

**الحكم على سلامة المنشآت**

**د . جودة غانم**

## الحكم على سلامة المنشآت Appraisal of Existing Structures

### مقدمة :

إن الحكم على سلامة منشأ قائم هو عملية هندسية مختلفة عن تصميم المنشآت ، والهدف منها هو تقويم حالة منشأ قائم ، ويمكن الحكم على صلاحية المنشآت عن طريق الحكم الهندسي Engineering Judgement المبني على المعلومات المتجمعة من دراسة اللوحات ، ومراجعة الحسابات ، وفحص المبني واختباره اذا لزم الأمر .  
وطريقة الحكم على سلامة اي منشأ هي بوجه عام نفس الطرق المتبعة في مراجعة التصميمات الهندسية ، وبينما تختلف نقطة البدء في الحسابات وكذلك طريقة عرض النتائج في الحالتين ، فان النظرية الأساسية واحدة .

ويشمل الحكم على سلامة المنشآت : الحكم على درجة الأمان من الانهيار Safety against failure ، كما يشمل الحكم على مدى قدرة المنشآت على اداء وظيفته Service-ability وان كانت الأولى تتطلب عناية بالحسابات واهتمام بالنتائج اكثر من الثانية لأنها تتطوى على تهديد للأرواح ، فعند تحديد سلامة المبني من الناحية الإنشائية فلا بد من توخي الدقة الكاملة في الحسابات ، اما تحديد الصلاحية لأداء الوظيفة فهي مسألة تخضع للاراء - وخاصة آراء مستعملى المبنى - فحساب التشكك Deflection مثلاً في هذه الحالة لمقارنته بالقيم المعطاة في كود التصميم ليست له اهمية كبيرة ؛ لأن دقة حسابات التشكك لا يعتمد عليها كثيراً ، وانما المهم بالنسبة لمنشأ قائم - ولن تتغير ظروف استخدامه - هو قيم التشكك التي حدثت فعلاً ، وهل هناك احتمال ان تزيد في المستقبل ام لا ، اما اذا كانت ظروف الاستخدام الجديدة ، ويجب التفرقة في هذه الحالة تقدير التشكك المحتمل وتأثيره على ظروف الاستخدام الجديدة ، وبين التشكك الناشئ عن التغيرات Fluctuations في الحمل بين التشكك الناشئ عن الأعمال الدائمة وذلك الناشئ عن التغيرات .

## ١ - خطوات الحكم على سلامة المنشآت :

إن الحكم على سلامة المنشآت هو عملية لها طريق دائري شكل (١٨) ، فيتم تجميع المعلومات وعمل التحليل الانشائى ، فإذا أظهرت النتائج أن المنشآت سليم فيمكن ان تقف العملية عند هذا الحد ، أما اذا كانت النتائج غير قاطعة فيتم جمع المزيد من المعلومات وعمل تحليل انشائى اكثراً دقة .. وهكذا ، ولذلك فان السير في طريق الحكم على المنشآت يجب ان يتم على مراحل كل مرحلة تعتمد على ماتم الوصول اليه في المرحلة السابقة .

## ٢ - المعلومات المطلوبة :

المعلومات التي تم تجميعها عن خلفية الموضوع وخاصة تلك المبينة في الجزء الخاص بالفحص الشامل ضرورية لعملية تقويم حالة المنشآت ، وهذه المعلومات تشمل اللوحات والنوتة الحسابية ومستندات التنفيذ ، وتاريخ المنشآت وحالته الراهنة من حيث المظاهر ومقاومة المواد والأحمال الفعلية .. الخ .

## ٣ - التقويم المبدئي :

بعد تجميع المعلومات المتاحة يمكن دراستها وعمل التحليل الانشائى اللازم للتحقق من قدرة المنشآت على تحمل الأحمال الواقعية عليه ، وتحديد معاملات الأمان الفعلية ، ويجب التركيز على الاتزان وعلى صلاحية النظام الانشائى للمنشآت في حالته الراهنة ، وعند القيام بالحسابات الإنسانية يصبح من الضروري وضع بعض الفروض عن طريقة توزيع الأحمال ومقاومة الخرسانة ، هذه الفروض يجب ان تكون متحفظة وفي جانب الأمان في هذه المرحلة . ومن الناحية العملية فعادة ما تكون الحسابات الأولية للحكم على سلامة المنشآت مثل حسابات مراجعة التصميم ، وتؤدي هذه الحسابات إلى ثلاثة نتائج :

- ان تظهر الحسابات ان معامل الأمان مناسب حسب المواصفات والقواعد السارية ، وألا يسفر الفحص المبدئي عن ظهور اي علامات للتصدع ، وفي هذه الحالة وقبل اعلان ان المنشآت سليم يجب مراجعة فروض التصميم لتحقق من عدم وجود أخطاء اساسية ، كما يجب دراسة حالات خاصة مثل الكلال Fatigue والصدأ غير الظاهر ، أما اذا كانت الحسابات سليمة ولكن هناك اعراض تتصدع فلا بد من عمل التشخيص الدقيق للوصول إلى الحكم السليم .

ب- ان تظهر الحسابات ان المنشأ محمل بأكثر من طاقته Over loaded لدرجة ان معامل الأمان المحسوب يصبح واحداً أو أقل ، وفي هذه الحالة اذا كان المنشأ يقوم بحمل الأحمال الواقعه عليه بدون اي علامات اجهاد زائد Over stress ويظهر بشكل عام في حالة جيدة ، فلابد من فحص أسس الحسابات لمعرفة الخطأ فيها ، اما اذا كان المنشأ قد اصابته الشروخ لدرجة سيئة او اصابه التشكيل الزائد او حدث له انهيار فيمكن مقارنة مظاهر التصدع - او نوع الانهيار - بما اظهرته الحسابات لتحديد سبب التصدع - او الانهيار - وهل هو بسبب زيادة الأحمال فقط ام له اسباب اخرى .

ج- ان تظهر الحسابات ان معامل الأمان اكبر من الواحد ولكن اقل من المطلوب في كود التصميم ، فإذا كان المنشأ ليس به دليل على عدم القدرة على تحمل الأحمال - او به مظاهر تصدع بسيطة - فيمكن في هذه الحالة القيام بحسابات أدق بعمل نموذج رياضي يأخذ في اعتباره بدائل اخرى لتوزيع الأحمال ، كما يأخذ آليات تحمل الأحمال الثانوية مثل الطبيعة ثلاثية المحاور للمنشأ ، وتأثير الحوائط الطوب على زيادة قدرة الأعضاء الخرسانية على مقاومة الأحمال العرضية وغيرها .

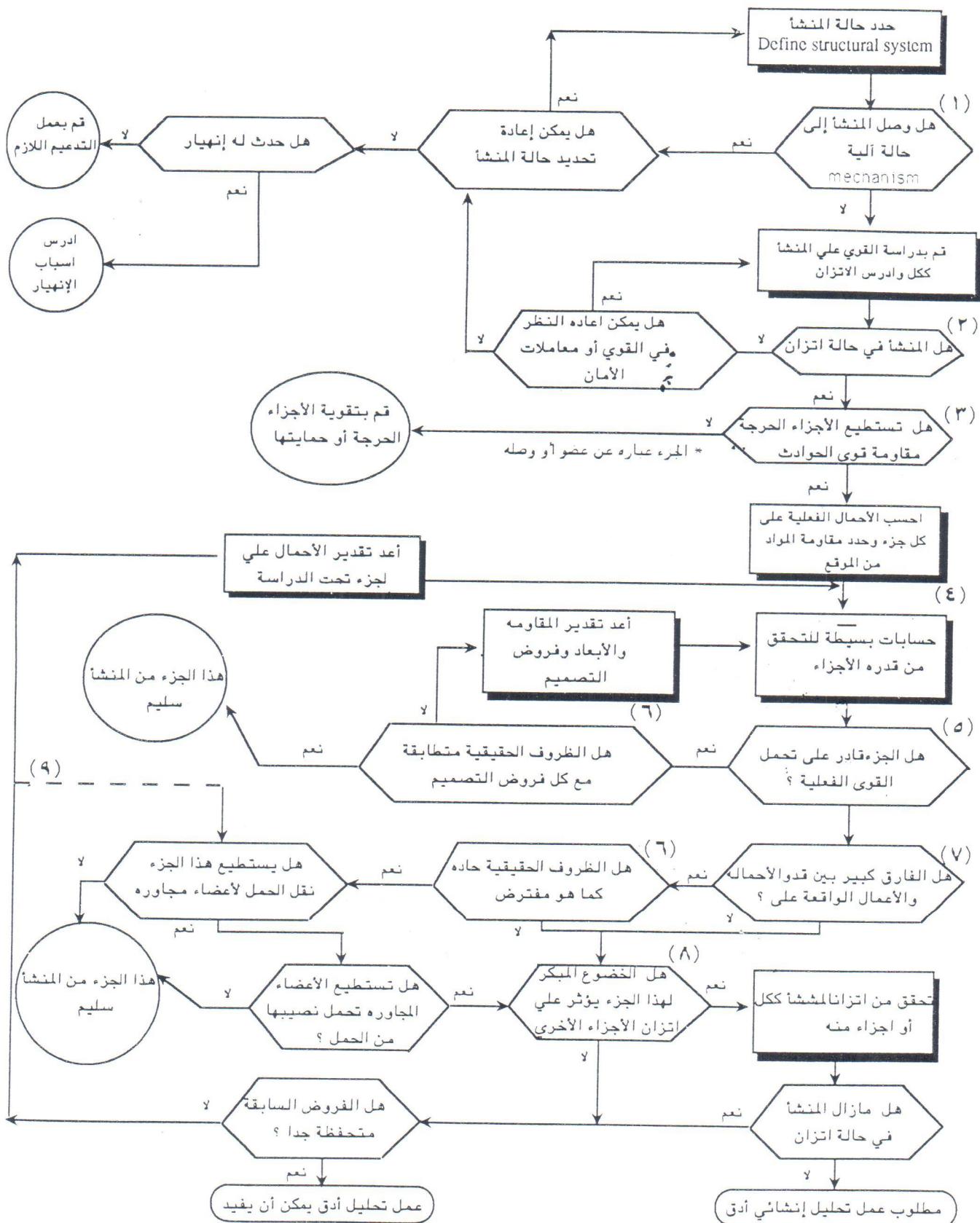
وتبيان الأشكال أرقام (١٨، ١٩) تتبع خطوات الحكم على سلامة المنشأ ، و تظهر المسارات الدائرية التي عادة ما يتبعها تقويم اي مبني ، وهذا التتابع وهذه المسارات لا تتطبق على كل حالات تقويم المنشآت او الحكم على سلامتها بطبيعة الحال ، ويمكن ان تكون غير كاملة في حالات بعضها ، ومع ذلك فهي تبين تسلسل الخطوات المطلوبة بوجه عام وتتبه إلى بعض النقاط الهامة ، وفي كثير من الأحيان يصبح من المفيد الخروج عن هذا التتابع ، فمثلاً في حالة وجود تصدع ظاهر باحد اعضاء المنشأ يجب عمل حسابات بسيطة لهذا العضو اولاً للتحقق من قدرته على تحمل الأحمال قبل الدخول في خطوات الحكم على المنشأ ككل .

وهذه الأشكال يجب قرائتها بالاستعانة بالمفتاح التالي :

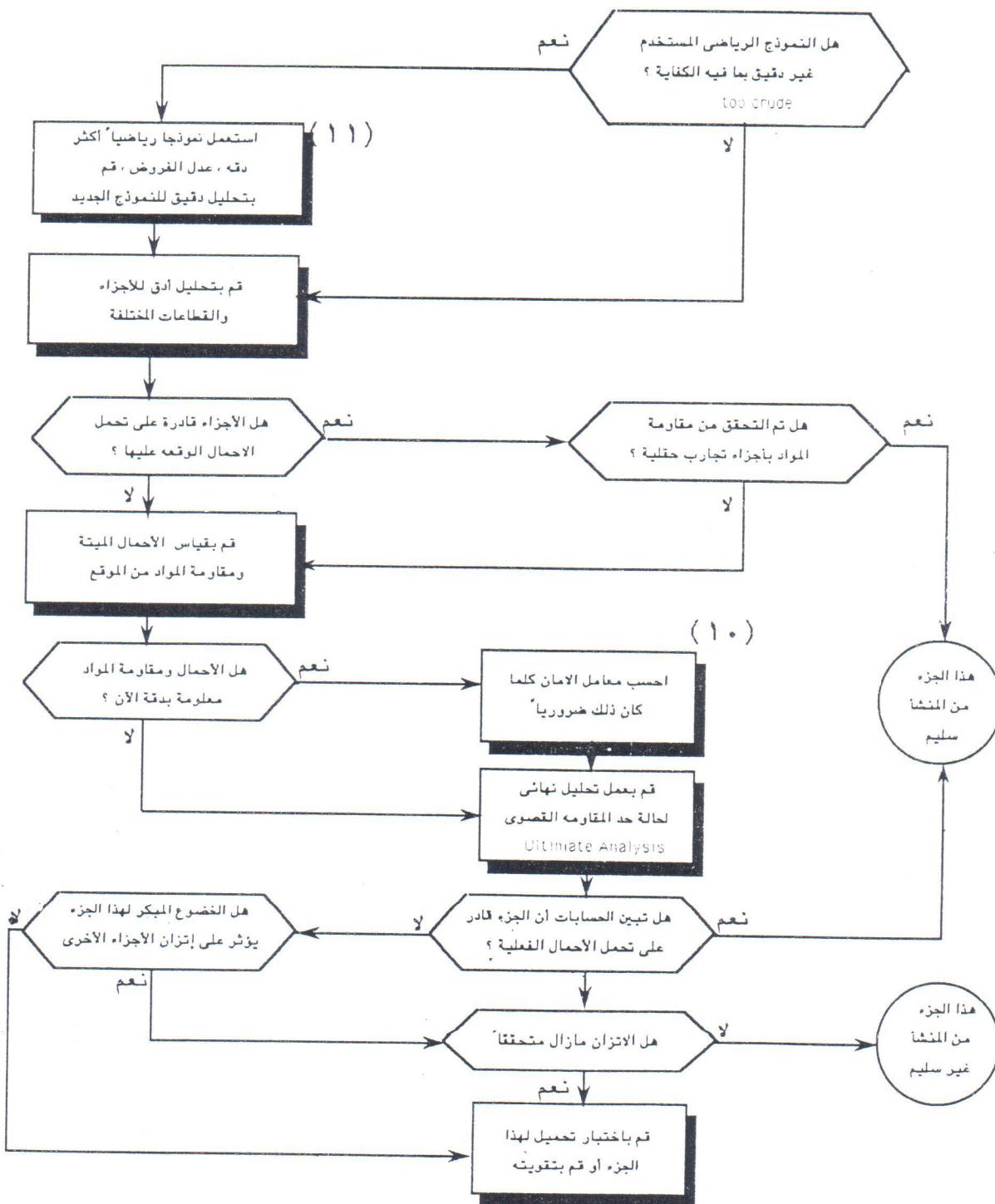
- ١- وصول المنشأ إلى حالة آلية Mechanism تعنى انه نتيجة حركة Disposition بعض الأعضاء أو حرية الوصلات للشكل بدون زيادة في العزم فان المنشأ أصبح غير متزن .
- ٢- في هذه المرحلة تحقق من اتزان المنشأ ككل .

- ٣- كلمة اجزاء تعنى اعضاء او وصلات ، وذلك لأن نقاط الضعف فى المنشآت توجد فى الوصلات كما توجد فى الأعضاء ، والمقصود بقوى الحوادث Accidental forces القوى غير المتوقعة .
- ٤- كلمة حسابات بسيطة تعنى الحسابات والفرضيات المستخدمة فى التصميم المعتمد ، فمثلاً يمكن حساب عزوم البلاطات والكمارات كما لو كانت كمرات مستمرة وعزوم الأعمدة كما لو كانت كابولى .
- ٥- وفي حالة التحليل الأدق يمكن استخدام التحليل كإطارات Frame analysis لحساب الكمرات والأعمدة كإطار واحد ، ويمكن الأخذ فى الاعتبار تأثير الهوائط الطوب كأعضاء قطرية ، ثم يمكن عمل حسابات أكثر دقة باستخدام التحليل الفراغي Space frame analysis وهكذا . الأمان متقدماً مع متطلبات كود التصميم .
- ٦- يستحسن عمل زيارة للموقع فى هذه المرحلة للتأكد من ان الفرضيات المستخدمة فى الحسابات واقعية .
- ٧- الفارق الكبير يعني ان معامل الأمان الكلى Overall load factor اقل من ١,١ في حالة الحمل الميت فقط .
- ٨- كمثال على هذا ان يكون العضو محل الدراسة عبارة عن كمرة افقية وظيفتها تقليل طول الانبعاج لعامود رئيسي ، ففى هذه الحالة اذا حدث خضوع مبكر لهذه الكمرة - مثلاً كشرط اولى لإعادة توزيع الأحمال - فان ذلك الخضوع سيحرم عضو أكثر أهمية من السنن الجانبى ، مما يؤدي إلى انبعاجه وحدوث عدم اتزان في هذا الجزء من المنشآت .
- ٩- مسار اختيارى للأعضاء التى يزيد معامل أمانها عن الواحد ، ولكن يقل عن متطلبات الكود .
- ١٠- استعمال نموذج رياضى أكثر دقة قد يتطلب إعادة ترتيب النظام الإنسائى الأساسى وطريقة تصرفه Mode of Behaviour وقد يشمل إعادة تقدير مسارات الأحمال ونصيب كل جزء من الحمل ، وهذا قد يقتضى عدة دورات من المحاولة والخطأ لم تبين على الشكل لنقادى تعقيده ، ولأنها تختلف من منشأ لآخر ، وقد يستحق الأمر فى هذه المرحلة التحقق : هل نتائج الحسابات السابقة حساسة لتغيير الفرضيات النموذج الرياضى أم لا ؟

## الحكم على سلامة المنشآت



شكل (١٨) خطوات الحكم على سلامة المنشآت



شكل (١٩) زيادة دقة التحليل الإشائى

#### ٤ - تحسين الفروض :

في مرحلة التقويم المبدئي تكون الفروض المستخدمة هي نفس فروض التصميم التقليدية المحفوظة ، فإذا أظهرت الحسابات أن قدرة العضو أقل من الاجهادات الواقعه عليه ولكن الفارق ليس كبيرا فقد يستحق الأمر دقة هذه الفروض ، ويتم ذلك بقياس الابعاد والمسافات من الطبيعة وكذلك تحديد كثافة الأرضيات والقواطيع ومواد التشطيب لتحديد الحمل الميت بدقة كما ان اجراء التجارب الحقلية لتحديد المقاومة الفعلية للخرسانة مطلوبة في هذه المرحلة .

#### ٥ - زيادة دقة التحليل الإنشائي :

بعد الحصول على معلومات أدق عن المنشأ والأحمال الواقعه عليه فمن الممكن زيادة دقة التحليل الإنشائي اذا احتاج الأمر ذلك فحسابات التصميم عادة ما تستعمل طرقا مبسطة في التحليل الإنشائي والنماذج الرياضية تكون مستوية Two - Dimensional ولاتأخذ في اعتبارها العوامل الثانوية Secondary contributions ، كما ان تخفيض الأحمال على عضو أو جزء من عضو نتيجة Load - carrying capacity انه غير محدد استاتيكيا Static indeterminacies عادة ما تهمل اثناء التصميم .

وفي الوقت نفسه فان ابعاد القطاعات وخواص المواد تكون لدرجة ماغير محددة في مرحلة التصميم ويجب ان تشمل الحسابات على فروض متحفظة لتفادي عدم التحديد - الفرض في الاوزان مثلا تكون بالزيادة لتصبح من ناحية الامان - ولكن في حالة تقويم منشأ قائم فان اغلب المعلومات المحددة في مرحلة التصميم يمكن تحديدها بدقة - مثلا الأحمال الفعلية ومقاومة المواد الفعلية - ولذا فيمكن تعديل الامان في هذه الحالة سواء الخاص بزيادة الاحمال او الخاص بتخفيض مقاومة الخرسانة . ولكن يلزم التتبیه على ان استعمال معاملات امان غير الموجودة في كود التصميم ، يجب ان يتم بحذر ويقتصر على الحالات التي تكون فيها المعلومات المتاحة عن الأحمال ومقاومة الفعلية كافية .

#### ٦ - تعديل معاملات الامان :

في المعاصفات الحديثة تم تقسيم معاملات الامان إلى معامل لزيادة الأحمال Load factor وآخر لتخفيض المقاومة Material factor واصبحت معادلة التصميم بالصورة التالية:

مقاومة العضو

$\geq f \times \text{معامل زيادة الأحمال}$

معامل خفض المقاومة (m)

معامل زيادة الأحمال (f) :

في المواصفات البريطانية مثلاً نجد أن معامل زيادة الأحمال يتكون من ثلاثة مركبات:

١- معامل تغير الأحمال : ويأخذ في الاعتبار احتمال تغير الأحمال عن تلك المفترضة في التصميم .

٢- معامل تزامن الأحمال Mua : ويأخذ في الاعتبار احتمال حدوث أكثر من حمل بقيمة القصوى في وقت واحد (حمل ميت + حمل حي + حمل الريح مثلاً) وهو أقل من الوحدة .

٣- معامل أداء المنشآت : ويأخذ في الاعتبار احتمال عدم الدقة في حساب التأثير الكلي للأحمال، أو إعادة توزيع الاجهادات غير المتوقعة ، أو التغيرات في الأبعاد والمقاسات.

وبالنسبة لتقدير حالة المنشآت قائم حساب الأحمال الميئية عليه بدقة ، وكذلك قياس الأبعاد والمسافات فأن هذه المعاملات يمكن تعديلها كالتالي :

◊ معامل تغير الأحمال للحمل الميت يمكن تخفيضه من ١,١٥ إلى ١,٠٥ .

◊ معامل تزامن الأحمال معاً يؤخذ كما هو .

◊ معامل أداء المنشآت يمكن تخفيضه من ١,٢ إلى :

أ- أ- ١,٠٥ للأعضاء الثانوية التي لا يؤدي انهيارها إلى انهيار متبوع بالمنشآت .

ب- ١,١٥ للأعضاء الرئيسية الحاملة لغيرها أو للأعضاء الثانوية إلى قد يؤدي انهيارها إلى فقد الأرواح.

معامل خفض المقاومة (m) :

ويأخذ في اعتباره الفارق بين المقاومة الفعلية للعضو وبين مقاومة المكعبات القياسية ، وقيمتها في المواصفات البريطانية بالنسبة للخرسانة = ١,٥ لوجود أمور كثيرة غير محددة مثل جودة المواد المستخدمة في الخلطة وطرق الخلط والصب والدمك والمعالجة .. الخ ، ويمكن تخفيض هذا المعامل في حالة تقويم المنشآت إلى ١,٢٥ اذا كانت آلية الانهيار معروفة وهناك تحذير

كاف قبل الانهيار (Ductility) ، اما في حالة الانهيار في القص أو في حالة الأعمدة - انهيار مفاجئ - فيجب الا يقل هذا المعامل عن ١,٣٥ .

اما بالنسبة لصلب التسلیح فمعامل تخفيض المقاومة قيمته ١,١٥ ، ويمكن تخفيضه في حالة الحكم على سلامة المنشآت إلى ١,٠٥ اذا كانت مقاومة الصلب للشد محددة بدقة في الموقع اثناء التنفيذ او باخذ عينات كافية واختبارها ، وفي هذه الحالة يجب قياس عمق القطاع الخرساني - بعد أسياخ التسلیح عن سطح الخرسانة - واستعمال هذا العمق في الحسابات .

#### ٤. حسابات تتطلب عنایة خاصة :

ان الحسابات الهندسية لا تمثل التصرف الحقيقي للمنشأ ، ولكن الحسابات الصحيحة المبنية على معاملات الأمان المعطاة في كودات التصميم تؤدي - في اغلب الأحوال إلى منشآت آمنة (Safe) وصالحة للعمل (Serviceable) ، ولكن هناك انواع من تصرف المنشآت لا يمكن التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات ، ولذا فان استعمال معاملات الأمان في هذه الحالة لن يضمن سلامة المنشآت ، ومن سوء الحظ ان انواع الانهيارات التي يصعب التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات هي انهيارات مفاجئة وتمثل خطراً على الأرواح .

ومن الخطورة عند تقويم المنشآت استعمال معدلات في غير محلها ، فإذا كانت هذه المعادلة مأخوذة من كود التصميم او مواصفات عالمية ، فلا يوجد خطر عند استعمالها في مكانها بدقة وبالشروط الواردة في المواصفات ، اما اذا كانت المعادلة مأخوذة من مرجع آخر - كتاب او بحث علمي - فيجب الأخذ في الاعتبار ان كثيرا من هذه المعدلات مستنيرة في ظل فروض معينة وظروف مثالية ولا يمكن تطبيقها الا في ظل هذه الظروف ، فمعادلة اويلر (Euler formula) للانبعاج مثلا تعطي الحمل المرن الحرج بدقة لعضو مستقيم له مفصلتان في نهايته ، ولكنها لا تأخذ في اعتبارها تأثير عوامل أخرى مثل مقاومة الخضوع ووجود انحناء مسبق في العضو ، وهي عوامل لابد من أخذها في الاعتبار عند حساب حمل الانبعاج لعضو حقيقي معرض للضغط .

#### **الإجهادات المركبة : Combined stresses**

عادة ما يتم التصميم على اساس احمال الشد والضغط والقص ذات الاتجاه الواحد Uniaxial ، وتقدير مقاومة المواد ايضا عن طريق اختبارات الشد والضغط المحوري ، ولكن الإجهادات في

الطبيعة يمكن ان تكون ذات اتجاهين ، فتكون اجهادات الانحناء - الشد والضغط - واجهادات القص في نقطة واحدة مما يؤدي إلى وجود اجهادات مركبة ، وفي هذه الحالة لابد من حساب الإجهادات القصوى (Principal stresses) والتبع بأسلوب الانهيار حسب اتجاه ومكان هذه الإجهادات القصوى .

### الكلال : Fatigue

اذا كان المطلوب حساب العمر المتبقى لمنشأ ما معرض لأحمال متكررة متغيرة ، فلا بد من اللجوء إلى حسابات الكلال ، هذه الحسابات تأخذ في الاعتبار تحليل الأحمال التي تعرض لها المنشأ مسبقا ، وتلك المتوقع ان يتعرض لها مستقبلا ، وذلك بالإضافة إلى عمل تحليل رياضي للحصول على مجالات الإجهادات Stress spectrum في المناطق التي عندها تركيز للإجهادات ، ثم يمكن بالاستعانة بنتائج اختبارات الكلال المعملية عمل حسابات التصدع Damage calculation .

### الانبعاج : Buckling

لابد أن تأخذ حسابات الانبعاج في اعتبارها قيمة خصوص المادة Yield strength وسوء التنفيذ مثل تقوس الاعمدة أو دوران الكمرات ويجب الإجابة على بعض الأسئلة قبل الدخول في حسابات الانبعاج :

- ◊ هل مقاومة المنشأ للأحمال ستتهاجم فجأة اذا حدث انبعاج ؟ اذا كان ذلك صحيحا فان تأثير سوء التنفيذ سيكون اكبر على حمل الانهيار .
- ◊ هل مادة البناء معرضة لزلحف ؟ والخرسانة معرضة لزلحف مما يعني تخفيضا في الجسامنة Stiffness يجب اخذه في الاعتبار .
- ◊ اثناء التصميم هل تم افتراض ان الاعضاء المجاورة ستمتنع العضو المعرض لانبعاج من الحركة ؟ وهل هذه الاعضاء قوية وجاسة بما فيه الكفاية لئودى هذا الدور ؟
- ◊ اذا كانت المعادلات الخاصة بالانبعاج مأخوذة من كود معين أو مواصفة معينة ، فهل دقة البناء تتناسب مع المتطلبات الموجودة في هذا الكود أو هذه المواصفات ؟