منشورات جامعة قاسيون
للعلوم والتكنولوجيا
كلية هندسة العمارة

الفصل الخامس

الجمل الانشائية

The Structural Systems

الدكتور المهندس:
ساطـــع بدوي

الفهـــــرس

2014 - 2015

الفصل الخامس –الجمل ا			الصفحة

5-1 مقدمة		
5-2 المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا.		
5-3 خصائص المنشآت غير المقررة توازنيا.		
5-4 محاسن المنشآت غير المقررة توازنيا.		
5-5 مساوئ المنشآت غير المقررة توازنيا.		

الفصل الخامس

الجمل الانشائية

The Structural Systems

5-1. مقدمة :

النظم- الجمل- النظام – system -: يعني مجموعة من المكونات (الرئيسة والفرعية) المتداخلة، والتي تنشئ كيانا متكاملا للاهداف المشتركة.

في المنشآت الحديثة، يوجد ترابط وثيق بين الجملة الانشائية المختارة والجملة أو الشكل المعماري. لذلك وجب على المصمم المعماري ان يكون على معرفة واسعة باشكال وطرق دراسة الجمل الانشائية المختلفة بالاضافة الى الابعاد والاشكال اللازمة، كي يأخذ كل ذلك بالاعتبار في تصميمه المعماري، وبحيث يتم الاختيار من هذه الجمل المختلفة ماياسب الشكل المعماري المطلوب.

5-2. المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا (ستاتيكيا):

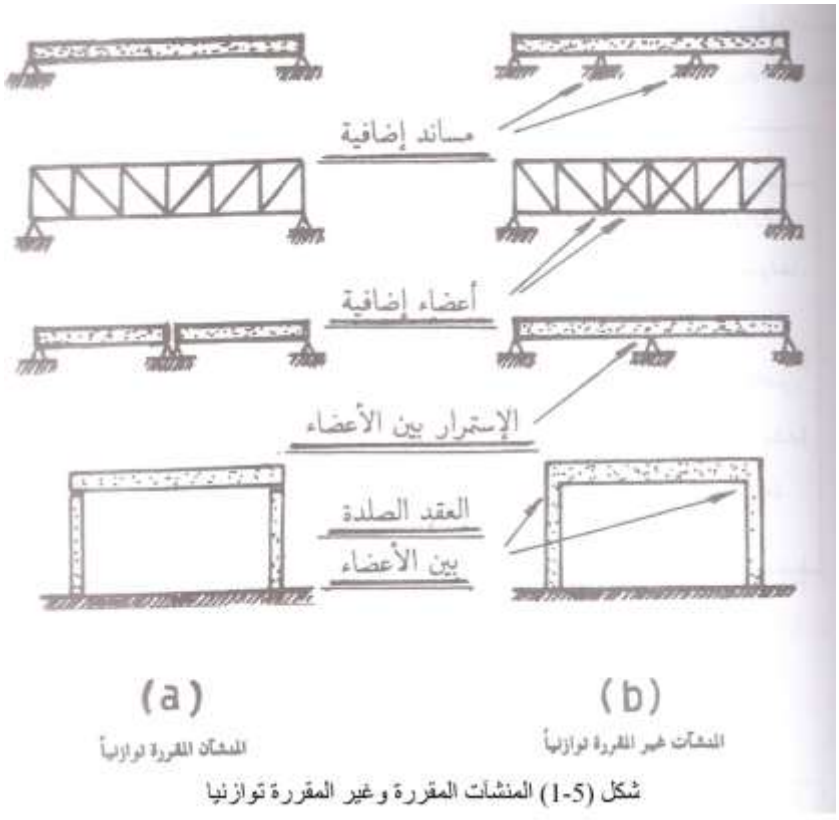
تختلف طرق حساب القوى الداخلية في عناصر واعضاء المنشآت وبشكل كبير وذلك حسب كونها مقررة او غير مقررة توازنيا. وتعرف المنشآت المقررة توازنيا بانها المنشآت التي يكون فيها تطبيق معادلات التوازن فقط كافيا لتحديد جميع ردود الافعال المجهولة. وبذلك يمكن للمهندس الانشائي حساب كافة تاثيرات الحمولات المطبقة على المنشأ وتحديد ابعاد المقاطع اللازمة لمختلف اعضاء المنشأ بسهولة ودون أية تعقيدات. أما المنشآت غير المقررة توازنيا فتعرف بأنها المنشات التي يكون فيها تطبيق معادلات التوازن غير كاف لتحديد ردود الافعال المجهولة. وبذلك فان الدراسة التوازنية تبقي واحدا او اكثر من المجاهيل بصورة غير محدودة، وذلك حسب درجة عدم التقرير، ولا يمكن للمهندس الانشائي الاستمرار في خطوات التصميم الانشائي الا بعد تحديد هذه المجاهيل بواسطة معادلات اضافية او باستخدام طرق معقدة. وبذلك يمكن القول ان المنشآت غير المقررة توازنيا هي المنشآت التي تتالف من اعضاء او تحوي مساند عددها اكبر من العدد الادنى اللازم لتكون هذا المنشا، وان مايحدث في عنصر من عناصر المنشأ يؤثر تاثيرا كبيرا على كامل عناصر المنشأ.

من الهام جدا ان يكون الفرق بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا واضحا تماما للمهندس المعماري، لان اختيار احد هذين النوعين يؤثر تاثيرا كبيرا على التصميم المعماري النهائي. كما يجب ان يبقى في مخيلته ان هذين النوعين مختلفان تماما من حيث المعالجة ، وان اية محاولة لمعاملة المنشآت غير المقررة أو المستمرة باعتبارها مقررة قد تؤدي الى اخطاء

كبيرة في تحديد القوى الداخلية وهناك احتمال كبير في تعرض هذه المنشآت للاخطار او للانهيار عند تنفيذها.

ان احدى اسهل طرق التفريق بين المنشآت المقررة وغير المقررة هو معرفة هل سينهار المنشأ انهيار كاملا اذا قنا بازالة احد الاعضاء او المساند او لا؟ فاذا انهار المنشا كان مقرر توازنيا، وكان بالامكان تحديد القوى الداخلية وردود الافعال بمعادلات التوازن فقط. اما اذا لم ينهار المنشا وبقي متماسكا ومستقرا كان غير مقرر توازنيا وبالتالي يحتاج الى طرق اخرى لتحديد القوى الداخلية.

يبين الشكل (5-1) نوعين من المنشآت حيث يظهر القسم (a) عدة انواع من المنشآت المقررة والتي يكون فيها ازالة اي مسند او عضو من الاعضاء كافيا لانهيار المنشا بالكامل، بينما يظهر القسم (b) نفس هذه المنشات وذلك بعد اضافة عدة مساند او عناصر او بعد ان تم وصل العناصر الاصلية بعقد صلبة. وبحيث اصبحت هذه المنشآت غير مقررة توازنيا واصبح بالامكان ازالة و بعض المساند او الاعضاء ودون ان يؤدي الى انهيار كامل.



شكل (5-1) المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا

ان من اهم الفروق بين المنشآت المقررة وغير المقررة هو ان يتم تحديد القوى الداخلية وعزوم الانعطاف المطبقة في عناصر المنشآت غير المقررة توازنيا يعتمد اعتماد مباشر على ابعاد المقاطع العرضية لهذه العناصر، على عكس المنشآت المقررة توازنيا والتي يتم فيها تحديد هذه القوى مباشرة دون اية عوائق نظرا لانها لا تتاثر بابعاد هذه المقاطع. وفي المنشآت غير

المقررة توازنيا يجب على المهندس الانشائي ان يختار اولا مايعتبره ابعادا مناسبة لمقاطع العناصر قبل ان يستطيع البدء في تحديد القوى الداخلية وعزوم الانعطاف المطبقة، وبمعنى اخر، فان عليه قبل ان يبدأ في حساب الابعاد اللازمة لمقاطعه ان يكون قد حددها مسبقا. واي اختلاف في الابعاد المختارة يؤدي الى تعديل في القوى الداخلية والعزوم المطبقة. ولحل هذا الاشكال فاننا نتبع نفس الاسلوب الذي استخدم في تحديد الاحمال الذاتية، حيث ان على المهندس الانشائي تحديد الاوزان الذاتية للعناصر قبل البدء في خطوات التصميم الانشائي. الا ان هذا المتطلب الجديد للمنشآت غير المقررة توازنيا يجب ان يحدد بدقة اكبر، حيث يجب تحديد شكل وابعاد المقاطع العرضية وليس الوزن فقط.

ويبين الجدول (5-1) بعض الفروق الاساسية بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا:

المنشآت المقررة توازنيا	المنشآت غير المقررة توازنيا
1- يتم تحديد ردود الفعال المجهولة بواسطة معادلات التوازن فقط.	1- معادلات التوازن غير كافية لتحديد ردود الفعال المجهولة، وتحتاج لطرق خاصة لتحديدها.
2- القوى الداخلية وعزوم الانعطاف لا تتاثر بشكل وابعاد المقاطع العرضية للعناصر.	2- القوى الداخلية وعزوم الانعطاف لا تتاثر بشدة بشكل وابعاد المقاطع العرضية للعناصر.
3- لا تتاثر القوى الداخلية وعزوم الانعطاف بالهبوطات الصغيرة في المساند او تغير درجة الحرارة.	3- تتاثر القوى الداخلية وعزوم الانعطاف بشدة بالهبوطات الصغيرة في المساند او تغير درجة الحرارة.

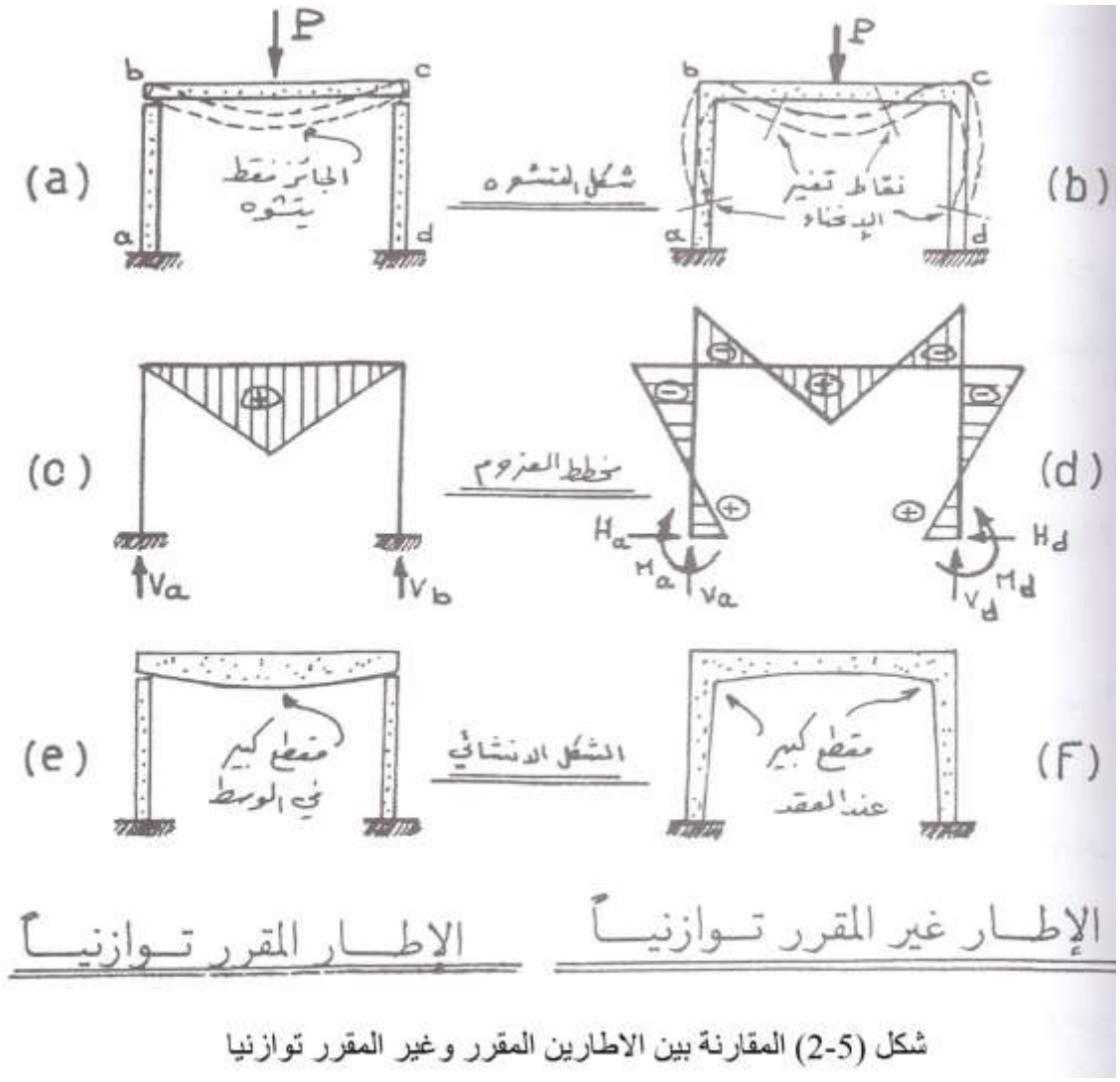
5-3. خصائص المنشآت غير المقررة توازنيا:

Advantages of statically indeterminate structures

ان استخدام الهياكل الانشاية غير المقررة توازنيا يقدم لنا عدد كبير من الميزات التصميمية من اهمها: ان عدم التقرير يساهم في زيادة مقاومة المنشأ بصورة كبيرة للاحمال المطبقة عليه. ولتوضيح هذه الحقيقة يمكن المقارنة بين اطارين متشابهين الاول مقرر توازنيا والثاني نفس الاطار الاول وذلك بعد جعله غير مقرر توازنيا، بوصل اعضاءه بعقد صلبة، الشكل (5-2).

في الاطار الاول المقرر توازنيا نرى ان كل عنصر من العناصر يقاوم الحمولات المطبقة عليه مباشرة دون مساعدة من العناصر الاخرى، فعزوم الانعطاف الناتجة مثلا عن الحمولة عن

الحمولة المركزة المطبقة على الجائز لا تنتقل الى الاعمدة بل تقاوم في الجائز نفسه فقط، ولا ينتقل الى الاعمدة سوى ردود الافعا الشاقولية. وبيين الشكل (a-2-5) شكل التشوه الناتج عن هذه الحمولة حيث ان الجائز فقط هو المعرض للانحناء. اما في الاطار غير المقرر حيث اتصلت الاعمدة مع الجائز بعقد صلبة، الشكل (b-2-5)، فاننا يمكن ان نلاحظ عددا من التغيرات الحاصلة نتيجة لهذا الاتصال.



شكل (2-5) المقارنة بين الاطارين المقرر وغير المقرر توازنيا

1- ان عزوم الانعطاف الناتجة عن الحمولة المركزة المطبقة على الجائز تقاوم ليس بواسطة الجائز نفسه، بل تشارك كامل عناصر الاطار في هذه المقاومة، حيث تنقل في هذه الحالة العقد الصلبة (b,c) عزوم الانعطاف من الجائز الى الاعمدة وذلك بالاضافة الى الحمولات الشاقولية.

2- ان عزوم الانعطاف التي انتقلت الى الاعمدة ومقاومة هذه الاعمدة لها تؤدي الى اعطاء اعلى العمودين، وبالتالي طرفي الجائز b و c مقاومة للدورانات، وذلك نتيجة للعقدة الصلبة بينهما.

3- ان مقاومة الدوران عند طرفي الجائز b و c تؤدي الى انقاص انحناء وتشوه الجائز بصورة كبيرة.

4- بمقارن الشكلين (5-2-a و b) نرى انه في الاطار المقرر توازنيا يكون للجائز اتجاه واحد للانحناء بينما لا تنحني الاعمدة مطلقا، اما في الاطار غير المقرر توازنيا نرى ان كلا العمودين والجائز قد اصبحت ذات اتجاهين للانحناء، ويصبح للاطار اربعة نقاط يتغير فيها عزوم الانعطاف مساوية للصفر. وتدعى هذه النقاط (بنقاط تغير الانحناء).

5- تصبح نقاط التقاء اطراف الجائز مع اعلى الاعمدة، النقطتين (bو c) منطقة معرضة لعزوم انعطاف كبيرة القيمة بدلا من كونها نهايات حرة لاتقاوم اية عزوم انعطاف.

6- تصبح عزوم الانعطاف والقوى المطبقة في المساند ، اي ردود الافعال اكثر تعقيدا وبحيث لا يمكن تحديد قيمتها مباشرة، كما في الاطار المقرر توازنيا، بواسطة معادلات التوازن البسيطة فقط، بل تحتاج الى طرق اخرى اكثر تعقيدا ويمكن ملاحظة ذلك بالمقارنة بين المخططين المبينين بالشكلين (5-2-c و d) .

7- اذا كان الاطاران مصنوعين من مادة غير متجانسة كالبيتون المسلحمثلا، فان اماكن توضع فولاذ التسليح ستكون مختلفة تماما لكلتا الحالتين نظرا للاختلاف الكبير في مخططي عزوم الانعطاف، كذلك فان شكل الاطار وابعاد المقاطع المطلوبة يمكن ان تكون مختلفة، ويمكن ملاحظة ذلك بالمقارنة بين المخططين المبينين بالشكلين (5-2-e و f).

ان الاطار غير المقرر توازنيا والمبين بالشكل (5-2-b) هو شكل منن الاشكال الكثيرة والمتعددة للمنشآت غير المقررة توازنيا، ولكن التحليل السابق يعطي فكرة واضحة عن المبادئ الاساسية التي يجب ان يلاحظها المهندس المعماري حتى يفهم ميزات المنشآت غير المقررة توازنيا وبشكل تام.

5-4. محاسن المنشآت غير المقررة توازنيا:

وبذلك يمكن تلخيص الميزات التي نحصل عليها نتيجة لعدم التقرير التوازني للاطارات بمايلي:

أ. ان بعض عزوم الانعطاف المطبقة قد انتقلت من منتصف مجاز الجائز الى نهايتيه ثم الى الاعمدة فالاساسات، وبذلك يمكن القول ان كامل المنشأ يساهم في تحمل القوى المطبقة.

ب. ونتيجة لذلك فان قيمة عزوم الانعطاف عند كل مقطع على حدة، تقل بصورة كبيرة، وبالتالي فاننا نحتاج الى مقاطع اصغر لعناصر الاطار من المقاطع المطلوبة للجائز البسيط.

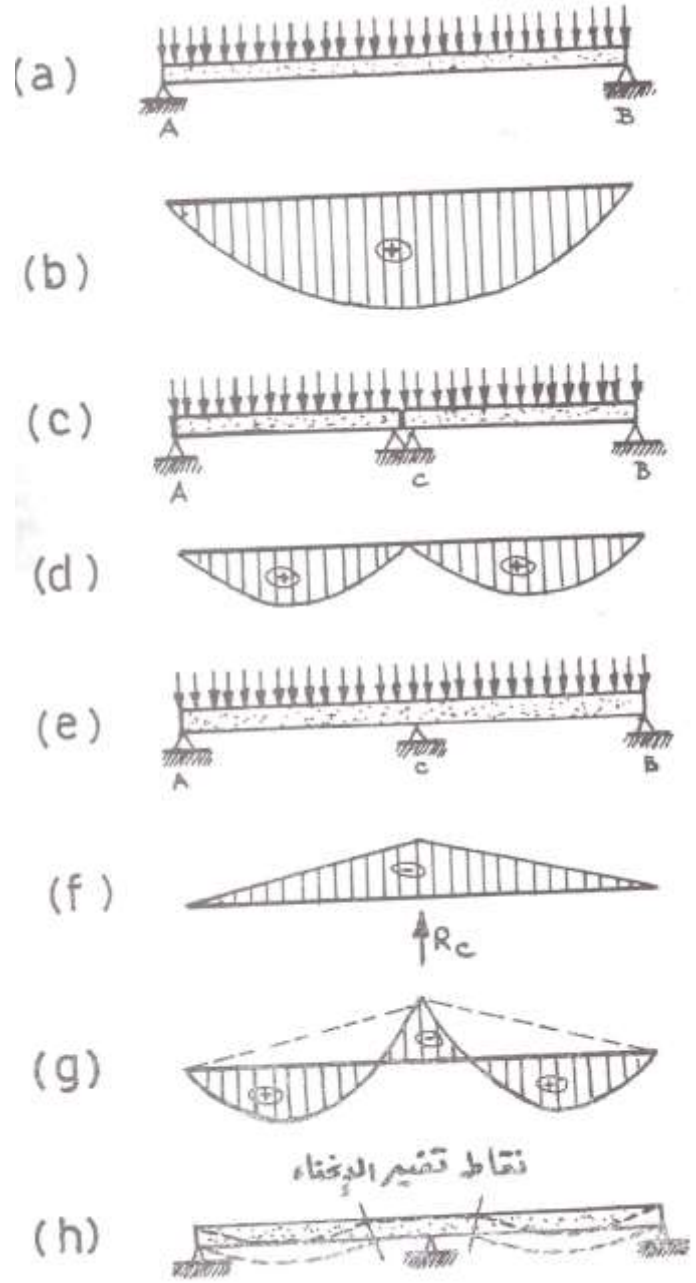
ت.كما وانه نتيجة للعقد الصلبة فان عزوم الانعطاف تكون كبيرة القيمة عند هذه العقد بدلا من منتصف الجائز، وبالتالي فاننا نكون قد نقلنا كمية من المادة المستخدمة من منتصف الجائز الى طرفيه عند العقد. وبحيث لا تضيف هذه المواد مزيدا من عزوم الانعطاف كما تضيفه في الجائز البسيط.

ث.لذلك فان ازدياد طول المجازات في المنشآت غير المقررة توازنيا له تاثير اقل منه في المنشآت المقررة. وبالتالي فان هناك امكانية لاستعمال مجازات كبيرة في المنشآت غير المقررة توازنيا. وبصورة عامة اذا كانت ابعاد المقاطع للعناصر المختلفة محددة بابعاد قصوى لايمكن تجاوزها نظرا لاعتبارات معينة، معمارية مثلا، فان الاطارات غير المقررة توانيا تكون هي الحل الفعال والمناسب للهيكل الانشائي، وبالاحرى فانها عادة تكون الحل الوحيد.

ج. وكمثال آخر على طرق عدم التقرير التوازني وذلك بالاستمرارية بين العناصر، بيين الشكل (a-3-5) جائزا بسيطا مقرر توازنيا، ومحملا بحمولة موزعة بانتظام على كامل طول المجاز. وبهذه الحالة تكون عزوم الانعطاف كما هو مبين بالشكل (b-3-5)، اعظمية في منتصف مجاز الجائز وبحيث تتطلب هذه العزوم ابعادا كبيرة للمقطع في المنتصف مما يؤدي ونتيجة للوزن الذاتي الى تولد عزوم انعطاف اضافية كبيرة. واذا كان طول مجاز الجائز كبيرا جدا فان مثل هذا الجائز سيصبح صعب التنفيذ وذو كلفة عالية.

ان احد الحلول الممكنة لهذه المشكلة هو ان نقسم مجاز الجائز الى قسمين بواسطة مسند اضافي، الشكل (c-3-5)، وبحيث يصبح طول المجاز الجديد نصف طول المجاز السابق، وبما ان عزوم الانعطاف تتناسب مع مربع طول المجاز فان عزم الانعطاف الاعظمي سيصبح ربع عزم الانعطاف للجائز السابق فقط. ان هذا الاختصار في عزوم الانعطاف نتيجة جيدة، الا ان الفائدة الكاملة من وضع المسند الاضافي لا تكون الا اذا كان طرفا الجائز متصلين بشكل تام عند هذا المسند، الشكل (e-3-5)، وحيث تعمل عزوم الانعطاف الاضافية والناتجة عن رد الفعل (R) في المسند الوسطي بشكل معاكس لاتجاه عزوم الانعطاف الناتجة عن الحمولات، كما هو مبين بمخطط عزوم الانعطاف، الشكل (f-3-5). وبجمع مخططي عزوم الانعطاف، الشكل (d-3-5 و f)، ينتج لدينا مخطط عزوم الانعطاف للجائز المستمر ذو المجازين، الشكل (g-3-5) وكما في حالة الاطار المبين بالشكل(2-5) فاننا نرى ان بعض العزوم الموجبة قد نقصت من حيث القيمة في منصف الجائز بينما زادت العزوم عند المسند الوسطي من الصفر وحتى قيمة ما سالبة. وبمعنى اخر فانه يمكن القول ان مهمة تحمل الاحمال الخارجية قد تم توزيعه بصورة اكثر انتظاما على كامل الجائز، ويمكن ملاحظة مقدار الاختصار في عزوم الانعطاف والناتج عن

استمرارية الجائز وذلك بمقارنة مخططي عزوم الانعطاف في الشكلين (5-3-d و g).
ويبين الشكل (5-3-h) الشكل النهائي للتشوه ونقاط تغير الانحناء للجائز المستمر.



شكل (5-3) المقارنة بين الجائزين البسيط والمستمر

وبذلك يمكن تلخيص الميزات التي نحصل عليها نتيجة الاستمرارية في الجوائز بمايلي:

أ. ان عزوم الانعطاف سوف تتوزع بصورة اكثر انتظاما على كامل طول الجائز المستمر مما يجعل استخدامنا لمقطع واحد ثابت على كامل طول الجائز اكثر منطقية منه في الجائز البسيط.

ب. ان الوزن الذاتي الاضافي والناتج عن الزيادة في طول المجازات سوف يتوضع قرب المسند الوسطي بدلا من منتصف المجاز وبذلك يمكن مقاومة تأثير هذه الحمولات الاضافية عند المسند وبسهولة حيث انها لا تسبب الا زيادة طفيفة في عزوم الانعطاف.

ت. نتيجة لان كلا مجازي الجائز قد اصبحا ذي اتجاهين للانحناء فان ذلك يؤدي الى تقليل قيم السهوم والانحناء في هذين المجازين.

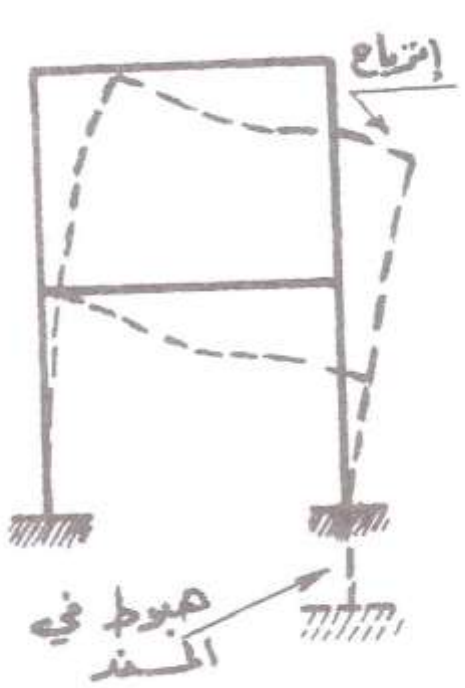
5-5. مساوئ المنشآت غير المقررة توازنيا:

Dis advantages of statically indeterminate structures

1- نظرا لان طرق تصميم المنشآت غير المقررة توازنيا تعتمد وبشكل اساسي على التشوهات الحاصلة في المنشأ ومقدار تأثر عناصر هذا المنشأ بها. لذلك فان توزع عزوم الانعطاف في عناصر هذه المنشآت يتأثر وبشكل كبير بأشكال وأبعاد مقاطع هذه العناصر. فمن الطبيعي ان المقاطع النحيلة وذات الابعاد الصغيرة تتشوه بشكل اكبر من المقاطع ذات الابعاد الكبيرة، وهذه الحقيقة لها تأثير كبير على قيم ردود الافعال. كما ان امكانية انتقال عزوم الانعطاف من عنصر الى اخر تعني ان الحمولات المطبقة ستقاوم بواسطة كافة عناصر المنشأ، لذلك فان شكل وابعاد اي عنصر من العناصر له تاثير كبير على نتائج المسألة. وعند تصميم المنشآت غير المقررة يجب ان تحدد ابعاد مقاطع العناصر مسبقا.

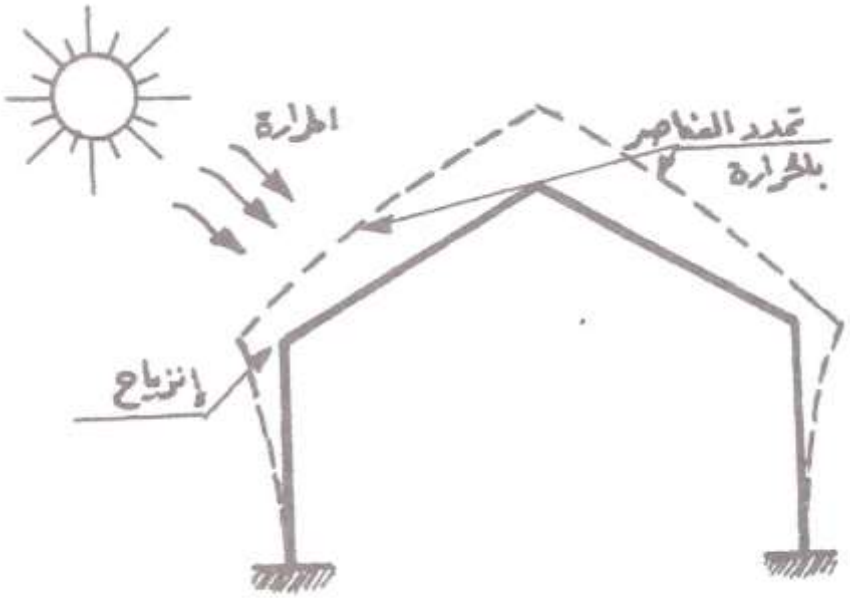
ويتم ذلك حسب خبرة المصمم الانشائي. ولا يكون هدف الدراسة الانشائية تحديد ابعاد مقاطع العناصر بل ايجاد قيم عزوم الانعطاف والقوى المطبقة وحساب الاجهادات في المقاطع العرضية للعناصر والتي تم اختيارها مسبقا. فاذا كانت الاجهادات الفعلية المطبقة اكبر من الاجهادات المسموحة للمادة المستخدمة في عناصر المنشأ فانه يجب على المصمم الانشائي ان يعيد حساب ابعاد المقاطع وذلك حسب النتائج التي حصل عليها. وبمعنى اخر فانه يجب على المصمم الانشائي ان يعتمد على طريقة التجربة والخطأ في تصميمه، مما يزيد في صعوبة الحل وتعقيده. ويعتبر ذلك احد مساوئ المنشآت غير المقررة توازنيا.

2- من المساوئ الكبيرة لهذه المنشآت هي تأثرها بالهبوطات التفاضلية بين المساند، الشكل (5-4)، حيث ان هذه الهبوطات ونتيجة لوجود العقد الصلبة التي تربط بين العناصر ستؤدي الى تشوهات في كافة العناصر وعلى كامل المنشأ، وبالتالي تولد عزوم انعطاف وقوى داخلية اضافية في كافة هذه العناصر قد تكون اكبر من عزوم الانعطاف الاساسية الناتجة عن الحمولات المطبقة أو تكون مخالفة لها من الاتجاه.



شكل (5-4) تأثر المنشآت غير المقررة توازنيا بالهبوطات التفاضلية في المساند

3- ولنفس الاسباب فان المنشآت غير المقررة تتاثر بصورة كبيرة بتغير درجة الحرارة، وذلك لان تمدد وتقلص العناصر يؤدي الى تاثر المنشأ بكامله بهذه الحركة، الشكل(5-5)، وبالتالي لتولد عزوم انعطاف وقوى داخلية اضافية في كافة العناصر قد تكون في بعض الاحيان ذات قيم مرتفعة جدا.



شكل (5-5) تأثر المنشآت غير المقررة بازدياد درجة الحرارة