الانشائية ذات النسبة التالية $l_0/D \leqslant 10$. وقد بينت تجارب استخدام التسليح غير المباشر ، ان

$$F_{sp} = \pi 2 r_{sp} f_{sp}/s$$

يجب ان لا تقل عن ٢٥ ٪ من مساحة المقطع العرضى لقضبان التسليح الطولية ، وبخلاف ذلك يكون التسليح الحلزونى عديم الفائدة . وفى الاتحاد السوفييتى تصنع حلزونات (حلقات) التسليح من الفولاذ ذى الاصناف A-I ، A-II و A-III ، بقطر يساوى ٦ – ١٤ مم ، او من الاسلاك الفولاذية من الصنف B-I ، اذ تؤخذ المسافة الفاصلة بينها (الخطوة) بحيث لا تقل عن ٤٠ مم ولا تزيد على خمس قطر المقطع العرضى للقطعة الانشائية ، ولكن لا تزيد على ١٠٠ مم باى حال . ولا ينصح باستخدام الحلزونات والحلقات الفولاذية التى يقل قطرها الظاهرى عن ٢٠٠ مم .

واذا كانت القوة تنتقل عبر الوصلة من قطعة خرسانية مسلحة الى قطعة اخرى ، ليس على مساحة السطح الطرفى برمتها ، بل على جزء منها فقط ، يطلق عليه اسم الحشية التمركزية (centering pad) كما فى الشكل (٤ – ١٣ ، جـ) عندئذ تتم مراجعة مقاومة القطعة تحت الحشية التمركزية ، بواسطة الصيغة التالية :

$$N \leqslant R^*_{pr} F_{cr} \qquad \text{(IV-74)}$$

حيث F_{cr} – مساحة التهصر R^*_{pr} – المقاومة المحولة للخرسانة وتستخرج كما يلى :

$$R^*_{pr} = R_{pr}\gamma_c + k\mu^f_{ind} R^f_s \gamma_{ind} \qquad \text{(IV-75)}$$

حيث γ_c – المعامل الذى يأخذ فى الاعتبار زيادة السعة الحملية للخرسانة ، الناجمة عن التهصّر الموضعى ، والذى تستخرج قيمته من الصيغة الوضعية التالية :

$$\gamma_c = \sqrt[3]{F/F_{cr}} \qquad \text{(IV-76)}$$

ولكن يجب ان لا تزيد على ٣٫٥ ؛ F – المساحة الكلية للمقطع العرضى للقطعة ؛ γ_{ind} – نفس العامل للقطع ذات التسليح غير المباشر ، ويساوى ما يلى :

$$\gamma_{ind} = 4{,}5 - 3{,}5F_{cr}/F_k \qquad \text{(IV-77)}$$

وقد شرحنا سابقا بقية العوامل وهى μ^f_{ind} ، k ، R^f_s . اما بالنسبة للمساحات F ، F_k ، F_{cr} ، فهى موضحة فى الشكل (٤ – ١٤ ، جـ) .

ان شدة التسليح الشبكى لوحدة الطول فى كلا الاتجاهين ، يجب ان لا تختلف عن بعضها البعض باكثر من ١٫٥ مرة . وفى الشبكات الملحومة يستخدم نفس فولاذ التسليح الذى يستخدم فى الحلزونات . وتؤخذ ابعاد مربعات (عيون) الشبكة بحيث لا تقل عن ٤٥ مم ولا تزيد على ربع طول اصغر ضلع للمقطع العرضى للقطعة ، ولكن لا تزيد باى حال على

١٠٠ مم ؛ والمسافة الفاصلة تساوى $s \geqslant 60mm$ ولكن لا تزيد على ثلث عرض المقطع ، ويجب ان لا تزيد على ١٥٠ مم باى حال .

وفى حالة تعزيز وتقوية الاقسام الطرفية للقطع المنضغطة (لاحظ الشكل ٤ – ١٣ ، جـ) توضع ما لا يقل عن اربع شبكات ملحومة . ان منطقة التعزيز على طول القطعة الانشائية ، يجب ان لا تقل عن 10d عندما تكون قضبان التسليح الطولية محززة الجانبية وعن 20d عندما تكون القضبان المذكورة ملساء الجانبية (كبلات مجدولة) .

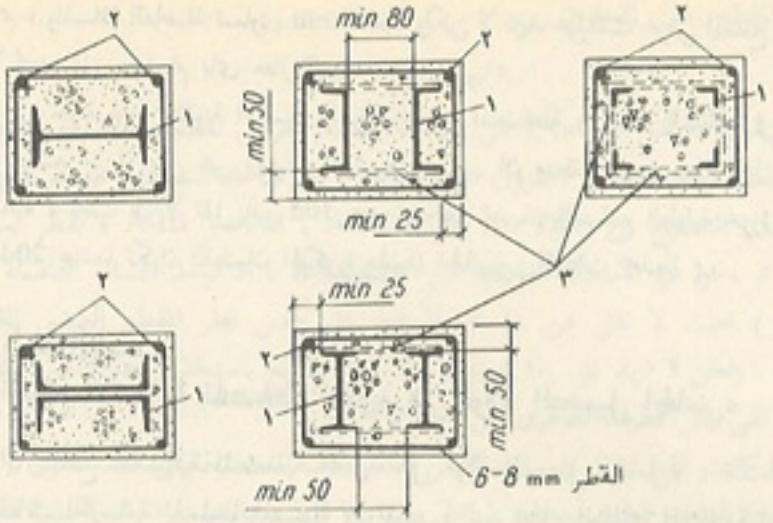
البند التاسع
القطع الانشائية المنضغطة المحتوية على فولاذ التحميل الجاسىء

ان القطع الانشائية المنضغطة المحتوية على فولاذ التحميل الجاسىء ، تستخدم فى الانشاءات الخرسانية المسلحة المصبوبة فى الموقع ، التى يحتاج انشاؤها الى اقامة اسقالات معقدة (falsework) . وتصادفنا هذه الحالة على وجه الخصوص عند انشاء الهياكل المجسمة للمبانى المدنية ذات الطوابق الكثيرة جدا . واثناء عملية الانشاء يستخدم فولاذ التحميل بدلا من الاسقالات لاسناد الحمل الناجم عن قوالب الصب المؤقتة ، الخرسانة الطرية وكافة المعدات والادوات المستخدمة فى التركيب . وبعد أن تكتسب الخرسانة المقاومة الكافية لها ، تشترك القضبان الحاملة فى مقاومة الاحمال سوية مع بقية اجزاء المقطع الخرسانى المسلح للقطعة الانشائية .

ومن المفيد جدا استخدام فولاذ التحميل فى الانشاءات التى لا يزيد وزنها الذاتى على ٢٥ ٪ من الحمل الكلى ، ونجد فى هذه الحالة ان كمية الفولاذ المستهلكة بافراط ، اما لا وجود لها بتاتا او تكون ضئيلة ، ويمكن التوصل الى ذلك باستعمال الاسقالات .

ويتألف فولاذ التحميل الجاسىء من الفولاذ المدلفن ذى المقاطع على شكل I ، وعلى شكل ـــ ، ومقاطع على شكل زوايا ضخمة ، اى « فولاذ تسليح جاسىء » او على شكل قضبان مدورة ضخمة وزوايا صغيرة الابعاد ، اى بعبارة اخرى – هياكل مجسمة ملحومة .

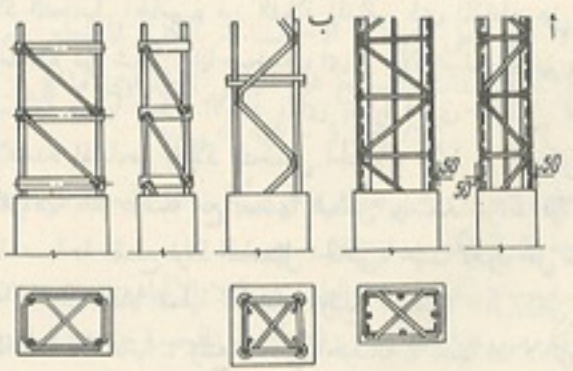
ان انواع الاعمدة المسلحة بفولاذ التحميل الجاسىء مبينة فى الشكل (٤ – ١٥) . وبعض المقاطع الفولاذية هنا موصلة مع بعضها البعض بواسطة شرائط فولاذية (straps) أو شبيكات . وتؤخذ مساحة مقطع فولاذ التحميل الجاسىء بحيث تكون أقل ما يمكن ، استنادا الى شرط مقاومة الاحمال اثناء عملية الانشاء – وتبلغ عادة ٣ – ٨ ٪ من مساحة خرسانة المقطع العرضى للقطعة الانشائية . ولمنع تشظى الخرسانة ، يجب ان لا تزيد نسبة التسليح بالفولاذ على ١٥ ٪ . وعند زيادة نسبة التسليح على هذا الحد ، تعتبر الخرسانة فى هذه الحالة قادرة فقط عى القيام بمهمة الطبقة الغطائية الواقية ، التى لا تحمل اية احمال . ويجب ان لا



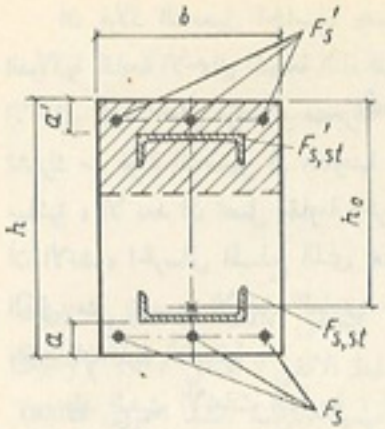
شكل ٤ – ١٥ . اعمدة مسلحة بفولاذ جامىء حامل :
١ – مقطع فولاذى جامىء ، ٢ – قضبان فولاذية ، ٣ – شرائط توصيل معدنية (فولاذية)

تقل ماركة الخرسانة هنا عن ٢٠٠ . ومن الضرورى تزويد القطعة الانشائية بقضبان مستعرضة .

واذا دعت الضرورة الى وضع قضبان تسليح مرنة ، عندئذ يجرى ترتيبها على مدار المقطع العرضى وتصمم حسب القواعد المرعية . ويمكن ان تتألف من قضبان تسليح منفردة او هياكل مستوية ملحومة . واذا كان فولاذ التسليح المصمم ، يتألف فقط من قضبان جاسئة ، عندئذ توضع على مدار المقطع العرضى ، شبيكات ملحومة خفيفة ، مع قضبان تركيبية



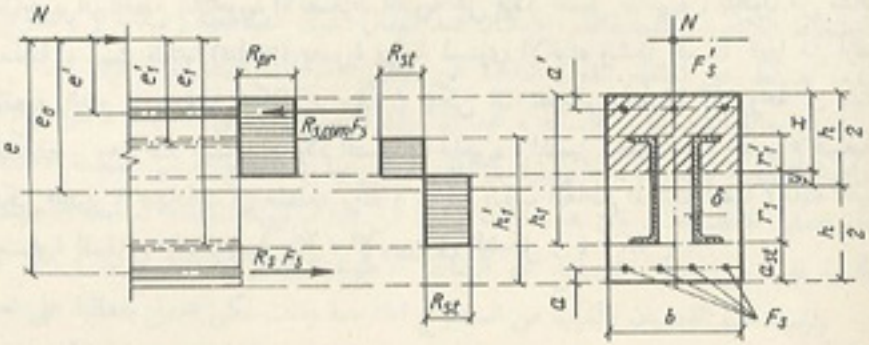
شكل ٤ – ١٦ . اعمدة مسلحة بهياكل فولاذية ملحومة حاملة :
أ – قطع طولية للهياكل مصنوعة من مقاطع فولاذية مدلفنة ومدورة ؛ ب – قطع طولية للهياكل مصنوعة من المقاطع الفولاذية المدورة



شكل ٤ – ١٧ . الرسم التخطيطى لتصميم القطع الانشائية اللاحورية الانضغاط المسلحة بفولاذ جامىء ، فروع الفولاذ الجامىء موضوعة فى منطقتى الشد والانضغاط

توضع فى الزوايا . ان الطبقة الخرسانية الواقية للمقاطع الفولاذية المدلفنة ، والمسافات الفاصلة بينها ، تحدد استنادا الى معطيات الشكل (٤ – ١٥) . وعند مثل هذه الابعاد تصبح عملية صب الخرسانة جيدة النوعية .

ان فولاذ التحميل الجامىء الذى على هيئة هياكل مجسمة ملحومة ، يصمم عادة من قضبان مدورة ومقاطع فولاذية مدلفنة تربط الهياكل الفولاذية المستوية الملحومة مع بعضها البعض ، فتصبح على هيئة هياكل تسليح مجسمة قوية (شكل ٤ – ١٦) . وهنا يتم تثبيت قضبان التسليح الطولية الاساسية بواسطة القضبان المستعرضة والمائلة (شكل ٤ – ١٦ ، ب ، جـ) الموزعة على مسافات لا تقل عن 20d عن بعضها البعض (يجب ان تكون كافة الوصلات الملحومة مزدوجة اللحام) بينما توزع القضبان المدورة الاضافية على مسافات لا تقل عن 15d عن بعضها البعض ، وتلحم مع شبكة هيكل التحميل الفولاذى (شكل ٤ – ١٦ ، أ) او تثبت بواسطة اطواق فولاذية اضافية .



شكل ٤ – ١٨ . الرسم التخطيطى لتصميم القطع الانشائية اللاحورية الانضغاط المسلحة بفولاذ جامىء ، محور التعادل يقطع وترات المقاطع الفولاذية

ان فولاذ التحميل الجاسىء يصمم طبقا للمواصفات القياسية لتصميم الانشاءات الفولاذية لمقاومة الاحمال المتوقعة اثناء فترة اقامة الانشاء الى ان تتصلب الخرسانة (وتعتبر هذه الاحمال بمثابة احمال مؤقتة او متحركة خاصة) . اما بالنسبة للاحمال اللاحقة فان الخرسانة تشترك مع فولاذ التحميل فى مقاومتها معا . ولا يمكن نقل احمال الخدمة كلها الى الانشاء مباشرة ، الا بعد ان تصل مقاومة الخرسانة الى الحد المصمم ، اى الى المقاومة التصميمية . ان الانشاء الخرسانى المسلح الذى يحتوى على فولاذ التحميل يصمم تبعا للحمل المصمم الكلى مثل تصميم الانشاء العادى مع الاخذ فى الاعتبار مقطع كافة قضبان التحميل والقضبان المرنة الاضافية .

وقد اثبتت الابحاث التجريبية ، انه فى الانشاءات المصممة بصورة صحيحة ، يمكن لفولاذ التحميل الجاسىء ان يقاوم الاحمال مع الخرسانة فى نفس الوقت ، الى ان ينهار ، ويصل الاجهاد فيه الى نقطة الخضوع ؛ كما ان الاجهادات الاولية الناشئة فى فولاذ التحميل الجاسىء اثناء اقامة الانشاء ، لا تؤدى الى انخفاض مقاومة القطعة الخرسانية المسلحة .

وعند حساب وتصميم القطع اللامحورية الانضغاط ذات فولاذ التحميل الجاسىء ، تؤخذ مساحة مقطع الخرسانة فى منطقة الانضغاط ، بدون حساب مساحة مقطع الفولاذ ، وهذا يعتبر مساويا لعملية تخفيض المقاومة التصميمية للفولاذ الجاسىء فى هذه المنطقة الى حد يساوى $R_{s.st} - R_{pr}$.

ان القطع اللامحورية الانضغاط المحتوية على فولاذ تحميل جاسىء موضوعة عند وجهين متقابلين من المقطع – فى منطقتى الانضغاط والشد (او فى المناطق المنضغطة بصورة اقل) – شكل (٤ – ١٧) ، تصمم على الاغلب بنفس طريقة تصميم القطع الانشائية المسلحة بفولاذ مرن . وفى هذه الحالة ، يؤخذ الارتفاع الفعال للمقطع h_0 ، مساويا للمسافة الواصلة بين اكثر الاوجه انضغاطا الى مركز الثقل العام للفولاذ الجاسىء والمرن عند الوجه المقابل . ان القطع اللامحورية الانضغاط المحتوية على فولاذ تحميل جاسىء ، يتكون من مقاطع مدلفنة ، رتبت وتراتها (webs) بصورة موازية لمستوى الانحناء وتشغل قسما كبيرا من ارتفاع المقطع العام للقطعة (شكل ٤ – ١٨) يمكن ان تصمم بالطريقة المشروحة فى البنود السابقة . وهنا عند استخدام فولاذ التسليح الجاسىء ، المتميز بوجود نقطة خضوع طبيعية ، يمكن اعتبار الاجهادات فى مقطعه برمته (بما فيه وترات المقاطع المدلفنة أيضا) ثابتة القيمة ومساوية للمقاومة التصميمية R_{sy} ، كما مبين فى الشكل (٤ – ١٨) .

الفصل الخامس

القطع الانشائية المعرضة للشد

البند الاول
الخواص التصميمية

ان اوتار العقود (arch strings) ، والاوتار السفلى والاضلاع القطرية النازلة للجمالونات ، وجدران خزانات السوائل المستديرة المسقط الافقى (شكل ٥ – ١) وغيرها من بقية القطع الانشائية الاخرى المماثلة ، تكون جميعها معرضة للشد المحورى (axial tension) .

وتستخدم القطع المعرضة للشد المحورى عادة ، عندما تكون سابقة الاجهاد ، وهذا يعتبر بمثابة طريقة جوهرية لزيادة درجة مقاومة التشقق فى الخرسانة ، زيادة ملموسة .

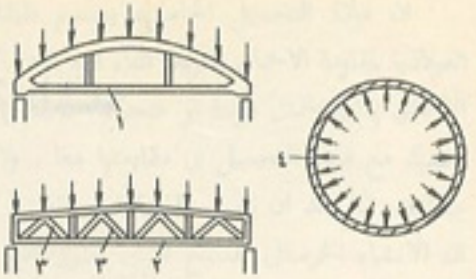
والمبادىء الاساسية لتصميم القطع الخرسانية المسلحة ، المشروحة بالتفصيل فى الفصل الثانى ، تنطبق أيضا على القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى . وان قضبان التسليح الفعالة (الحاملة) المستخدمة بدون اجهاد مسبق ، تلحم على امتداد الطول عادة بواسطة اللحام الكهربائى ؛ ويسمح باجراء الوصلات التراكبية (lap splicing) بدون لحام ، فى كل من البلاطات والجدران فقط .

ان فولاذ التسليح السابق الاجهاد المعرض للشد (مثل القضبان ، الكبلات المجدولة والكبلات السلكية) الموجودة فى القطع الانشائية الخطية (مثل اوتار العقود والاوتار السفلى للجمالونات وغيرها) لا يجب ان تحتوى على وصلات . وترتب قضبان التسليح السابقة الشد فى المقطع العرضى للقطعة الانشائية ؛ ترتيبا متماثلا (شكل ٥ – ٢) وذلك لتجنب الانضغاط اللامحورى للقطعة قدر الامكان عند انتقال القوى الضاغطة (برمتها او بالتدريج ، عندما تضغط على المقطع القوى الناتجة عن بعض مجموعات القضبان المنفردة) .

وفى حالة الشد على الخرسانة ، نجد ان فولاذ التسليح السابق الاجهاد ، الموضوع فى اخاديد مخصصة له مسبقا ، لا يشارك فى المقاومة التى يبديها المقطع العرضى للقطعة الانشائية اثناء عملية الانضغاط . وفى هذه الحالة يكون من الملائم تزويد القطعة السابقة الاجهاد ، بكمية قليلة من قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد (شكل ٥ – ٢ ، ب) .

وترتب هذه القضبان بالقرب من السطوح الخارجية وذلك لكى تعمل بفعالية على تعزيز وتقوية القطعة الانشائية ضد المؤثرات او الاحمال اللامركزية المتوقعة اثناء عملية الانضغاط .

ان جدران الخزانات (مخازن الوقود) المستطيلة المقطع الافقى ، المعرضة للضغط الداخلى للسوائل الموجودة فى داخلها (شكل ٥ – ٣ ، أ) والاوتار السفلى للجمالونات الخالية



شكل ٥ – ١ . القطع الانشائية المحورية الشد :
١ – وتر العقد (عتبة الشد فى العقد) ، ٢ – الوتر السفلى للجمالون ، ٣ – الاضلاع القطرية المشدودة للجمالون ، ٤ – جدار الخزان ذى المسقط الافقى الدائرى

من الاضلاع القطرية (شكل ٥ – ٣ ، ب) وغيرها من القطع الانشائية المماثلة ، تكون واقعة جميعها فى حالة شد لامحورى . وهذه القطع الانشائية تكون مشدودة فى نفس الوقت بتأثير القوة الطولية N وعزم الانحناء M معا ، وهذا يعادل تأثير الشد اللامحورى الناجم عن القوة الطولية N التى لاتمركزيتها هى $e_0 = M/N$ المأخوذة حول محور القطعة الانشائية .

وهناك حالتان من حالات الشد اللامحورى ، هما : الحالة الاولى (شكل ٥ – ٤ ،

أ) – عندما تكون قوة الشد الطولية الخارجية N مؤثرة بين محصلتى القوى فى مقطعى الفولاذ A و A′ (الواقعتين اقرب وابعد على التوالى من القوة الطولية N) .

الحالة الثانية (شكل ٥ – ٤ ، ب) – عندما تكون القوة N واقعة او مؤثرة خارج حدود المسافة الفاصلة بين محصلتى القوى فى مقطعى الفولاذ A و A′ .

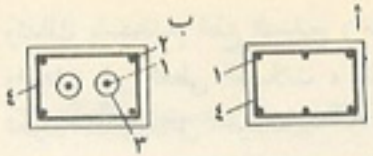
ان القطع الانشائية المعرضة للشد اللامحورى ، التابعة للحالة الثانية ، تسلح بواسطة القضبان الطولية والمستعرضة مثل طريقة تسليح القطع المعرضة للانحناء ؛ والتابعة للحالة الاولى ، تسلح مثل تسليح القطع المعرضة للشد المحورى .

ان القطع المعرضة للشد اللامحورى ، كما هى الحالة فى القطع المعرضة للشد المحورى ايضا ، تعرض عادة للاجهاد المسبق ، وهو الامر الذى يؤدى الى زيادة مقاومتها للتشقق زيادة كبيرة .

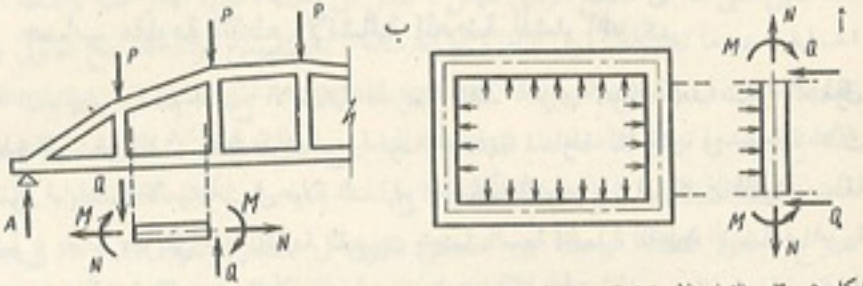
ان نسبة التسليح بالقضبان الطولية فى القطع المعرضة للشد اللامحورى ، يجب ان تساوى $\mu \geqslant 0{,}05\%$ ؛ وهذا يعود الى مقطع الفولاذ A للقطع الانشائية التابعة للحالة الثانية ، والى قضبان التسليح فى المقطعين $A + A'$ للقطع الانشائية التابعة للحالة الاولى .

والتعليمات والقواعد الخاصة بتثبيت قضبان التسليح المشدودة فى الخرسانة المعرضة للشد او الانضغاط ، وبوصل الشبكات الملحومة والمربوطة ، مشروحة فى البندين الثانى والثالث من الفصل الاول .

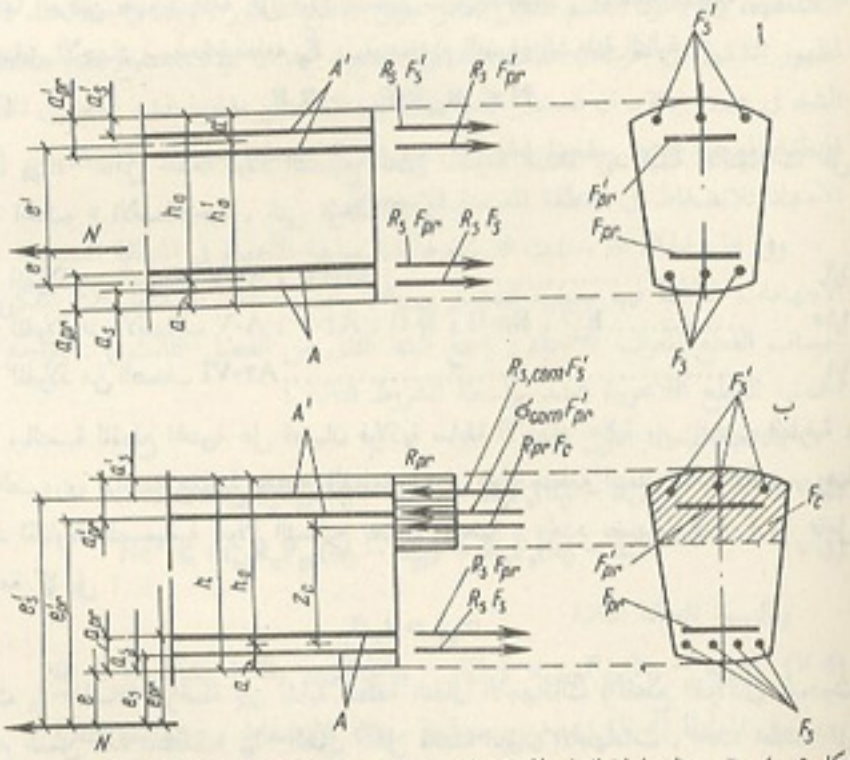
ان وصلات القطع الانشائية السابقة الصنع المعرضة للشد ، التى تنتقل عبرها قوى الشد ، تصمم بلحام الاقسام الزائدة من اطوال القضبان الفولاذية او الحشيات الفولاذية ،



شكل ٥ – ٢ . تسليح القطع الانشائية الخطية
السابقة الاجهاد ، المحورية الشد :
أ – عند الشد على المساند ؛ ب – عند الشد على الخرسانة ؛ ١ – فولاذ سابق الاجهاد (قضبان ، جدائل سلكية ، كبلات فولاذية ،
٢ – فولاذ غير سابق الاجهاد ، ٣ – قناة للفولاذ السابق الاجهاد ، ٤ – قضبان تسليح مستعرضة



شكل ٥ – ٣ . القطع الانشائية اللامحورية الشد :
أ – جدار الخزان ؛ ب – الوتر السفلى للجمالون الخالى من الاضلاع القطرية المائلة



شكل ٥ – ٤ . الرسوم التخطيطية للقطع الانشائية اللامحورية الشد . وقوة الشد الطولية فيها N تقع ؟
أ – بين محصلتى القوى فى مقطعى فولاذ التسليح A و A′ ؛ ب – خارج المسافة الواصلة بين محصلتى القوى فى مقطعى الفولاذ A و A′

وكذلك باستخدام قطع التسليح (مثل الكبلات المجدولة ، الكبلات السلكية ، القضبان وغيرها) التى تغطى الوصلات ، والموضوعة فى داخل قنوات او اخاديد خاصة ، والتى تكون مشدودة على الخرسانة .

البند الثانى
حساب مقاومة القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى

ان انهيار وتحطم القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى يحدث بعد ظهور الشقوق النافذة فى الخرسانة ، وعندها تصبح الخرسانة عديمة المقاومة للاحمال فى مواضع تلك الشقوق ، وتصل الاجهادات فى فولاذ التسليح الى نقطة الخضوع (اذا كانت للفولاذ منطقة خضوع معينة) او الى حد المقاومة القصوى وتعتمد السعة الحملية للقطعة الانشائية المحورية الشد على المقاومة القصوى لفولاذ التسليح بدون مشاركة الخرسانة .

وبناء على ذلك ، يتم حساب مقاومة القطع المعرضة للشد المحورى ، التى يحتوى مقطعها العرضى بصورة عامة على فولاذ تسليح سابق الاجهاد ، مساحة مقطعه F_{pr} وفولاذ غير سابق الاجهاد مساحة مقطعه F_s ، باستخدام الصيغة الشرطية التالية :

$$N \leqslant m_{s4}R_sF_{pr} + R_sF_s \qquad (V\text{-}1)$$

حيث m_{s4} – عامل خدمة فولاذ التسليح العالى المقاومة عندما تزيد قيمة الاجهادات على نقطة الخضوع الاصطلاحية ، التى تؤخذ كما يلى :

للفولاذ من الصنفين A-IV و AT-IV ١ر٢
للفولاذ من الاصناف A-V ، AT-V ، B-II ، Bp-II ، K-7..... ١ر١٥
للفولاذ من الصنف AT-VI..... ١ر١

وبالنسبة للقطع المحتوية على قضبان فولاذية سابقة الاجهاد خالية من المثبتات الطرفية ، من الضرورى مراجعة مقاومة مقاطع القطعة ضمن طول منطقة انتقال الاجهادات . وهنا تؤخذ المقاومة التصميمية لفولاذ التسليح بصورة مخفضة ، وتحدد بضرب R_s فى قيمة عامل الخدمة كما يلى :

$$m_{s3} = l_x/l_{tr}$$

حيث l_x – المسافة الواصلة بين بداية منطقة انتقال الاجهادات والمقطع الفولاذى المبحوث الواقع ضمن هذه المنطقة ؛ l_{tr} – الطول الكلى لمنطقة انتقال الاجهادات ، المحدد استنادا الى معطيات البند الثالث من الفصل الاول .

البند الثالث
حساب مقاومة القطع الانشائية
المتماثلة المقطع العرضى والمعرضة للشد اللامحورى فى مستوى التماثل

فى الحالة الاولى (لاحظ الشكل ٥ – ٤ ، أ) نجد ان القطع الانشائية اللامحورية التحميل التى لها اى مقطع عرضى متماثل ، تصل الى الحالة الحدية المعبر عنها بواسطة السعة الحملية ، عندما تظهر الشقوق النافذة فى الخرسانة ، بحيث يقوم فولاذ التسليح الطولى وحده بمقاومة الشد فى المقاطع العمودية (normal sections) الحاوية للشقوق . وتنهار القطعة الانشائية عندما تصل الاجهادات فى قضبان التسليح الطولية A و A′ الى قيمتها القصوى .

وفى الحالة الثانية (لاحظ الشكل ٥ – ٤ ، ب ، حيث تكون القوة الطولية N واقعة خارج حدود المسافة الواصلة بين محصلتى القوى فى مقطعى الفولاذ A و A′) نجد ان الحالة الحدية بالنسبة للسعة الحملية للقطع اللامحورية الشد ، تشابه الحالة الحدية للقطع المعرضة للانحناء . ويكون ذلك القسم من المقطع الواقع عند السطح البعيد عن القوة N ، منضغطا ، بينما يكون القسم المقابل له من نفس المقطع المذكور ، واقعا فى حالة شد . ونتيجة لظهور الشقوق فى خرسانة منطقة الشد فى المقطع ، نجد ان فولاذ التسليح يقوم بتحمل قوى الشد فى هذه الحالة . ان السعة الحملية للقطعة تعتمد على مقاومة الشد القصوى للفولاذ فى المنطقة المعرضة للشد ومقاومة الخرسانة القصوى للانضغاط ومقاومة القضبان غير السابقة الاجهاد للانضغاط فى المنطقة المعرضة للانضغاط .

وفى هذه الحالة اذا وجدت قضبان فولاذية سابقة الاجهاد فى المنطقة المنضغطة ، تعتبر الاجهادات الناشئة فيها مساوية للمقدار σ_{com} ، وتحدد استنادا الى التعليمات المذكورة عند حساب القطع المعرضة للانحناء (راجع البند الثانى من الفصل الثالث) . وتراجع السعة الحملية للقطع اللامحورية الشد بواسطة الشروط التالية :

بالنسبة للحالة الاولى

$$Ne \leqslant m_{s4}R_sF'_{pr}(h_0 - a'_{pr}) + R_sF'_s(h_0 - a'_s) \qquad (V\text{-}2)$$

$$Ne' \leqslant m_{s4}R_sF_{pr}(h_0 - a_{pr}) + R_sF_s(h'_0 - a_s) \qquad (V\text{-}3)$$

وبالنسبة للحالة الثانية

$$Ne \leqslant R_{pr}F_cz_c + R_{s.\,com}F'_s(h_0 - a'_s) + \sigma_{com}F'_{pr}(h_0 - a'_{pr}) \qquad (V\text{-}4)$$

وفى المعادلة (V-4) تستخرج مساحة منطقة الانضغاط من الصيغة التالية :

$$N = m_{s4}R_sF_{pr} + R_sF_s - R_{pr}F_c - \sigma_{com}F'_{pr} - R_{s.\,com}F'_s \qquad (V\text{-}5)$$

وعند حساب القطع الانشائية حسب الحالة الثانية ، يجب ان يتحقق الشرط التالى :

$$\xi = x/h_0 \leqslant \xi_R$$

واذا لم يتحقق هذا الشرط ، عندئذ تستخدم القيمة التالية $\xi = x/h_0 = \xi_R$ فى المعادلة (V-4) . وتستخرج قيمة ξ_R بالطريقة المستخدمة عند بحث القطع المعرضة للانحناء (راجع البند الثانى من الفصل الثالث) .

١ – القطع ذات المقطع العرضى المستطيل

الحالة الاولى – تتم مراجعة السعة الحملية للقطعة واختيار مقطع الفولاذ باستخدام الصيغتين (V-2) و (V-3) مباشرة .

الحالة الثانية – تكتب صيغة مراجعة السعة الحملية (V-4) على الشكل التالى :

$$Ne \leqslant R_{pr}bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{s.\,com}F'_s(h_0 - a'_s) + \sigma_{com}F'_{pr}(h_0 - a'_{pr}) \qquad (V\text{-}6)$$

ويمكن التعبير عن ارتفاع منطقة الانضغاط بواسطة المعادلة التالية المشتقة من الصيغة (V-5) :

$$x = (m_{s4}R_sF_{pr} + R_sF_s - \sigma_{com}F'_{pr} - R_{s.\,com}F'_s - N)/R_{pr}b \qquad (V\text{-}7)$$

ويجب ان نأخذ فى الاعتبار ان المعادلة (V-6) لا تتحقق الا عندما تكون :

$$x \leqslant \xi_R h_0$$

ولتحديد مساحتى الفولاذ F_s و F'_s ، تحول كل من المعادلتين (V-6) و (V-7) الى الشكلين التاليين :

$$F'_s = [Ne - A_RR_{pr}bh_0^2 - \sigma_{com}F'_{pr}(h_0 - a'_{pr})]/R_{s.\,com}(h_0 - a'_s) \qquad (V\text{-}8)$$

$$F_{pr} = (\xi_RR_{pr}bh_0 - R_sF_s + R_{s.\,com}F'_s + \sigma_{com}F'_{pr} + N)/m_{s4}R_s \qquad (V\text{-}9)$$

وهنا تؤخذ قيمتا المعاملين ξ_R و A_R من الجدول (٣ – ١) .

وفى هذه الحالة اذ بينت الحسابات ان F'_s سالبة القيمة او تقل قيمتها عن القيمة الصغرى المسموح بها (استنادا الى ما جاء فى البند الاول من هذا الفصل) ، عندئذ يتم تحديد مقطع الفولاذ F'_s ، بحيث تكون قيمته اقل ما يمكن .

وفى هذه الحالة ، وكذلك عندما تكون مساحة مقطع الفولاذ F'_s قد حددت مسبقا استنادا الى اعتبارات اخرى ، يجب اولا ان نحسب قيمة A_0 :

$$A_0 = [Ne - R_{s.\,com}F'_s(h_0 - a'_s) - \sigma_{com}F'_{pr}(h_0 - a'_{pr})]/F_{tr}bh_0^2 \qquad (V\text{-}10)$$

ثم نستخرج قيمة ξ المناظرة لها من الجدول (٣ – ١) ، ثم اخيرا نحدد قيمة F_{pr} كما يلى :

$$F_{pr} = (\xi R_{pr}bh_0 - R_sF_s + R_{s.\,com}F'_s + \sigma_{com}F'_{pr} + N)/m_{s4}R_s \qquad (V\text{-}11)$$

٢ – حساب مقاومة المقاطع المائلة لقوة القص

ان طريقة حساب مقاومة المقاطع المائلة لقوة القص فى القطع الانشائية المعرضة للشد اللامحورى ، هى نفس الطريقة المتبعة بالنسبة للقطع المعرضة للانحناء . وتراجع مقاومة المقاطع المائلة ، بواسطة الصيغ الحسابية المبينة فى البند السادس من الفصل الثالث . وفى هذه الحالة تحدد قيمة Q_c من المعادلة (III-60) بادخال معامل اضافى هو k_N . وهذا المعامل يأخذ فى الاعتبار الانخفاض فى مقاومة الخرسانة للقص فى منطقة الانضغاط ، نتيجة للشد الطولى للقطعة الانشائية . وتحسب قيمة هذا المعامل بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$k_N = 1 - 0{,}2N(0{,}01)/R_{ten}bh_0 \qquad (V\text{-}12)$$

وتقاس قيمة N هنا بالنيوتن ؛ وقيمة R_{ten} بوحدة الميجاباسكال ؛ كما تؤخذ قيمة k_N بحيث لا تقل عن 0,2 .

ويمكن عدم اجراء حساب مقاومة القص ، اذا تحقق الشرط الوارد فى المعادلة (III-62) ، الذى يضرب طرفها الايمن فى المعامل k_N ، المستخرج من الصيغة (V-12) .

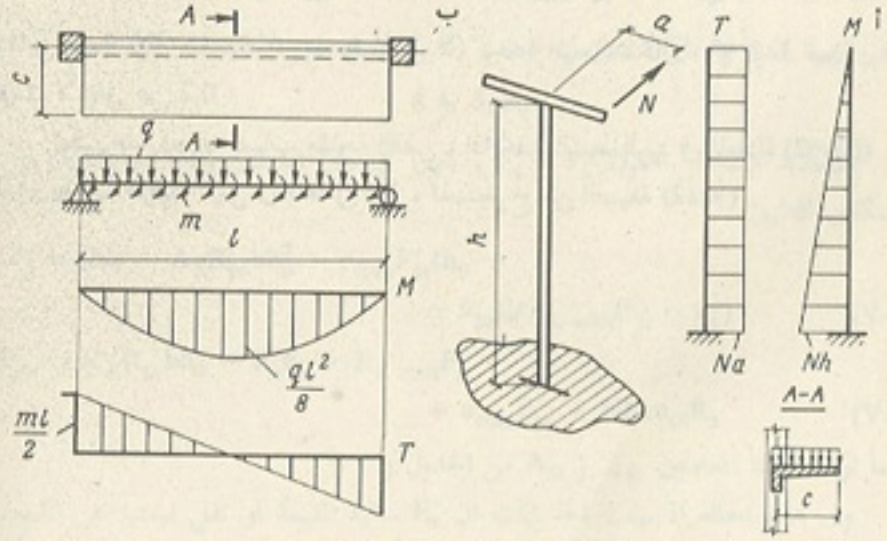
الفصل السادس

القطع الانشائية المعرضة للانحناء والالتواء

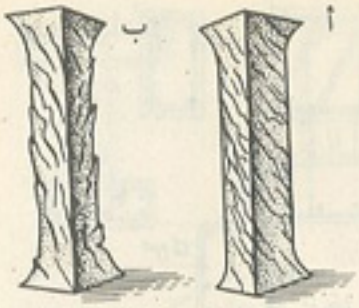
البند الاول
معلومات عامة

ان الالتواء الخالص (pure torsion) لا يحدث تقريبا فى القطع الخرسانية المسلحة ، ولكنه يكون مصاحبا للانحناء فى حالات كثيرة للغاية . ان مقاومة القطع الخرسانية المسلحة للالتواء ، تكون أقل كثيرا من مقاومتها للانحناء . ولهذا السبب يجب ان تؤخذ عزوم الالتواء فى الاعتبار فى عدد من الانشاءات ، بغض النظر عن قيمتها الصغيرة نسبيا . ومن بين الانشاءات الخرسانية المسلحة ، المعرضة للانحناء والالتواء فى نفس الوقت ، هى : الصارية (mast) التى تقع تحت تأثير قوة القص الخارجية ، المؤثرة على مسافة معينة من محور القطعة (شكل ٦ – ١ ، أ) ؛ العتبة (beam) ذات الشفة المحملة من جهة واحدة (شكل ٦ – ١ ، ب) ، وغيرهما من الانشاءات الاخرى .

وعند تعرض القطعة الخرسانية المسلحة للالتواء ، تظهر فيها اجهادات انضغاط واجهادات شد رئيسية ، مؤثرة بزاوية ٤٥ درجة على المحور الطولى للقطعة . ويعتمد ظهور



شكل ٦ – ١ . القطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء والالتواء معا :
أ – صارية (سارية) معرضة لتأثير قوة افقية N مسلطة بذراع يساوى a حول المحور الطولى ؛ ب – عتبة تحتوى على بلاطة كابولية محملة من جانب واحد



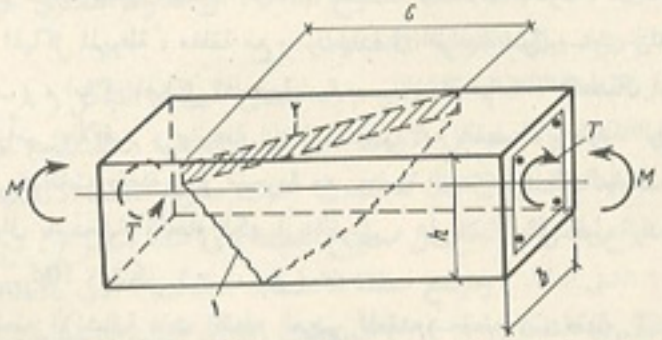
شكل ٦ – ٢ . عينة بعد تعرضها لاختبار الالتواء :
أ – بعد ظهور الشقوق (المرحلة المتوسطة للتحميل) ؛ ب – بعد الاختبار (المرحلة النهائية للتحميل)

الشقوق وميلها على شدة واتجاه اجهادات الشد الرئيسية . وفى القطعة الانشائية المعرضة للالتواء ، تكون الشقوق مرتبة على هيئة خطوط حلزونية (شكل ٦ – ٢ ، أ) . وتظهر هذه الخطوط فى المراحل المبكرة للتحميل . وبعد ظهور الشقوق ، يقوم فولاذ التسليح بمقاومة القوى المؤثرة فى اتجاه اجهادات الشد الرئيسية ؛ اما الخرسانة فتقوم بمقاومة القوى المؤثرة فى اتجاه اجهادات الانضغاط الرئيسية .

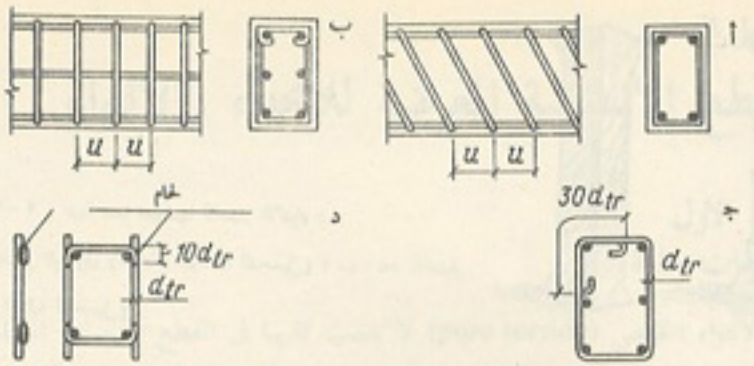
وتبدأ القطعة الانشائية بالانهيار عندما تظهر فى قضبان التسليح الفولاذية المعرضة للشد ، استطالات غير مرنة (لدنة) كبيرة القيمة (شكل ٦ – ٢ ، ب)

ان الانحناء المصحوب بالالتواء ، يؤدى الى انهيار القطعة الخرسانية المسلحة المربعة المقطع ، على امتداد احد الشقوق المجسمة (شكل ٦ – ٣) . والاطراف المتقابلة لهذا الشق المجسم ، المار فى الاوجه الثلاثة للقطعة ، تقترب من منطقة الانضغاط الواقعة عند الوجه الرابع .

ويجب تزويد القطع المعرضة للانحناء المصحوب بالالواء ، بفولاذ تسليح يقاوم القوى الناجمة عن تأثير عزم الانحناء ، قوة القص وعزم الالتواء . ويمكن تسليح اقسام القطعة المعرضة



شكل ٦ – ٣ . الرسم التخطيطى لانهيار (تحطم) قطعة انشائية مستطيلة المقطع ، معرضة لكل من الانحناء والالتواء معا:
١ – شق مجسم (ثلاثى الابعاد) ، ٢ – منطقة انضغاط المقطع المجسم



شكل ٦ – ٤ . تسليح القطعة الانشائية المستطيلة المقطع ، المعرضة لكل من الانحناء والالتواء معا :
أ – التسليح بقضبان طولية وقضبان حلزونية ؛ ب – التسليح بقضبان طولية واطراف مستعرضة مقفلة ؛ جـ – هيكل مربوط القضبان ؛ د – هيكل ملحوم القضبان

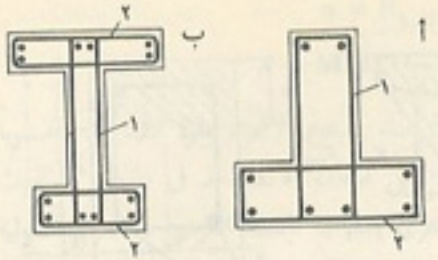
للالتواء الخالص ، بقضبان تسليح حلزونية (شكل ٦ – ٤ ، أ) او بقضبان تسليح مستعرضة وطولية (شكل ٦ – ٤ ، ب) .

وتكون القضبان الحلزونية اكثر فعالية ، لانها اكثر مطابقة لاتجاه اجهادات الشد ؛ ولكنها لا تكون مفيدة الا عند تأثير عزوم الانحناء المتشابهة العلامة . والتسليح بواسطة القضبان الطولية والمستعرضة يعتبر اكثر ملاءمة من التسليح بالقضبان الحلزونية من الناحية الانتاجية .

ان كافة القضبان الطولية ، الداخلة فى حساب الالتواء ، ذات المقاومة التصميمية التامة ، يجب ان تمتد الى ما وراء حافة المسند الى مسافة لا تقل عن l_{an} (راجع البند الثالث من الفصل الاول) وذلك لضمان التثبيت الجيد ، او يجب ان تزود بقطع تثبيت خاصة عند المساند .

وتتطلب طبيعة سلوك القطع الخرسانية المسلحة فى حالة الالتواء ، ان تكون الاطواق المتواجدة فى الهياكل المربوطة ، مغلقة مع وجود زيادة فى اطرافها بطول يساوى $30d_{tr}$ (شكل ٦ – ٤ ، جـ) ، اما فى الهياكل الملحومة ، فيجب ان تلحم كافة القضبان المستعرضة فى الاتجاهين الرأسى والافقى ، بواسطة اللحام النقطى مع القضبان الطولية الزاوية ، وذلك لاجل تكوين محيطات مقفلة ، او ملحومة مع بعضها البعض بواسطة النهايات او الاطراف المقفلة للاطواق باستخدام اللحام الكهربائى القوسى ، على ان لا يقل طول الوصلة او الدرزة الملحومة عن $10d_{tr}$ (شكل ٦ – ٤ ، د) .

وفى القطع الانشائية ذات المقطع العرضى المعقد (مقطع I ، مقطع T وغير ذلك) التى تقاوم الانحناء المصحوب بالالتواء ، يجب ان تحتوى كافة اجزاء المقطع العرضى (الضلع



شكل ٦ – ٥ . تسليح القطع الانشائية المعرضة لكل من الانحناء والالتواء:
أ – مقطع على شكل – T ؛ ب – مقطع على شكل – I ،
١ – الاطواق المقفلة فى الضلع (الوتر) ، ٢ – الاطواق المقفلة فى الشفة

القائم ، الشفهات) على قضبان تسليح مستعرضة مقفلة المحيط فى حدود كل جزء من اجزاء المقطع (شكل ٦ – ٥) .

البند الثانى

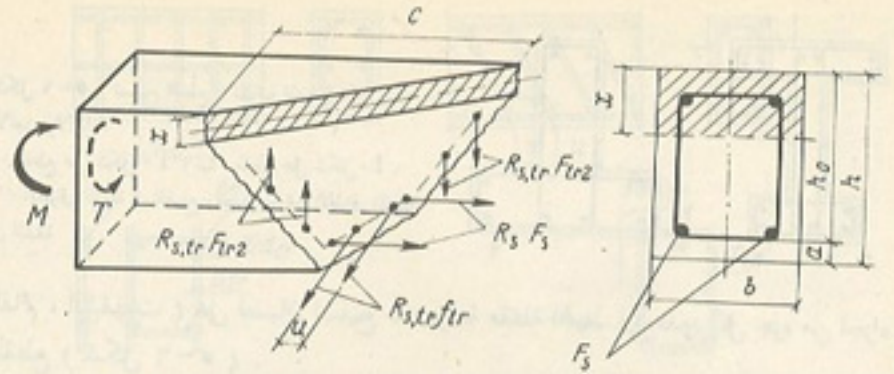
حساب وتصميم القطع المستطيلة المقطع

ان حالة الاجهاد التى تنشأ فى القطع الخرسانية المسلحة نتيجة لتأثير الانحناء المصحوب بالالتواء ، تعتبر احدى الظواهر المعقدة للغاية فى الخرسانة المسلحة . وهى لم تبحث بصورة كافية بعد . وليست لدى الخبراء اية فكرة موحدة حول ماهية هذه الظاهرة ، ولهذا السبب تحتوى المواصفات القياسية لعدد من بلدان العالم ، على عدة طرق مقترحة لحساب مقاومة مثل هذه القطع ، التى تختلف عن بعضها البعض اختلافا جوهريا . والآن لنبحث الطريقة المقترحة من قبل الخبراء السوفييت ، استنادا الى التجارب والابحاث التى اجريت لسنوات عديدة ، وهى الطريقة المعتمد عليها فى المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى .

يتم تقييم السعة الحملية للقطعة الانشائية بطريقة التوازن النهائى (الحدى) مع الاخذ فى الاعتبار ظهور الشقوق المجسمة عند افتراض ان المقاومة القصوى لفولاذ التسليح الذى يقطعه او يمر به الشق ، تحدد نهائيا بنقطة خضوع الفولاذ ، اما المقاومة القصوى لخرسانة منطقة الانضغاط ، فتحدد نهائيا بمقاومتها للانضغاط .

ان انهيار القطعة الانشائية طبقا للرسم التخطيطى المبين فى الشكل (٦ – ٦) يحدث فى حالة تأثير الانحناء والالتواء على الاغلب عند القيمة الصغرية (الضئيلة) لقوة القص .

وفى الحالة العامة لتأثير الاحمال ، يجب ان تحسب مقاومة القطعة الانشائية ، بافتراض وجود الفولاذ الواقع عند اى سطح من سطوح القطعة ، فى حالة خضوع ، مع تناظر اتجاه شق الانهيار (الشق النافذ) وموضع منطقة الانضغاط . ولذلك ، يجب بالاضافة الى الرسم التخطيطى المبين فى الشكل (٦ – ٦) ان تبحث كذلك الرسوم التخطيطية الموضحة فى الشكل (٦ – ٧) .



شكل ٦-٦ . الرسم التخطيطى لتصميم القطع الانشائية ذات المقاطع العرضية المستطيلة ، المعرضة لكل من الانحناء والالتواء معا (الرسم التخطيطى الاول الذى يبين منطقة الانضغاط)

ان الرسم التخطيطى الموضح فى الشكل (٦-٧ ، أ) يخص حالة تأثير عزم الالتواء وقوة القص فى حالة عزوم الانحناء المساوية للصفر او الضئيلة القيمة . ويمتاز هذا الرسم التخطيطى ، بظهور فتحات الشقوق المائلة على احد السطوح الجانبية للقطعة نتيجة لخضوع الاطواق الفولاذية .

وقد أثبت بالتجارب ، ان الالتواء يخفض بشكل ملموس من مقاومة القطعة لقوة القص بالمقارنة مع مقاومتها فى حالة الانحناء غير المصحوب بالالتواء .

والرسم التخطيطى المبين فى الشكل (٦-٧ ، ب) يخص الحالة التى يسود فيها تأثير عزم الالتواء ، بينما تكون قيمة عزم الانحناء قليلة بالمقارنة معه ، وعندما تكون كمية الفولاذ الموضوعة عند السطح المنضغط نتيجة للانحناء ، اقل كثيرا من كمية الفولاذ الموجودة عند السطح المقابل له .

ويقترح مراجعة مقاومة القطعة الانشائية طبقا للرسوم التخطيطية الثلاثة ، على شرط ان لا تزيد قيمة العزم الناجم عن تأثير الحمل الخارجى ، والمأخوذ حول المحور المار فى مستوى منطقة الانضغاط عبر مركزها ، على مجموع العزوم الناجمة عن القوى القصوى فى القضبان الطولية والمستعرضة ، المأخوذة حول نفس المحور المذكور بالذات .

والقيمة الاصغر من بين القيم الثلاث ، تعتبر بمثابة القيمة التصميمية . وتحتوى المواصفات القياسية على صيغة عامة لشرط المقاومة ، وعند اشتقاق هذه الصيغة ، حدثت عدة تجاوزات متعمدة لغرض تبسيط الحسابات :

$$T \leqslant R_sF_s(1 + \gamma\delta\beta^2)(h_0 - 0{,}5x)/(k\beta + x) \qquad \text{(VI-1)}$$

حيث

$$\beta = c/b; \qquad \delta = b/(2h + b) \qquad \text{(VI-2)}$$

$$\gamma = R_{s.\,tr}f_{tr}b/R_sF_su \qquad \text{(VI-3)}$$

$$x = M/T; \qquad k = 1 + Qh/2T \qquad \text{(VI-4)}$$

حيث M ، T ، Q – تمثل على التوالى عزم الانحناء ، عزم الالتواء وقوة القص ، المحسوبة للمقطع العمودى للقطعة ، المنطبق على مركز ثقل منطقة الانضغاط فى المقطع المبحوث المحتوى على شق مجسم ؛ F_s و F'_s تمثلان على التوالى مساحة المقطع العرضى للقضبان الطولية فى منطقى الشد والانضغاط ، فى الرسوم التخطيطية المناظرة ، المأخوذة استنادا الى معطيات الشكلين (٦-٦) و (٦-٧) ؛ b و h – بعدا ضلعى المقطع العرضى للقطعة الانشائية ، المتجهين طبقا للرسم التخطيطى المبحوث ؛ c – طول مسقط الخط المحيط بمنطقة الانضغاط ، النازل على المحور الطولى للقطعة ؛ x – ارتفاع منطقة الانضغاط ، المستخرج من المعادلة

$$R_sF_s - R_{s.\,com}F'_s = R_{pr}bx \qquad \text{(VI-5)}$$

وعند عدم وجود عزم الانحناء وقوة القص ، $x = 0$ ، $k = 1$ ، وعند معطيات الرسم التخطيطى المصمم :

طبقا للشكل (٦-٦ ، ب) :

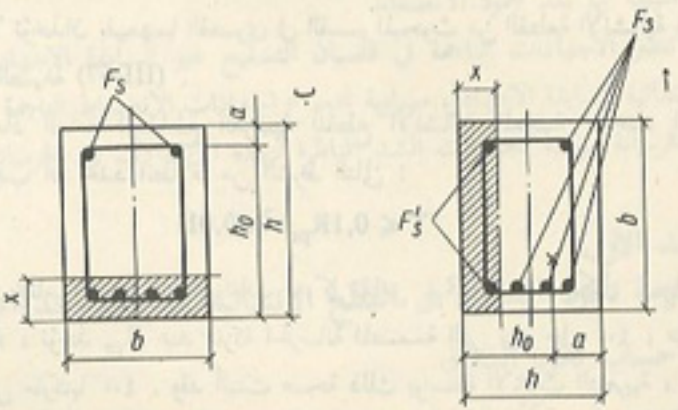
$$x = M/T; \qquad k = 1$$

طبقا للشكل (٦-٧ ، ب) :

$$x = 0; \qquad k = 1 + Qh/2T$$

طبقا للشكل (٦-٧ ، ب) :

$$x = -M/T; \qquad k = 1$$



شكل ٦-٧ . الرسم التخطيطى لتصميم القطع الانشائية المستطيلة المقطع ، المعرضة لكل من الانحناء والالتواء معا :
أ – الرسم التخطيطى الثانى الذى يبين منطقة الانضغاط ؛ ب – الرسم التخطيطى الثالث الذى يبين منطقة الانضغاط

وتتضح خصائص المقطع الحرج للقطعة ، الذى يناظر السعة الحملية الصغرى ، بواسطة البارامتر c . ويمكن تحديد قيمة c بواسطة المحاولات المتعددة التجريبية لتعويض عدد مختلف من تلك القيم فى الصيغ الحسابية . ولكن ثبت عمليا ، ان القيمة المذكورة لا يجب ان تؤخذ اكثر من $c = 2h + b$.

وقد أوضحت التجارب ان قيمة γ التى تبين طبيعة العلاقة بين نسبة القضبان المستعرضة والقضبان الطولية ، يجب ان تقع ضمن الحدود التالية :

$$\gamma_{min} < \gamma < \gamma_{max} \qquad \text{(VI-6)}$$

حيث

$$\left.\begin{aligned} \gamma_{min} &= 0{,}5/(1 + 2x\sqrt{\delta}) \\ \gamma_{max} &= 1{,}5/(1 + 2x\sqrt{\delta}) \end{aligned}\right\} \qquad \text{(VI-7)}$$

واذا كانت قيمة γ المستخرجة من المعادلة (VI-3) اقل من γ_{min} ، عندئذ يجب ضرب القوة $R_s F_s$ الواردة فى المعادلتين (VI-1) و (VI-5) فى معامل التخفيض γ/γ_{min}

ان هذا التحديد فى نسبة قضبان التسليح العرضية والطولية فى القطعة الانشائية ، قد أدخل لتأمين المتطلبات الاستثمارية المتعلقة بسلوك القطعة عند الاجهاد والانفعال وعرض فتحات الشقوق فى الخرسانة ، وذلك لان الحساب بواسطة الحالات الحدية من المجموعة الثانية ، للقطع المعرضة للانحناء مع الالتواء فى نفس الوقت ، لم يتضح لحد الآن ولا يوجد له ذكر فى المواصفات القياسية للبناء .

وعندما نجد من الرسم التخطيطى للشكل (٣ – ٧ ، أ) ان $T \leqslant 0{,}5Qh$ ، عندئذ يستعاض عن الحساب وفق الرسم التخطيطى الثانى ، بالحساب وفق الشرط التالى :

$$Q \leqslant Q_{tr.c} - 3T/b \qquad \text{(VI-8)}$$

حيث Q و T تؤخذان بقيمهما القصوى فى القسم المبحوث من القطعة الانشائية ؛ كما تحدد قيمة Q من الصيغة (III-67) .

ان الابعاد العامة للمقاطع العرضية للقطع الانشائية المعرضة للانحناء المصحوب بالالتواء ، يجب ان تحدد انطلاقا من الشرط التالى :

$$T \leqslant 0{,}1R_{pr}b^2h(0{,}01) \qquad \text{(VI-9)}$$

حيث $h>b$ وتقاس قيمة T بالنيوتنات ، كما تقاس R_{pr} بالميجاباسكال . وفى الصيغة المذكورة اعلاه ، تؤخذ R_{pr} عند ماركة الخرسانة المصممة التى تزيد على ٤٠٠ ، مثلما تؤخذ للخرسانة التى ماركتها ٤٠٠ . وقد أثبتت صحة ذلك بواسطة الابحاث التجريبية ، وادخل فى التصاميم لغرض منع انهيار الخرسانة نتيجة لانضغاطها عند السطح الجانبى للقطعة او عند السطح المنضغط نتيجة للانحناء .

الفصل السابع

مقاومة التشقق وانحرافات القطع الانشائية من الخرسانة المسلحة

لقد ذكرنا سابقا ان مقاومة التشقق هى مقاومة القطعة الانشائية لتكوّن الشقوق فى المرحلة I او مقاومة تفتح الشقوق فى المرحلة II . وتراجع مقاومة تشقق القطع الانشائية ، بواسطة الحساب فى المقاطع العرضية العمودية على المحور الطولى للقطعة . وعند وجود قوى القص ، تراجع المقاومة ايضا فى المقاطع المائلة على المحور الطولى المذكور . ان حساب مقاومة التشقق والانحرافات فى القطع الانشائية ، يعتبر من ضمن الحسابات الجارية طبقا للمجموعة الثانية من الحالات الحدية . ونظام حساب الاحمال فى هذه الحالة ، موضح فى الفصل الثانى من هذا الكتاب (الجدولان ٢ – ٢ و ٢ – ٣) .

وتعتمد هذه الحسابات على المبادىء التالية :

١ – تعتبر الاجهادات الناجمة فى خرسانة منطقة الشد قبل ظهور الشقوق ، مساوية للمقدار R_{tenII} .

٢ – تعتبر الاجهادات الناجمة فى قضبان التسليح السابقة الاجهاد مساوية لما يلى – $\sigma_0 + 2nR_{tenII}$ ، اى مساوية لمجموع الاجهاد المسبق (مع اخذ الفقدان فى الاعتبار وكذلك اخذ معامل دقة الشد فى الاعتبار أيضا) وزيادة الاجهادات المناظرة لزيادة انفعالات الخرسانة المحيطة بها بعد خمود الانضغاط .

٣ – تعتبر الاجهادات الناجمة فى قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد الموجودة فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد ، مساوية لمجموع اجهادات الانضغاط الناجمة عن انكماش وزحفان الخرسانة وزيادة اجهادات الشد المناظرة لزيادة الانفعالات فى الخرسانة .

البند الاول
مقاومة تكون الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى

١ – حساب تكوّن الشقوق

يتلخص حساب تكوّن الشقوق ، فى مراجعة صحة الشرط الذى ينصّ على ان الشقوق تتكون فى المقاطع العمودية على المحور الطولى للقطعة ، اذا كانت قيمة القوة الطولية لا تزيد

على قيمة القوة الطولية الداخلية فى المقطع ، قبل تكوّن الشقوق ، وهى N_{cr} ، اى :

$$N \leqslant N_{cr} \qquad \text{(VII-1)}$$

٢ – تحديد القوة N_{cr}

تحدد القوة الطولية N_{cr} بواسطة الاجهادات الناجمة فى المواد الانشائية قبل تكوّن الشقوق :

$$N_{cr} = R_{tenII}(F + 2nF_s) + N_0 \qquad \text{(VII-2)}$$

حيث F – مساحة مقطع القطعة ؛ F_s – المساحة الكلية للمقطع العرضى للفولاذ السابق الاجهاد والفولاذ غير السابق الاجهاد ؛ N_0 – قوة الاجهاد المسبق ، التى تستخرج من الصيغة (II-26) .

وبالنسبة للقطعة الانشائية الخالية من الاجهاد المسبق يجب ان تؤخذ $N_0 = -\sigma_0 F_s$ عند تحديد القوة N_{cr} .

ان اجهادات الانضغاط الناجمة فى قضبان التسليح غير السابقة الاجهاد نتيجة لانكماش الخرسانة σ_0 ، تؤدى الى تقليل مقاومة القطعة لتكون الشقوق .

البند الثانى
مقاومة تكون الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للانحناء والانضغاط اللامحورى والشد اللامحورى

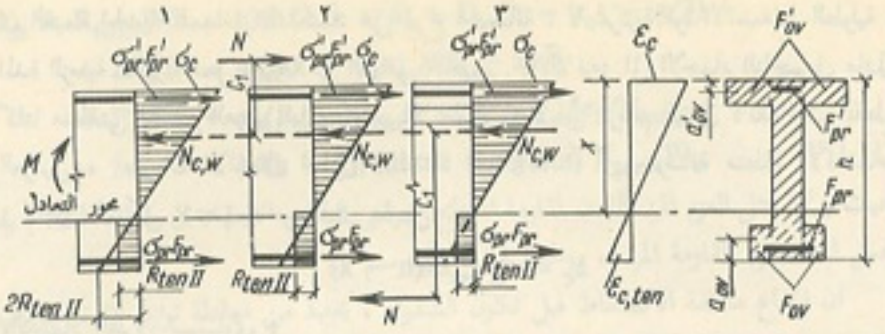
١ – حساب تكون الشقوق العمودية على المحور الطولى للقطع الانشائية

ان هذا الحساب يتلخص فى مراجعة الشرط الذى ينص على ان الشقوق لا تظهر فى المقاطع العمودية على المقطع الطولى للقطعة ، اذا كانت قيمة عزم القوى او الاحمال الخارجية M لا تزيد على قيمة عزم القوى الداخلية ، فى المقطع قبل تكوّن الشقوق ، أى :

$$M \leqslant M_{cr} \qquad \text{(VII-3)}$$

وفى حالة الانحناء ، يحدد عزم القوى الخارجية M بالطريقة المعروفة ، بينما يتم تحديد عزم القوى الخارجية فى حالة الانضغاط اللامحورى والشد اللامحورى ، عند ظهور منطقة انضغاط فى المقطع ، من المعادلة التالية :

$$M = N_{c_1} \qquad \text{(VII-4)}$$



شكل ٧ – ١ . الرسم التخطيطى الخاص بتحديد مقاومة التشقق فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد :
١ – المعرضة للانحناء ، ٢ – المعرضة للانضغاط اللامحورى ، ٣ – المعرضة للشد اللامحورى ، فى المرحلة الاولى فى حالة السلوك المرن لخرسانة منطقة الانضغاط

حيث c_1 – المسافة بين القوة الطولية الخارجية N وبين نفس المحور الذى يؤخذ عزم القوى الداخلية حوله (شكل ٧ – ١) .

٢ – تحديد العزم M_{cr} عند السلوك المرن لخرسانة منطقة الانضغاط

قبل تكوّن الشقوق وفى حالة الرسم البيانى المزدوج العلامة للاجهادات ، تتميّز مقاطع القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، الانضغاط اللامحورى والشد اللامحورى ، بنفس حالة الاجهاد والانفعال بالذات – وهى المرحلة I . ولتحديد العزم M_{cr} بصورة عامة ، سنبحث على سبيل المثال المقطع I السابق الاجهاد ، باستخدام الرموز التالية : F'_{ov} – مساحة المقطع العرضى للاقسام البارزة او المتدلية (over hangs) من الشفهات فى منطقة الانضغاط . F_{ov} – مساحة المقطع العرضى لبروز الشفهات فى منطقة الشد .

وسوف نعتمد فى حسابنا على المبادىء التالية : ١ – تبقى المقاطع مستوية عند تعرضها للانحناء ؛ ٢ – تتطور الانفعالات غير المرنة فى خرسانة منطقة الشد ، مع وجود المعامل $\nu_{ten} = 0{,}5$ ، كما يكون الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة ، مستطيل الشكل ؛ ٣ – تكون الانفعالات فى منطقة الخرسانة المنضغطة ، من النوع المرن فقط ، مع وجود المعامل $\nu = 1$ ، كما يكون الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة مثلث الشكل .

ان سلوك خرسانة منطقة الانضغاط يعتبر سلوكا مرنا ، اذا كان مستوى الاجهادات ، أى نسبة الاجهاد الى المقاومة ، كما يلى :

$$k = \sigma_c / R_{prII} < 0{,}7$$

ان القيمة الحدية للمعامل k تعتمد على نوع الخرسانة ، لا تمركزية قوة الانضغاط الطولية ، المدة الزمنية لتأثير الحمل وغيرها من العوامل الاخرى . والآن نرمز الى الاجهاد الناجم فى مادتى كلتا منطقتى المقطع العرضى بالرمز R_{tenII} . وبالاستناد الى الرسم البيانى لانفعالات المقطع العرضى ، نجد ان الانفعال الطرق (marginal strain) فى خرسانة منطقة الانضغاط (لاحظ الشكل ٧ – ١) سيساوى ما يلى :

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c,\,ten}x/(h - x)$$

والاجهاد الطرفى سيساوى :

$$\sigma_c = \varepsilon_c E'_c = \varepsilon_{c.\,ten}x\nu E_c/)h - x) \qquad \text{(VII-5)}$$

حيث x تمثل ارتفاع منطقة الانضغاط (فى المرحلة I قبل ظهور الشقوق) .

ولما كان الانفعال يساوى ما يلى :

$$\varepsilon_{c,\,ten} = R_{tenII}/E'_{c,\,ten} = R_{tenII}/\nu_{ten}E_c$$

اذن سيكون الاجهاد الطرفى مساويا لما يلى :

$$\sigma_c = (R_{tenII}/\nu_{ten}E_c)[x\nu E_c/(h - x)] \qquad \text{(VII-6)}$$

وبما ان $\nu_{ten} = 0{,}5$ و $\nu = 1$ نحصل على

$$\sigma_c = 2R_{tenII}x/(h - x) \qquad \text{(VII-7)}$$

والاجهاد الناجم فى خرسانة الشفهات المنضغطة للمقطع فى مستوى مركز ثقل الاقسام المتدلية ، اى مسافة a'_{ov} من حافة المقطع العرضى ، يساوى ما يلى :

$$\sigma'_{c,\,ov} = 2R_{tenII}(x - a'_{ov})/(h - x) \qquad \text{(VII-8)}$$

والاجهادات فى قضبان التسليح السابقة الاجهاد فى منطقتى الشد والانضغاط على التوالى ، تساوى ما يلى :

$$\sigma_{ten} = \sigma_0 + 2nR_{tenII} \qquad \text{(VII-9)}$$

$$\sigma'_{ten} = \sigma'_0 + 2nR_{tenII}(x - a')/(h - x) \qquad \text{(VII-10)}$$

ان القوة $N_{c.w}$ فى خرسانة منطقة الانضغاط التابعة لوترة المقطع (web) ، تكون مؤثرة فى نقطة تبعد بمسافة x/3 عن حافة المقطع . ويتم تحديد عزم القوى الداخلية M_{cr} وعزم القوى الخارجية M من المعادلة (VII-3) حول المحور المار فى تلك النقطة . وهنا سنحصل على ما يلى :

$$M_{cr} = R_{tenII}[b(h - x)(h/2 + x/6) + F_{ov}(h - a_{ov} - x/3) + 2F'_{ov}(x - a'_{ov})(x/3 - a'_{ov})/(h - x) + F_{pr}(2n + \sigma_0/R_{tenII})(h_0 - x/3) - F'_{pr}[\sigma'_0/R_{tenII} - 2n(x - a')/(h - x)]\ (\ x/3 - a'\ )\} = R_{tenII}W_{cr} \qquad \text{(VII-11)}$$

حيث W_{cr} تمثل العزم المرن اللدن لمقاومة المقطع العرضى السابق الاجهاد فى منطقة الشد ، وله نفس ابعاد عزم المقاومة المرن ، ووحدة قياسه هى سم^3 .

ان ارتفاع منطقة الانضغاط قبل تكوّن الشقوق ، يحدد من معادلة توازن القوة الخارجية N والقوى الداخلية فى كل من فولاذ التسليح والخرسانة ، وهى :

$$\pm N + R_{tenII}b(h - x) + R_{tenII}F_{ov} + (\sigma_0 + 2nR_{tenII})F_{pr} + [\sigma'_0 - 2nR_{tenII}(x - a')/(h - x)]F'_{pr} - R_{tenII}bx^2/(h - x) - 2R_{tenII}(x - a'_{ov})F'_{ov}/(h - x) = 0 \qquad \text{(VII-12)}$$

وهنا تستخدم العلامة الموجبة (+) اذا كانت القوة N ضاغطة ، وتستخدم العلامة السالبة (–) اذا كانت القوة N قوة شد . وتؤخذ $N = 0$ بالنسبة للقطع المعرضة للانحناء .

ان المعادلة (VII-12) هى معادلة خطية بالنسبة للقيمة x ، وبعد ضربها فى المقدار $(h - x)$ وتحويلها رياضيا ، نحصل على الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط :

$$\xi = x/h = 1 - [bh + 2(1 - \delta'_{ov})F'_{ov} + 2(1 - \delta')nF'_{pr}]/[2F_{tr} - F_{ov} + (N_0 \pm N)/R_{tenII}\ ] \qquad \text{(VII-13)}$$

وهنا $\delta' = a'/h$ ؛ $\delta'_{ov} = a'_{ov}/h$ ؛ و F_{tr} تمثل المساحة المحولة للمقطع العرضى .

$$F_{tr} = bh + F_{ov} + F'_{ov} + n(F_{pr} + F'_{pr}) \qquad \text{(VII-14)}$$

$$N_0 = \sigma_0 F_{pr} + \sigma'_0 F'_{pr} \qquad \text{(VII-15)}$$

ونلاحظ هنا ان ارتفاع منطقة الانضغاط قبل تكوّن الشقوق فى المقاطع العرضية السابقة الاجهاد ، اكبر مما هو عليه فى المقاطع غير السابقة الاجهاد ، ويمكن ان يبلغ :

$$x = \xi h = (0{,}7 \text{ to } 0{,}9)h$$

وتعتبر الصيغة (VII-11) بمثابة صيغة عامة ، وتستخدم لحساب مقاومة التشقق فى القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد وغير السابقة الاجهاد ، وكذلك فى القطع الخرسانية عند مختلف اشكال المقاطع العرضية : مثل المقطع I ، المقطع T والمقطع المستطيل . وعلى سبيل المثال ، بالنسبة للقطعة الانشائية المعرضة للانحناء ، ذات المقطع I غير السابقة الاجهاد ؛ اى عندما $N_0 = 0$ ، نجد ان عزم المقاومة المرن اللدن فى منطقة الشد

يساوى ما يلى :

$$W_{cr} = b(h - x)(h/2 + x/6) + F_{ov}(h - a_{ov} - x/3) + \\ + 2F'_{ov}(x - a'_{ov})(x/3 - a'_{ov})/(h - x) + 2nF_s(h_0 - \\ - x/3) + 2nF'_s(x - a')(x/3 - a')/(h - x) \quad \text{(VII-16)}$$

والارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط ، استنادا الى الصيغة (VII-13) يساوى ما يلى :

$$\xi = 1 - [bh + 2(1 - \delta'_{ov})F'_{ov} + 2(1 - \delta') \times \\ \times nF'_{pr}]/(2F_{tr} - F_{ov}) \quad \text{(VII-17)}$$

وعند تحديد W_{cr} للمقطع العرضى T الذى تقع شفته فى منطقة الانضغاط ، يجب أخذ F_{ov} مساوية للصفر ؛ اما بالنسبة للمقطع T الذى تقع شفته فى منطقة الشد فتؤخذ $F'_{ov} = 0$ ؛ وبالنسبة للمقطع المستطيل يجب ان تؤخذ $F_{ov} = F'_{ov} = 0$. اما بالنسبة للقطعة الخرسانية المسلحة ذات المقطع المستطيل ، المحتوية على قضبان الشد فقط ، فيكون :

$$W_{cr} = b(h - x)(h/2 + x/6) + 2nF_s(h_0 - x/3) \quad \text{(VII-18)}$$

$$\xi = x/h = 1 - bh/2(bh + nF_s) = 1 - 1/2(1 + n\mu_1) \quad \text{(VII-19)}$$

حيث $\mu_1 = F_s/bh$.

واذا اعتبرنا ان $F_s = F'_s = 0$ ، عندئذ سيكون عزم المقاومة المرن اللدن للمقطع الخرسانى المستطيل مثلا الذى فيه $\xi_c = 1/2$ ، مساويا لما يلى :

$$W_{c.\,cr} = 7bh^2/24 \quad \text{(VII-20)}$$

اى أنه اكبر قيمة من العزم المرن للمقاومة ، بمقدار 7/4 من المرات .

وعند تحديد العزم المولد للشقوق (crack-inducing moment) فى القطع الخرسانية المسلحة غير السابقة الاجهاد ، يمكن عمليا ان نعتبر $\xi = 1/2$ ، عندئذ فى حالة $\delta_1 = a/h \approx 0{,}08$ ، تصبح الصيغة (VII-16) على الشكل التالى :

$$W_{cr} = [0{,}292 + 0{,}75(\gamma_1 + 2\mu_1 n) + 0{,}15\gamma'_1]bh^2 \quad \text{(VII-21)}$$

حيث

$$\gamma_1 = (b_f - b)h'_f/bh, \quad \gamma'_1 = [(b'_f - b)h'_f + hF_s]/bh \quad \text{(VII-22)}$$

وعند القيمتين $\mu_1 n \leqslant 0{,}25$ و $\gamma'_1 \leqslant 0{,}3$ نجد ان قيمة W_{cr} المستخرجة من الصيغة (VII-21) تكون قريبة من القيمة الفعلية وليست مساوية لها تماما .

٣ – تحديد العزم M_{cr} فى حالة السلوك غير المرن للخرسانة الواقعة فى منطقة الانضغاط

تتطور فى بعض القطع الانشائية قبل ظهور الشقوق نتيجة للمستوى المرتفع للاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط ، انفعالات الزحفان غير الخطى (فى المقاطع T التى تقع شفتها فى منطقة الشد وفى المقاطع اللامحورية الانضغاط وغيرها) . وبما ان المقاطع تبقى مستوية ، تنشأ أربطة معينة تعرقل التطور الطليق للانفعالات المرنة غير المنتظمة التوزيع على ارتفاع المقطع العرضى ، وعندئذ يقترن الزحفان المقيّد ، بظاهرة استرخاء الاجهادات . وينحنى الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة ، اما احداثى الاجهاد الاقصى ، فينتقل الى عمق المقطع العرضى (شكل ٢ – ٢) . وهذا الامر يؤدى الى تخفيض قيمة العزم M_{cr} . وقد اثبتت التجارب ، ان خرسانة منطقة الانضغاط قد تسلك سلوكا غير مرن ، وقد تنخفض قيمة العزم M_{cr} بنسبة ٢٠ ٪ تقريبا عند النسبة المتوسطة للاجهاد والمقاومة ، ولكن فى حالة التأثير المستديم للحمل ، اى عند تأثير الحمل الساكن .

ان التحديد الدقيق جدا لقيمة العزم M_{cr} مع الاخذ فى الاعتبار زحفان الخرسانة اللاخطى وتأثير الحمل المتحرك ، يمكن ان يجرى بواسطة الآلات الحاسبة الالكترونية واستخدام نموذج تصميمى منفصل على هيئة مجموعة من القضبان الفولاذية ، معرضة للانضغاط والشد المحورين .

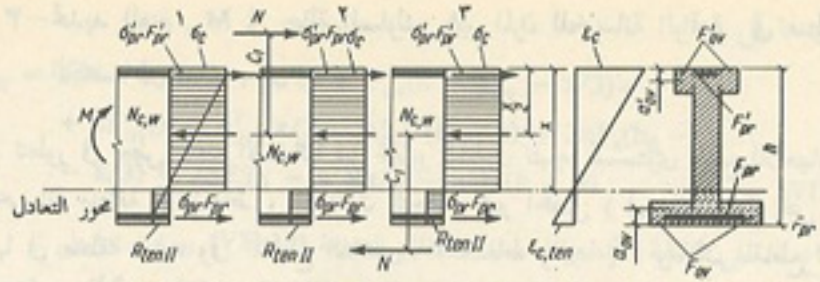
وتقترن الطرق العملية لحساب العزم M_{cr} باستبدال الرسم البيانى الفعلى المنحنى لاجهادات الخرسانة فى منطقة الانضغاط ، برسم بيانى آخر مستطيل او شبه منحرف . ولنبحث الآن احدى هذه الطرق العملية ، مع استخدام رسم بيانى مستطيل للاجهادات المتعامدة (شكل ٧ – ٢) .

وسوف نعتبر هنا ان خرسانة المنطقة المنضغطة من المقطع العرضى ، ستسلك سلوكا غير مرن ؛ فاذا كانت قيمة الاجهادات المحسوبة فى حالة الرسم البيانى المثلث للاجهادات ، بواسطة الصيغة (VII-7) هى كما يلى :

$$\sigma_{com} \geqslant 0{,}7R_{prII} \quad \text{(VII-23)}$$

عندئذ يتم استبدال الرسم البيانى المنحنى للاجهادات المتعامدة فى هذه الحالة ، بالرسم البيانى المستطيل للاجهادات فى كلتا منطقتى المقطع العرضى ، اللتين فيهما تكون قيمة معامل الانفعالات المرنة مساوية :

$$\nu = \nu_{ten} = 0{,}5 \quad \text{(VII-24)}$$



شكل ٧-٢ . الرسم التخطيطى الخاص بتحديد مقاومة التشقق فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد :

١-المعرضة للانحناء ، ٢-المعرضة للانضغاط اللامحورى ، ٣-المعرضة للشد اللامحورى ، فى المرحلة الاولى فى حالة السلوك غير المرن لخرسانة منطقة الانضغاط

عندئذ سنجد ان اجهادات خرسانة منطقة الانضغاط هى كما يلى :

$$\sigma_{com} = \varepsilon_{c.\,ten} x \nu E_c/(h - x) = R_{tenII} x/(h - x) \qquad (VII\text{-}25)$$

ولما كانت القوة الضاغطة فى وترة المقطع $N_{c.w}$ مؤثرة على مسافة $x/2$ من حافة مقطع القطعة ، يمكننا الحصول على الصيغة التالية لعزم القوى الداخلية :

$$M_{cr} = R_{tenII}[bh(h - x)/2 + F_{ov}(h - a_{ov} - x/2) + F'_{ov}x(x/2 - a'_{ov})/(h - x) + F_{pr}(2n + \sigma/R_{tenII})(h_0 - x/2) - F'_{pr}[\sigma'_0/R_{tenII} - 2nx/(h - x)](x/2 - a')] \qquad (VII\text{-}26)$$

ان ارتفاع منطقة الانضغاط قبل نشوء الشقوق يحدد من معادلة توازن القوة الخارجية N والقوى الناشئة فى قضبان التسليح والخرسانة

$$\pm N + R_{tenII}b(h - x) + R_{tenII}F_{ov} + (\sigma'_0 + 2nR_{tenII})F_{pr} + [\sigma'_0 - 2nR_{tenII}x/(h - x)F'_{pr} - R_{tenII}x(bx + F'_{ov})/(h - x) = 0 \qquad (VII\text{-}27)$$

وقد اخذت N هنا بعلامة موجبة عند الانضغاط ، وبعلامة سالبة عند الشد ، كما اخذت $N = 0$ عند الانحناء .

اما الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط فيساوى ما يلى :

$$\xi = x/h = 1 - (bh + F'_{ov} + 2nF'_{tr})/[F_{tr} + n(F_{pv} + F_{pr}) + bh + (N_0 \pm N)/R_{tenII}] \qquad (VII\text{-}28)$$

٤ - تحديد العزم M_{cr} بطريقة عزوم القلب (kern moments)

ان المواصفات القياسية الخاصة ، تنصح بتحديد العزم M_{cr} بصورة تقريبية بطريقة عزوم قلب المقطع . ويمكن حل المسألة المتعلقة بحالة الاجهاد والانفعال للمقطع العرضى فى المرحلة I

قبل تكوّن الشقوق نتيجة للتأثير الموحّد للحمل الخارجى وقوة الانضغاط ، حلا تقريبيا باعتبارها مسألة خطية الانضغاط اللامحورى ، باستخدام مبدأ التأثير المستقل للقوى المؤثرة . وهنا سيكون العزم المولد للشقوق M_{cr} مساويا لما يلى :

$$M_{cr} = R_{tenII}W_{cr} + M^k_{pr} \qquad (VII\text{-}29)$$

حيث M^k_{pr} هو العزم الناجم عن قوة الانضغاط N_0 ، المأخوذ حول المحور المار فى نقطة القلب الاصطلاحية ، الاكثر بعدا عن منطقة الشد ، اى :

$$M^k_{pr} = N_0(e_{0pr} + r_k) \qquad (VII\text{-}30)$$

حيث W_{cr} - تمثل العزم المرن اللدن للمقاومة فى منطقة الشد فى المقطع الخرسانى المسلح الذى تكون فيه القوّة الطولية مساوية للصفر ؛ e_{0pr} - لامركزية قوة الانضغاط N_0 حول مركز ثقل المقطع المحوّل ؛ r_k - المسافة الواصلة بين نقطة القلب الاصطلاحية الاكثر بعدا عن منطقة الشد ومركز ثقل المقطع المحول (شكل ٧-٣) . ولاجل حساب الانفعالات غير المرنة للخرسانة فى منطقة الانضغاط ، تؤخذ قيمة r_k فى هذه الطريقة الحسابية ، تبعا لنوع تأثير القوى للقطع المنحنية السابقة الاجهاد واللامحورية الانضغاط

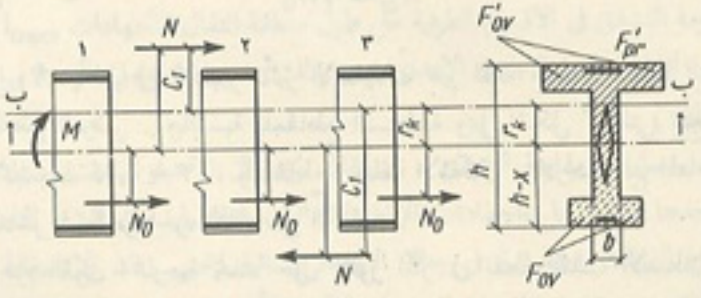
$$r_k = 0{,}8W_0/F_{tr} \qquad (VII\text{-}31)$$

وللقطع اللامحورية الشد

$$r_k = W_{cr}/[F_{tr} + n(F_{pr} + F'_{pr})] \qquad (VII\text{-}32)$$

وذلك عند تحقق الشرط التالى

$$e_0 - e_{0pr} \leqslant R_{tenII}W_{cr}/N_0 \qquad (VII\text{-}33)$$



شكل ٧-٣ . الرسم التخطيطى الخاص بتحديد مقاومة التشقق فى القطع الانشائية :

١-المعرضة للانحناء ، ٢-المعرضة للانضغاط اللامحورى ، ٣-المعرضة للشد اللامحورى ، وذلك بطريقة عزوم قلب المقطع ، أ-المركز المتوسط للمقطع المحول ؛ ب-حدود القلب الاصطلاحى للمقطع

وللقطع المنحنية غير السابقة الاجهاد والقطع اللامحورية الشد :

$$r_k = W_0/F_{tr} \qquad \text{(VII-34)}$$

وذلك عند عدم تحقق الشرط (VII-33) . حيث W_0 – عزم المقاومة المرن للمقطع المحوّل فى منطقة الشد ، F_{tr} – مساحة المقطع العرضى المحوّل ، e_0 – لا تمركزية القوة الطولية N حول مركز ثقل المقطع المحوّل ، ويمكن تحديد قيمة W_{cr} من الصيغتين (VII-16) و (VII-21) او من الصيغة التالية :

$$W_{cr} = 2(I_{com} + nI_s)/(h - x) + S_{ten} \qquad \text{(VII-35)}$$

حيث I_{comr} و I_s – عزما القصور الذاتى حول محور تعادل مساحة خرسانة منطقة الانضغاط ومساحة الفولاذ فى كلتا منطقتى الشد والانضغاط للمقطع ؛ S_{ten} – العزم الاستاتى المأخوذ حول نفس المحور الخاص بمساحة خرسانة منطقة الشد ؛ $h - x$ – المسافة من محور التعادل الى حافة منطقة الشد .

ويحدد موضع محور التعادل من الشرط التالى :

$$S_{com} + nS_s = (h - x)F_{ten}/2 \qquad \text{(VII-36)}$$

حيث S_{com} ، S_s – العزمان الاستاتيان المأخوذان حول محور تعادل مساحة خرسانة منطقة انضغاط المقطع ومساحة فولاذ كلتا المنطقتين فى المقطع العرضى ؛ F_{ten} – مساحة خرسانة منطقة الشد فى المقطع .

ويمكن تحديد قيمة W_{cr} ايضا ، استنادا الى عزم المقاومة المرن W_0 بواسطة الصيغة التالية :

$$W_{cr} = \gamma W_0 \qquad \text{(VII-37)}$$

ان المعامل γ يأخذ فى الاعتبار تأثير الانفعالات غير المرنة لخرسانة منطقة الشد ، تبعا لشكل المقطع العرضى . وبالنسبة للمقاطع المستطيلة وعلى شكل T التى تقع شفتها فى منطقة الانضغاط $\gamma = 1{,}75$ ، وللمقاطع المختلفة الاشكال ، ادرجت قيم المعامل γ فى الملحق العاشر فى آخر الجزء الثانى من الكتاب .

ان عزم القوى الخارجية يحدد حول المحور المار فى نقطة القلب الاصطلاحية ، من الصيغة (VII-4) . وفى حالة الانضغاط اللامحورى ، نجد ان ذراع القوى يساوى $e_1 = e_0 - r_k$ ، عندئذ سنجد ان

$$M^k_{ext} = N(e_0 - r_k) \qquad \text{(VII-38)}$$

وفى حالة الشد اللامحورى

$$M^k_{ext} = N(e_0 + r_k) \qquad \text{(VII-38a)}$$

وفى حالة الانحناء

$$M^k_{ext} = M \qquad \text{(VII-38b)}$$

وفى مرحلة الانتاج والتركيب قد يحدث ان نجد ان المنطقة المصممة لمقاومة الانضغاط الناجم عن الاحمال الخارجية ، تقوم فى الحقيقة بمقاومة الشد ، اى تكون معرضة للشد . وفى مثل هذه الحالة يكون لدينا :

$$M_{cr} = R_{tenII}W_{cr} - N_0(e_{0pr} - r_k) \qquad \text{(VII-39)}$$

وهنا تؤخذ قيمتا W_{cr} و r_k للسطح المعرض للشد نتيجة لتأثير قوة الانضغاط N_0 ؛ وتحدد قيمة R_{tenII} تبعا للمقاومة الانتقالية المناظرة للخرسانة R_0 . ويتم تحديد عزم القوى الخارجية فى هذه الحالة ، بالنسبة لتأثير الحمل المؤثر خلال هذه المرحلة (على سبيل المثال ، الوزن الذاتى للقطعة الانشائية نفسها) .

٥ – حساب تكوّن الشقوق المائلة على المحور العمودى للقطع الانشائية

ان مقاومة التشقق فى المقاطع المائلة للقطع الانشائية ، تراجع فى منطقة تأثير اجهادات الشد الرئيسية . وتتم هذه المراجعة فى عدة اماكن على طول القطعة ، تبعا لتغيّر شكل المقطع ، والرسوم البيانية لقوى القص وعزوم الانحناء . وتتم المراجعة على ارتفاع المقطع فى مركز ثقله المحول فى مكان او موضع التغيّر الشديد لعرض المقطع او تلاصق الشفهات المنضغطة مع وترة المقطع T . وفى الانشاءات المسلحة بفولاذ سابق الاجهاد بدون قطع تثبيت خاصة ، تراجع مقاومة التشقق فى الاقسام الطرفية على طول منطقة انتقال الاجهادات l_{trans} مع الاخذ فى الاعتبار انخفاض قيمة الاجهاد الابتدائى σ_0 وذلك بضربها فى عامل الخدمة m_{s3} (راجع الفصل الثانى) .

واثناء حسابات مقاومة التشقق ، يجب ان تؤخذ فى الاعتبار ليست اجهادات الشد الرئيسية وحدها فقط ، بل واجهادات الانضغاط الرئيسية ايضا . وقد اثبتت التجارب التى اجريت على العينات الخرسانية فى حالة الاجهاد الثنائية المحور ، ان الانضغاط فى اتجاه واحد ، يقلل من مقاومة الخرسانة للشد فى الاتجاه الآخر . ويظهر ذلك بوضوح فى انواع الخرسانة ذات الماركات العالية ، اى ماركة ٥٠٠ فما فوق .

ويمكن اعتبار مقاومة التشقق فى المقطع المائل مضمونة ، اذا كانت اجهادات الشد

جدول ٧ – ١

قيم المعاملين m و n

الخرسانة		المعاملان	
الخرسانة الثقيلة ، ماركة	الخرسانة ذات الاحلامة المسامية ، ماركة	m	n
٤٠٠ وأقل	٢٠٠ وأقل	٠٫٥	٢
٥٠٠	٢٥٠	٠٫٣٧٥	١٫٦
٦٠٠	٣٠٠	٠٫٢٥	١٫٣٣

الرئيسية فيه ، تحقق الشرطين التاليين :

$$\sigma_{prin.\,com} \leqslant mR_{pr\,II} \quad \text{عندما} \quad \sigma_{prin.\,ten} \leqslant R_{tenII} \qquad \text{(VII-40)}$$

$$\sigma_{prin.\,ten} \leqslant nR_{tenII}(1 - \sigma_{prin.\,com}/R_{prII}) \quad \text{عندما} \quad \sigma_{prin.\,com} > mR_{prII} \qquad \text{(VII-41)}$$

وتعتمد قيم المعاملين m و n على نوع وماركة الخرسانة وتحدد من الجدول (٧ – ١) .

ان قيم اجهادات الشد الرئيسية واجهادات الانضغاط الرئيسية ، تحدد من الصيغة التالية :

$$\begin{matrix}\sigma_{prin.\,ten}\\ \sigma_{prin.\,com}\end{matrix} = (\sigma_x + \sigma_y)/2 \pm \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)/2]^2 + \tau_{xy}^2} \qquad \text{(VII-42)}$$

حيث σ_x – الاجهاد المتعامد الناشىء فى الخرسانة نتيجة لتأثير الحمل الخارجى وقوة الاجهاد المسبق N_0 ؛ σ_y – اجهاد الانضغاط فى الخرسانة ، الموازى للمحور الطولى للقطعة والناجم عن رد فعل المسند ، الحمل المركز ، الحمل الموزع وكذلك عن القوة N_0 فى القضبان الفولاذية المستعرضة ؛ τ_{xy} – اجهادات القص فى الخرسانة ، الناجمة عن الحمل الخارجى والقوة N_0 فى القضبان المحنية .

ويؤخذ الاجهادان σ_x و σ_y بعلامة موجبة (+) فى حالة الشد وعلامة سالبة (–) فى حالة الانضغاط .

ويتم تحديد الاجهادات المتعامدة واجهادات القص ، بافتراض ان الخرسانة ستسلك سلوكا مرنا فى هذه الحالة :

$$\sigma_x = \pm My/I_{tr} \pm N/F_{tr} \pm N_0 e_{0pr} y/I_{tr} - N_0/F_{tr} \qquad \text{(VII-43)}$$

حيث تؤخذ N بعلامة موجبة (+) فى حالة الشد وبعلامة سالبة (–) فى حالة الانضغاط .

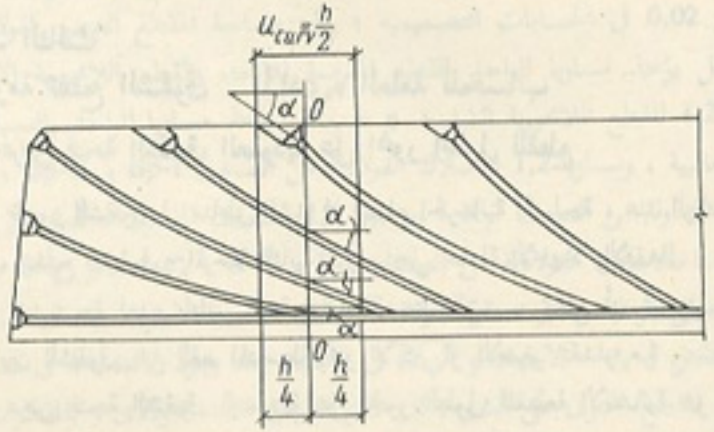
$$\sigma_y = \sigma_{y0} + \sigma_{y.\,loc} \qquad \text{(VII-44)}$$

حيث σ_{y0} – تمثل الاجهاد الناشىء فى الخرسانة نتيجة لوجود القضبان المستعرضة السابقة الاجهاد والقضبان المحنية .

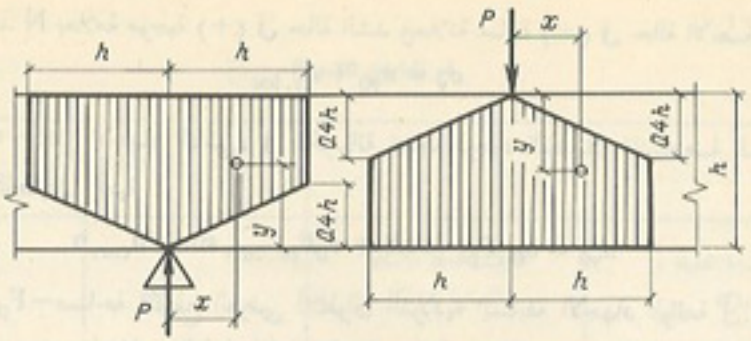
$$\sigma_{y0} = \sigma_{0tr}F_{pr.\,tr}/ub + \sigma_0 F_{pr.\,curv}\sin\alpha/u_{curv}b \qquad \text{(VII-45)}$$

حيث $F_{pr.tr}$ – مساحة المقطع العرضى للاطواق الفولاذية السابقة الاجهاد الواقعة فى نفس المستوى العمودى على المحور الطولى للقطعة فى القسم المبحوث ؛ $F_{pr.curv}$ – مساحة المقطع العرضى للقضبان المحنية السابقة الاجهاد فى القسم الذى طوله $u_{curv} = h/2$ المتماثل حول المقطع المبحوث 0 – 0 فى الشكل (٧ – ٤) ؛ σ_{0tr} – الاجهاد المسبق فى الاطواق الفولاذية مع الاخذ فى الاعتبار كافة انواع الفقدان المحتملة ؛ u – المسافة بين الاطواق الفولاذية ؛ u_{curv} – المسافة بين مستويات القضبان المحنية ، وتقاس على امتداد الخط العمودى عليها ؛ b – عرض القطعة الانشائية فى المقطع المبحوث ؛ σ_0 – الاجهاد المسبق فى القضبان المحنية ، مع اخذ كافة انواع الفقدان فى الاعتبار ؛ α – الزاوية المحصورة بين المحور الطولى للقطعة الانشائية ومماس محور الفولاذ السابق الاجهاد فى المقطع 0 – 0 ؛ $\sigma_{y.\,loc}$ – الاجهاد الناشىء فى الخرسانة نتيجة للانضغاط الموضعى بالقرب من نقاط تأثير ردود فعل المسند والاحمال المركزة عند السطح العلوى للقطعة (شكل ٧ – ٥) اذا كانت $y \leqslant 0{,}4h$ و $x \leqslant 2{,}5h$ ، نحصل على :

$$\sigma_{y.\,loc} = \mp 0{,}4P(h/y - 1)(1 - 0{,}4x/y)/bh \qquad \text{(VII-46)}$$



شكل ٧ – ٤ . قضبان التسليح المحنية السابقة الاجهاد



شكل ٧–٥ . الاجهاد الناجم فى الخرسانة نتيجة لتأثير الانضغاط الموضعى

اما اذا كانت $y \geqslant 0{,}4h$ و $x \leqslant h$ فنحصل على :

$$\sigma_{y,\,loc} = -P(1 - y/h)(1 - x/y)/bh \qquad \text{(VII-47)}$$

حيث x و y – تمثلان المسافتين (الموازية والعمودية على المحور الطولى للقطعة ، على التوالى) من نقطة تأثير الحمل المركز الى النقطة المبحوثة ؛ P – الحمل المركز او رد فعل المسند ؛ Q – قوة القص الناشئة عن الحمل الخارجى ؛ S – العزم الاستاتى لذلك القسم من المقطع الخاضع للقص ، وهذا العزم مأخوذ حول مركز ثقل المقطع المحول ؛ N_0 – قوة الاجهاد المسبق فى القضبان المحنية ، المنتهية عند المسند او بين المسند والمقطع العرضى الواقع على مسافة h/4 من المقطع المبحوث (وهو المقطع 0 – 0 ، الشكل ٧–٤) .

$$\tau_{xy} = (Q - \Sigma N_0 \sin\alpha)S/bI_{tr} \qquad \text{(VII-48)}$$

البند الثالث
مقاومة تفتح الشقوق . المبادىء العامة للحساب

١ – عرض فتحة الشقوق العمودية على المحور الطولى للقطع

بعد ظهور الشقوق فى مناطق الشد فى القطع الخرسانية المسلحة ، عند الزيادة اللاحقة للاحمال ، تتفتح الشقوق – المرحلة الثانية من مراحل حاملة الاجهاد والانفعال . وقد بينت التجارب انه نتيجة لعدم تجانس بنية الخرسانة عند الشد ، يمكن أن تنحرف المسافات الفاصلة بين الشقوق عن القيم المتوسطة نحو الاكبر او الاصغر بمقدار مرة ونصف المرة .

ان عرض فتحة الشقوق العمودية على المحور الطولى للقطعة الانشائية هو عبارة عن الفرق فى تمدد قضبان التسليح الفولاذية وتمدد الخرسانة المعرضة للشد فى القسم الواقع بين

الشقوق ، الذى طوله l_{cr} ، اى :

$$a_{cr} = \varepsilon_{s,\,av} l_{cr} - \varepsilon_{c,\,ten,\,av} l_{cr}$$

وان معدل الانفعال فى الخرسانة المعرضة للشد $\varepsilon_{c,\,ten,\,av}$ اصغر بكثير من معدل الانفعال فى القضبان الفولاذية $\varepsilon_{s,\,av}$ ، لذلك فهو يهمل عادة ، وتؤخذ قيمة الفتحة كما يلى :

$$a_{cr} = \varepsilon_{s,\,ar} l_{cr}$$

والآن نضع رمزا للعلاقة بين الاجهادات المتوسطة للفولاذ المعرض للشد فى القسم الواقع بين الشقوق واجهادات الفولاذ فى المقطع المحتوى على الشق ، والرمز هو ψ_s :

$$\psi_s = \varepsilon_{s,\,av}/\varepsilon_s \leqslant 1 \qquad \text{(VII-49)}$$

عندئذ سيكون عرض الشق فى مستوى محور فولاذ الشد ، مساويا لما يلى :

$$a_{cr} = \psi_s \varepsilon_s l_{cr} = \psi_s \sigma_s l_{cr}/E_s \qquad \text{(VII-50)}$$

ان عرض الشق يعتمد على قيمة ψ_s (التى تعتمد بدورها على الرباط القائم بين الفولاذ والخرسانة) ، وعلى الاجهاد فى الفولاذ فى المقطع الذى يحتوى على الشق σ_s ، وعلى المسافة بين الشقوق l_{cr} . ان قيم المعاملات المذكورة اعلاه ، تستخرج بواسطة الحساب .

واستنادا الى المواصفات القياسية المعمول بها ، يجب ان يحدد عرض الشق العمودى على المحور الطولى للقطعة ، فى مستوى محور فولاذ الشد ، وذلك باستخدام الصيغة الوضعية التالية :

$$a_{cr} = 20(3{,}5 - 100\mu)k\eta c_d \sigma_s \sqrt[3]{d}/E_s \qquad \text{(VII-51)}$$

حيث $\mu = F_s/bh_0$ – نسبة تسليح المقطع (الضلع القائم للمقطع T) التى تؤخذ بحيث لا تزيد على 0,02 فى الحسابات التصميمية ؛ F_s – مساحة المقطع العرضى لفولاذ الشد ؛ k – معامل يؤخذ مساويا للواحد للقطع المعرضة للانحناء والقطع اللامحورية الانضغاط ، ومساويا 1,2 للقطع اللامحورية الشد ؛ η – معامل يؤخذ مساويا للواحد بالنسبة للقضبان المحززة الجانبية ، ومساويا 1,2 للاسلاك الفولاذية من الصنفين Bp-I و Bp-II ، وللكبلات السلكية المجدولة من الصنف K-7 ؛ ومساويا 1,3 للقضبان الملساء المدلفنة على الساخن ، ومسايا 1,4 للاسلاك الفولاذية من الصنفين B-I و B-II ؛ c_d – معامل يأخذ فى الاعتبار مدة التحميل الزمنية ويعتبر مساويا للواحد للاحمال القصيرة الاجل ، ومساويا 1,5 للاحمال الطويلة الاجل ؛ σ_s – الاجهاد او الزيادة فى الاجهاد بعد خمود الانضغاط فى قضبان الشد الواقعة فى المقطع المحتوى على الشق ؛ d – قطر قضيب الشد الفولاذى (بالملمترات) ؛ واذا اختلفت اقطار القضبان الفولاذية ، يؤخذ قطر اى قضيب متوسط فى الحساب .

ان عرض الفتحة المؤقتة للشقوق فى القطع التى تخضع لشروط النوع الثانى من مقاومة التشقق ، يحدد بالنسبة للتأثير القصير الاجل لكافة الاحمال . وللقطع التى تخضع مقاومة شقوقها لشروط النوع الثالث ، يحدد عرض الفتحة فيها باستخدام علاقة لاخطية ، على اساس انه يساوى مجموع زيادة عرض فتحات الشقوق ($a_{cr1} - a_{cr2}$) الناجمة عن الزيادة المؤقتة فى الحمل الى الحد النهائى ، وعرض الفتحة (a_{cr3}) الناجمة عن الحمل الساكن والحمل الطويل الاجل ، وذلك بواسطة الصيغة التالية :

$$a_{cr} = a_{cr1} - a_{cr2} + a_{cr3} \qquad \text{(VII-52)}$$

ان القيم النهائية لعرض فتحات الشقوق وطريقة حساب المدة الزمنية لتأثير الاحمال ، مشروحة فى الفصل الثانى .

٢ – عرض فتحة الشقوق المائلة على المحور الطولى للقطعة

ان عرض فتحة الشقوق المائلة على المحور الطولى ، فى القطع المعرضة للانحناء ، يحدد من الصيغة التالية :

$$a_{cr} = (h_0 + 30d_{max})k\eta c_d t^2/\mu_{tr}E_s^2 \qquad \text{(VII-53)}$$

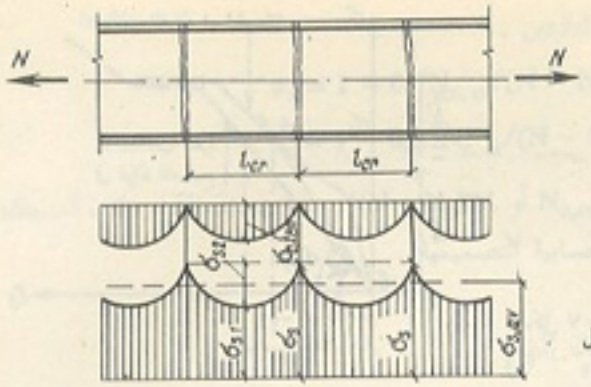
حيث $t = Q/bh_0 - 0{,}25N_0/F$ تمثل اجهاد التشظى فى الخرسانة ، الناجم عن قوة القص Q وتأثير قوة الانضغاط (الاجهاد) المسبق N_0 ؛ $\mu_{tr} = \mu_{st} + \mu_b$ تمثل نسبة التسليح بالقضبان المستعرضة ؛ $\mu_{st} = F_{st}/bu$ تمثل نسبة التسليح بالقضبان (الاطواق) ؛ $\mu_{tg} = F_0/bu_0$ نسبة التسليح بالقضبان المحنية ؛ $k = (20 - 1200\,\mu_{tg})10^3$ ولكن يجب ان لا تزيد قيمة k هنا على 8×10^3 ؛ d_{max} – القطر الاكبر للقضبان المستعرضة والقطرية المائلة ؛ وقيمتا المعاملين η و c_d تبقيان كما كانتا عليه بالنسبة للشقوق العمودية على المحور الطولى للقطعة الانشائية .

وتراجع فتحة الشقوق فى المقاطع العرضية الواقعة على مسافة قدرها h_0 ابتداء من المسند فما فوق .

البند الرابع
مقاومة تفتح الشقوق فى القطع المحورية الشد

١ – المعامل ψ_s

ان الانفعالات والاجهادات الناشئة فى القضبان الفولاذية المعرضة للشد ، فى القسم الواقع بين الشقوق ، تكون غير منتظمة . وفى المقطع العرضى المحتوى على الشق ، نجد ان الانفعال يساوى ε_s والاجهاد يساوى σ_s . وبقدر الابتعاد عن حافات الشق ، وبفضل



شكل ٧–٦ . الرسم البيانى لتحديد المعامل ψ_s فى حالة الشد المحورى

الالتصاق مع الخرسانة ، تقل الاجهادات الموجودة فى فولاذ التسليح ، بينما تزداد فى الخرسانة (شكل ٧–٦) . والانفعال المتوسط هو $\varepsilon_{s.av} < \varepsilon_s$ ، والاجهاد المتوسط هو $\sigma_{s.av} < \sigma_s$. ان مقاومة الخرسانة للشد فى القسم الواقع بين الشقوق ، والتوزيع غير المنتظم للانفعالات والاجهادات فى القضبان الفولاذية ، وهو التوزيع الذى يصاحب تلك المقاومة ، يؤخذان فى الاعتبار فى الحسابات وذلك بادخال المعامل ψ_s كما يلى :

$$\varepsilon_{s.av} = \psi_s\varepsilon_s; \qquad \sigma_{s.av} = \psi_s\sigma_s \qquad \text{(VII-54)}$$

ان طبيعة الرسم البيانى للشد مع وجود تلاصق بين القضبان الفولاذية والخرسانة ، تختلف اختلافا جوهريا عن العلاقة $\sigma_s - \varepsilon_s$ الخاصة بقضبان التسليح الفولاذية الطليقة ، اى غير المثبتة (شكل ٧–٧) . وتتميز قضبان التسليح الفولاذية عند التصاقها الجيد مع الخرسانة المحيطة بها ، بمعايير مرونة اكثر قيمة ، اذ أن قيمته المتوسطة ، هى عبارة عن ظل زاوية ميل القاطع فى النقطة ذات الاجهاد المعلوم ، اى :

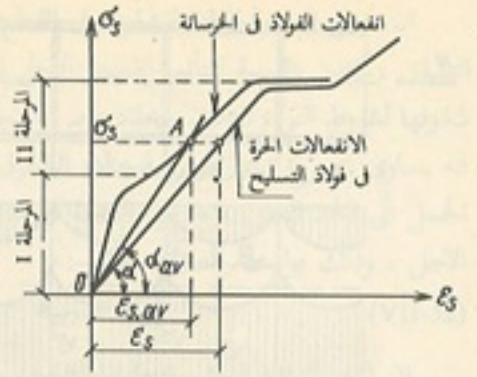
$$E_{s.av} = \operatorname{tg}\alpha_{ch} = \sigma_s/\varepsilon_{s.av} = \sigma_s/\psi_s\varepsilon_s = E_s/\psi_s \qquad \text{(VII-55)}$$

ويمكن تخطيطيا تصور المعامل ψ_s بمثابة النسبة بين مساحة الرسم البيانى للاجهادات فى الفولاذ على طول المسافة l_{cr} ، والمساحة الكلية للرسم البيانى للاجهادات ذى الاحداثى σ_s (لاحظ الشكل ٧–٦) ، اى انه :

$$\psi_s = (\sigma_s l_{cr} - \omega_{ten}\sigma_{s2}l_{cr})/\sigma_s l_{cr} = 1 - \omega_{ten}\sigma_{s2}/\sigma_s \qquad \text{(VII-56)}$$

حيث σ_{s2} – الانخفاض فى قيمة الاجهاد فى الفولاذ ، الناجم عن الترابط وتأثير الخرسانة التى تقاوم الشد فى القسم الواقع بين الشقوق ؛ ω_{ten} – معامل يأخذ فى الاعتبار شكل الرسم البيانى للاجهادات فى فولاذ التسليح ، على مسافة طولها l_{cr} .

ولو فرضنا ان الخرسانة فى المقطع الواقع بين الشقوق ، تعمل على مقاومة قوة الشد التى



شكل ٧-٧ . الرسم البيانى للاجهادات والانفعالات $(\sigma_s - \varepsilon_s)$ فى قضبان الشد

مقدارها $\chi N_{c,cr}$ ، حيث :

$$N_{c,cr} = R_{tenII}F \qquad (VII-57)$$

عندئذ يمكن ايجاد النسبة σ_{s2}/σ_s ، بافتراض ان القوة المؤثرة عند الشق وبين الشقوق ، هى نفس القوة السابقة (وتساوى N) اى انه :

$$N = \sigma_s F_s = (\sigma_s - \sigma_{s2})F_s + \chi N_{c,cr}$$

ومنها ينتج ان :

$$\sigma_{s2} = \chi N_{c,cr}/F_s \qquad (VII-58)$$

وبالنتيجة نحصل على ما يلى :

$$\sigma_{s2}/\sigma_s = \chi N_{c,cr}F_s/F_s N = \chi N_{c,cr}/N \qquad (VII-59)$$

وبتعويض النسبة σ_{s2}/σ_s فى المعادلة (VII-56) نحصل على

$$\psi_s = 1 - \omega_{ten}\chi N_{c,cr}/N \qquad (VII-60)$$

واستنادا الى المعطيات التجريبية ، يؤخذ حاصل الضرب $\omega_{ten}\chi$ مساويا للمقدار 0,7 للاحمال القصيرة الاجل ، وللمقدار 0,35 للاحمال الطويلة الاجل . وهكذا نحصل بالنسبة للاحمال القصيرة الاجل على :

$$\psi_s = 1 - 0,7N_{c,cr}/N \qquad (VII-61)$$

وبالنسبة للاحمال الطويلة الاجل على

$$\psi_s = 1 - 0,35N_{c,cr}/N \qquad (VII-62)$$

وفى القطع السابقة الاجهاد ، لا تبدأ الخرسانة بمقاومة الشد الا بعد ان تزيد قيمة القوة المسلطة N ، على قوة الانضغاط N_0 ، لذلك فان قيم المعامل ψ_s فى مثل هذه القطع

الانشائية تحدد من الصيغتين التاليتين :

$$\psi_s = 1 - 0,7N_{c,cr}/(N - N_0) \qquad (VII-63)$$

$$\psi_s = 1 - 0,35N_{c,cr}/(N - N_0) \qquad (VII-64)$$

واذا كانت النسبة $N_{c,cr}/N>1$ أو $N_{c,cr}/(N - N_0)>1$ عندئذ تؤخذ هاتان النسبتان مساويتين للواحد فى الصيغ الحسابية التصميمية .

٢ - الاجهادات فى قضبان الشد

بعد ان تصبح القوة الناجمة عن الحمل الخارجى N ، اكبر من قوة الانضغاط N_0 ، نجد ان الزيادة فى اجهاد قضبان الشد عند الشق ، تساوى ما يلى :

$$\sigma_s = (N - N_0)/F_{pr} \qquad (VII-65)$$

والاجهاد فى قضبان القطعة غير السابقة الاجهاد ، عند الشق ، يساوى ما يلى :

$$\sigma_s = N/F_s \qquad (VII-66)$$

وتعوض قيم δ_s هذه فى الصيغ الحسابية المستخدمة فى تحديد عرض فتحات الشقوق .

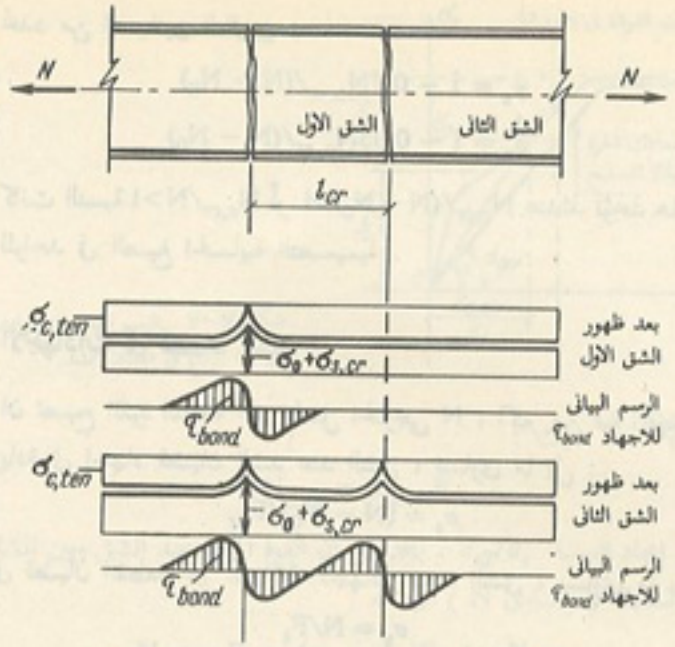
٣ - المسافات الفاصلة بين الشقوق

ان اختلاف مقاومة القطعة الانشائية على امتداد طولها ، يجعل الشقوق الاولى تظهر فى اضعف المقاطع (شكل ٧-٨) . وبقدر الابتعاد عن حافات الشق ، تزداد اجهادات الشد $\sigma_{c,ten}$ فى الخرسانة ، وفى الموضع الذى تصل فيه قيمتها الى R_{tenII} ، يظهر هناك شق آخر مجاور يقع على بعد l_{cr} من الشق الاول .

وبعد خمود الانضغاط (اجهاد الانضغاط) فى الخرسانة ، وهذا ما يحدث بعد ظهور الشق الاول مباشرة ، تحدث زيادة فى اجهاد قضبان الشد $\sigma_{s,cr}$ ناجمة عن انتقال قوة اضافية من الخرسانة المتشققة الى الفولاذ . وبما أن قوة الشد فى المقطع تكون متساوية $(N = N_{cr})$ يمكننا فى المرحلة I والمرحلة II ، ان نكتب الصيغة التالية اعتمادا على المعادلتين (VII-2) و (VII-65) :

$$\sigma_{s,cr} = (N - N_0)/F_{pr} = R_{tenII}F/F_{pr} + 2nR_{tenII} \qquad (VII-67)$$

ويمكن ايجاد المسافة الفاصلة بين الشقوق l_{cr} بمساواة الفرق فى الاجهادات بين قضبان الشد عند الشقوق وبين الشقوق مع قوة التلاصق القضبان الفولاذية مع الخرسانة ، عندئذ



شكل ٧–٨ . حالة الاجهاد فى القطعة الانشائية المرنة الشد عند ظهور الشقوق

سنحصل على ما يلى :

$$(\sigma_0 + \sigma_{s,cr})F_{pr} - (\sigma_0 + 2nR_{tenII})F_{pr} = \tau_{bon}sl_{cr}\omega \qquad (VII\text{-}68)$$

حيث τ_{bond} – الاجهاد الاقصى للتلاصق بين الفولاذ والخرسانة ؛ s – المحيط الخارجى للمقطع العرضى للقضبان الفولاذية ؛ ω – معامل يأخذ فى الاعتبار الشكل الخارجى للرسم البيانى لاجهادات التلاصق .

وبتعويض قيمة $\sigma_{s,cr}$ الناجمة من المعادلة (VII-67) فى المعادلة (VII-68) نحصل على ما يلى :

$$R_{tenII}F = \tau_{bond}sl_{cr}\omega$$

ومنها ينتج ان المسافة بين الشقوق هى

$$l_{cr} = R_{tenII}F_c/\tau_{bond}s\omega \qquad (VII\text{-}69)$$

وبوضع الرموز الاصطلاحية التالية :

$$R_{tenII}/\tau_{bond}\omega = \eta_{sh};\quad F_{pr}/s = u;\quad F_{pr}/F_c = \mu_1$$

نحصل نهائيا على الصيغة الحسابية التالية :

$$l_{cr} = u\eta_{sh}/\mu_1 \qquad (VII\text{-}70)$$

واستنادا الى المعطيات التجريبية ، فان المعامل η_{sh} الذى يأخذ فى الاعتبار نوع وشكل قضبان التسليح ، يكون مساويا للمقدار 0,7 للقضبان المحززة الجانبية ؛ و 0,9 للاسلاك الفولاذية والكبلات من الصنفين Bp-I و Bp-II ؛ و 1 للقضبان الفولاذية الملساء ؛ و 1,25 للاسلاك الملساء من الصنفين B-I و B-II . وفى القطع غير السابقة الاجهاد تستخرج المسافة الفاصلة بين الشقوق l_{cr} ، من نفس المعادلة (VII-70) ولكن يتم تعويض مساحة المقطع العرضى للقضبان الفولاذية السابقة الاجهاد F_{pr} بالمساحة F_s .

البند الخامس
مقاومة تفتح الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، اللامحورية الانضغاط واللامحورية الشد

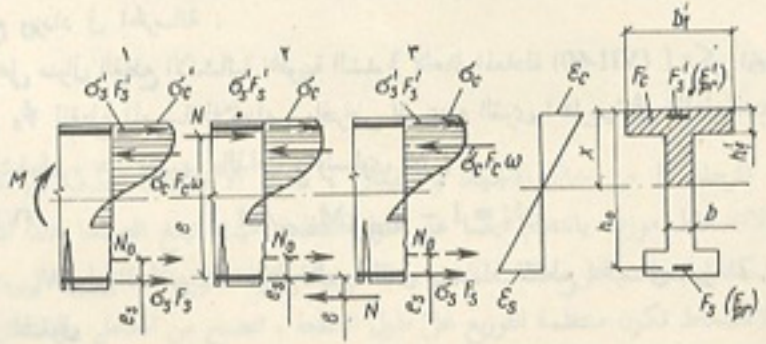
١ – المعامل ψ_s

بعد ظهور الشقوق ، نجد ان القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، للانضغاط اللامحورى والشد اللامحورى ، التى يتعرض مقطعها العرضى للشد والانضغاط فى نفس الوقت ، تكون واقعة ضمن المرحلة II من حالة الاجهاد والانفعال (شكل ٧–٩) . والآن لنرمز الى القوة الاجمالية الناجمة عن الحمل الخارجى والانضغاط المسبق ، بالرمز التالى :

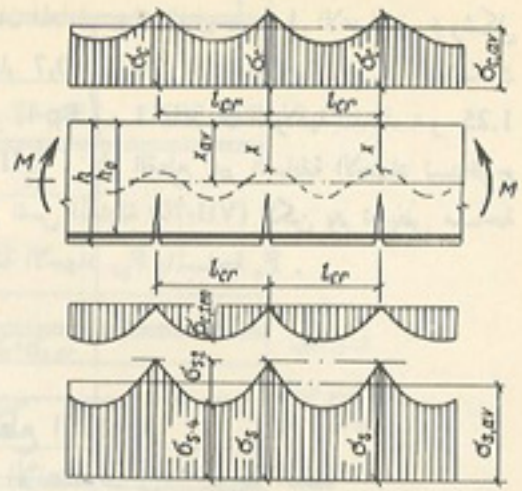
$$N_{tot} = \pm N + N_0 \qquad (VII\text{-}71)$$

حيث تؤخذ N بعلامة سالبة (–) فى حالة الشد اللامحورى .

ولتقييم طبيعة الرسم البيانى للاجهادات فى حالة الشد اللامحورى ، تحدد اولا قيمة $e_{0,tot}$ ، وهى تمثل المسافة من مركز ثقل المقطع المحوّل الى نقطة تأثير القوة الاجمالية N_{tot} .



شكل ٧–٩ . حالة الاجهاد والانفعال بعد ظهور الشقوق فى القطع الانشائية :
١ – المعرضة للانحناء ، ٢ – المعرضة للانضغاط اللامحورى ، ٣ – المعرضة للشد اللامحورى



شكل ٧ – ١٠ . طبيعة محور التعادل على طول القطعة الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء ، بعد ظهور الشقوق

فاذا كانت $e_{0.tot} \geq 0{,}8h_0$ ، يكون جزء من المقطع فى حالة انضغاط والجزء الآخر فى حالة شد . اما اذا كانت $e_{0.tot} < 0{,}8h_0$ فيكون المقطع برمته فى حالة شد .

وفى المقاطع المحتوية على الشقوق ، يخفض ارتفاع منطقة الانضغاط ، اما فى المقاطع الواقعة بين الشقوق فيزداد ذلك الارتفاع . ونتيجة لذلك ، نجد ان محور التعادل يصبح متموج الشكل (undulate) على امتداد القطعة الانشائية برمتها (شكل ٧ – ١٠) . وفى منطقة الانحناء الخالص ومنطقة العزوم القصوى فى القطع (العتبات) الوحيدة الباع ، المحملة بحمل موزع بانتظام ، نجد ان الشقوق تتوزع على امتداد القطعة بصورة منتظمة تقريبا . وفى بقية المناطق الاخرى ، تبدى قوى القص تأثيرا معينا على المسافة الفاصلة بين الشقوق . وتتوزع الانفعالات والاجهادات فى فولاذ الشد ، على الاقسام الواقعة بين الشقوق توزيعا غير منتظم ، كما هى الحالة عند الشد المحورى . ويقدر الابتعاد عن حافات الشق يقل الاجهاد فى قضبان التسليح ويزداد فى الخرسانة .

وعلى منوال القطع الانشائية المحورية الشد [لاحظ المعادلة (VII-60)] يمكن ايجاد قيمة المعامل ψ_s للقطع المعرضة للانحناء ، بافتراض ان عزوم القوى الخارجية فى المقطع عند الشق وبين الشقوق ، هى نفسها بالذات (وتساوى M) :

$$\psi_s = 1 - \omega_{ten}\chi M_{c.\,cr}/M \qquad \text{(VII-72)}$$

حيث $M_{c.cr} = R_{tenII}W_{c.cr}$ – تمثل العزم الذى يتحمله المقطع الخرسانى غير المسلح قبل ظهور الشقوق .

وفى القطع السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء ، لا تبدأ الخرسانة بمقاومة الشد ، الا بعد ان تزيد قيمة العزم الخارجى M ، على عزم قوى الانضغاط المسبق M_{pr}^k ، اى :

$$\psi_s = 1 - \omega_{ten}\chi M_{c.\,cr}/(M - M_{pr}^k) \qquad \text{(VII-73)}$$

وقد بينت التجارب العملية انه يمكن اخذ قيمة حاصل الضرب $\omega_{ten}\chi$ مساوية 0,8 للاحمال القصيرة الاجل ؛ ومساوية 0,4 للاحمال الطويلة الاجل . وقد تتراوح قيمة المعامل ψ_s بين 0,3 و 0,5 الى حد 1 تقريبا . وقد أثبت كذلك ان زحفان الخرسانة فى منطقة الشد ، يؤدى الى زيادة قيمة المعامل ψ_s . اما اذا كانت القطعة الانشائية معرضة للاحمال المكررة والدينامية ، فان قيمة ψ_s تقترب من الواحد .

ان المواصفات القياسية السوفييتية للبناء ، تنصح بتحديد قيمة ψ_s ، للقطع المعرضة للانحناء واللامحورية التحميل ، باستخدام الصيغة الوضعية التالية :

$$\psi_s = 1{,}25 - sm - (1 - m^2)/(3{,}5 - 1{,}8m)e_{s.\,tot}/h_0 \qquad \text{(VII-74)}$$

ولكن فى الحسابات التصميمية يفترض ان لا تكون هذه القيمة اكبر من الواحد . والرمز s يمثل هنا المعامل الذى يأخذ فى الاعتبار الفترة الزمنية للتحميل ونوع فولاذ التسليح ، ويفترض ان تبلغ قيمته 1,1 للقضبان المحززة و 1 للقضبان الملساء المدورة والاسلاك عند التحميل القصير الاجل و 0,8 للتحميل الطويل الاجل بغض النظر عن نوع الفولاذ ؛ و $e_{s.tot}$ تمثل المسافة من مركز ثقل فولاذ الشد الى نقطة تأثير القوة الاجمالية N_{tot} :

$$m = R_{tenII}W_{cr}/(M_{ext}^k - M_{pr}^k) \leqslant 1 \qquad \text{(VII-75)}$$

وقيمة W_{cr} تبقى كما هى فى الصيغة (VII-37) .

اما بالنسبة للقطع الانشائية غير السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء ، فيؤخذ الحد الاخير فى الطرف الايمن للمعادلة (VII-74) مساويا للصفر . وهكذا سنحصل على

$$\psi_s = 1{,}25 - sR_{tenII}W_{cr}/M \qquad \text{(VII-76)}$$

ولكن يجب ان لا تزيد هذه القيمة على الواحد .

٢ – المعامل ψ_c

فى المرحلة II من حالة الاجهاد والانفعال ، تكون الانفعالات الطرفية فى خرسانة منطقة الانضغاط موزعة بانتظام أيضا على طول القطعة حيث تبلغ اقصاها عند الشق ، وتتناقص كلما ابتعدت عن حافات الشق . ان حقيقة كون الانفعالات الطرفية فى خرسانة منطقة الانضغاط تكون منتظمة التوزيع على طول القطعة ، تتضح من المعامل ψ_c الذى يمثل نسبة معدل الانفعال $\varepsilon_{c.\,av}$ الى الانفعال عند الشق ε_c

$$\psi_c = \varepsilon_{c.\,av}/\varepsilon_c = \sigma_{c.\,av}/\sigma_c \leqslant 1 \qquad \text{(VII-77)}$$

وقد بيّنت التجارب ان قيمة ψ_c يمكن ان تتراوح بين 0,75 والواحد . وتنصح المواصفات القياسية الخاصة بذلك ، على ان قيمة ψ_c يجب ان تؤخذ مساوية للمقدار 0,9 تقريبا لكافة الحالات التى تؤثر فيها الاحمال الطويلة الاجل والاحمال القصيرة الاجل .

٣ – الاجهادات فى الخرسانة والفولاذ فى المقاطع الحاوية للشقوق

لنبحث الآن قطعة انشائية لها مقطع على شكل I فى حالة انحناء بعد ظهور الشقوق (شكل ٧ – ١١) . ان خرسانة الشفة المعرضة للشد عند الشق ، لا تتعرض لاى حمل ، وسوف نبدأ بتحليل حالة الاجهاد والانفعال عند عدم وجود الاجهاد المسبق فى القطعة . وسوف نعتمد فى تحليلنا على الاسس التالية :

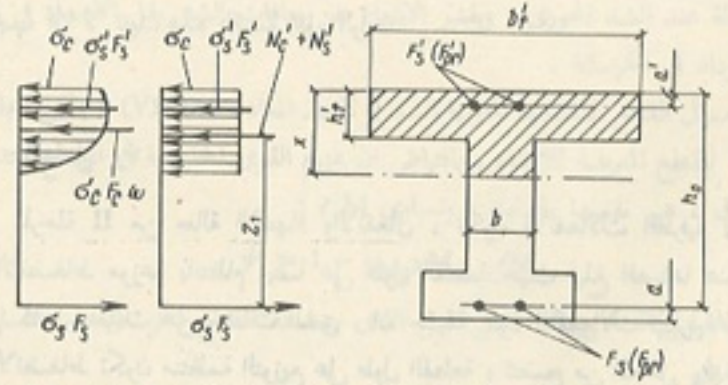
١ – فى منطقة الانحناء الخالص ، تكون المقاطع الواقعة بين الشقوق والمعرضة الى قوى متماثلة من اليمين واليسار ، تبقى مستوية على حالها بعد الانحناء أيضا ؛

٢ – يعبّر عن العلاقة بين ارتفاع منطقة الانضغاط فى المقطع المحتوى على الشقوق x ومعدل ارتفاع منطقة الانضغاط ، بواسطة الصيغة الوضعية التالية :

$$\varphi = x/x_{av} = 1 - 0{,}7/(100\mu + 1) \qquad \text{(VII-78)}$$

٣ – لا تؤخذ منطقة الخرسانة المنضغطة الواقعة فوق الشق فى الاعتبار عند الحسابات التصميمية ، ويكون تأثير هذه الخرسانة احيانا ملموسا ، ولكن المعطيات الضرورية لاخذ هذا العامل فى الاعتبار عند التصميم ، غير متوفرة بعد .

والآن سوف نعبر عن الاجهاد فى الخرسانة والفولاذ فى منطقة الانضغاط بالقرب من الشق ، بواسطة الاجهاد فى فولاذ الشد σ_s ، ونستخرج ارتفاع منطقة الانضغاط .



شكل ٧ – ١١ . الرسم التخطيطى لتحديد الاجهادات فى خرسانة وفولاذ القطعة ذات المقطع العرضى على شكل T الذى تقع شفته فى منطقة الانضغاط

ان قيمة الانفعال فى الخرسانة عند حافة المقطع هى :

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c.\,av}/\psi_c = x_{av}\varepsilon_{s.\,av}/(h_0 - x_{av})\psi_c = x\psi_s\varepsilon_s/(\varphi h_0 - x)\psi_c \qquad \text{(VII-79)}$$

والاجهاد فى الخرسانة عند حافة المقطع ، هو :

$$\sigma_c = E_c'\varepsilon_c = x\nu\psi_s\sigma_s/(\varphi h_0 - x)n\psi_c \qquad \text{(VII-80)}$$

والاجهاد فى الفولاذ المنضغط على مسافة a' من حافة المقطع ، هو :

$$\sigma_s' = E_s\varepsilon_c(x_{av} - a')/x_{av} = (x - \varphi a')\psi_s\sigma_s/(\varphi h_0 - x)\psi_c \qquad \text{(VII-81)}$$

ويمكن التعبير عن التوازن بين القوى الداخلية عند الشق ، بواسطة المعادلة التالية :

$$\sigma_s F_s - \sigma_c F_c\omega - \sigma_s' F_s' = 0 \qquad \text{(VII-82)}$$

حيث

$$F_c = bx + (b_f' - b)h_f' \qquad \text{(VII-83)}$$

حيث ω – معامل يأخذ فى الاعتبار شكل الرسم البيانى للاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط ؛ b_f' – عرض الشفة المنضغطة للمقطع (المشروحة فى الفصل الثالث) .

وبتعويض قيمتى σ_c و σ_s' المستخرجتين من المعادلتين (VII-80) و (VII-81) فى المعادلة (VII-82) نحصل على ما يلى :

$$\sigma_s F_s - x\omega\nu\psi_s\sigma_s F_c/(\varphi h_0 - x)n\psi_c - (x - \varphi a')\psi_s\sigma_s F_s'/(\varphi h_0 - x)\psi_c = 0 \qquad \text{(VII-84)}$$

وبعد الضرب فى المقدار $(\varphi h_0 - x)/\sigma_s b h_0$ وتعويض F_c واجراء العمليات التحويلية ، تتحول المعادلة (VII-84) الى معادلة من الدرجة الثانية ، لاستخراج قيمة ارتفاع منطقة الانضغاط ، كما يلى :

$$x^2 + (\alpha + \gamma')h_0 x - (1 + \mu' a'/\mu h_0)\alpha\varphi h_0^2 = 0 \qquad \text{(VII-85)}$$

حيث

$$\alpha = \mu n\psi_c/\omega\nu\psi_s \qquad \text{(VII-86)}$$

$$\gamma' = [(b_f' - b)h_f' + nF_s'/\nu]/bh_0 \qquad \text{(VII-87)}$$

وبتقسيم المعادلة (VII-85) على h_0^2 واهمال المقدار $\mu' a'/\mu h_0$ باعتباره ضئيلا جدا بالنسبة للواحد ، نحصل على ما يلى :

$$\xi^2 - (\alpha + \nu')\xi - \alpha\varphi = 0 \qquad \text{(VII-88)}$$

وهكذا نجد ان قيمة الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط عند الشق ، تساوى ما يلى :

$$\xi = x/h_0 = -(\alpha + \gamma')/2 + \sqrt{(\alpha + \gamma')^2/4 + \alpha\varphi} \qquad \text{(VII-89)}$$

واذا كان ارتفاع منطقة الانضغاط فى النهاية يقل عن قيمة h_f' ، عندئذ يجب تحديده من جديد ، باعتبار المقطع مستطيل الشكل هذه المرة ، عرضه يساوى b_f' . وتجدر الاشارة الى انه عند تأثير الحمل القصير الاجل ، يكون اعتماد حاصل الضرب $\omega\nu$ فى المعادلة (VII-86) على شكل الرسم البيانى للاجهادات المتعامدة للخرسانة فى منطقة الانضغاط ، اعتمادا قليلا جدا . مثلا ، فى حالة الرسم البيانى المستطيل ، نجد ان $\omega = 1$ ، ولما كان مثل هذا الرسم البيانى ، قد نجم عن الانفعالات غير المرنة ، نجد ان $\omega\nu = 0{,}5$ ؛ اذن حاصل الضرب يساوى $\nu = 0{,}5$. وعند الشكل المثلث للرسم البيانى والشكل المستطيل للمقطع العرضى ، نجد ان $\omega = 0{,}5$ و $\nu = 1$ ؛ وللمرة الثانية نحصل على $\omega\nu = 0{,}5$. وبناء على ذلك ، يحدد ارتفاع منطقة الانضغاط ، باستخدام الرسم البيانى المستطيل لتوزيع الاجهادات (لاحظ الشكل ٧ – ١١) .

ان زحفان الخرسانة فى منطقة الانضغاط ، الذى ينجم عن تأثير الحمل الطويل الأجل ، يؤدى الى انحراف محور التعادل ، وزيادة ارتفاع منطقة الانضغاط .

وتنصح المواصفات القياسية الخاصة بذلك ، بأن يؤخذ نفس الارتفاع الواحد تقريبا لمنطقة الانضغاط فى المقطع المحتوى على الشق ، عند تأثير كل من الحمل القصير الاجل والحمل الطويل الاجل . وبالنسبة للقطع الانشائية (السابقة الاجهاد وغير السابقة الاجهاد) المعرضة للانحناء والانضغاط والشد اللامحوريين ، يحدد الارتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط ، من الصيغة الوضعية التالية :

$$\xi = 1/\{1{,}8 + [1 + 5(L + T)]/10\mu n\} \pm$$
$$\pm (1{,}5 + \gamma')/(11{,}5e_{s,\,tot}/h_0 \pm 5) \qquad \text{(VII-90)}$$

ولكن على ان لا تزيد قيمة ذلك على الواحد . وبالنسبة للحد الثانى فى الطرف الايمن من المعادلة (VII-90) ، تستخدم العلامات العلوية عندما تكون القوة N_{tot} ضاغطة ، وتستخدم العلامات السفلية عندما تكون القوة N_{tot} قوة شد .

وفى المعادلة (VII-90) تحدد قيمة γ' من المعادلة (VII-87) ؛ وللقطع السابقة الاجهاد تعوض قيمة F_s' بقيمة F_{pr}' ، وتؤخذ ν بالنسبة للاحمال القصيرة الاجل (استنادا الى المواصفات القياسية الخاصة ، نجد ان $\nu = 0{,}45$) .

$$T = \nu'(1 - h_f'/2n) \qquad \text{(VII-91)}$$

حيث يعوض عن h_f' بقيمة $2a'$ فى المقاطع المستطيلة ؛

$$L = M_{eq}/bh_0^2R_{tenII} \qquad \text{(VII-92)}$$

حيث M_{eq} – العزم المكافىء (equivalent moment) وهو العزم المأخوذ حول مركز ثقل قضبان الشد ، الناجم عن القوى الخارجية وقوة الانضغاط المسبق N_0 ؛

وقيمة هذا العزم فى القطع المعرضة للانحناء تـ تخرج من المعادلة التالية :

$$M_{eq} = M + N_0e_{s.\,pr} \qquad \text{(VII-93)}$$

وللقطع المعرضة للانضغاط والشد اللامحوريين :

$$M_{eq} = Ne + N_0e_{s.\,pr} \qquad \text{(VII-94)}$$

حيث $e_{s.pr}$ – المسافة بين نقطة تأثير قوة الانضغاط المسبق N_0 ومركز ثقل قضبان الشد الفولاذية ؛ e – المسافة بين نقطة تأثير القوة الناجمة عن الاحمال الخارجية N ، ومركز ثقل قضبان الشد .

ان الصيغ المذكورة أعلاه ، تعطى قيمة تقريبية لارتفاع منطقة الانضغاط فى المقطع المحتوى على الشق ، وفى معظم الحالات ، نجد ان ذلك لا يؤثر تأثيرا ملموسا على حساب عرض فتحة الشقوق ، الانحناءات والارتخاءات وغيرها .

وبالنسبة للمقطع T ، ذى الرسم البيانى المستطيل لتوزيع الاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط ، نجد ان ذراع الازدواج الداخلى للقوى z_1 ، يساوى المسافة الواصلة بين القوة فى قضبان الشد ومحصلة القوى فى كل من الخرسانة والقضبان الفولاذية لمنطقة الانضغاط (راجع الشكل ٧ – ١١) . ويمكن تحديده بواسطة النسبة بين العزم الاستاتى للمقطع المحول لمنطقة الانضغاط S_{tr} المأخوذ حول مركز ثقل فولاذ الشد ، وبين مساحة المقطع المحوّل :

$$z_1 = S_{tr}/F_{tr} = [S_c + nF_{tr}'(h_0 - a')/\nu]/(\gamma' + \xi)bh_0$$

وبعد اجراء التحويلات الرياضية المناسبة ، نحصل على ما يلى :

$$z_1 = h_0[1 - (h_f'\gamma'/h_0 + \xi^2)/2(\gamma' + \xi)] \qquad \text{(VII-95)}$$

ان قيمة الاجهاد فى خرسانة منطقة الانضغاط فى المقطع المحتوى على الشق ، تستخرج من معادلة عزوم القوى الخارجية وقوة الانضغاط المسبق N_0 مع عزم القوى الداخلية ، حول المحور المار فى مركز ثقل مساحة قضبان الشد الفولاذية :

$$M_{eq} = \sigma_c(\gamma' + \xi)bh_0z_1 \qquad \text{(VII-96)}$$

ومنها ينتج ان

$$\sigma_c = M_{eq}/(\gamma' + \xi)bh_0z_1 = M_{eq}/W_{com} \qquad \text{(VII-97)}$$

ان البسط الموجود فى المعادلة (VII-97) يمثل عزم المقاومة المرن اللدن فى منطقة الانضغاط بعد ظهور الشقوق ، ويستخرج من المعادلة التالية :

$$W_{com} = (\gamma' + \xi)bh_0z_1 \qquad \text{(VII-98)}$$

وبعد ان تصبح قيمة عزم القوى الخارجية اكبر من قيمة عزم قوة الانضغاط المسبق ، تستخرج قيمة الزيادة فى الجهاد فولاذ الشد ، من المعادلة الخاصة بالعزوم فى منطقة الشق . والعزم المكافىء حول المحور المار فى نقطة تأثير محصلة القوى فى الخرسانة والقضبان الفولاذية فى منطقة الانضغاط ، يساوى عزم القوى الداخلية :

$$M_{eq} - N_{tot}z_1 = \sigma_s F_{pr} z_1 \qquad \text{(VII-99)}$$

ومنها ينتج ان :

$$\sigma_s = (M_{eq} - N_{tot}z_1)/F_{pr}z_1 \qquad \text{(VII-100)}$$

والبسط فى المعادلة (VII-100) يمثل عزم المقاومة المرن اللدن لمنطقة الشد بعد ظهور الشقوق ، وهذا العزم يساوى :

$$W_s = F_{pr}z_1 \quad \text{أو} \quad W_s = F_s z_1 \qquad \text{(VII-101)}$$

وبعد تعويض قيمة M_{eq} من المعادلتين (VII-93) و (VII-94) وتعويض قيمة N_{tot} من المعادلة (VII-71) ، يمكننا ان نكتب المعادلة (VII-100) على الشكل التالى :

للقطع الانشائية المعرضة للانحناء

$$\sigma_s = [M - N_0(z_1 - e_{s,pr})]/W_s \qquad \text{(VII-102)}$$

للقطع المعرضة للانضغاط اللامحورى

$$\sigma_s = [N(e - z_1) - N_0(z_1 - e_{s,pr})]/W_s \qquad \text{(VII-103)}$$

للقطع المعرضة للشد اللامحورى

$$\sigma_s = [N(e + z_1) - N_0(z_1 - e_{s,pr})]/W_s \qquad \text{(VII-104)}$$

وبالنسبة للقطع المعرضة للشد اللامحورى ، التى فيها

$$e_{s,tot} < 0{,}8h_0$$

تستخرج قيمة σ_s من المعادلة (VII-104) حيث تعتبر z_1 مساوية z_s ، وهى المسافة بين مركزى ثقل قضبان الشد وقضبان الانضغاط .

وبالنسبة للقطع غير السابقة الاجهاد :

$$\sigma_c = M/W_{com} \qquad \text{(VII-105)}$$

$$\sigma_s = M/W_s \qquad \text{(VII-106)}$$

وان قيمة σ_s الموجودة اعلاه ، تعوض فى الصيغ الحسابية الخاصة بعرض فتحات الشقوق .

٤ – المسافة الفاصلة بين الشقوق

بعد ان تكون قيمة عزم القوى الخارجية M^k_{ext} قد فاقت قيمة عزم قوة الانضغاط المسبق M_{pr} ، يمكن فى هذه الحالة تحديد زيادة الاجهادات فى قضبان الشد عند المقطع ذى الشق $\sigma_{s,cr}$ (بعد ظهور الشق مباشرة) وذلك بمساواة العزوم المؤثرة فى المقطع فى المرحلتين I و II : $M^k_{ext} = M_{cr}$. ثم استنادا الى المعادلة (VII-29) يمكننا الحصول على ما يلى :

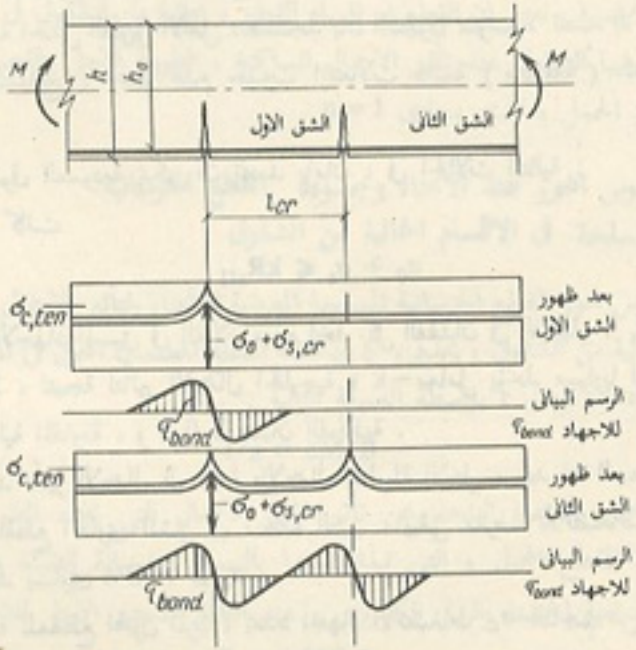
$$\sigma_{s,cr} = (M_{cr} - M^k_{pr})/W_s = R_{tenII}W_{cr}/W_s \qquad \text{(VII-107)}$$

ويمكن تحديد المسافة بين الشقوق l_{cr} فى منطقة الانحناء الخالص ، كما فى حالة الشد المحورى ، بمساواة الفرق فى القوة بين فولاذ الشد عند الشق وما بين الشقوق ، مع قوة التلاصق بين الفولاذ والخرسانة (شكل ٧ – ١٢) . عندئذ استنادا الى الصيغة (VII-68) نحصل على ما يلى :

$$(\sigma_0 + \sigma_{s,cr})F_{pr} - (\sigma_0 + 2nR_{tenII})F_{pr} = \tau_{bond}sl_{cr}\omega$$

وبالتعويض عن قيمة $\sigma_{s,cr}$ من المعادلة (VII-107) نحصل على :

$$(W_{cr}/W_s - 2n)R_{tenII}F_{pr} = \tau_{bond}sl_{cr}\omega$$



شكل ٧ – ١٢ . حالة الاجهاد فى القطعة المعرضة للانحناء عند ظهور الشقوق

ومن هنا نجد ان المسافة بين الشقوق ستساوى ما يلى :

$$l_{cr} = (W_{cr}/nW_s - 2)nuR_{tenII}/\omega\tau_{bond} \qquad \text{(VII-108)}$$

او

$$l_{cr} = k_1 nu\eta_{sh} \qquad \text{(VII-109)}$$

$$k_1 = W_{cr}/nW_s - 2 \qquad \text{(VII-110)}$$

حيث لكل من u و η_{sh} نفس القيمة الموجودة فى الصيغة (VII-70) للشد المحورى .

وتستخرج المسافة بين الشقوق فى القطع الانشائية غير السابقة الاجهاد ، بواسطة الصيغة (VII-109) أيضا .

٥ – انسداد الشقوق

فى القطع الأنشائية السابقة الاجهاد ، المصممة حسب شروط النوع الثانى من مقاومة التشقق ، يجب ان تنسد الشقوق المتعامدة والمائلة بصورة مضمونة بعد تقليل الحمل المؤثر الى قيمة معينة . وهذا الامر مهم جدا ، لان انفتاح الشقوق لمدة زمنية طويلة يعتبر فى غاية الخطورة بالنسبة لفولاذ التسليح ، لانه قد يؤثر على مقاومة الفولاذ للتأكل . واذا ظهرت الشقوق عند التحميل التام – التحميل القصير الاجل والطويل الاجل – فانه عند تخفيض الحمل الى قيمة الحمل الطويل الاجل ، فسنجد بان الشقوق سوف لا تنسد الا عند السلوك المرن لفولاذ التسليح ، وعند عدم حدوث انفعالات دائمة (متخلفة) – (permanent set) .

ان الشقوق العمودية يمكن ان تنسد بأمان ، فى الحالات التالية :

١ – اذا كانت

$$\sigma_0 + \sigma_s \leqslant kR_{sII}$$

حيث σ_0 – الاجهاد المسبق فى الفولاذ ، مع اخذ كل الفقدان فى الاعتبار ؛ σ_s – الزيادة فى اجهاد الفولاذ ، نتيجة لتأثير الاحمال الخارجية ؛ k – معامل يؤخذ مساويا للمقدار 0,65 للاسلاك العالية المقاومة ، و 0,8 للقضبان الفولاذية .

٢ – عند تأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل ، نجد ان السطح فى منطقة الشد عند المقطع الحاوى للشق فى منطقة الشد ، يبقى معرضا للانضغاط أيضا ، عند اجهاد متعامد يساوى $\sigma_c \geqslant 1MPa$.

وبالنسبة للمقطع المحوّل المرن ، يحدد اجهاد الانضغاط σ_c الناجم عن تأثير الاحمال الخارجية وقوة الانضغاط (الاجهاد) المسبق N_0 .

ولاجل الانسداد المأمون للشقوق المائلة على المحور الطولى للقطعة الانشائية ، يجب ان يكون كلا الاجهادين $\sigma_{prin.\,ten} = \sigma_{prin.\,com}$ المؤثرين فى مستوى مركز ثقل المقطع المحول ، اجهادى انضغاط ، بقيمة قدرها $\sigma_c \geqslant 1MPa$. ولتأمين هذا الشرط ، قد يكون من الضرورى استحداث اجهاد ثنائى المحور (باستخدام اطواق فولاذية سابقة الاجهاد او قضبان محنية) .

البند السادس
تقوس المحور عند الانحناء وجسوءة القطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء

١ – المبادىء العامة للحساب

ان حساب انحرافات (deflections) القطع الخرسانية المسلحة (اى حساب الارتخاءات وزوايا الدوران) تشمل تحديد تقوس المحور عند الانحناء او تحديد جسوءة القطع المعرضة للانحناء .

واستنادا الى نوع الاحمال المؤثرة وحالة الاجهاد ، قد تحتوى او لا تحتوى منطقة الشد فى القطعة الخرسانية المسلحة ، على اقسام خالية من الشقوق (او على اقسام تكون فيها الشقوق مسدودة) . وسوف نعتبر ان القطع او اقسام القطع ، خالية من الشقوق فى منطقة الشد ، اذا لم تظهر فيها الشقوق عند تأثير الاحمال الساكنة ، الطويلة الاجل والقصيرة ، مع وجود معامل تجاوز الحمل ، الذى يساوى $n = 1$.

٢ – تقوس المحور عند الانحناء وجسوءة القطع الخرسانية المسلحة فى الاقسام الخالية من الشقوق

ان تقوس محور القطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء ولتأثير الاحمال اللامحورية ، فى الاقسام الخالية من الشقوق ، يحدد ، كما فى حالة المقطع المصمت المحوّل فى المرحلة الاولى من حالة الاجهاد والانفعال ، بواسطة الصيغة التالية :

$$1/\rho = cM/B \qquad \text{(VII-111)}$$

حيث M – عزم الانحناء الناجم عن تأثير تلك الاحمال التى يحدد التقوس تبعا لها ؛ B – جسوءة المقطع المحول ، التى تبلغ قيمتها بالنسبة للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الانخلاط المسامية الخشنة والرمل الكوارتزى ، عند التأثير القصير الاجل للاحمال ، ما يلى

$$B = 0{,}85E_cI_{tr} \qquad \text{(VII-112)}$$

وهنا نجد ان المعامل 0,85 يأخذ فى الاعتبار انخفاض الجسوءة الناجم عن الانفعال المرن فى خرسانة منطقة الشد ؛ c – معامل يأخذ فى الاعتبار انخفاض الجسوءة (زيادة التقوس) الناجم عن زحفان خرسانة منطقة الانضغاط تحت تأثير الاحمال الطويلة الاجل ؛ ويؤخذ مساويا للمقدار 2 عندما يبلغ معدل الرطوبة النسبية اكثر من ٤٠ ٪ ؛ ومساويا للمقدار 3 ، عندما يصل معدل الرطوبة النسبية الى ٤٠ ٪ واقل .

ان تقوس المحور $1/\rho_{pr}$ الناجم عن التأثير القصير الاجل لقوة الانضغاط (الاجهاد) المسبق ، يستخرج أيضا من المعادلة (VII-111) عندما تبلغ قيمة عزم الانحناء ما يلى :

$$M = N_0 e_{0pr} \qquad \text{(VII-113)}$$

اما تقوس المحور ، الناجم عن تأثير زحفان الخرسانة الذى تسببه قوة الانضغاط المسبق ، فيؤخذ مساويا لميلان الرسم البيانى لتوزيع الاجهادات ، من الصيغة التالية :

$$1/\rho_{creep} = (\varepsilon_{creep} - \varepsilon'_{creep})/h_0 \qquad \text{(VII-114)}$$

حيث ε_{creep} و ε'_{creep} تمثلان الانفعال فى الخرسانة ، الناجم عن الزحفان ، عند مركز ثقل قضبان الشد الفولاذية ، وعند الليف المنضغط الطرف للخرسانة ؛ على التوالى :

$$\varepsilon_{creep} = \sigma_{creep}/E_s; \quad \varepsilon'_{creep} = \sigma'_{creep}/E_s \qquad \text{(VII-115)}$$

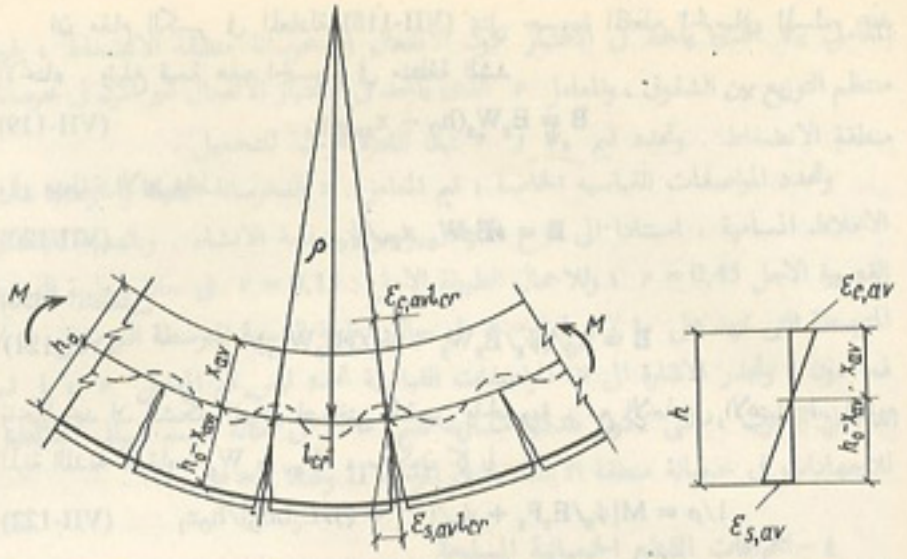
وهنا نجد ان الفقدان الاجمالى يساوى ما يلى :

$$\sigma_{creep} = \sigma_6 + \sigma_9; \quad \sigma'_{creep} = \sigma'_6 + \sigma'_9$$

واذا بقيت الشقوق العمودية على محور القطعة فى منطقة الشد ، مسدودة تحت تأثير الحمل المبحوث ، يمكن ان تزداد قيمة التقوسات المستخرجة من الصيغة (VII-111) بنسبة تبلغ ٢٠ ٪ .

٣ – تقوس المحور عند الانحناء وجسوءة القطع الخرسانية المسلحة عند الاقسام الحاوية للشقوق

فى الاقسام التى تظهر فيها الشقوق العمودية فى المرحلة II ، تحدد الحالة العامة للاجهاد والانفعال عن طريق الانفعال المتوسط فى قضبان الشد الفولاذية $\varepsilon_{s.av}$ ، الانفعال المتوسط فى خرسانة منطقة الانضغاط $\varepsilon_{c.av}$ والوضع المتوسط لمحور التعادل ، عند نصف قطر التقوس الذى هو ρ (شكل ٧ – ١٣) . ولنبحث الآن قطعة خرسانية مسلحة ، فى منطقة الانحناء الخالص . ان تقوس المحور المنحرف والانفعالات المتوسطة للقضبان الفولاذية والخرسانة ، ترتبط كلها بالعلاقة التالية :



شكل ٧ – ١٣ . الرسم التخطيطى لتحديد الحناء (تقوس) المحور الناء الحناء القطعة الانشائية

$$l_{cr}/\rho = \varepsilon_{s.av} l_{cr}/(h_0 - x_{av}) = \varepsilon_{c.av} l_{cr}/x_{av} = (\varepsilon_{s.av} + \varepsilon_{c.av}) l_{cr}/h_0$$

وبعد تقسيم الصيغة المذكورة هنا على المقدار l_{cr} ، يمكن التعبير عن تقوس المحور عند الانحناء ، بواسطة ميلان الرسم البيانى المتوسط لتوزيع الاجهادات .

$$1/\rho = \varepsilon_{s.av}/(h_0 - x_{av}) = \varepsilon_{c.av}/x_{av} = (\varepsilon_{s.av} + \varepsilon_{c.av})/h_0 \qquad \text{(VII-116)}$$

ولما كانت لدينا القيمتان التاليتان :

$$\varepsilon_{s.av} = \psi_s \sigma_s/E_s; \quad \varepsilon_{c.av} = \psi_c \sigma_c/\nu E_c$$

اذن يمكن تحديد تقوس المحور عند الانحناء ، باستخدام الصيغة التالية :

$$1/\rho = \psi_s \sigma_s/E_s(h_0 - x_{av}) =$$
$$= \psi_c \sigma_c/\nu E_c x_{av} = \psi_s \sigma_s/E_s h_0 + \psi_c \sigma_c/\nu E_c h_0 \qquad \text{(VII-117)}$$

وبتعويض قيم الاجهادات فى القضبان الفولاذية والخرسانة ، وهى

$$\sigma_s = M/W_s; \quad \sigma_c = M/W_{av}$$

فى المعادلة (VII-117) نحصل على الصيغة التالية لتقوس المحور :

$$1/\rho = M\psi_s/E_s W_s(h_0 - x_{av}) = M\psi_c/\nu E_c W_{av} x_{av} =$$
$$= M(\psi_s/E_s W_s + \psi_c/\nu E_c W_{av})/h_0 \qquad \text{(VII-118)}$$

ان مقام الكسر فى المعادلة (VII-118) يمثل جسوءة المقطع الخرسانى المسلح عند الانحناء . وتبلغ قيمة هذه الجسوءة فى منطقة الشد

$$B = E_s W_s (h_0 - x_{av})/\psi_s \qquad \text{(VII-119)}$$

وفى منطقة الانضغاط

$$B = \nu E_c W_{av} x_{av}/\psi_c \qquad \text{(VII-120)}$$

ولكلتا المنطقتين

$$B = h_0/(\psi_s/E_s W_s + \psi_c/\nu E_c W_{av}) \qquad \text{(VII-121)}$$

واخيرا نجد ان الشكل النهائى لصيغتى التقوس والجسوءة ، مع الاخذ فى الاعتبار قيم العزوم المرنة اللدنة للمقاومة W_s و W_{av} ، سيكون كما يلى

$$1/\rho = M[\psi_s/E_s F_s + \psi_c/(\gamma' + \xi)\nu E_c b h_0]/h_0 z_1 \qquad \text{(VII-122)}$$

$$B = h_0 z_1/[\psi_s/E_s F_s + \psi_c/(\gamma' + \xi)\nu E_c b h_0] \qquad \text{(VII-123)}$$

وفى الحالة العامة ، بالنسبة للقطع الانشائية السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء ، للانضغاط والشد اللامحوريين مع وجود القيمة $e_{0.av} \geqslant 0{,}8h_0$ ، يعوض عن الاحمال الخارجية وقوة الانضغاط (الاجهاد) المسبق ، بقيمة العزم المكافىء M_{eq} والقوة الطولية الاجمالية N_{tot} . واستنادا الى الصيغة (VII-97) نجد ان الاجهاد فى خرسانة منطقة الانضغاط ، يساوى ما يلى

$$\sigma_c = M_{eq}/(\gamma' + \xi) b h_0 z_1$$

وبالرجوع الى المعادلة (VII-100) ، نجد ان الاجهاد فى قضبان الشد الفولاذية سيساوى ما يلى :

$$\sigma_s = M_{eq}/F_{pr} z_1 - N_{tot}/F_{pr} \qquad \text{(VII-124)}$$

وبالتعويض عن قيمة كل من σ_c و σ_s ، تصبح الصيغة العامة لتقوس المحور عند الانحناء ، على الشكل التالى :

$$1/\rho = M_{eq}[\psi_s/E_s F_{pr} + \psi_c/(\gamma' + \xi)\nu E_c b h_0]/h_0 z_1 - \\ - N_{tot}\psi_s/h_0 E_s F_{pr} \qquad \text{(VII-125)}$$

ان تقوس المحور عند الانحناء $1/\rho$ والجسوءة B ، فى القسم الحاوى للشق ، يتغيّران بمرور الزمن ، ولذلك يحددان فى الحساب بادخال عدد من العوامل الطبيعية المختلفة ، منها : المعامل ψ_s الذى يأخذ فى الاعتبار مقاومة الخرسانة للشد فى الاقسام الواقعة بين الشقوق ؛

المعامل ψ_c الذى يأخذ فى الاعتبار كون الانفعال فى خرسانة منطقة الانضغاط ، غير منتظم التوزيع بين الشقوق ، والمعامل ν الذى يأخذ فى الاعتبار الانفعال غير المرن فى خرسانة منطقة الانضغاط . وتحدد قيم ψ_s و ν تبعا للفترة الزمنية للتحميل .

وتحدد المواصفات القياسيه الخاصة ، قيم المعامل ν للخرسانة الثقيلة والخرسانة ذات الاخلاط المسامية ، استنادا الى نوع الاحمال واحوال خدمة الانشاء . وبالنسبة للاحمال القصيرة الاجل $\nu = 0{,}45$ ؛ وللاحمال الطويلة الاجل : $\nu = 0{,}15$ فى حالة الرطوبة النسبية المتوسطة التى تزيد على ٤٠ ٪ و $\nu = 0{,}1$ فى حالة الرطوبة النسبية المتوسطة التى تبلغ ٤٠ ٪ فما دون . وتجدر الاشارة الى ان المواصفات القياسية تحدد ليس قيم المعامل ν ، بل قيم حاصل الضرب ، التى تكون عدديا مساوية لقيم ν ، فى حالة الرسم البيانى المستطيل للاجهادات فى خرسانة منطقة الانضغاط فى المرحلة II وعند $\omega = 1$.

٤ – انحرافات القطع الخرسانية المسلحة

ان ارتخاء القطع الخرسانية المسلحة ، الخالية من الشقوق فى مناطق الشد ، يحدد بواسطة جسوءة المقطع المحول B ، مع الاخذ فى الاعتبار المعامل c فى حالة تأثير الاحمال الطويلة الاجل . والارتخاء الاجمالى يساوى ما يلى :

$$f = f_{sh} + f_l - f_h - f_{h.cr} \qquad \text{(VII-126)}$$

حيث f_{sh} – الارتخاء الناجم عن تأثير الاحمال القصيرة الاجل ؛ f_l – الارتخاء الناجم عن تأثير الاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل المتحركة ؛ f_h – التقوس الناجم عن قوة الانضغاط المسبق القصيرة الاجل N_0 ، مع اخذ الفقدان فى الاعتبار ؛ $f_{h.cr}$ – التقوس الناجم عن زحفان الخرسانة نتيجة للانضغاط المسبق .

وفى القطع السابقة الاجهاد ذات الارتفاع الثابت ، نجد ان قيمة التقوس الناجم عن الانضغاط اللامحورى ، يساوى

$$f_h = N_0 e_{0pr} l^2/8B \qquad \text{(VII-127)}$$

والتقوس الناجم عن زحفان الخرسانة نتيجة للانضغاط المسبق

$$f_{h.cr} = l^2/8\rho_{h.cr} \qquad \text{(VII-128)}$$

ان ارتخاء القطع الخرسانية المسلحة ، الحاوية للشقوق فى مناطق الشد ، يحدد استنادا الى تقوس المحور عند الانحناء ، كما يلى :

$$f = \int_0^l \bar{M} \frac{1}{\rho}(x)dx \qquad \text{(VII-129)}$$

حيث $\bar{M}$ – عزم الانحناء عند المقطع رقم x ، الناجم عن تأثير وحدة القوة فى اتجاه الانحراف المبحوث ؛ $\frac{1}{\rho}(x)$ – قيمة تؤخذ من المعادلة (VII-125) .

وعند تحديد الانحرافات فى القطع الانشائية ذات المقاطع العرضية الثابتة ، يكون من الافضل تحديد التقوس للمقطع الاكثر انضغاطا ضمن كل قسم من الاقسام التى لا تتغير فيه علامة عزم الانحناء ، وان نفترض انه يتغير بصورة تتناسب طرديا مع عزم الانحناء فى الاماكن الاخرى . وهذا يعادل استخراج قيمة B لاكثر المقاطع انضغاطا ، واعتبار هذه القيمة ثابتة فى الاماكن الاخرى .

وللقطع الخرسانية السابقة الاجهاد ، المصممة لتحقيق شروط مقاومة التشقق من النوعين الثانى والثالث ، تؤدى هذه الافتراضات فى عدد من الحالات الى حدوث زيادة فى قيمة الارتخاء بالمقارنة مع القيمة الفعلية ، وذلك لان أطوال الاقسام الحاوية للشقوق فى منطقة الشد ، قد تكون محدودة . وفى مثل هذه الحالات ، نجد ان قيمة الارتخاء تساوى ما يلى :

$$f = \sum \int \bar{M} \frac{1}{\rho}(x)dx \qquad \text{(VII-130)}$$

وهنا يتم تقسيم الرسم البيانى للتقوس $\frac{1}{\rho}(x)$ الى عدة اقسام على طول الباع على هيئة دالة جزئية خطية (piecewise-linear) ويجرى حساب التكامل الخاص بالانحراف ، بضرب الرسوم البيانية فى بعضها البعض ، على طريقة الاستاذ فيرشاجين (Vereshchagin's rule) . وتستخرج قيمة التقوس $\frac{1}{\rho}(x)$ فى كل قسم خال من الشقوق او حاو للشقوق ، باستخدام الصيغتين (VII-111) و (VII-125) .

ان زاوية دوران القطع الخرسانية المسلحة ، تستخرج كذلك بالتكامل من الصيغتين (VII-129) و (VII-130) ، ولكن التكامل يجرى بالنسبة للعزم $\bar{M}$ فى المقطع رقم x تبعا لوحدة العزم (unit moment) .

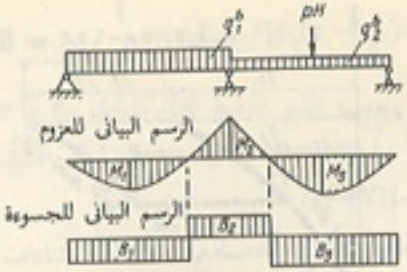
وفى أبسط الحالات ، تكون قيمة الارتخاء فى القطع غير السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء (مثل البلاطات ، الالواح الاطارية ، العتبات وغيرها) الناجم عن الاحمال الموزعة بانتظام ، مساوية لما يلى :

$$f = 5ql^4/384B$$

ان ارتخاء العتبات الوحيدة الباع والكوابل (cantilevers) الناجم عن مختلف الاحمال ، يحدد بواسطة التقوس او الجسوءة عند المقطع الذى يؤثر فيه عزم الانحناء الاقصى ، بواسطة الصيغة العامة التالية :

$$f = sl^2/\rho \quad \text{أو} \quad f = sl^2M/B \qquad \text{(VII-131)}$$

حيث s – تعتمد على نوع ووضعية الاحمال المؤثرة . وللعتبات الحرة الاستناد : ذات الاحمال الموزعة بانتظام s = 5/48 ؛ للعتبات ذات الحمل المركز المؤثر فى منتصف الباع s = 1/12 ؛



شكل ٧ – ١٤ . الرسم البيانى للانحناء (١) والرسم البيانى للجسوءة المصممة للعتبة ذات الباعين (٢)

للعتبات ذات العزمين المتساويين المؤثرين فى طرفى العتبة s = 1/8 . وبالنسبة للكابول او العتبة الكابولية : s = 1/4 عند الحمل الموزع بانتظام ؛ s = 1/3 عند الحمل المركز ، المؤثر فى ذراع الكابول (الطرف الطليق) و s = 1/2 عند وجود العزم المؤثر فى ذراع الكابول .

وبالنسبة للعتبات المتعددة الابواع ، التى تقع مقاطعها العرضية فى كلتا منطقتى الانضغاط والشد ، تعتبر جسوءة كل قسم من الاقسام متساوية ، وقيمتها تساوى نفس القيمة التى هى عليها فى المقطع التى تكون فيه قيم العزوم اقصى ما يمكن (شكل ٧ – ١٤) .

ان ارتخاء القطع القصيرة المعرضة للانحناء ، ذات النسبة l/h<10 (مثل عتبات سكة المرفاع ، العتبات المطرقية – hammer beans وغيرها) يجب ان يحدد استنادا الى قوى القص . وفى هذه الحالة ، سيكون الارتخاء الاجمالى ، مساويا لمجموع الارتخاءات الناجمة عن انفعال الانحناء وانفعال القص f_Q . وتستخرج قيمة الارتخاء من المعادلة

$$f_Q = \int_0^l 1{,}5\bar{Q}Qc\beta(x)dx/GF$$

حيث $\bar{Q}$ – قوة القص فى المقطع رقم x ، الناجمة عن وحدة القوة المؤثرة فى اتجاه الانحراف المبحوث ؛ c – معامل الفترة الزمنية للتحميل ؛ $\beta(x)$ – معامل يأخذ فى الاعتبار تأثير الشقوق على انفعال القص ، ويؤخذ مساويا للواحد فى الاقسام الخالية من الشقوق العمودية والمائلة ، ومساويا 4,8 فى الاقسام الحاوية للشقوق المائلة فقط ؛ وتكون القيمة المذكورة كما يلى :

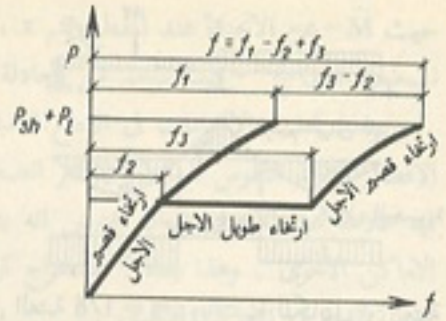
$$\beta(x) = 3B/B_{crack} \quad \text{او} \quad \beta(x) = \frac{3B}{M}\frac{1}{\rho}(x)$$

بالنسبة للاقسام الحاوية للشقوق العمودية فقط او الحاوية للشقوق العمودية والمائلة على السواء ؛ B_{crack} – جسوءة المقطع العرضى الواقع فوق الشق .

ان الارتخاء الاجمالى عند أخذ الفترة الزمنية للتحميل فى الاعتبار ، يساوى ما يلى :

$$f = f_1 - f_2 + f_3 - f_{h.cr} \qquad \text{(VII-132)}$$

حيث f_1 – الارتخاء الناجم عن كافة الاحمال المؤثرة لفترة زمنية قصيرة ؛ f_2 – الارتخاء الناجم عن التأثير القصير الاجل للاحمال الساكنة والاحمال الطويلة الاجل ؛ f_3 – الارتخاء الناجم عن



شكل ٧ – ١٥ . ارتخاء القطعة الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء ، عند تأثير الحمل القصير الاجل والحمل الطويل الاجل

الاحمال الساكنة والاحمال المتحركة الطولية الاجل ؛ $f_{h.cr}$ – التقوس الناجم عن قوة الانضغاط المسبق والزحفان الناجم فى الخرسانة نتيجة للانضغاط .

ان قيم f_1 و f_2 تحسب مع اخذ المعاملين ψ_s و ν عند تأثير الاحمال القصيرة الاجل ؛ وقيمة f_3 مع اخذ المعاملين ψ_s و ν عند تأثير الاحمال الطويلة الاجل .

والمعنى الفيزيائى للصيغة (VII-132) موضح بواسطة الرسم البيانى للعلاقة $p - f$ ، المبيّن فى الشكل (٧ – ١٥) .

ان الارتخاء الاجمالى للقطع السابقة الاجهاد ، مع الاخذ فى الاعتبار المدة الزمنية لتأثير الاحمال ، يحدد استنادا الى التقوس الاجمالى ، باستخدام الصيغة التالية :

$$1/\rho = 1/\rho_1 - 1/\rho_2 + 1/\rho_3 - 1/\rho_{h.cr} \qquad \text{(VII-133)}$$

٥ – الجسوءة المتوسطة للقطع الخرسانية المسلحة مع اخذ الشقوق فى مناطق الشد فى الاعتبار

عند حساب وتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة غير المحددة استاتيا (مثل الهياكل الاطارية المتعددة الطوابق) نحتاج الى معرفة جسوءة القطع الانشائية المنفردة ، أو نسب تلك الجسوءات . وللقطع اللامحورية الانضغاط التى تقع مقاطعها فى كلتا منطقتى الانضغاط والشد ، والمحتوية على اقسام خالية من الشقوق واقسام حاوية للشقوق فى منطقة الشد ، يجب فى هذه الحالة تحديد الجسوءة المتوسطة .

ولنبحث الآن احد القوائم الانضغاطية (strut) اللامحورية الانضغاط غير السابقة الاجهاد ، وهو مستطيل المقطع العرضى ويحتوى على فولاذ تسليح مساحته $F_s = F_s'$ (شكل ٧ – ١٦) . وهنا تؤخذ قوة الانضغاط الطولية مساوية للمقدار $N = M/l_0$ ؛ والعزم المكافىء $M_{eq} = Me/e_0$. ومن المعادلة (VII-125) نستخرج جسوءة القائم الانضغاطى فى الاقسام الحاوية للشقوق ، كما يلى :

$$B = M/\frac{1}{\rho} = e_0 h_0 z_1/[\psi_s(e - z_1)/E_s F_s + \psi_c/(\gamma' + \xi)bh_0\nu E_c] \qquad \text{(VII-134)}$$

وهذه الجسوءة تتراوح فى قيمتها على طول القائم بسبب القيم المتغيرة للاتمركزيات e_0 و e وتأثير بعض العوامل الاخرى المتغيرة القيم ايضا . وفى الاقسام الخالية من الشقوق تكون الجسوءة ثابتة القيمة وتستخرج من الصيغة (VII-112) .

ان الجسوءة المتغيرة على اية حال ، تعتبر غير مريحة بالنسبة للتصاميم العملية للانشاءات (مثلا عند تصميم الأطر غير المحددة استاتيا) . وهكذا ، تستخدم فى التطبيقات العملية للتصاميم ، القيمة المتوسطة للجسوءة التى تكون ثابتة على امتداد القطعة الانشائية والتى تحدد من شرط مساواة او معادلة الانحرافات عامة .

وفى القائم اللامحورى الانضغاط ، الذى يحتوى على اقسام خالية من الشقوق واقسام حاوية للشقوق على امتداد طوله ، تستخرج قيمة زاوية الدوران (الانحراف الزاوى) الناجم عن تأثير العزوم الطرفية والقوة الطولية ، من المعادلة التالية :

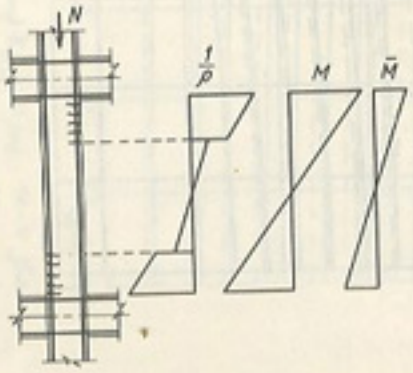
$$\Theta = \sum \int \bar{M}\frac{1}{\rho}\,x(dx)$$

وزاوية الدوران بالذات عند المقطع القريب من المسند ، الذى يتميز بجسوءة متوسطة على امتداد طوله ، تساوى ما يلى :

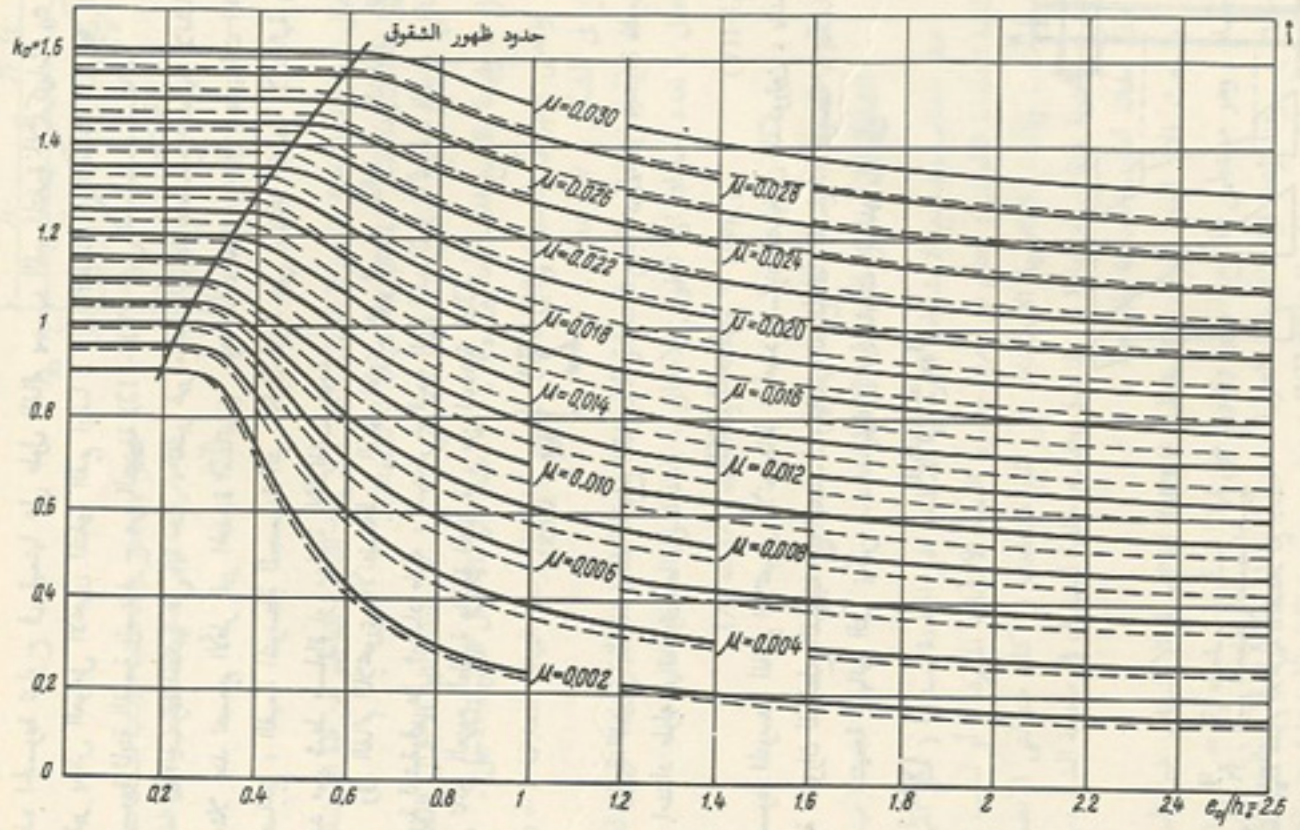
$$\Theta = Ml/6B_{av}$$

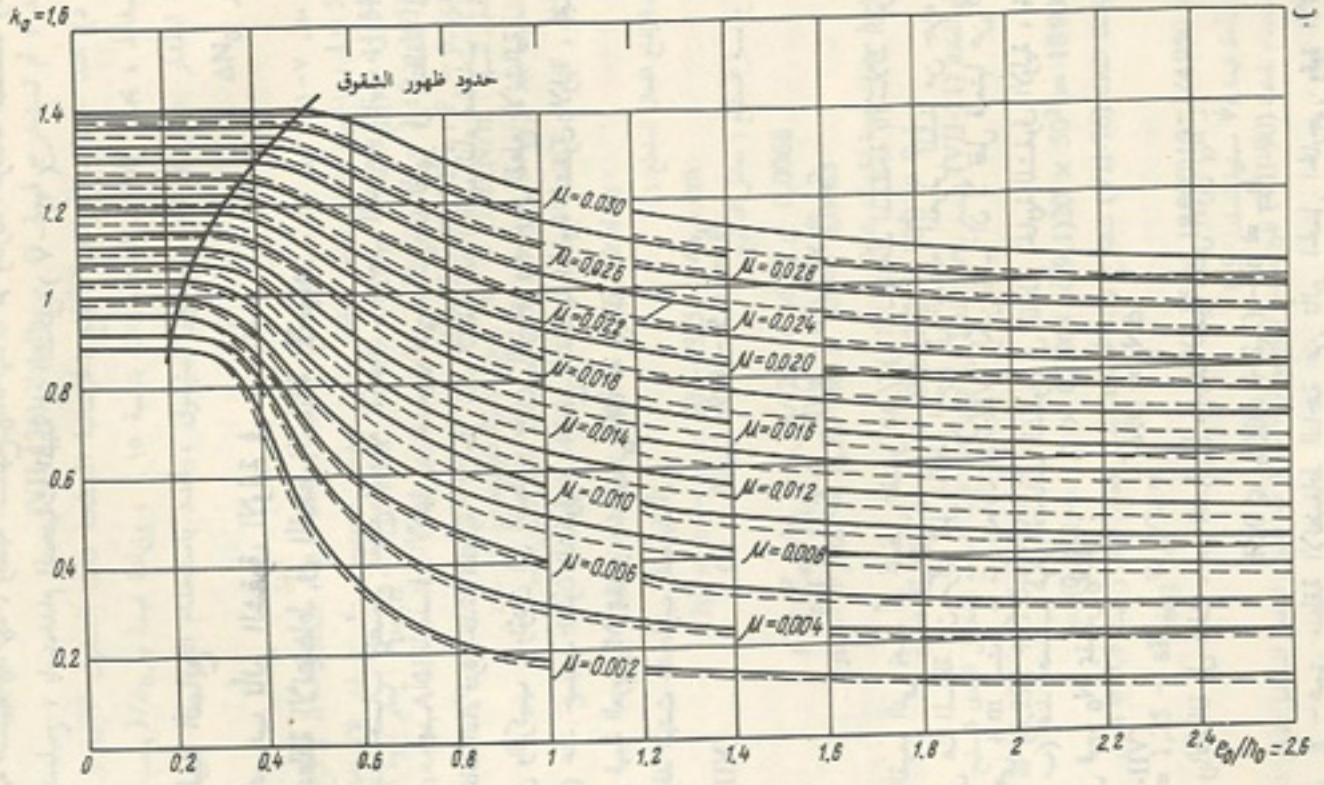
والجسوءة المتوسطة للقائم اللامحورى الانضغاط ، تحدد بمساواة الصيغتين المذكورتين ، بالنسبة لزاوية الدوران للمقطع القريب من المسند . وباهمال العمليات الحسابية المتوسطة ، يمكننا ان نكتب النتيجة النهائية التى يمكن استخدامها فى الحسابات العملية كما يلى :

$$B_{av} = k_0 E_c I_c \qquad \text{(VII-135)}$$



شكل ٧ – ١٦ . الرسم التخطيطى لتحديد الجسوءة المتوسطة B_{av} للقوائم اللامحورية الانضغاط مع الاخذ فى الاعتبار اللامركزية المتغيرة للقوة الطولية والشقوق عند الاقسام الطرفية





شكل ٧-١٧ . قيمة المعامل k_0 لتحديد الجسوءة المتوسطة للقوائم او الاضلاع القائمة المنتجة من :

أ- الخرسانة ماركة ٢٠٠ ؛ ب- الخرسانة ماركة ٤٠٠ ؛ الخطوط السميكة تمثل فولاذ التسليح من الصنف A-II ؛ الخطوط المتقطعة تمثل فولاذ التسليح من الصنف A-III

حيث I_c – عزم القصور الذاتى لمساحة الخرسانة فى القائم ؛ k_0 – معامل يتم اختياره وفقا للاتمركزية النسبية e_0/h_0 ، ونسبة التسليح $\mu = E_s/bh_0$ ومماركة الخرسانة المصممة وصنف فولاذ التسليح ، باستخدام المنحنيات المبينة فى الشكل (٧ – ١٧) .

البند السابع

حساب تأثير الشقوق الاولية فى خرسانة منطقة الانضغاط فى القطع السابقة الاجهاد

عند حساب وتصميم القطع المسبقة الاجهاد ، بموجب المجموعة الثانية من الحالات الحدية ، يجب أن نأخذ فى الاعتبار ، الشقوق التى يمكن ان تظهر فى المنطقة المعرضة للانضغاط اثناء فترة الخدمة الفعلية . ان مثل هذه الشقوق قد تتكون اثناء عمليات الانتاج ، الشحن والتركيب . وتؤدى الى اضعاف مقاومة التشقق وجسوءة القطع الانشائية .

أ) عند حساب تكوّن الشقوق فى القطع الانشائية الحاوية للشقوق الاولية ، يجب ان تخفض قيمة العزم M_{cr} بمقدار يساوى $\Delta M_{cr} = \Theta M_{cr}$.

وقد اثبتت التجارب العملية أن

$$\Theta = (1,5 - 0,9/c_{cr})(1 - m) \qquad \text{(VII-136)}$$

حيث

$$c_{cr} = yF_{pr}/(h - y)(F_{pr} + F'_{pr}) \leqslant 1,4$$

وهى القيمة التى يجب أن تخفض بمقدار ١٥ ٪ فى الانشاءات المسلحة بالاسلاك الفولاذية ؛ y تمثل هنا المسافة بين مركز ثقل المقطع المحول الى السطح المعرض للشد من جراء الحمل الخارجى ؛ m تستخرج من المعادلة (VII-75) ولكن يجب ان لا تقل قيمتها عن 0,45 .

ب) عند حساب عرض فتحات الشقوق فى القطع الحاوية للشقوق الاولية ، يجب ان تخفض قيمة N_0 بمقدار ΔN_0 :

$$\Delta N_0 = \Theta N_0 \qquad \text{(VII-137)}$$

وبالاضافة الى ذلك ، من الضرورى مراجعة عمق الشق الاولى h_{cr} :

$$h_{cr} = h - (1,2 + m)\xi h_0 \leqslant 0,5h$$

حيث ξ – عمق منطقة الانضغاط الناجمة عن تأثير الحمل الخارجى وقوة الانضغاط المسبق ، ويستخرج من الصيغة (VII-90) ؛ كما تستخرج قيمة m من المعادلة (VII-75) .

جـ) عند حساب انسداد الشقوق فى القطع الحاوية للشقوق الاولية ، فى مناطق الانضغاط ، تضرب قيمة N_0 فى عامل التخفيض $1,1(1 - \Theta)$ الذى يجب ان لا يزيد على الواحد ؛ ثم تستخرج قيمة Θ من المعادلة (VII-136) .

د) عند حساب انحرافات القطع الخرسانية المسلحة ذات الشقوق الاولية فى مناطق الانضغاط ، يجب زيادة قيمة التقوسات بنسبة ١٥ ٪ ، وزيادة قيمة $1/\rho_{h.cr}$ بنسبة ٢٥ ٪ وقيمة المقدار $1/\rho$ فى القسم الحاوى للشقوق ، تحدد باستخدام القوة N_0 التى تخفض بمقدار ΔN_0 .

مثال ٧-١ . لدينا عتبة مستطيلة المقطع ، ابعادها $b = 20cm$ ، $h = 50cm$ ، الباع المصمم $l = 5,8m$ ، الخرسانة ثقيلة معاملة بالحرارة والبخار ماركتها التصميمية ٢٠٠ ؛ قوة الانضغاط المحورية $R_{prII} = 11,5MPa$ ، $m_{cl} = 1$ ، قوة الشد المحورى $R_{tenII} = 1,15MPa$ ؛ معاير المرونة الابتدائى : $E_c = 2,15 \times 10^4 MPa$ ، وفولاذ التسليح يتألف من قضيبين فولاذيين من الصنف A-III قطرهما 20mm و $F_s = 6,2cm^2$ ، $E_s = 2 \times 10^5 MPa$ ؛ قيمة الحمل الساكن والحمل المتحرك الطويل الاجل بما فى ذلك الوزن الذاتى للعتبة نفسها : $q^b = 11,8kN/m$ ؛ والرطوبة النسبية المتوسطة تزيد على ٤٠ ٪ .

المطلوب ايجاد الازاحة الحاصل فى العتبة المذكورة نتيجة تأثير الحمل الطويل الاجل .

الحل . نحدد عزم الانحناء الناجم عن الحمل المضروب فى معامل تجاوز الحمل $n = 1$ ، كما يلى :

$$M = 11,8 \times 5,8^2/8 = 49,5 \text{ kN m}$$

ثم نوجد الارتفاع الفعال للمقطع :

$$h_0 = h - a = 50 - 3,5 = 46,5 \text{ cm}$$

ونستخرج نسبة التسليح (معامل التسليح) :

$$\mu = F_s/bh_0 = 6,28/(20 \times 46,5) = 0,0068$$
$$\mu_1 = F_s/bh = 6,28/(20 \times 50) = 0,0063$$

وحسب نسبة معايرات مرونة الخرسانة والفولاذ :

$$n = E_s/E_c = (2 \times 10^5)/(2,2 \times 10^4) = 9,1$$

وباستخدام المعادلة (VII-21) نستخرج عزم المقاومة المرن اللدن لمنطقة الشد للمقطع المستطيل الفردى التسليح :

$$W_{cr} = (0,292 + 1,5\mu_1 n)bh^2 =$$
$$= (0,292 + 1,5 \times 0,0063 \times 9,1)20 \times 50^2 = 18900 \text{ cm}^2$$

وبواسطة المعادلة (VII-76) نستخرج قيمة ψ_s لحالة التحميل الطويل الاجل (حيث $s = 0,8$) :

$$\psi_s = 1,25 - sR_{tenII}W_{cr}/M =$$
$$= 1,25 - 0,8(1,15 \times 18900)10^{-1}/4950 = 0,89$$

الان نأخذ قيمة ψ_s مساوية للمقدار 0,9 .

وباستخدام المعادلة (VII-90) نقوم بتحديد ارتفاع منطقة الانضغاط عند الشق ، للمقطع المستطيل الفردى التسليح المعرض للانحناء :

$$\xi = 1/[1,8 + (1 + 5L)/10\mu n] =$$
$$= 1/[1,8 + (1 + 5 \times 0,101)/10 \times 0,0068 \times 9,1] = 0,24$$

حيث

$$L = M/R_{tenII}bh_0^2 = 4950/[1,15 \times 20 \times 46,5^2)10^{-1}] = 0,101$$

ولحساب ذراع الأزدواج الداخلي للقوى :

$$z_1 = h_0(1 - \xi/2) = 46,5(1 - 0,24/2) = 41,4 \text{ cm}$$

وباستخدام المعادلة (VII-123) نحدد جسوءة العتبة في القسم الخاوي للشق في منطقة الشد عندما $\nu = 0,15$ (عند التحميل الطويل الأجل والرطوبة النسبية التي تزيد على ٤٠ ٪) :

$$B = h_0z_1/(\psi_s/E_sF_s + \psi_c/\xi\nu E_cbh_0) =$$
$$= (46,5 \times 41,1)/[0,89/(2 \times 10^5 \times 6,28) + 0,9/(0.24 \times$$
$$\times 0,15 \times 2,15 \times 10^4 \times 20 \times 46,5)] = 9,6 \times 10^8 \text{ MPa cm}^4$$

وبما ان المقدار 1MPa cm^2 يعادل 100N نستخرج الآن قيمة ارخاء العتبة :

$$f = 5q^bl/384\,B = (5 \times 0,118 \times 580^4)/[384\,(9,6 \times 10^8)10^{-1}] = 1,8 \text{ cm}$$

ان ارخاء العتبة المطلوب ، الباغ الذي يساوي $5 < l = 5,8 < 10$ m ، يبلغ $2,5\text{cm}$ استنادا الى الجدول (٢ – ٤) . وكما يتضح من هنا ، نجد ان $f = 1,8\text{cm} < 2,5\text{cm}$.

مثال ٧ – ٢ . لدينا عتبة سابقة الأجهاد ، مقطعها على شكل I (شكل ٧ – ١٨) . الخرسانة المستخدمة من النوع الثقيل المعامل بالحرارة والبخار والماركة المصممة هي ٤٠٠ ؛ مقاومة الانضغاط المحوري $R_{prII} = 22,5\text{MPa}$ ؛ مقاومة الشد المحوري $R_{tenII} = 1,8\text{MPa}$ ؛ $E_c = 3 \times 10^4\text{MPa}$ ؛ وفولاذ التسليح السابق الأجهاد يتألف من ١٣ كبلا سلكيا من النوع K-7 قطرها 15mm ($F_{pr} = 18,04\text{cm}^2$) في منطقة الشد وكبلين من النوع K-7 قطر كل منهما 15mm ($F'_{pr} = 2,75\text{cm}^2$) في منطقة الانضغاط ؛ $E_s = 1,8 \times 10^5\text{MPa}$. وقوة الانضغاط (الأجهاد) المسبق في الفولاذ ، مع اخذ كل انواع الفقدان في الاعتبار ، ومع وجود عامل دقة الشد $m_{ac} = 0,9$ تساوي ما يلي : $\sigma_0 = 640\text{MPa}$ ؛ $\sigma'_0 = 740\text{MPa}$. والمسافة الواصلة من السطح المعرض للشد الى مركز ثقل فولاذ الشد هي $a = 12,5\text{cm}$ ؛ والمسافة من السطح المعرض للانضغاط الى مركز ثقل فولاذ الانضغاط هي $a' = 5\text{cm}$. والمطلوب ايجاد العزم المؤكد للشقوق في العتبة ، اي ايجاد العزم M_{cr} .

الحل . أ) نحدد خواص المقطع العرضي وهي : الأرتفاع المتوسط للشفة المنضغطة $h'_f = 24\text{cm}$ ؛ الأرتفاع المتوسط للشفة المشدودة $h_f = 25\text{cm}$ ؛ مساحة المقطع العرضي للاقسام المتدلية للشفة المنضغطة $F_{ov} = 28 \times 24 = 640\text{cm}^2$ ؛ المسافة الواصلة الى الاقسام المتدلية للشفة $a_{ov} = 12\text{cm}$ ؛ مساحة المقطع العرضي للاقسام المتدلية للشفة السفلى :

$$F_{ov} + 20 \times 25 = 500\text{cm}^2$$

المسافة الواصلة الى الاقسام المتدلية للشفة السفلى : $a_{ov} = 12,5\text{cm}$ ؛ ومساحة المقطع العرضي للمقطع المحول ، استنادا الى الصيغة (VII-14) تساوي :

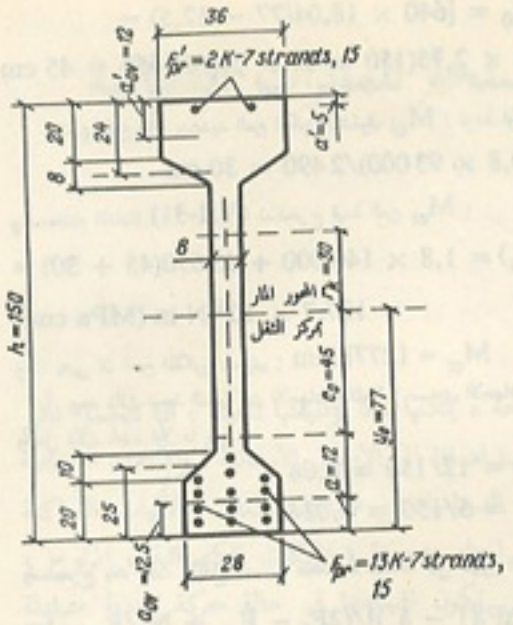
$$F_{tr} = bh + F'_{ov} + F_{ov} + n(F_{pr} + F'_{pr}) =$$
$$= 8 \times 150 + 670 + 500 + 6(18,04 + 2,75) = 2490 \text{ cm}^2$$

ولحساب الآن قيمة نسبة معايرات مرونة الفولاذ والخرسانة :

$$n = E_s/E_c = (1,8 \times 10^5)/(3 \times 10^4) = 6$$

ونوجد العزم الأستاتي للمقطع المحول حول السطح المعرض للشد ، باستخدام المعادلة (II-29) :

$$S_{tr} = \Sigma F_iy_i = (8 \times 150^2)/2 + 670(150 - 12) +$$
$$+ 500 \times 12,5 + 6(18,04 \times 12,5 + 2,75 \times 144) = 190200 \text{ cm}^3$$



شكل ٧ – ١٨ . رسم تخطيطي يوضح المثال (٧ – ٢)

ونستخرج المسافة y_0 من مركز ثقل المقطع المحول الى السطح السفلي المعرض للشد ، وتساوي :

$$y_0 = S_{tr}/F_{tr} = 190200/2490 = 77 \text{ cm}$$

ونحدد بعد ذلك عزم القصور الذاتي للمقطع المحول ، بواسطة الصيغة (II-31) كما يلي :

$$I_{tr} = \Sigma[I_{0i} + F_i(y_0 - y_i)^2] = (8 \times 150^3)/12 + 8 \times 149(150/12 - 77)^2 +$$
$$+ (28 \times 24^3)/12 + 670(77 - 138)^2 +$$
$$+ (20 \times 25^3)/12 + 500(77 - 12,5)^2 +$$
$$+ 6 \times 18,04(77 - 12,5)^2 + 6 \times 2,75(77 - 145)^2 = 72,8 \times 10^5 \text{ cm}^4$$

ولحساب عزم المقاومة في منطقة الشد في المقطع المحول ، عند السلوك المرن للخرسانة :

$$W_0 = I_{tr}/y_0 = (72,8 \times 10^5)/77 = 94500 \text{ cm}^3$$

ونحدد عزم المقاومة المرن اللدن في منطقة الشد في المقطع المحول عند $b'_f/b = 36/8 = 4,5$ ، $b_f/b = 28/8 = 3,5$ و $\gamma = 1,5$ (استنادا الى الملحق العاشر في آخر الجزء الثاني من الكتاب) :

$$W_{cr} = \gamma W_0 = 1,5 \times 94500 = 142000 \text{ cm}^3$$

ب) وباستخدام المعادلتين (II-26) و (II-27) نستخرج قيمة الانضغاط المسبق N_0 والاتمركزية e_{0pr} حول مركز ثقل المقطع المحول :

$$N_0 = \sigma_0F_{pr} + \sigma'_{pr}F'_{pr} = 640 \times 18,04 + 740 \times 2,75 =$$
$$= 13650 \text{ MPa cm}^2 \text{ (1365 kN)}$$

$$e_{0pr} = (\sigma_0 F_{pr} y_{pr} - \sigma'_0 F'_{pr} y'_{pr})/N_0 = [640 \times 18{,}04(77 - 12{,}5) -$$
$$- 740 \times 2{,}75(150 - 77 - 5)]/13\,650 = 45 \text{ cm}$$

جـ) ونقوم الآن بتحديد العزم المكون للشقوق M_{cr} : نوجد اولا المسافة من نقطة القلب الى مركز ثقل المقطع المحوّل

$$r_k = 0{,}8W_0/F_{tr} = (0{,}8 \times 93\,000)/2\,490 = 30 \text{ cm}$$

وباستخدام المعادلة (VII-31) نستخرج قيمة العزم M_{cr} :

$$M_{cr} = R_{tenII} W_{cr} + N_0(e_{0pr} + r_k) = 1{,}8 \times 140\,000 + 13\,650(45 + 30) =$$
$$= 127{,}7 \times 10^4 \text{ N m (MPa cm}^3\text{)}$$

وهذا يعني ان العزم المذكور يساوى : $M_{cr} = 1277 \text{kNm}$.

وبعد ذلك نوجد النسبة بين الاجهاد والمقاومة (مستوى الاجهادات) فى خرسانة منطقة الانضغاط قبل ظهور الشقوق . ولاجل ذلك نحدد اولا ما يلى :

$$\delta'_{ov} = a'_{ov}/h = 12/150 = 0{,}08$$
$$\delta' = a'/h = 5/150 = 0{,}034$$

ونستخرج بعد ذلك الإرتفاع النسبى لمنطقة الانضغاط قبل ظهور الشقوق ، وذلك بواسطة المعادلة (VII-13) :

$$\xi = 1 - [bh + 2(1 - \delta'_{ov})F'_{ov} + 2nF'_f(1 - \delta')]/(2F_f - F_{ov} + N_0/R_{tenII}) =$$
$$= 1 - (8 \times 150 + 2 \times 0{,}92 \times 670 + 2 \times 6 \times 2{,}75 \times$$
$$\times 0{,}966)/(2 \times 2\,490 - 500 + 13\,650/1{,}8) = 0{,}8$$
$$x = \xi h = 0{,}8 \times 150 = 120 \text{ cm}$$

وباستخدام المعادلة (VII-7) نستخرج الاجهاد فى خرسانة منطقة الانضغاط :

$$\sigma_c = 2R_{tenII} x/(h - x) = (2 \times 1{,}8 \times 120)/(150 - 120) = 14{,}4 \text{ MPa}$$

واخيرا نقوم بتحديد نسبة الاجهادات كما يلى :

$$k = \sigma_c/R_{prII} = 14{,}4/22{,}5 = 0{,}64$$

مقاومة الخرسانة المسلحة للمؤثرات الدينامية

البند الاول
اهتزازات القطع الانشائية

١ – الاحمال الدينامية

ان قطع الانشاءات الخرسانية المسلحة ، يمكنها تبعا لوظيفتها المعينة ، ان تتحمل تأثير الاحمال الدينامية (dynamic loads) ايضا اضافة الى الاحمال الاستاتية . والاحمال الدينامية تكون متنوعة للغاية وتنجم هذه المؤثرات الدينامية عن مختلف المكنات والآليات الساكنة المثبتة على سقوف المبانى ، والمحتوية على اجزاء متحركة (المحركات الكهربائية ، المراوح ، مكنات الخراطة وغيرها) ، الآليات التى تكون اقسامها فى حالة حركة ترددية متبادلة (reciprocal motion) كما فى مكنات النسيج (looms) مكنات الطباعة وغيرها والمكنات الدفعيّة والنبضيّة وغير ذلك .

ان الاحمال المتحركة الدينامية تنتقل الى القطع الانشائية عن طريق مختلف انواع المرافيع الرحالة (travelling cranes) والمرافيع القنطرية ، على هيئة مؤثرات صدمية (مثل اصطدام العجلة بوصلة السكة الحديدية) ، ومؤثرات اهتزازية (مثل الاهتزازات الناجمة عن عدم توازن القطع المتحركة) وغير ذلك .

تؤدى احمال الريح (عصف الريح ، النبضان) الى اهتزاز المبانى المتعددة الطوابق والانشاءات المرتفعة مثل المداخن ، الابراج ، الصوارى وغيرها .

والمؤثرات الزلزالية الناشئة عند حدوث الهزات الارضية ، على هيئة دفعات وصدمات ، تؤثر أيضا على القطع الانشائية للمبانى .

ان الاحمال الصدمية والنبضيّة القصيرة الاجل ، التى تظهر وتختفى بسرعة كبيرة ، تسمى باحمال الانفجار (explosion loads) .

والاحمال الدينامية تختلف من حيث النوع (قوة او عزم) ، تغير شكلها بمرور الزمن (اهتزازية ، دوريّة او صدمية) ، الوضعيّة (ساكنة او متحركة) ومن حيث الاتجاه (عمودية ، افقية) .

وتبعا للفترة الزمنية ودوريّة التأثير ، يمكن تقسيم الاحمال الدينامية الى احمال كثيرة التكرار (بصورة منتظمة) واحمال احادية التأثير (single loads) . ومن الاحمال الكثيرة التكرار اى

المنتظمة التأثير ، تلك الاحمال الناجمة عن الاشتغال المنتظم للمكنات والوحدات الآلية فى نظام عملها المقرر ، وكذلك الصدمات ، والنبضات المتكررة جدا ، التى عند تأثيرها على الانشاء يجب ان يؤخذ فى الاعتبار انخفاض مقاومة الخرسانة وفولاذ التسليح ، الناجم عن الكلال . ومن ضمن الاحمال الاحادية التأثير ، الصدمات الاحادية والنبضات الفردية ، زيادات الاحمال القصيرة الاجل الناجمة عن تشغيل ونصب المكنات والآليات وغيرها .

وتحتوى المواصفات القياسية الخاصة ، على كافة المعطيات المتعلقة بالاحمال الدينامية القياسية الناجمة عن المكنات والمعدات الآلية ، وعلى الاحمال الدينامية المتحركة ، احمال الريح والاحمال الزلزالية .

٢ – الاهتزازات الحرة للقطع الانشائية ، مع الاخذ فى الاعتبار مقاومة الخرسانة المسلحة غير المرنة (السلوك غير المرن)

ان الاهتزازات الحرة للقطع الانشائية ذات الدرجة الواحدة من حرية الحركة ، موضحة الخصائص من المعادلة التالية الخاصة بالحركة التوافقية (شكل ٨ – ١) :

$$y = A \sin(\omega t + \varepsilon) \qquad \text{(VIII-1)}$$

حيث A – سعة الاهتزاز ؛ ω – التردد الزاوى ، او عدد الاهتزازات فى كل $2\pi(s)$ ، وهو يرتبط بفترة الاهتزازات T والتردد n المقاس بالهرتز (Hz) . وهكذا نجد ان :

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi n \qquad \text{(VIII-2)}$$

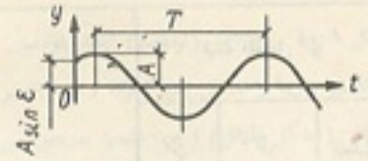
حيث ε تمثل الطور الابتدائى (او زاوية تحرك الاطوار) الذى يوضح طور حركة النقطة عند العزم الابتدائى للزمن $(t = 0)$ ويحدد لزاحتها الابتدائية $A \sin \varepsilon$

ان الاهتزازات الحرة (الطليقة) للانشاءات ، التى نلاحظها عمليا ، ما هى الا اهتزازات توافقية متضائلة ، ذات سعة متناقصة باستمرار ، تبعا للمعادلة التالية :

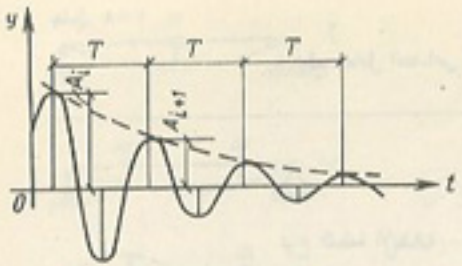
$$y = A \exp(-\delta t/T) \sin(\omega t + \varepsilon) \qquad \text{(VIII-3)}$$

حيث $\exp(-\delta t/T)$ – تمثل دالة الزمن المتضائلة .

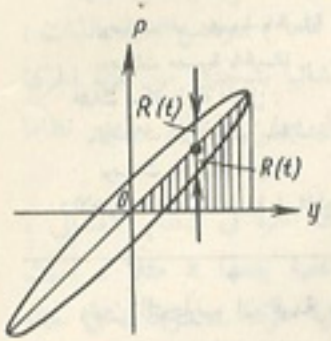
وفى القطع الانشائية ، نجد ان سعات الدورات المتعاقبة للاهتزازات المتضائلة الحرة ، تتناقص تبعا لقانون المتوالية الهندسية ، بحيث تبقى النسبة A_i/A_{i+1} ثابتة دائما (شكل ٨ – ٢) . واللوغاريتم الطبيعى للاساس e لهذه النسبة ، وهو $\delta = \ln A_i/A_{i+1}$ يسمى بالتناقص اللوغاريتمى – وهو الذى يبين سرعة تضاؤل الاهتزازات ، وعند اقتراب δ من الصفر ، اى عند $\delta \to 0$ ، تتحول الاهتزازات الى اهتزازات حرة غير متضائلة .



شكل ٨ – ١ . الرسم البيانى للاهتزازات (الترددات) الحرة للنظام الانشائى



شكل ٨ – ٢ . الرسم البيانى للاهتزازات الحرة المتضائلة للنظام الانشائى



شكل ٨ – ٣ . الرسم البيانى للتشوهات (الانفعالات) الناجمة عن القوة فى دورة واحدة ، المنحنى الانشوطى

وخلال كل دورة من الاهتزازات الحرة ، تصرف كمية معينة من الطاقة غير المستعادة ، للتغلب على المقاومة فى القطع الانشائية . وتتألف هذه المقاومة من : المقاومة الداخلية والمقاومة الخارجية . اما المقاومة الداخلية فتنجم فى الاساس عن الانفعال غير المرن فى الخرسلنة ، بينما تعتمد المقاومة الخارجية فى وجودها على الاحتكاك الناشىء عند المساند وعلى المحيط الجوى . وفى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، تكون المقاومة الخارجية صغيرة عادة بالمقارنة مع المقاومة الداخلية .

وقد اوضحت التجارب العملية ، ان العلاقة بين القوة الخارجية P ، والازاحة y ، خلال الدورة الاهتزازية ، يمكن تحديدها بواسطة منحنى القوة والانفعال ، المبين فى الشكل (٨ – ٣) . ويطلق على هذا المنحنى اسم المنحنى الانشوطى (hysteresis loop) ومساحة هذا المنحنى تعطى قيمة الطاقة $\Delta\omega$ المصروفة دون استعادة خلال دورة اهتزازية واحدة ، والمنتشرة فى الجو على هيئة حرارة .

ويقاس التضاؤل بواسطة معامل امتصاص الطاقة ، الذى يساوى :

$$\psi = \Delta W/W \qquad \text{(VIII-4)}$$

حيث W – الشغل المنجز من قبل القوة المرنة للمجموعة او النظام ، خلال ربع دورة ، ويساوى المساحة المظللة للمثلث فى الرسم البيانى .

جدول ٨ – ١

قيم معامل امتصاص الطاقة ψ للخرسانة المسلحة

نوع القطعة الانشائية	قيمة المعامل ψ		
	من	الى	المعدل
الارضية المؤلفة من الواح هيكلية ضخمة :			
بوصلات غير مصبوبة بالخرسانة	٠٫٢	٠٫٢٤	٠٫٢٢
بوصلات مصبوبة بالخرسانة	٠٫٤٤	٠٫٦	٠٫٥٢
عتبات سكة المرفاع المتنقل :			
بوصلات غير مصبوبة بالخرسانة	٠٫٢٤	٠٫٤	٠٫٣٢
بوصلات مصبوبة بالخرسانة	٠٫٣٨	٠٫٥٦	٠٫٤٧
الارضيات المضلعة المصبوبة في الموقع	٠٫٣٩	٠٫٧٨	٠٫٥٨

وتبين التجارب ان قيمة معامل امتصاص الطاقة بالنسبة للخرسانة المسلحة ، يعتمد على جسوءة الوصلات الموجودة بين القطع الانشائية ، وعلى العمل الموحّد للبلاطات ، الالواح الهيكلية ، العتبات وغير ذلك من القطع الانشائية فى حالة الاهتزاز . وقد اثبتت التجارب الحقلية الطبيعية ، وجود تشتت معيّن فى المعامل ψ يعتمد على نوع الانشاء وعلى طريقة الاختبار المستخدمة . ويحتوى الجدول (٨ – ١) على المعطيات التجريبية العملية لقيمة المعامل ψ .

ان معامل امتصاص الطاقة ψ ، يساوى ضعف التناقص اللوغاريتمى لتضاؤل الاهتزازات الحرة :

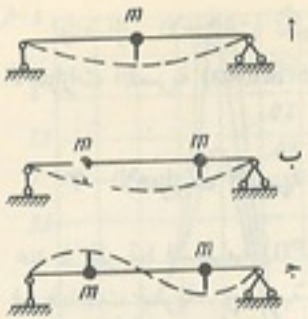
$$\psi = 2\delta \qquad \text{(VIII-5)}$$

وعند الحسابات الدينامية ، يستخدم معامل المقاومة غير المرنة للخرسانة المسلحة :

$$\gamma = \psi/2\pi = \delta/\pi \qquad \text{(VIII-6)}$$

وقد تتراوح قيمة هذا المعامل بين ٠٫٠٥ و ١٫٠ اعتمادا على نوع دينامية المكنة او الآلة .

واذا كانت وضعية النظام الانشائى فى حالة الاهتزاز ، تحدد بعدد قدره n من الاحداثيات او القيم المستقلة ، عندئذ يتميز ذلك النظام الانشائى بدرجات من حرية الحركة قدرها n درجة . ان العتبة المستندة بحرية على مسندين ، ذات الحمل المركز الواحد المؤثر فى الباع $m = P/g$ ، تعتبر نظاما انشائيا بدرجة واحدة من حرية الحركة (يعتبر وزن العتبة الذاتى



شكل ٨ – ٤ . اهتزازات (ترددات) النظام الانشائى :
أ – المتميز بدرجة واحد من حرية الحركة ؛ ب – المتميز بدرجتين من حرية الحركة – (الشكل المتماثل) ؛ جـ – المتميز بدرجتين من حرية الحركة – (الشكل غير المتماثل)

هنا ضئيلا جدا بالمقارنة مع الحمل المركز ، لذلك يمكن اهماله تماما) . ونفس العتبة بالذات ، عند احتوائها على حملين او وزنين مركزين ، تعتبر نظاما انشائيا بدرجتين من حرية الحركة (شكل ٨ – ٤) . والعتبة المستندة بحرية ، المحتوية على حمل موزع بانتظام ، تعتبر نظاما انشائيا ، بدرجاتٍ لانهائية من حرية الحركة .

ان عدد الترددات (frequencies) واشكال الاهتزازات الحرة فى النظام الانشائى ، تساوىٰ عدد درجات حرية حركته . وفى كل حركة توافقية رقمها k مثلا ، حيث $k = 1,2,\ldots,n$ ، يعتبر كل نظام انشائى عدد درجات حرية حركته n درجة ، فى حالة اهتزاز حر مستقل ، يحدد بواسطة الصيغة التالية :

$$y_k = A_k \exp(-\delta t/T) \sin(\omega_k t + \varepsilon_k) \qquad \text{(VIII-7)}$$

حيث ω_k – تردد الاهتزازات الحرة للحركة التوافقية رقم k ؛ A_k و ε_k – السعةُ الابتدائية وطور الحركة التوافقية رقم k ؛ δ – التناقص اللوغاريتمى لتضاؤل الاهتزازات ، وله نفس القيمة بالنسبة لكافة الحالات التوافقية .

ان ترددات الاهتزازات الحرة ، تكون مرتبة على هيئة متوالية متزايدة ، كما يلى

$$0 < \omega_1 < \omega_2 \ldots < \omega_n$$

وتؤلف طيف ترددات الاهتزازات الحرة (frequency spectrum) . وكل تردد يناظر شكلا واحدا معينا ، من اشكال الاهتزازات الحرة . وبصورة عامة ، تكون الانشاءات الخرسانية المسلحة ، غير محددة استاتيا ، بعدد كبير (او لانهائى) من درجات حرية الحركة . لذلك ، لاجل التحديد العملى لترددات واشكال الاهتزازات الحرة ، يقسم الانشاء بصورة تقريبية الى قطع انشائية مستقلة . وعلى سبيل المثال ، تقسم الارضيات او السقوف الخرسانية المسلحة ، بصورة اصطلاحية الى بلاطات وعتبات .

وتعتبر ترددات الاهتزازات الحرة ω_k ، متساوية فى كل من الانظمة الانشائية المتماثلة وغير المتماثلة الاهتزازات .

ولتضاؤل الاهتزازات تأثير كبير فقط فى نطاق الرنين (resonance band) عند الاهتزازات القسرية (forced fibrations) .

٣ – الاهتزازات القسرية للقطع الانشائية

عندما تؤثر قوة اضطرابية P(t) (disturbing force) على النظام الانشائى ، فانها تولد فيه ذبذبات قسرية . وبالنسبة للنظام ذى الدرجة الواحدة من حرية الحركة ، ستكون الازاحة الدينامية ناجمة عن القصور الذاتى لكتلة النظام الانشائى بالذات md^2y/dt^2 والقوة الاضطرابية ، اى :

$$y = -\delta_{11} md^2y/dt^2 + \delta_{11} P(t) \qquad \text{(VIII-8)}$$

واستنادا الى هذه الصيغة ، يمكننا كتابة المعادلة التفاضلية لحركة الاهتزازات القسرية كما يلى :

$$md^2y/dt^2 + y/\delta_{11} = P(t) \qquad \text{(VIII-9)}$$

واذا كانت القوة الاضطرابية تتغير بصورة توافقية كالآتى : $P(t) = P \sin \Theta t$ ، يمكننا كتابة حل المعادلة (VIII-9) على الشكل التالى :

$$y = A(\sin \Theta t - \sin \omega t) \qquad \text{(VIII-10)}$$

وفى هذه الحالة ، ستكون سعة الاهتزازات القسرية كما يلى :

$$A = P/m(\omega^2 - \Theta^2) \qquad \text{(VIII-11)}$$

وباستخدام الصيغة الخاصة بتردد الاهتزازات ، يمكن تحويل الصيغة الموضوعة لسعة الاهتزازات القسرية كالآتى :

$$\omega^2 = 1/\delta_{11} m \qquad \text{(VIII-12)}$$

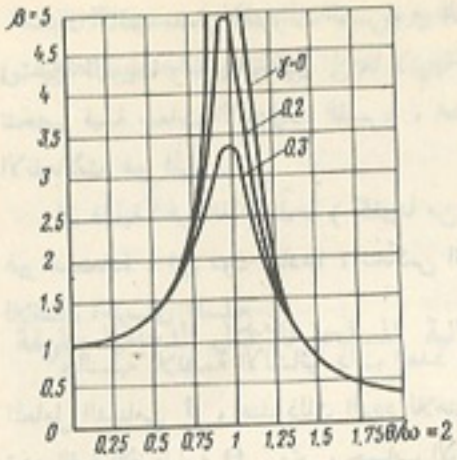
عندئذ سيكون لدينا :

$$A = \omega^2 \delta_{11} P/(\omega^2 - \Theta^2) = f/(1 - \Theta^2/\omega^2) = \beta f \qquad \text{(VIII-13)}$$

حيث $f = \delta_{11} P$ – تمثل الارتخاء الاستاتى الناجم عن تأثير القوة P ؛

$$\beta = 1/(1 - \Theta^2/\omega^2) \qquad \text{(VIII-14)}$$

وهذه الصيغة تمثل المعامل الدينامى ، الذى يبين نسبة الارتخاء الدينامى الى الارتخاء الاستاتى . وبمعرفة قيمة المعامل الدينامى β ، يمكننا اجراء الحساب الدينامى للعتبة ، بطريقة استاتية . وفى الحقيقة ، نجد ان زيادة الارتخاء بمقدار β مرة ، الناجمة عن الحمل الدينامى



شكل ٨ – ٥ . منحنيات الرنين عند القيم المختلفة لمعامل المقاومة غير المرنة

(مع بقاء نفس شكل المحور المنحرف او المنحنى) تؤدى الى حدوث زيادة مساوية فى كافة القوى والانفعالات الداخلية .

وتستخرج قيمة المعامل الدينامى ، من الصيغة التالية ، مع الاخذ فى الاعتبار تضاؤل الاهتزازات الحرة :

$$\beta = 1/\sqrt{(1 - \Theta^2/\omega^2)^2 + \gamma^2} \qquad \text{(VIII-15)}$$

والطور الابتدائى للاهتزازات مع اخذ التضاؤل فى الاعتبار ، سيساوى ما يلى :

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \gamma/(1 - \Theta^2/\omega^2) \qquad \text{(VIII-16)}$$

وكما يتضح من المعادلة (VIII-15) نجد ان المعامل الدينامى يعتمد على النسبة بين مربع تردد القوة الاضطرابية ومربع تردد الاهتزازات الحرة ، اى على النسبة Θ^2/ω^2 ، وعلى معامل المقاومة غير المرنة γ . وعندما يكون تردد القوة الاضطرابية Θ ، مساويا لتردد الاهتزازات ω ، يعتبر النظام الانشائى فى حالة رنين (resonance) ، وفى هذه الحالة تصل سعة الاهتزازات القسرية الى أقصاها . وفى حالة الرنين ، قد تصل قيمة المعامل الدينامى للخرسانة المسلحة β الى حد يتراوح بين ١٠ – ٢٠ .

والشكل (٨ – ٥) يبين المنحنيات البيانية للرنين لمختلف قيم معامل المقاومة غير المرنة ونسبة التردد Θ/ω . ويمكننا ان نرى بوضوح من مقارنة هذه المنحنيات البيانية ، أن تأثير المقاومة غير المرنة للخرسانة المسلحة ، على سعة الاهتزازات القسرية ، يكون واضحا جدا عند الرنين الذى تكون عنده نسبة التردد مساوية لما يلى $\Theta/\omega = 1$ ، بينما يتضاءل ذلك التأثير كلما ابتعدنا عن نطاق الرنين . وتجدر الاشارة هنا ، الى انه قبل الرنين نجد ان $\beta \geq 1$ دائما ، بينما بعد الرنين ، قد تقل قيمة β عن 1 ، اى $\beta < 1$.

واذا كانت سعة الاهتزازات القسرية فى الانشاء المثالى المرونة ، تزداد بصورة غير محدودة فى حالة الرنين ، وتحاول الوصول الى ما لانهاية ، نجد انه فى الانشاءات الخرسانية المسلحة ، تنحصر قيمة سعات الاهتزازات القسرية ، بحد معين ، تقل قيمته كلما زادت قيمة معامل الانفعالات غير المرنة .

ان قابلية الخرسانة المسلّحة (كغيرها من مواد البناء الاخرى) لامتصاص الطاقة بصورة غير مستعادة ، اى دون اعادتها ، تنعكس انعكاسا ملائما للغاية ، على المقاومة الدينامية للانشاء الخرسانى المسلح .

وبالنسبة للانظمة الانشائية ذات العدد الكبير من درجات حرية الحركة ، يجب تحديد المعامل الدينامى β ، عند ذلك التردد للاهتزازات الحرة ω_k ، الذى يكون اقرب تماما من تردد القوة الاضطرابية Θ . ويجب حساب الارتخاء الاستاتى f تبعا للشكل رقم k من اشكال الاهتزازات ، وتبعا لوضعية القوة الاضطرابية فى المخطط التصميمى او الحسابى .

٤ – الجسوءة الدينامية للقطع الخرسانية المسلحة

لقد بينت التجارب العملية التى اجريت على الاهتزازات الفعلية للانشاءات الخرسانية المسلحة ، ان الانحرافات (الازاحات) الناجمة عن الاحمال الاستاتية ، اكبر بعدة مرات من تلك الانحرافات الناجمة عن الاحمال الدينامية . لذا نجد ان تغير علامة الاجهادات اثناء الاهتزازات ، لا يحدث الا نادرا جدا .

وعند تعرض القطع الخرسانية المسلحة للاهتزازات ، بحيث تتغير قيمة اجهاداتها من الصفر الى القيمة القصوى خلال فترة زمنية قصيرة ، يمكن اعتبار معاير المرونة الدينامى للخرسانة ، ثابت القيمة عمليا ومساويا لمعاير المرونة الابتدائى للخرسانة .

ان جسوءة الانشاءات الخرسانية المسلحة التى تتحمل احمالا دينامية من نوع احمال الخدمة ، تحدد بنفس الطريقة التى تحدد بها فى حالة الاحمال الاستاتية . واذا احتوت القطعة الانشائية على شقوق فى منطقة الشد ، عندئذ تحدد الجسوءة B بفرض ان $\psi_s = \psi_c = 1$ (راجع الفصل السابع) . ان الاحمال الاهتزازية المتكررة تؤدى الى تجمع الانحرافات المتخلّفة (بتأثير انكماش خرسانة منطقة الانضغاط ، الناجم عن الاهتزاز) ، وتبدأ القطعة الانشائية بالاهتزاز حول خط الارتخاءات المستقرة ، اى انها تسلك اثناء اهتزازها ، سلوك الانشاء المرن . وبناء على ذلك ، تحدد قيمة β ، بحيث يعتبر المعامل ν مأخوذا لحالة التحميل القصير الاجل .

عند تقييم ترددات الاهتزازات وسعات الانحراف ، يجب ان نعتمد على القيمة المتوسطة الممكنة للجسوءة B ، الاكثر احتمالا فى ظروف الانتاج الفعلية . ويجب ان نتذكر ان

الانحرافات الدينامية لا تتغير تغيرا خطيا مع الجسوءة : عندما تتناقص جسوءة B القطعة الانشائية ، نجد ان الانحرافات الدينامية اما تتناقص او تزداد ، تبعا للتردد الجديد للاهتزازات الحرة .

البند الثانى
حساب مقاومة قطع الانشاءات الخرسانية المسلحة للاحمال الدينامية بطريقة الحالات الحدية

١ – المبادىء العامة للحساب

عند حساب مقاومة قطع الانشاءات الخرسانية المسلحة للاحمال الدينامية ، من الضرورى ان تؤخذ فى الاعتبار خاصية الاحمال النبضية (pulsating loads) او الاحمال الاهتزازية ، التى تتلخص فى انه ينشأ عند توافق ترددات الاهتزازات الحرة والاهتزازات القسرية ، الرنين ، الذى يكون مصحوبا بزيادة تأرجح او تردد الاهتزازات . وهنا يجب ان تؤخذ فى الاعتبار ، ثلاثة عوامل مهمة للغاية ، هى :

١ – التأثير الهدام للاهتزازات على الانشاء ، لان الكلال يؤدى الى انخفاض مقاومة الخرسانة وفولاذ التسليح ؛

٢ – التأثير الضار للاهتزازات على جسم الانسان الذى يعمل فى داخل الانشاء (ان الانسان شديد الحساسية نحو الاهتزازات ، فهى تخفض قابليته للعمل ، وفى بعض الاحيان تولد لديه شعورا بالالم) ؛

٣ – الاخلال بالنظام الطبيعى لاشتغال المعدات والآليات الصناعية ، مثل المكنات ، المخارط ، اجهزة القياس الدقيقة وغيرها .

ان مسألة الحساب الدينامى للانشاءات ، تتلخص أولا – فى تحديد سعات القوى الدينامية ومراجعة السعة الحملية للانشاء بواسطة القوى الناجمة عن الاحمال الاستاتية ؛ ثانيا – فى تحديد سعات الاهتزازات القسرية ، وتحديد مدى تأثيرها على الناس والعمليات الانتاجية الصناعية ، اى مراجعة صلاحية القطع الانشائية للخدمة .

ولحساب ترددات واشكال الاهتزازات الحرة ، وسعات القوى الدينامية ، يمكن الاستعانة بمختلف المراجع والمصادر او المواصفات القياسية المعتمدة فى هذا المجال .

ان الاحمال الاستاتية والاحمال الدينامية المؤثرة فى نفس الوقت ، تحدث فى الانشاءات اجهادات وانحرافات مناظرة ، والسعة الحملية للقطع الانشائية ، يجب ان تراجع بحساب

المقاومة والتحمل ، استنادا الى المجموعة الاول من الحالات الحدية ؛ وتراجع صلاحية القطع للخدمة العادية بحساب مقاومة التشقق والانحرافات – استنادا الى المجموعة الثانية من الحالات الحدية .

المجموعة الاولى من الحالات الحدية . ان مقاومة القطع المعرضة للانحناء ، تعتبر مضمونة اذا كان مجموع العزوم الناجمة عن احمال التصميم الاستاتية M_{st} واحمال التصميم الدينامية M_d ، مع اخذ معامل مجموعة الاحمال المؤتلفة فى الاعتبار ، لا يزيد على قيمة العزم M_{sec} الذى يتحمله المقطع ، مع اخذ عامل خدمة الخرسانة وفولاذ التسليح فى الاعتبار ، استنادا الى الشرط التالى :

$$M_{st} + M_d \leqslant M_{sec} \qquad \text{(VIII-17)}$$

حيث تحدد قيمة M_{sec} هنا ، للمرحلة الثانية من حالة الاجهاد والانفعال (راجع الفصل الثالث) .

ان تحمل القطعة الانشائية (مقاومة الكلال) يعتبر مضمونا ، اذا كانت الاجهادات الناجمة عن احمال التصميم الاستاتية واحمال التصميم الدينامية الكثيرة التكرار ، والناشئة فى خرسانة منطقة الانضغاط والقضبان الفولاذية المعرضة للشد ، لا تزيد على المقاومات التصميمية ، المضروبة فى عامل الخدمة لكل من الخرسانة والقضبان الفولاذية ، استنادا الى الشرطين :

$$\sigma_{c.\,max} \leqslant R_{pr} m_{c2} \qquad \text{(VIII-18)}$$

$$\sigma_{s.\,max} \leqslant R_s m_{s1} \qquad \text{(VIII-19)}$$

ولا تراجع مقاومة القضبان الفولاذية المنضغطة للكلال ، اى لا يحسب تحملها .

وعند حساب التحمل ، يعتمد على المرحلة الاولى لحالة الاجهاد والانفعال وعلى المبادىء الاساسية التالية :

١ – تحدد الاجهادات فى الخرسانة وفولاذ التسليح بنفس طريقة تحديدها بالنسبة للمادة المرنة ، استنادا الى المقطع المحول (راجع الفصل الثانى) ؛ وتعتبر تلك الاجهادات ناجمة عن احمال التصميم الاستاتية والدينامية وعن قوة الانضغاط المسبق N_0 ، مع اخذ كافة انواع الفقدان فى الاعتبار ؛

٢ – ان الانفعال غير المرن فى منطقة الانضغاط ، يؤخذ فى الاعتبار بالتخفيض المناسب فى معايير مرونة الخرسانة ، وتؤخذ قيم $n' = \nu E_c/E_s$ استنادا الى ماركة الخرسانة المصممة ، من الجدول (٨ – ٢) .

جدول ٨ – ٢

قيم المعامل n'

ماركة الخرسانة المصممة	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠ واكثر
قيم المعامل n'	٢٥	٢٠	١٥	١٠

٣ – لا تؤخذ مساحة الخرسانة فى منطقة الانضغاط فى الاعتبار ، الا اذا بلغت قيمة الاجهاد المتعامد فى خرسانة منطقة الشد

$$\sigma_{c.\,ten.\,max} \leqslant R_{ten} m_{c2} \qquad \text{(VIII-20)}$$

وعند اجراء حساب التحمل يفترض عدم ظهور اية شقوق خلال عملية الانتاج ، الشحن او التركيب ، فى تلك المنطقة من القطعة ، التى يفترض ان تكون معرضة للانضغاط تحت تأثير الاحمال الخارجية .

ان عامل خدمة الخرسانة m_{c2} وعامل خدمة قضبان الشد الفولاذية m_{s1} ، يأخذان فى الاعتبار الانخفاض فى مقاومة المادتين فى حالة التأثير المتكرر للاحمال ، الى حدود التحمل المناظرة (راجع الفصل الاول) .

ويعتمد عامل الخدمة m_{c2} على نسبة الاجهادات القصوى والاجهادات الصغرى العمودية الناشئة بصورة متناوبة فى الخرسانة ، اى على طبيعة دورة الاجهاد $\rho_c = \sigma_{c.\,min}/\sigma_{c.\,max}$ ، وعلى نوع الخرسانة وخصائص رطوبتها. ان تحمل الخرسانة ذات الاخلاط المسامية اقل من تحمل الخرسانة الثقيلة . وعند تشبع الخرسانة بالماء ، يقل تحملها ، اى تقل مقاومتها للكلال . وان قيم العامل m_{c2} مدرجة فى الجدول (٨ – ٣) .

ان ظهور اجهادات الشد فى المنطقة التى تمت فيها مراجعة مقاومة خرسانة منطقة الانضغاط ، لا يسمح به اثناء دورة تغير الحمل ، لذلك نجد ان $\rho_c \geqslant 0$.

ويعتمد عامل خدمة القضبان الفولاذية المعرضة للشد m_{s1} على نسبة الاجهادات القصوى والاجهادات الصغرى الناشئة بصورة متناوبة فى قضبان التسليح الفولاذية ، $\rho_s = \sigma_{s.\,min}/\sigma_{s.\,max}$ ، وعلى نوع وصنف قضبان التسليح الفولاذية . ان قيم العامل m_{s1} مدرجة فى الجدول (٨ – ٤) .

ان تحمل قضبان التسليح الفولاذية ، المرتبطة بواسطة وصلات اللحام الكهربائى عند اماكن تقاطع القضبان فى الشبكات والهياكل الفولاذية وغيرها ، يعتبر اقل من تحملها العادى ، وذلك لان الوصلات الملحومة تعتبر بمثابة مواقع لتركز الاجهادات الناجمة عن

جدول ٨–٣

قيم عوامل خدمة الخرسانة m_{c2} عند تأثير الاحمال الكثيرة التكرار

نوع الخرسانة	حالة الرطوبة	طبيعة الدورة $\rho_c = \sigma_{c.min}/\sigma_{c.max}$						
		0-0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
ثقيلة	رطوبة عادية	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1
ذات احلاط مسامية	مشبعة	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
	رطوبة عادية	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,95	1
	مشبعة	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1

الاحمال الكثيرة التكرار . وعند مواضع الوصلات الملحومة يجب ان تضرب قيمة المقاومة التصميمية لفولاذ الشد فى عامل الخدمة m_{s2} الذى تستخرج قيمته من الجدول (٨–٥) .

ان عامل الخدمة m_{s2} يعتمد على خواص الدورة ρ_s ، وعلى قطر القضبان الفولاذية وصنف او مجموعة الوصلات الملحومة .

وتقسم كافة الوصلات الملحومة الى ثلاث مجموعات تبعا لطبيعة انتاجها باللحام الكهربائى : المجموعة I – تضم الوصلات التناكبية الملحومة بالمقاومة مع الصقل الميكانيكى الذى يعقب اللحام لازالة نتوءات اللحام) ؛ المجموعة II – الوصلات التناكبية الملحومة بالمقاومة ، بدون صقل نتوءات اللحام ، وصلات صليبية الشكل ملحومة بواسطة اللحام النقطى بالمقاومة وغير ذلك ؛ المجموعة III – وصلات تناكبية ملحومة ذات حشيات او شرائط معدنية ملحومة باللحام القوسى ، ووصلات زاوية ملحومة باللحام القوسى ، ووصلات تناكبية ملحومة مع حشيات فولاذية فى حوض من المعدن المنصهر فى قالب دائم ، باستخدام اللحام المتعدد الالكترودات ، وهكذا .

وبحسب التحمل فى المقاطع المائلة للقطع الانشائية ، بافتراض ان محصلة اجهادات الشد الرئيسية ، المؤثرة فى مستوى مركز ثقل المقطع المحول ، يجب ان تستوعب كليا من قبل القضبان الفولاذية المستعرضة ، عند بلوغ الاجهادات فيها الى حد يساوى قيم المقاومة التصميمية R_s مضروبة فى عاملى الخدمة m_{s1} و m_{s2} . وعندما تكون القطعة الانشائية مسلحة باطواق فولاذية او قضبان مستعرضة ، يكون لدينا الشرط التالى :

$$\sigma_{prin.\,ten.\,max}^{ub} \leqslant F_{tr} R_s m_{s1} m_{s2} \qquad \text{(VIII-21)}$$

جدول ٨–٤

قيم عوامل خدمة القضبان الفولاذية المعرضة للشد m_{s1} عند تأثير الاحمال الكثيرة التكرار

نوع وصنف فولاذ التسليح	خواص الدورة						
	0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1
قضبان مدلفنة على الساخن ذات جانبية محززة ، من الصنف A-III	0,45	0,5	0,6	0,9	1	1	1
كالسابق ، من الصنف A-IV	–	–	0,4	0,75	0,95	1	1
اسلاك عالية المقاومة ، محززة المقطع من الصنف Bp-II	–	–	–	0,7	0,85	0,95	1
كالسابق ، ملساء صنف B-II	–	–	–	0,8	1	1	1
كبلات سلكية مجدولة من الصنف K-7 بقطر قدره :							
٩–١٤ مم	–	–	–	0,8	0,95	1	1
١٧ و ١٥ مم	–	–	–	0,65	0,8	1	1
اسلاك فولاذية عادية ملساء المقطع ومحززة الجانبية ، من الصنفين B-I و Bp-I	0,6	0,75	0,9	1	1	1	1

جدول ٨–٥

قيم عوامل الخدمة m_{s2} لفولاذ الشد المحتوى على وصلات ملحومة فى حالة تأثير الاحمال المتكررة

نوع وصنف الفولاذ	صنف او مجموعة الوصلات الملحومة	خواص الدورة						
		0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1
قضبان فولاذية مدلفنة على الساخن ، محززة الجانبية ، من الصنف A-III بقطر لا يزيد على ٤٠ مم	I	0,9	0,95	1	1	1	1	1
	II	0,6	0,65	0,65	0,7	0,75	0,85	1
	III	0,2	0,25	0,3	0,45	0,6	0,8	1

حيث m_{s1} – عامل الخدمة للفولاذ ، الذى يحدد تبعا لخواص الدورة : $\rho = \sigma_{prin\ ten.\ min}/\sigma_{prin,\ ten,\ max}$ ؛ F_{tr} – مساحة المقطع العرضى للاطواق او القضبان المستعرضة الموضوعة فى نفس المستوى ؛ u – المسافة بين الاطواق او القضبان المستعرضة ؛ b – عرض القطعة الانشائية .

ان القطع الانشائية الخالية من القضبان الفولاذية المستعرضة ، يجب ان تحقق الشرط المماثل للشرط المطبق فى حالة حساب الشقوق المائلة (راجع الفصل السابع) ولكن تؤخذ المقاومة التصميمية للخرسانة ، كما هى بالنسبة للمجموعة الاولى من الحالات الحدية (R_{ten} و R_{pr}) وتضرب فى عامل خدمة الخرسانة m_{c2} .

المجموعة الثانية من الحالات الحدية . عند تأثير الاحمال الكثيرة التكرار ، يتم حساب الشقوق العمودية على المحور الطولى للقطعة ، استنادا الى نفس المبادىء الاساسية المستخدمة عند حساب التحمل (باستثناء التحديدات الخاصة بمساحة مقطع خرسانة منطقة الشد) ، ولكن تبعا للمقاومة التصميمية للخرسانة للشد المحورى ، المأخوذة بالنسبة للمجموعة الثانية من الحالات الحدية نجد ان :

$$\sigma_{c.\ ten.\ max} \leqslant R_{tenII} m_{c2} \qquad \text{(VIII-22)}$$

ويجرى حساب تكوّن الشقوق العمودية على المحور الطولى للقطع الانشائية ، على فرض انه عند تأثير الاحمال الكثيرة التكرار ، قد يؤدى ظهور هذه الشقوق الى نفاد السعة الحملية . وفى هذه الحالة ، تستخدم المقاومة التصميمية للخرسانة R_{tenII} و R_{prII} بادخال عامل الخدمة m_{c2} .

ويعبر عن شرط تحديد سعات الانحرافات الدينامية ، بواسطة الصيغة التالية :

$$A \leqslant a_0 \qquad \text{(VIII-23)}$$

حيث A – سعة الاهتزازات القسرية ، المستخرجة من الحساب الدينامى ؛ a_0 – السعة القصوى للاهتزازات القسرية ، المستخرجة من شروط العمل الطبيعى للانسان ، وكذلك المكنات والمخارط واجهزة القياس وغيرها :

$$a_0 = W_0/4\pi^2 n^2 \qquad \text{(VIII-24)}$$

او القيمة التالية :

$$a_0 = V_0/2\pi n \qquad \text{(VIII-25)}$$

حيث n : تردد الاهتزازات القسرية (بالهرتز – Hz) ؛ W_0 – السعة القصوى للتسارع (م /ثا^2) ؛ V_0 – السرعة القصوى للاهتزازات التوافقية (م /ثا) .

ان القيم المتوسطة للمقادير المذكورة اعلاه ، يمكن ان تؤخذ كما يلى : $W_0 = 150mm/s^2$ عند $n<10Hz$ و $V_0 = 2,4mm/s$ عند $n\geqslant10Hz$. وتحتوى المواصفات القياسية الخاصة ، على معلومات ومعطيات اكثر تفصيلا حول القيم القصوى لسعات الاهتزازات القسرية ، السرعات ، التسارعات وبقية الشروط الصحية والصناعية المطلوب توفرها .

واذا لم يتحقق الشرط (VIII-23) ، يجب عندئذ اتخاذ الاجراءات التصميمية الضرورية لتقليل سعات الاهتزازات القسرية للقطع الانشائية . والنتيجة الحسابية غير الملائمة قد تظهر فى هذه الحالة ، لان تردد الاهتزازات الحرة للقطعة الانشائية ω يكون قريبا من تردد القوة الاضطرابية Θ .

ويجب ان يكون الغرض من الاجراءات التصميمية لتقليل الاهتزازات ، متجها نحو امكانية ابعاد مصدر الاهتزازات ، موازنة المكنات والآليات وغير ذلك ، او نحو تغيير تردد الاهتزازات الطليقة للقطع الانشائية . ويمكن التوصل الى الهدف الاخير ، بتغيير جسوءة القطع ، وتغيير المخطط التصميمى او طول الباع ، واذا اريد زيادة تردد الاهتزازات الحرة ، يجب عندئذ زيادة جسوءة القطعة الانشائية . وفى هذه الحالة يخفض المعامل الدينامى β ويقلل الارتخاء الاستاتى . ان استخدام العتبة ذات الطرفين المرنى التثبيت ، بدلا من العتبة ذات الطرفين المستندين بحرية ، يزيد من تردد الاهتزازات الحرة الى الضعف تقريبا ؛ كما ان اضافة اربطة جديدة وزيادة درجة عدم التحديد الاستاتى ، تؤثران دائما على تردد الاهتزازات الحرة للانشاء ، ونفس الشىء بالنسبة لزيادة جسوءة الانشاء . وان اى تقليل فى طول باع الانشاء ، يؤدى الى زيادة تردد الاهتزازات الحرة .

ان استخدام مخمدّات الصدمات (shock-mounting) للمكنات والوحدات الآلية ، يعتبر من اكثر الاجراءات فعالية للحيلولة دون اهتزاز الانشاءات . وتتلخص عملية اخماد الصدمات بشكل فعال ، فى عزل مصادر انبعاث الاهتزازات ، وتقليل الاحمال الدينامية التى تنتقل من المكنات الى الانشاء ؛ وقد يكون اخماد الاهتزازات سلبىّ الاثر ، ويتلخص فى وقاية الاجهزة والمعدات الحساسة جدا للاهتزازات ، من اهتزازات الانشاءات الحاملة التى تستند عليها تلك الاجهزة والمعدات . وتتألف مخمدات الصدمات من مجموعة من القضبان المعلقة ، الزنبركات (النوابض) الفولاذية ، الحشيّات المطاطية وغير ذلك . وان مخمدات الصدمات ، يجب ان تصمم وفقا للمواصفات القياسية الخاصة بذلك . اما نظام مخمدات الصدمات غير الصحيح التصميم او السىء الاختيار ، فقد يؤدى الى زيادة حدة الاهتزازات بدلا من اخمادها .

الفصل التاسع

مبادىء تصميم القطع الخرسانية المسلحة باقل تكاليف ممكنة

البند الاول
علاقات لتحديد تكاليف الانشاءات الخرسانية المسلحة

فى الاتحاد السوفييتى ، يعتبر معيار الفائدة الاقتصادية القصوى عند المقارنة بين انواع القطع الانشائية المتماثلة (التى تفى بشروط الخدمة الجيدة ، ولها نفس مدة الخدمة تقريبا مع مقاومتها المتساوية او صمودها للنار) ، هو اقل التكاليف المصروفة فى انتاجها ، والتى تتألف من المصروفات الجارية C_i (تكاليف اعمال الهندسة المدنية) والمصروفات الاجمالية K_i (الاموال المستثمرة او تكاليف التشغيل) ، المحولة الى مبالغ سنوية استنادا الى استخدام عامل الانتفاع بالاموال المستثمرة E_u ، ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

$$C_i + E_u K_i = \text{minimum} \qquad \text{(IX-1)}$$

والعامل E_u المذكور هنا ، يستخدم عادة فى اعمال الهندسة المدنية ، بقيمة تساوى 0,12 . باستثناء المناطق الشمالية النائية فى الاتحاد السوفييتى ، حيث تؤخذ قيمته 0,08 . ان التكاليف المكافئة التقديرية للقطع الانشائية المصممة ، تتألف من كلفتها النهائية ، أى كلفتها فى الانشاء او المبنى الخالص (مع تعديلات خاصة او تخفيضات فى المصاريف غير المباشرة ، على حساب تقليص مواعيد اقامة الانشاء والجهود المصروفة فى ذلك) ، التى تحول الى السنة التى يبدأ فيها استخدام الانشاء او المشروع ، والمصروفات المعتمدة على مقدار الاموال المستثمرة فى اساس المشروع وكذلك مصاريف الصيانة والتشغيل (مع الاخذ فى الاعتبار ، كافة انواع الخسارة المحتملة فى الاقتصاد الوطنى ، الناجمة عن التأخير فى انجاز المشروع او الانشاء) .

ان الانشاء المثالى التكاليف من النوع المعين (مثل العتبة الخرسانية المسلحة ، البلاطة السقفية ، الجمالون السقفى ، العمود وغير ذلك) من بين مجموعة التصاميم الممكنة ، التى تختلف عن بعضها البعض بالابعاد الهندسية ، نسبة فولاذ التسليح ، صنفه ، ماركة الخرسانة المصممة ، تكنولوجية الانتاج وغيرها ، يمكن ان يحدد بالتقريب الاولى ، استنادا الى كلفة الانشاء النهائية فقط .

وهناك تأثير ملموس لحساب التغيرات فى تكاليف الانشاءات او القطع الانشائية المترابطة (الجدران المحيطة بالمبانى ، الاعمدة ، الاساسات) وكذلك لحساب تكاليف التدفئة وتهوية الغرف والمرافق ، المتعلقة بتغيير ارتفاع السقوف (او الارضيات) عند مقارنة الابعاد القياسية الخارجية للتصميم الانشائى المبحوث . ويمكن اهمال هذا الامر ، اذا اجريت مقارنة بين التصاميم القياسية الموحدة ، او اذا اخذنا فى الاعتبار استخدام القطع الانشائية فى المبانى ذات المساحات الواسعة جدا .

ان التكاليف النهائية المصممة للقطعة الانشائية $C_{p.e}$ (فى الانشاء الخالص) فى مرحلة التصميم ، تتألف من الكلفة الاجمالية للانتاج فى المصنع C_p ، مصروفات الشحن C_t من المصنع المنتج الى موقع البناء ، مصروفات التركيب C_e والجزء المتغير من مصاريف الانشاء غير المباشرة ΔH . وهنا يجب ان تؤخذ فى الاعتبار تكاليف الادخار والتخزين الانشائية ، وذلك بادخال معامل قيمته فى المعدل 1,02 ؛ ارتفاع تكاليف الاعمال فى فصل الشتاء (اذا وجدت) بادخال المعامل k_w الذى يساوى 1,025 (عندما لا يزيد حجم اعمال صب الخرسانة على ١٥ ٪ من حجم الاعمال المتعلقة بانتاج القطع الانشائية السابقة الصنع) . وهكذا سنحصل فى النهاية على الصيغة التالية :

$$C_{p.e} = (C_p + C_t)1{,}02 + (C_e + C_{p\text{-}a})k_u + \Delta H \qquad \text{(IX-2)}$$

وفى هذه الصيغة ، تحدد كلفة التركيب C_e من المراجع الخاصة بتكاليف الانشاء فى الاتحاد السوفييتى ؛ $C_{p\text{-}a}$ تمثل المصروفات المتعلقة بتجميع القطع الانشائية المركبة من قطع اصغر منها (اى من عدة قطع اساسية) ، اى تجميع القطع المكبّرة ، حسب المواصفات السوفييتية المعمول بها فى الوقت الحاضر .

ان كلفة الشحن C_t تحدد استنادا الى تكاليف شحن القطع الانشائية الجاهزة بواسطة الشاحنات او عربات السكك الحديدية ، بما فى ذلك تفريغها من الشاحنات الى موقع العمل ، وكذلك التكاليف الاضافية الاخرى الضرورية بمعاملات النقل بالشاحنات . وفى هذه الحالة ، يحسب حجم المواد ، استنادا الى الحجوم التصميمية للقطع الانشائية مع طرح الفراغات الموجودة .

واخيرا نجد ان الكلفة الاجمالية للقطعة الانشائية المنتجة فى المصنع ، تساوى ما يلى :

$$C_p = C_{p.f}1{,}145k_{reg} \qquad \text{(IX-3)}$$

حيث $C_{p.f}$ – الكلفة الاولية للقطعة ؛ والعدد 1,145 يمثل المعامل الذى يأخذ فى الاعتبار التغيّرات الحاصلة فى كفاية الصناعة والمصروفات غير المباشرة اثناء الانتاج ؛ k_{reg} – المعامل

الذى يأخذ فى الاعتبار التغيرات الاقليمية فى تكاليف المواد الاولية والقطع الانشائية الجاهزة ، وفقا للمواصفات القياسية .

ان الجزء المتغيّر من المصروفات غير المباشرة او الاضافية ΔH ، يحدد من الصيغة التالية :

$$\Delta H = 0{,}6(MD) + 0{,}15W_e + 0{,}082C_{p.d} \qquad \text{(IX-4)}$$

حيث العدد 0,6 يمثل مجموع المصروفات غير المباشرة او الاضافية ، للشخص العامل فى اليوم الواحد ؛ MD يمثل عدد العمال والايام المصروفة فى تجميع واقامة الانشاء فى موقع العمل ؛ والعدد 0,15 يمثل المصروفات غير المباشرة الاجمالية مقاسة بوحدة العملة المدفوعة (مثل الروبل والدولار وغيرهما) من معدل الاجرة الاساسية للعمال المشاركين فى اعمال التركيب او الاقامة ؛ W_e – تمثل معدل الاجرة الاساسية للعمال المشاركين فى اعمال التركيب ؛ والعدد 0,082 يمثل نسبة الجزء المحدد مسبقا او الثابت من المصروفات غير المباشرة للعمل (ان نسبة ٥٠ ٪ من المصروفات غير المباشرة او الاضافية ، تعتبر مساوية لنسبة ١٦٫٥ ٪ من المصروفات او التكاليف الاجمالية) ؛ $C_{p.d}$ – تمثل القسم المباشر من التكاليف النهائية للقطعة الانشائية المنتجة فى المصنع ، وهو النتيجة المتوسطة عدديا ، الناجمة عن حل المعادلة (IX-2) .

ولاغراض التصميم العملى ، تستخرج الكلفة الاولية التقديرية للقطعة الجاهزة ، باعتبارها مساوية لمجموع الحدود التالية فى المعادلة المدرجة ادناه :

$$C_{p.f} = C_{cm} + C_s + C_r + C_{pr} + C_{ep} + C_{inst} + \\ + C_{ten} + C_{pl} + C_{fm} + C_{ht} + C_{ind} \qquad \text{(IX-5)}$$

حيث C_{cm} – الكلفة الاجمالية للمزيج الخرسانى ؛ C_s – الكلفة الاجمالية للفولاذ المستخدم فى انتاج القطعة الانشائية ، بما فى ذلك الاقسام المبيّتة ؛ C_r – الكلفة الاجمالية لفولاذ التسليح غير السابق الاجهاد (الشبكات ، الهياكل ، القضبان المنفردة ، العروات الرافعة) ؛ C_{pr} – الكلفة الاجمالية لفولاذ التسليح السابق الاجهاد (القضبان الفولاذية والكبلات وغيرها) ؛ C_{ep} – كلفة الاقسام المبيّتة بما فى ذلك الاقسام المنتجة من الفولاذ المشكل المقطع ، الالواح والقضبان الفولاذية ؛ C_{inst} – كلفة تركيب ووضع الفولاذ غير السابق الاجهاد والاقسام المبيتة فى القوالب ؛ C_{ten} – الكلفة الاجمالية لشد القضبان الفولاذية ؛ C_{pl} – الكلفة الاجمالية لصب الخرسانة فى القوالب ؛ C_{fm} – كلفة صيانة قوالب الصب ؛ C_{ht} – كلفة المعاملة الحرارية للخرسانة (الانضاج بالبخار) ؛ C_{ind} – الكلفة الاجمالية للعمليات الخاصة برفع كفاية التصنيع (وتشمل تكاليف تجميع القطع الصغيرة فى قطع كبيرة ، تهذيب وصقل التنوءات وغير ذلك) .

ويعتبر تحديد الكلفة الانتاجية التصميمية للقطعة الانشائية المنتجة فى المصنع ، ضروريا لاجل التقييم التقريبى الفنى الاقتصادى للقطعة المصممة المبحوثة ، او لاجل اختيار ذلك التصميم المثالى الذى يجعل تكليف القطعة الانشائية المنتجة ، يصل الى اقل ما يمكن .

البند الثانى
معطيات مرجعية

ان كافة حدود المعادلة (IX-5) ما عدا الحد الأخير ، تحسب قيمها كما يلى :

$$\left.\begin{aligned} C_{cm} &= V_c k_{cm} P_{cm} \\ C_s &= \Sigma M_{r(pr.d)} k_s P_s / 1\,000 \\ C_r &= \Sigma M_r(1) P_r / 1\,000 \\ C_{pr} &= M_{pr} P_{pr} / 1\,000 \\ C_{ep} &= \Sigma M_{ep}(1) P_{ep} / 1\,000 \\ C_{inst} &= (M_r + M_{ep}) P_{inst} / 1\,000 \\ C_{ten} &= M_{pr} P_{ten} / 1\,000 \\ C_{pl} &= V_c P_{pl} \\ C_{fm} &= V_c P_{fm} \\ C_{ht} &= V_c P_{ht} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IX-6)}$$

حيث V_c – حجم الخرسانة فى القطعة الانشائية الجاهزة (م^3) ؛ $M_{r(pr.d)}$ – كتلة الفولاذ (كجم) المؤلف من قضبان ذات قطر ونوع معين ، واطوال مقررة فى المخططات التصميمية حسب المواصفات القياسية ؛ $M_r(1)$ – الكتلة (كجم) لكل قطعة تسليح غير سابقة الاجهاد من النوع المعين (شبكات ، هياكل ، عروات رافعة والمجاميع المعينة للكتل ؛ M_{pr} – كتلة فولاذ التسليح (كجم) السابق الاجهاد من الصنف المعين ؛ $M_{ep}(1)$ – كتلة نوع من انواع الاقسام المبيتة (كجم) ؛ M_r – الكتلة الاجمالية لفولاذ التسليح غير السابق الاجهاد ، فى القطعة الانشائية (كجم) ؛ M_{ep} – الكتلة الاجمالية للاقسام المبينة فى القطعة الانشائية (كجم) ؛ P_{cm} – قيمة كل ١ م^3 من المزيج الخرسانى (وذلك تبعا لنوع الخرسانة ومارکتها التصميمية ، حجم حبات الانخلاط ، فعالية المزيج الخرسانى والمقاومة النهائية للقطعة) ؛ P_s – قيمة كل ١ طن من الفولاذ ، حين يسلم الى المصنع الذى يقوم بانتاج الخرسانة المسلحة السابقة الصنع (تبعا لصنف الفولاذ ، مارکته ، قطر القضبان ،

شكل المقطع العرضى والغرض المستخدم لاجله) ؛ P_r – قيمة كل ١ طن من القطعة غير السابقة الاجهاد (تبعا للنوع ومجاميع القيم الوزنية) ؛ P_{pr} – قيمة كل ١ طن من قطع التسليح السابقة الاجهاد ؛ P_{ep} – قيمة كل ١ طن من الاقسام المبيتة للقطعة ؛ P_{inst} – قيمة تركيب ١ طن من الفولاذ غير السابق الاجهاد ، مع الاقسام المبيتة فى القوالب ؛ P_{ten} – قيمة الشد لكل ١ طن من الفولاذ السابق الاجهاد تبعا للصنف والنوع وطريقه الشد ؛ P_{pl} – كلفة فرش او صب كل ١ م^3 من الخرسانة (تبعا للقطعة الجاهزة) فى القوالب الخاصة ؛ P_{fm} – كلفة صيانة القوالب (بالنسبة لكل ١ م^3 من الخرسانة فى القطعة الجاهزة) ؛ P_{ht} – كلفة البخار المستخدم فى انضاج كل ١ م^3 من الخرسانة (فى القطعة الجاهزة) ؛ k_{cm} – معامل استهلاك المزيج الخرسانى ، الذى يأخذ فى الاعتبار ازاحة قسم من الخرسانة من قبل فولاذ التسليح ، فقدات وضياع قسم من الخرسانة اثناء عملية فرشها او صبها ؛ k_s – معامل استهلاك الفولاذ ، الذى يأخذ فى الاعتبار فقدان وضياع قسم من الفولاذ فى صناعة قطع التسليح والاجزاء المبيتة من القطع .

وكما يتضح مما سبق ، نجد ان الحد الاخير فى الصيغة (IX-5) اى المقدار C_{ind} ، يعود الى كلفة عملية اتقان المصنع وغيرها من العمليات الاخرى ، المنقولة من موقع البناء او العمل الى داخل المصنع وذلك لجعل عملية الانتاج مصنعة الى اكبر درجة ممكنة . وهذه العمليات تشمل تجميع القطع الصغيرة فى قطع كبيرة سهلة التركيب ، اقامة العوازل الحرارية ، العوازل البخارية ، صقل وتهذيب السطوح وغيرها من العمليات .

البند الثالث

تصميم القطع والانشاءات الخرسانية المسلحة باقل التكاليف الممكنة

عند الرجوع الى المعادلتين (IX-5) و (IX-6) ، يمكننا ان نستنتج ان الكلفة الانتاجية للقطعة الانشائية فى المصنع ، هى عبارة عن دالة لعدة عوامل مختلفة ، هى : G – المعطيات الهندسية للمقطع العرضى وتسليحه (بما فى ذلك ارتفاع القطعة ، عرض الوترة او الضلع القائم ، عرض الشفة ، مساحة مقطع فولاذ التسليح) ؛ A – المعطيات المتعلقة بفولاذ التسليح الفعال او القضبان الفعالة (صنف الفولاذ ، ماركة الفولاذ ونوعه) ؛ R – نوع الخرسانة وماركتها المصممة ؛ L – طول القطعة الانشائية ؛ P – المعطيات الخاصة بتكاليف الخرسانة وفولاذ التسليح ؛ T_m – الطرق التكنولوجية المتبعة فى انتاج القطعة الانشائية و T_e – الطرق التكنولوجية المتبعة فى تركيب او اقامة الانشاء (بما فى ذلك عملية

الشحن) ، اى اننا سنحصل اخيرا على الصيغة التالية :

$$C_{p.f}^{(m)} = \varphi(G, A, R, L, P, T_m, T_e) \qquad (IX\text{-}7)$$

وهنا يعتبر المعاملان L و P غير قابلين للتعديل (nonmodifiable factors) . اما المعاملان T_m و T_e فهما بصورة عامة قابلان للتعديل ، ولكن بما ان العدد المعين من البدائل هو محدود عادة ، يمكن اعتبار المعاملين المذكورين أيضا بمثابة معاملين محددى القيمة مسبقا ، استنادا الى الخبرة العملية ووفقا لنوع وماركة الفولاذ والخرسانة وكذلك استنادا الى نوع القطعة الانشائية المنتجة . وعند وجود اختيار معين لبدائل متعددة للمعاملين T_m و T_e ، يجب عندئذ وضع قيمة معينة من قيم $C_{p.f}$ لكل عملية صناعية بديلة او لكل عملية تركيب بديلة (وهذا لا يعنى اختيار العملية الصناعية المثلى او الطريقة المثلى للتركيب ، لان ذلك يتم بصورة مستقلة استنادا الى معطيات المراجع الخاصة) .

وتعتبر المعاملات G ، A و R قابلة للتعديل ، ولكن نوع الخرسانة (ثقيلة او خفيفة) يجب ان يعين مسبقا ؛ ومن ناحية اخرى اذا ترك للمصمم حق اختيار هذا النوع او ذاك من الخرسانة ، عندئذ يجب استخراج قيمة المعامل $C_{p.f}$ لكل حالة على انفراد . وتنص المواصفات القياسية السوفييتية المعمول بها ، على ان يتم اختيار قيم المعاملات G ، A و R ، بحيث لا تظهر اية حالة من الحالات الحدية فى القطعة الانشائية خلال فترة الانتاج والتركيب والخدمة . وعلى وجه الخصوص ، لتجنب حدوث المجموعة الاولى من الحالات الحدية ، يجب ان تتحقق الشروط التالية :

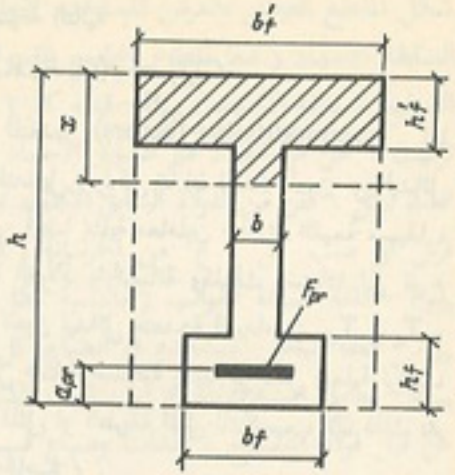
$$M_q \leqslant M_{lim}; \quad Q_q \leqslant Q_{lim}; \quad N_q \leqslant N_{lim} \qquad (IX\text{-}8)$$

ولتجنب حدوث المجموعة الثانية من الحالات الحدية ، يجب ان تتحقق الشروط التالية :

$$\left.\begin{array}{l} M_q \leqslant M_{cr}; \quad N_q \leqslant N_{cr}; \quad \sigma^q_{prin.\,ten} \leqslant R_{ten} \\ f_q/l \leqslant [f/l]; \quad a^q_{cr} \leqslant [a_{cr}] \end{array}\right\} \qquad (IX\text{-}9)$$

وفى المعادلات المذكورة اعلاه ، تعين الحدود الواقعة فى الطرف الايسر ، بواسطة القيم التصميمية او القياسية (الاساسية) للقوى ، طول القطعة الانشائية ونوع التثبيت عند المساند اما الحدود الواقعة فى الطرف الايمن ، فتمثل القيم الدليلية للسعة الحملية (بواسطة العزم ، القوة الطولية وقوة القص) او بواسطة مقاومة التشقق ، او الارتخاء المناظر وعرض فتحة الشق ، كما تحددها المواصفات القياسية النافذة المفعول . وقد وضعت عدة قيود تصميمية اخرى ، أملتها التجارب العملية للانشاء ، وتتمثل فى الشروط التالية :

$$\left.\begin{array}{l} x/h_0 \leqslant \xi_R; \quad Q \leqslant 0{,}35 R_{pr} b h_0 (100) \\ \mu_{min} \leqslant \mu \leqslant \mu_{max} \end{array}\right\} \qquad (IX\text{-}10)$$



شكل ٩ – ١ . الرسم التخطيطى للمقطع شكل I للقطعة الانشائية السابقة الاجهاد المعرضة للانحناء

وهناك قيود اخرى على قيمة الاجهاد المسبق فى فولاذ التسليح والخرسانة ، تتمثل فيما يلى :

$$\sigma_{0.\min} \leqslant \sigma_0 \leqslant \sigma_{0.\max}; \quad \sigma_c \leqslant \sigma_{c.\max} \qquad \text{(IX-11)}$$

وبتعويض المعادلتين (IX-8) و (IX-9) فى العلاقة (IX-7) ، نحصل على معادلة او صيغة رياضية معقدة ، لا يمكن اختصارها عمليا بالنسبة للمتغيرات المنفردة بصورة عامة . وان مسألة تخفيض كلفة القطعة المنتجة الى اقل ما يمكن ، قد تحل بطريقة التحليل العددى للكلفة المحددة استنادا للقيم الواردة فى الصيغ المرقمة من (IX-7) الى (IX-9) مع الاخذ فى الاعتبار ، الصيغتين (IX-10) و (IX-11) ، وذلك بافتراض قيم مباشرة للمتغيرات المستقلة .

ومن تجرى الصيغة (IX-7) استنادا الى معطيات الصيغ المرقمة من (IX-8) الى (IX-11) ، نحصل على العلاقة التالية ، للمقطع الثابت I للعتبة المعرضة للانحناء (شكل ٩ – ١) والتى تؤثر عليها الاحمال التصميمية ومجموعات الاحمال الاخرى ، وهى العلاقة التى تكون فيها الكلفة عبارة عن دالة لاربعة متغيرات مستقلة فقط ، وهى :

$$C^{(m)}_{p.\,f} = \varphi(h, b'_f, A, R) \qquad \text{(IX-12)}$$

ومن السهل ان نثبت بعد ذلك ان بقية البارامترات (القيم المتغيرة) للعتبة التى مقطعها I (وهى h'_f ، h_f ، b ، b_f ، F_{pr} و σ_0) تكون مرتبطة مع المتغيرات الاربعة فى الصيغتين (IX-8) و (IX-9) ، عن طريق الدالة . وعلى سبيل المثال ، نجد ان فولاذ التسليح الطولى الاساسى للقطع السابقة الاجهاد ، لا يعتمد عمليا على عرض وارتفاع المقطع . ويمكن ان يهمل فى حدود المقطع العرضى (شكل ٩ – ١) ، باعتباره كمية ثابتة لا يمكن ان تؤثر على الحل الامثل للمسألة .

ان تحليل شروط مقاومة المقطع I فى القطع المعرضة للانحناء عند المقطع العمودى (لاحظ الشكل ٩ – ١) ، تثبت بان المقطع الاكثر اقتصادية ، هو المقطع الذى يكون فيه ارتفاع الشفة المنضغطة h'_f ، مساويا لارتفاع (عمق) منطقة الانضغاط .

وعند تعويض قيمة $m_{s4}R_sF_{pr}$ بدلا من قيمة R_sF_s فى المعادلة (III-27) ، نحصل على ارتفاع الشفة المنضغطة للمقطع I ، ويساوى ما يلى :

$$h'_f = x = m_{s4}R_sF_{pr}/b'_fR_{pr} \qquad \text{(IX-13)}$$

ومن الواضح ان هذا الارتفاع لا يمكن ان يقل عن الارتفاع الفعلى المسموح به فى التصميم .

ونظرا لان $h'_f = x$ ، يمكن ان نكتب معادلة مساحة المقطع العرضى لفولاذ التسليح السابق الاجهاد ، عندما يكون الارتفاع الفعال للمقطع هو $h_0 = h - a_{pr}$ ، كما يلى :

$$F_{pr} = M/m_{s4}R_s(h - a_{pr} - 0{,}54h'_f) \qquad \text{(IX-14)}$$

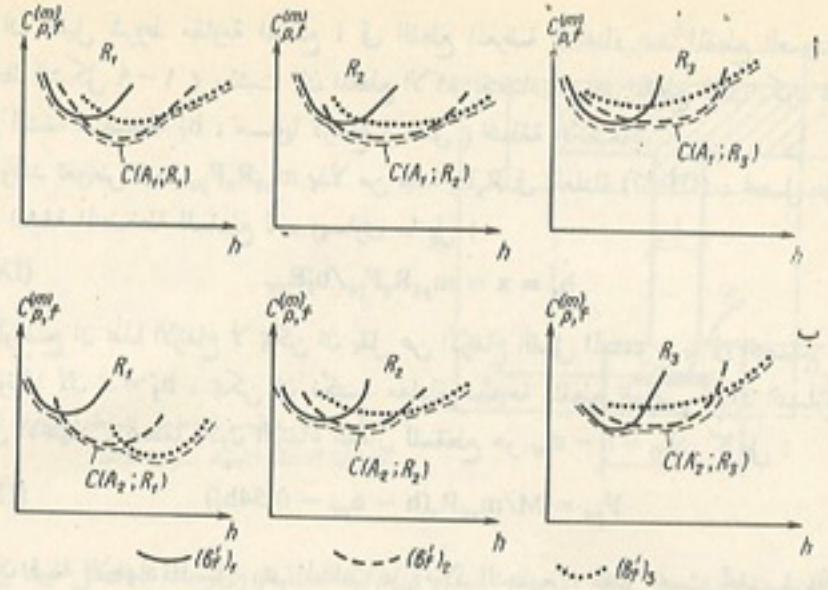
ان قيمة الاجهاد المسبق σ_0 المسلط على فولاذ التسليح ، تختار بحيث تحقق شروط ومتطلبات مقاومة التشقق فى القطعة الانشائية ، وتؤلف قسما معينا من قيمة R_s .

ويؤخذ ثخن الوترة او الضلع القائم b ، مساويا عادة لما يتراوح بين ٦ – ٨ سم ، وهى القيمة الصغرى التى يسمح بها من حيث الصناعة والانتاج . واستنادا الى الصيغة (III-67) نجد ان شرط مقاومة المقطع المائل (المعبر عنه بواسطة Q) يربط قيمة b بكل من h_0 ، R وكمية القضبان الفولاذية المستعرضة . وهكذا نجد من شروط مقاومة القطعة الانشائية ، ان البارامترات التالية h'_f ، h_f ، b ، b_f ، F_{pr} و σ_0 ، تعتمد على المتغيرات h ، b'_f ، A و R .

ان تحليل وحساب مقاومة التشقق والجسوءة فى القطعة الانشائية ، استنادا الى الصيغة (IX-9) (وقد اهمل هذا التحليل هنا لاجل الاختصار) سيبين انه فى هذه الحالة ايضا ، تبقى قيم h ، b'_f ، A و R متغيرات مستقلة ، بينما ترتبط بها كافة الحدود والقيم الاخرى ، بواسطة الدالة .

ان حساب شروط مقاومة القطعة الانشائية وجسوءتها ، واخذها فى الاعتبار اثناء عملية الشحن والتركيب ، سوف لا تؤثر على الحسابات التى أجريناها اعلاه ، وعلى نتائجها .

وعند حل المسألة المتعلقة بايجاد القيمة المثلى او الصغرى للقطعة الانشائية ، بواسطة معطيات المعادلة (IX-12) ، تكون الخطوة الاول متمثلة فى اقرار مجموعة المعطيات المتعلقة بالبديل الاول لاختيار فولاذ التسليح A_1 (صنف الفولاذ ، ماركته ، طريقة الشد المسبق ، المقاومة المصممة ، الانفعال او التشوه ، الكلفة) . وبعد ذلك توضع مجموعة المعطيات على التوالى ، بالنسبة لكل ماركة من ماركات الخرسانة المصممة R_1 ، R_2 ، R_3 ،... الى آخره ،



شكل ٩ – ٢ . العلاقة بين تكاليف القطعة الانشائية والابعاد الاجمالية للمقطع العرضى h و b_f' ، وكذلك مقاومة وانفعال وتكاليف ملزمات الخرسانة R_1 ، R_2 و R_3 :

أ – بالنسبة لفولاذ التسليح من النوع A_1 ، ب – بالنسبة لفولاذ التسليح من النوع A_2

وتتم هندسة المقطع I بالطريقة التى تجعله يحقق الشروط المذكورة اعلاه . وبعد ذلك يتم حساب ثمن كلفته الاصلية $C_{p.f}^{(m)}$ التقريبية ، استنادا الى ارتفاع المقطع h لعدة عروض مثبتة للشفة المنضغطة ، وهي b_{f1}' ، b_{f2}' ، b_{f3}' ،... ، وهلم جرا . وعند القيام بذلك ، يتم اختيار قيم h و b_f' التجريبية ، بطريقة متتالية معينة وعلى فترات خاصة ، الى ان تؤدى العملية الى ايجاد الكلفة الصغرى او الثمن الاقل . ويمكن التعبير عن نتائج هذه الحسابات بالطريقة البيانية التخطيطية . ويبين الشكل (٩ – ٢ ، أ) مثل هذه العلاقات والمعادلات ، وقد حددت على الرسوم البيانية فى الشكل ، الخطوط المحيطة او المغلفة $C(A_1, R_1)$ ، $C(A_1, R_2)$ و $C(A_1, R_3)$ ، المؤلفة من اقسام المنحنيات البيانية المرسومة فتختلف قيم b_{f1}' ، b_{f2}' ، b_{f3}' ،... ، الى آخره .

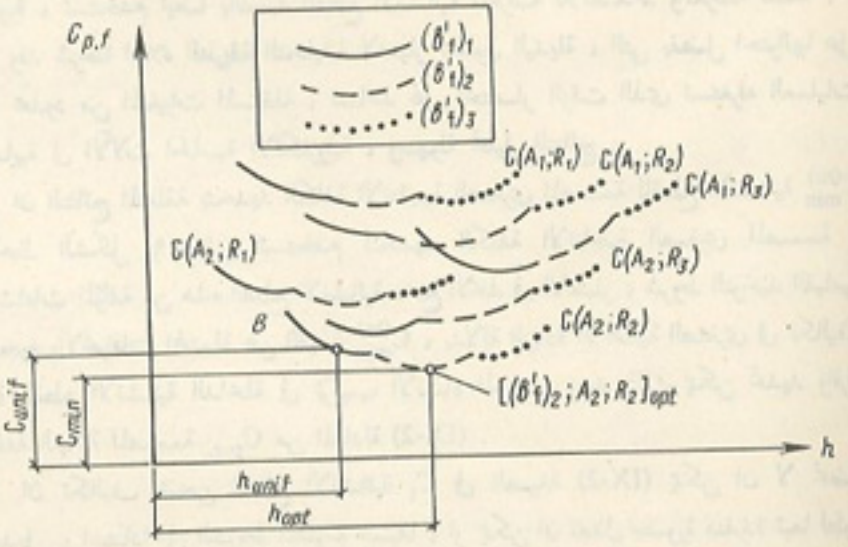
والخطوة الثانية هى فرض مجموعة ثانية من المعطيات للبديل الثانى لفولاذ التسليح A_2 ، واتباع نفس طريقة الحساب والتحليل المذكورة اعلاه . وعند ذلك سنحصل على الخطوط المحيطة $C(A_1, R_1)$ ؛ $C(A_2, R_2)$ ؛ $C(A_2, R_3)$ وهلم جرا ، كما مبين فى الشكل (٩ – ٢ ، ب) . وباتباع الطريقة السالفة الذكر ، يمكننا الحصول على خطوط محيطة مشابهة ، للبديل الثالث للتسليح بالفولاذ A_3 ، والى آخره .

ومن مقارنة الخطوط المحيطة ، الموضحة فى الشكل (٩ – ٣) يمكننا تحديد الكلفة التصميمية الاصلية للقطعة الانشائية ، والقيم المثلى المناظرة لها ، للمقادير او القيم المتغيرة التالية : h_{opt} ، $b_{f.opt}'$ ، R_{opt} .

واذا وجدنا عند التطبيق العملى لذلك ، ان النتائج المثلى التى حصلنا عليها بهذه الطريقة ، يجب ان تخفض عن القيم المثلى الناتجة ، لسبب من الاسباب ، عندئذ يمكننا ان نحدد من الرسوم البيانية الموضحة فى الشكل (٩ – ٣) الزيادة الحاصلة فى الكلفة او القيمة الصغرى للقطعة الانشائية . وعلى سبيل المثال ، لنفرض ان الاختيار النهائى قد استقر على استخدام التسليح A_2 ، واستخدام الخرسانة R_2 ، واستخدام الابعاد التالية للمقطع العرضى b_{f1}' و h_{unif} مع اخذ التوحيد القياسى للقطع فى الاعتبار . ان هذه المعطيات الموجودة على الرسوم البيانية للخطوط المحيطة او المغلفة (لاحظ الشكل ٩ – ٣) تناظر النقطة B ذات الاحداثى الرأسى C_{unif} . ان الزيادة فى كلفة القطعة الانشائية المنتجة ، سيساوى فى هذه الحالة ما يلى :

$$\Delta C_{unif} = C_{unif} - C_{min}$$

ان تحقيق الشروط والمتطلبات العديدة التى تفرضها المواصفات القياسية بالنسبة للانشاءات الخرسانية المسلحة ، يجعل مسألة البحث عن الحل الامثل معقدة وصعبة للغاية . ولكن يمكن حل هذه المسألة بواسطة الآلات الحاسبة الالكترونية الحديثة . وتوجد فى الوقت



شكل ٩ – ٣ . تحديد القيم المثلى لكل من h ، b_f' ، و R_i بواسطة التكاليف الصغرى للقطعة الانشائية

الحاضر الغوريتمات (algorithms) للحلول وبرامج للعمليات التى تجرى بواسطة الآلات الحاسبة الالكترونية ، خالية من أية تبسيطات او اختصارات مهما كانت صغيرة ، وتأخذ فى الاعتبار كافة شروط او متطلبات المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى ، وهى : المقاومة ، مقاومة التشقق ، جسوءة القطع الانشائية عند تعرضها لتأثير الاحمال ، المحتملة اثناء فترة الانتاج والتركيب والخدمة ، وكذلك مع الاخذ فى الاعتبار الشروط التصميمية الواردة فى الصيغتين (IX-10) و (IX-11) .

وتوجد أيضا الغوريتمات مبسطة وبرامج للآلات الحاسبة الالكترونية ، لا تفى بكافة شروط ومتطلبات المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى ، بل تفى بجزء منها فقط .

واذا حافظنا على اهم الشروط المطلوب تحقيقها فى المسألة وفقا للمواصفات القياسية للبناء (وهى مقاومة المقاطع المائلة ، ومقاومة التشقق) ، تصبح المسألة قابلة للحل ذهنيا دون استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية . وفى مثل هذه الحالة ، يكون من الافضل استخدام الصيغ الحسابية الجاهزة ، التى نحصل عليها بالطرق التحليلية الرياضية ، وبعد ذلك يجرى تصحيح وضبط القطع الانشائية وفقا لشروط المواصفات القياسية ، التى اهملها الحل الرياضى الذهنى .

ويمكن بطريقة مماثلة ، حل مسائل الكلفة المثلى للقطع الانشائية ، استنادا الى دلائل وعلامات اخرى ، هى : الجهود الصغرى المبذولة فى العمل ، الكتلة الصغرى ، الكمية المحدودة من المواد المستهلكة الصعبة المنال . وان نفس الطرق المشروحة اعلاه لحل المسائل المذكورة ، تستخدم ايضا بالنسبة للقطع الانشائية المعرضة للانضغاط والمعرضة للشد .

وقد شرحنا اعلاه الطريقة التحليلية لاختيار الحلول البديلة ، التى بفضل احتوائها على عدد محدود من المتغيرات المستقلة ، تساعد على اختصار الوقت الذى تستغرقه العمليات الحسابية فى الآلات الحاسبة الالكترونية ، وسهولة تحليل النتائج .

ان النتائج المتعلقة بتحديد الكلفة الانتاجية الصغرى المصممة للقطع الانشائية $C_{min}^{(m)}$ (لاحظ الشكل ٩ – ٣) تستخدم لتحديد الكلفة الانتاجية الصغرى المصممة ، للانشاءات المؤلفة من هذه القطع الانشائية ، مع الاخذ فى الاعتبار ، شروط التوحيد القياسى للحجوم والانحرافات المحتملة عن القيمة $C_{min}^{(m)}$ ، بدلالة الزيادة الاجمالية الصغرى فى تكاليف كافة القطع الانشائية الداخلة فى تركيب الانشاء المعين . وبعد ذلك يمكن تحديد واقرار الكلفة النهائية المصممة $C_{p.e.}$ من المعادلة (IX-2) .

ان تكاليف شحن القطع الانشائية C_t فى الصيغة (IX-2) يمكن ان لا تخضع للتعديل ، استنادا الى الشروط المعلومة مسبقا ، او يمكن ان تعدل بصورة منفردة تبعا لطول مسافة الشحن من المصنع المنتج للقطع الى موقع البناء ، وتبعا لواسطة الشحن المستخدمة

(السيارات ، السكك الحديدية او غيرها) . واذا قدمت عدة مصانع ، بدائل قابلة للمقارنة ، من القطع الانشائية المنتجة [معاملات T_m مختلفة فى الصيغة (IX-7)] عندئذ يجب تعديل C_t و C_p ، بحيث تتم المحافظة على علاقة معينة بينهما .

ان الكلفة C_e فى الصيغة (IX-2) يمكن ان تعدل بصورة مستقلة ايضا ، ولكن اذا كانت طرق التركيب تؤثر بشكل ملموس على المعامل T_e فى الصيغة (IX-7) عندئذ يجب اجراء تعديل فى المعامل C_e فى نفس الوقت الذى يعدل فيه المعامل C_p .

ان كلفة شحن القطعة الانشائية C_t وكلفة تركيبها C_e ، يمكن اعتبارهما مستقلتين عن بعضهما البعض . وعند الاستخدام المحدود النطاق للانشاءات ، يمكن تحديد الكلفة الصغرى للقطع التى تتألف منها ، فى حالة تحقيق عدد محدود من شروط المواصفات القياسية (مع مراجعة تتم وفقا للشروط الاخرى واجراء التعديل الضرورى) . وفى حالة الاستخدام الكثير اى غير المحدود للانشاءات ، يجب تحديد الكلفة الصغرى للقطع التى تتألف منها ، مع اخذ كافة شروط ومتطابات المواصفات القياسية فى الاعتبار .

المحتويات

ص

تمهيد ٥

مقدمة ١١

١ – طبيعة الخرسانة المسلحة ١١

٢ – مجالات استخدام الخرسانة المسلحة ١٣

٣ – نبذة تاريخية مختصرة عن نشوء وتطور الخرسانة المسلحة ١٧

الفصل الأول . الخواص الطبيعية والميكانيكية الاساسية للخرسانة وقضبان التسليح الفولاذية والخرسانة المسلحة ٢٥

البند الأول . الخرسانة ٢٥

البند الثانى . قضبان التسليح الفولاذية ٥٣

البند الثالث . الخرسانة المسلحة ٧٢

الفصل الثانى . الاسس التجريبية لنظرية مقاومة الخرسانة المسلحة وطرق حساب وتصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة ٩٥

البند الأول . المعطيات التجريبية المتعلقة بسلوك القطع الخرسانية المسلحة تحت تأثير الحمل ٩٥

البند الثانى . طريقة تصميم المقاطع بواسطة الاجهادات المسموح بها ١٠٠

البند الثالث . طريقة حساب وتصميم المقاطع بواسطة قوى الانهيار ١٠٢

البند الرابع . طريقة تصميم الانشاءات الخرسانية المسلحة بواسطة الحالات الحدية ١٠٥

ص

البند الخامس . الاجهاد المسبق فى قضبان التسليح وفى الخرسانة ١٢٢

البند السادس . الارتفاع الاقصى لمنطقة الانضغاط ، نسب التسليح الحدية (النهائية) ١٤٠

الفصل الثالث . القطع الانشائية المعرضة للانحناء ١٤٦

البند الأول . الخواص التصميمية ١٤٦

البند الثانى . حساب مقاومة المقاطع العمودية للقطع الانشائية ذات المقاطع العرضية المختلفة الاشكال ١٥٨

البند الثالث . حساب مقاومة المقاطع العمودية المستطيلة والتى على شكل T ، للقطع الانشائية ١٦٣

البند الرابع . حساب مقاومة المقطع العمودى للقطع الانشائية فى حالة الانحناء الثنائى المحور ١٧٦

البند الخامس . حساب مقاومة المقاطع العمودية للقطع الانشائية المسلحة بفولاذ التحميل الجاسئ ... ١٨١

البند السادس . حساب مقاومة المقاطع المائلة ١٨٤

البند السابع . الشروط التصميمية التى تؤمن مقاومة المقاطع المائلة للعتبة عند تأثير عزم الانحناء ١٩٦

البند الثامن . حساب وتصميم المقاطع المائلة للعتبات المسلحة بالفولاذ الجاسئ ٢٠٠

الفصل الرابع . القطع الانشائية المعرضة للانضغاط ٢٠٢

البند الأول . الخواص التصميمية للقطع المعرضة للانضغاط ٢٠٢

البند الثانى . تصميم القطع الانشائية فى حالة اللامركزيات الطارئة ٢٠٨

البند الثالث . حساب وتصميم القطع التى لها اى مقطع عرضى متماثل ، اللامحورية الانضغاط فى مستوى التماثل ٢١٢

البند الرابع . حساب وتصميم القطع الانشائية اللامحورية الانضغاط ، المستطيلة المقطع ٢١٨

البند الخامس . حساب وتصميم القطع الانشائية التى مقطعها على شكل T او I ٢٢٦

البند السادس . حساب القطع الانشائية الدائرية المقطع ٢٢٩

البند السابع . حساب القطع الانشائية المعرضة للانضغاط اللامحورى الثنائى المحور ٢٣١

البند الثامن . القطع المعرضة للانضغاط ، ذات التسليح غير المباشر لغرض التقوية ٢٣٦

البند التاسع . القطع الانشائية المنضغطة المحتوية على فولاذ التحميل الجاسئ ٢٤١

ص

الفصل الخامس . القطع الانشائية المعرضة للشد ٢٤٥

البند الاول . الخواص التصميمية ٢٤٥
البند الثانى . حساب مقاومة القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى ٢٤٨
البند الثالث . حساب مقاومة القطع الانشائية المتماثلة المقطع العرضى والمعرضة للشد اللامحورى فى مستوى التماثل ٢٤٩

الفصل السادس . القطع الانشائية المعرضة للانحناء والالتواء ٢٥٢

البند الاول . معلومات عامة ٢٥٢
البند الثانى . حساب وتصميم القطع المستطيلة المقطع ٢٥٥

الفصل السابع . مقاومة التشقق وانحرافات القطع الانشائية من الخرسانة المسلحة ٢٥٩

البند الاول . مقاومة تكون الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للشد المحورى ٢٥٩
البند الثانى . مقاومة تكون الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للانحناء والانضغاط اللامحورى والشد اللامحورى ٢٦٠
البند الثالث . مقاومة تفتح الشقوق . المبادئ العامة للحساب ٢٧٢
البند الرابع . مقاومة تفتح الشقوق فى القطع المحورية الشد ٢٧٤
البند الخامس . مقاومة تفتح الشقوق فى القطع الانشائية المعرضة للانحناء ، اللامحورية الانضغاط واللامحورية الشد ٢٧٩
البند السادس . تقوس المحور عند الانحناء وجسوءة القطع الخرسانية المسلحة المعرضة للانحناء ٢٨٩
البند السابع . حساب تأثير الشقوق الاولية فى خرسانة منطقة الانضغاط فى القطع السابقة الاجهاد .. ٣٠٠

ص

الفصل الثامن . مقاومة الخرسانة المسلحة للمؤثرات الدينامية ٣٠٥

البند الاول . اهتزازات القطع الانشائية ٣٠٥
البند الثانى . حساب مقاومة قطع الانشاءات الخرسانية المسلحة للاحمال الدينامية بطريقة الحالات الحدية ٣١٣

الفصل التاسع . مبادئ تصميم القطع الخرسانية المسلحة باقل تكاليف ممكنة ٣٢٠

البند الاول . علاقات لتحديد تكاليف الانشاءات الخرسانية المسلحة ٣٢٠
البند الثانى . معطيات مرجعية ٣٢٣
البند الثالث . تصميم القطع والانشاءات الخرسانية المسلحة باقل التكاليف الممكنة ٣٢٤