Steel Structures 1
Sem. 2
2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

✓ المحاضرة الأولى: مفاهيم أساسية

المحاضرة الثانية: مدخل إلى المنشآت الفولاذية

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

استخدامات المنشآت الفولاذية:

- تأمين الفراغ المغلق (مثل المباني السكنية والحكومية والمصانع).

- إمكانية النفاذ من مكان للآخر (مثل منشآت الجسور).

- حفظ المواد (مثل الخزانات والصوامع).

- استخدام الفراغات للأنشطة الرياضية (مثل الصالات والملاعب).

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

تصنع المنشآت من مواد مختلفة مثل:

- **الفولاذ، الخرسانة، الخشب، الألمنيوم، الحجر، البلاستيك، وغيرها،**
- **أو من تركيب من هذه المواد مثل الخرسانة المسلحة.**
- **تكون المنشآت في الطبيعة ثلاثية الأبعاد، لكن في بعض الأحيان يمكن اعتبارها ثنائية البعد (الصفائح والقشريات)، أو أحادية البعد (خطية) مثل العناصر الخطية والكابلات**

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- تحوي المنشآت الفولاذية كميات كبيرة من مواد إنشائية عالية الكلفة، وهي بصفة عامة غير اقتصادية،

إلا في الحالات التي تكون فيها العناصر صغيرة جداً.

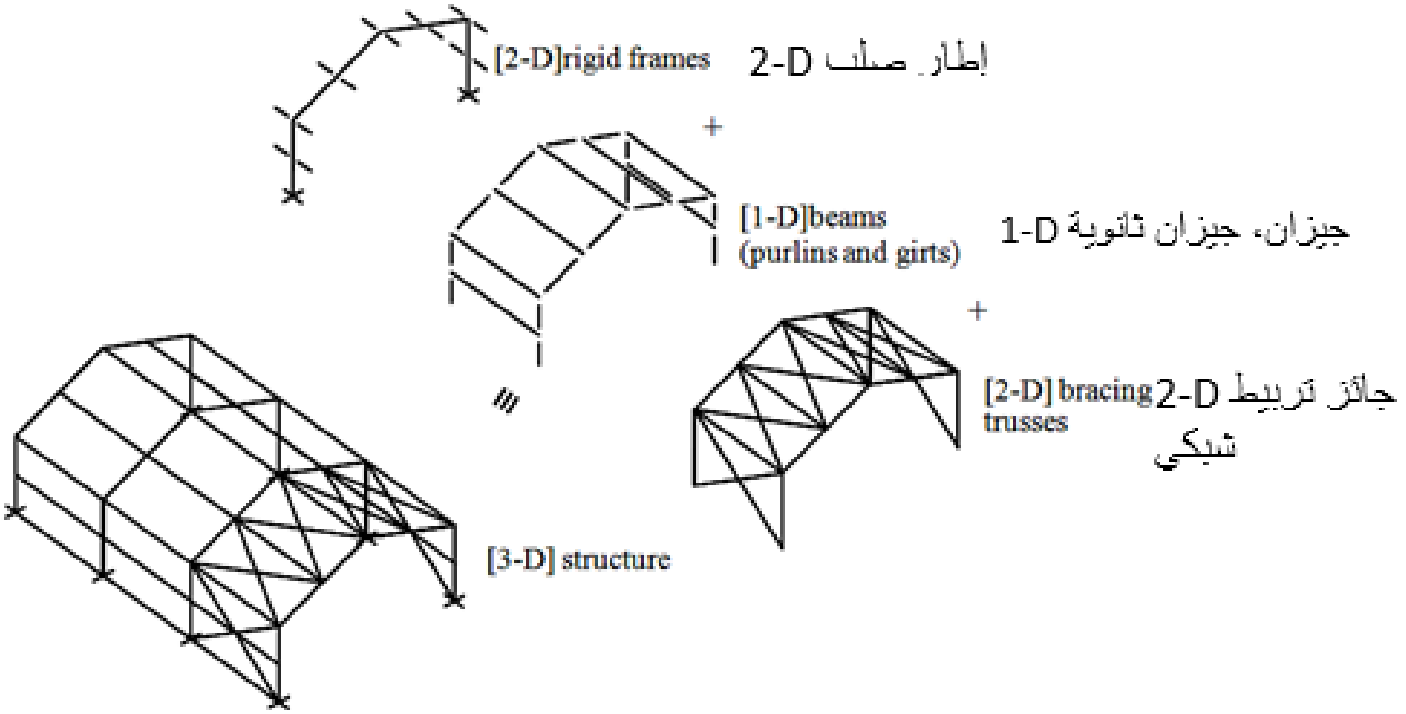
- تشكل المنشآت الفولاذية عادة من عناصر خطية (مثل الإطارات المستطيلة والمثلثية)،
- أو من عناصر ثنائية الخطية (مستوية، مثل الجيزان الرئيسة الصندوقية)، أو من كلاهما (مثل الأبنية الصناعية القشرية).

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

تندرج عناصر الإنشاءات الفولاذية ضمن الفئات التالية:

1. **خطية (أحادية البعد) مثل الجيزان والأعمدة (حيث أحد الأبعاد وهو الطول كبير جداً بالمقارنة مع أبعاد المقطع العرضي)،**
2. **ثنائية البعد كما هو الحال في الصفائح أو البلاطات (حيث يكون كلا الطول والعرض كبير جداً بالمقارنة مع السماكة)،**
3. **ثلاثية الأبعاد تكون مكونة من عدة إطارات مستقلة ثنائية البعد، أو من عناصر خطية (أحادية البعد)،**

تصنيف العناصر الإنشائية الأساسية

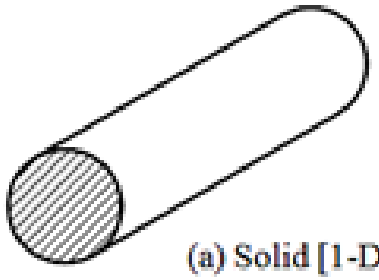


مدخل إلى المنشآت الفولاذية

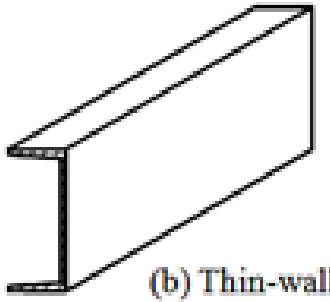
- يمكن للعناصر الخطية أن تكون مليئة، لكنها عادة رقيقة الجدران، بهذا تكون سماكتها أقل بكثير من أبعاد المقطع العرضي.
- يتم درفلة العناصر الفولاذية رقيقة الجدران بأصناف مختلفة من المقاطع العرضية،
- أو يتم تركيبها (تشكيلها) built up باستخدام عدد من المقاطع المدرفلة أو الصفائح

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

عنصر كتيم 1-D

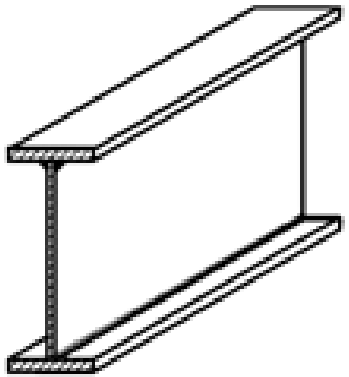


(a) Solid [1-D] member
$t \sim d << L$

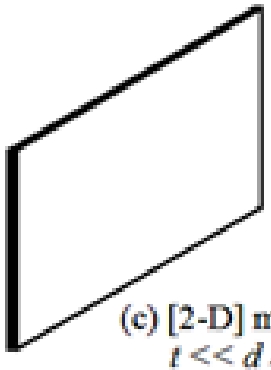


(b) Thin-walled [1-D] members
$t << d << L$

عناصر رقيقة
الجدران 1-D



عنصر 2-D



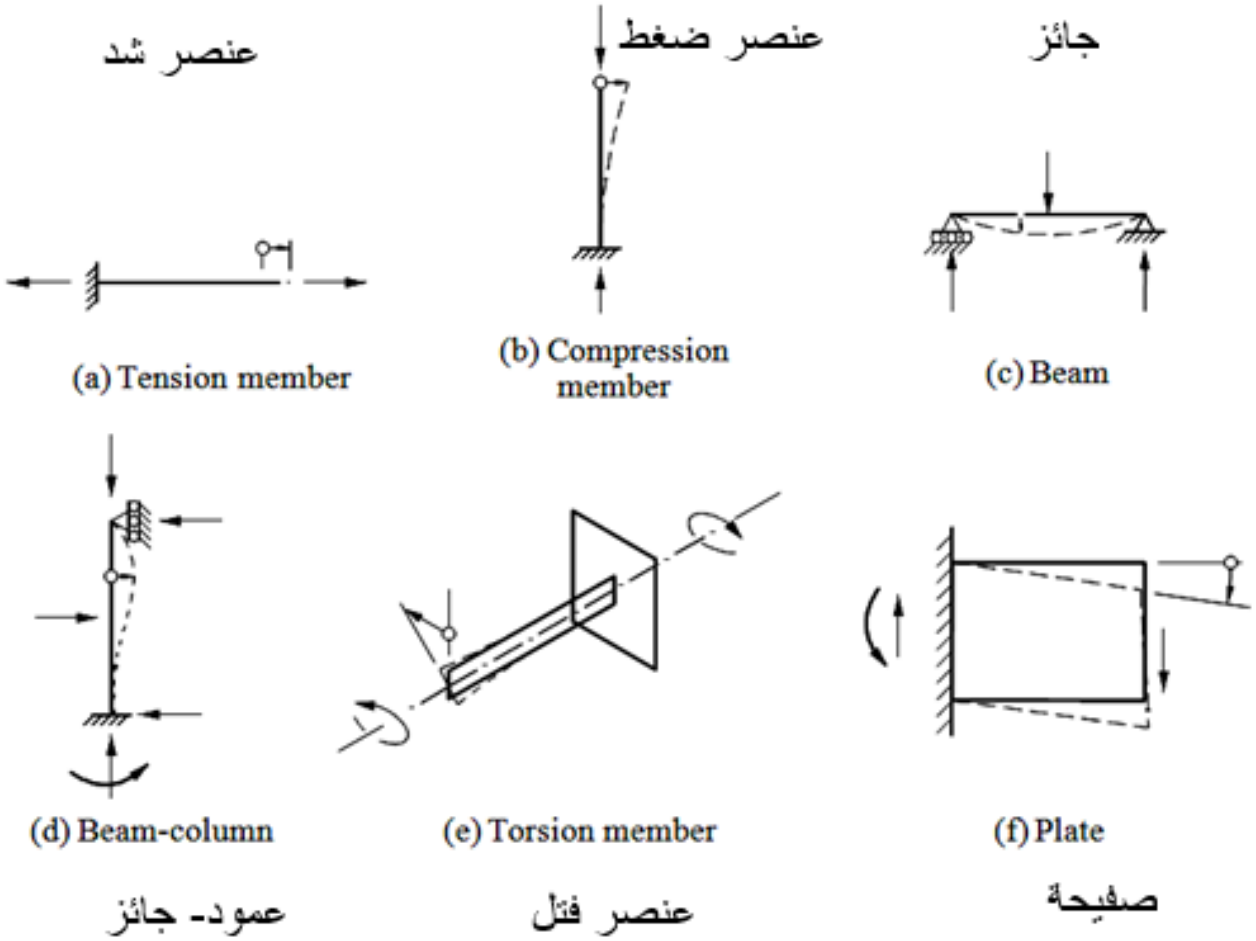
(c) [2-D] member
$t << d \sim L$

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

ويمكن تصنيف العناصر الإنشائية حسب الطريقة التي تنقل بها القوى في المنشأ،

- **كعناصر شد أو ضغط،**
- **جيزان، عمود– جائز،**
- **عناصر فتل (تتعرض لعزوم فتل)،**
- **أو صفائح،**

مدخل إلى المنشآت الفولاذية



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- سنتعامل مع الإنشاءات الإطارية احادية البعد، لكن المعلومات التي سيتم تقديمها تتعلق أيضاً بإنشاءات الصفائح.
- سيفترض أن العناصر مدرفلة على الساخن، أو مصنعة من عناصر مدرفلة على الساخن،
- وسيتم اعتبار الإطارات مشابهة لتلك المستخدمة في الابنية.

على كل حال، إن أغلب المواد المستخدمة تتعلق أيضاً بإنشاءات الجسور، وبالعناصر المشكلة على البارد من صفائح فولاذية خفيفة light-gauge steel plates.

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

الغاية الأساسية من هذا الفصل هي

- **أولاً، دراسة عملية التصميم بشكل كامل والعلاقة بين سلوك وتحليل المنشآت الفولاذية وتصميمها الإنشائي،**
- **وثانياً، تقديم معلومات عامة (متضمنة معلومات عن خواص المواد والحمولات الإنشائية) تكون مطلوبة في الفصول القادمة.**

سنناقش أولاً طبيعة التصميم، ومن ثم ملخصات مختصرة عن خواص مواد الفولاذ الإنشائي، والسلوك الإنشائي للعناصر والإطارات.

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

في هذا المقرر سيتم:

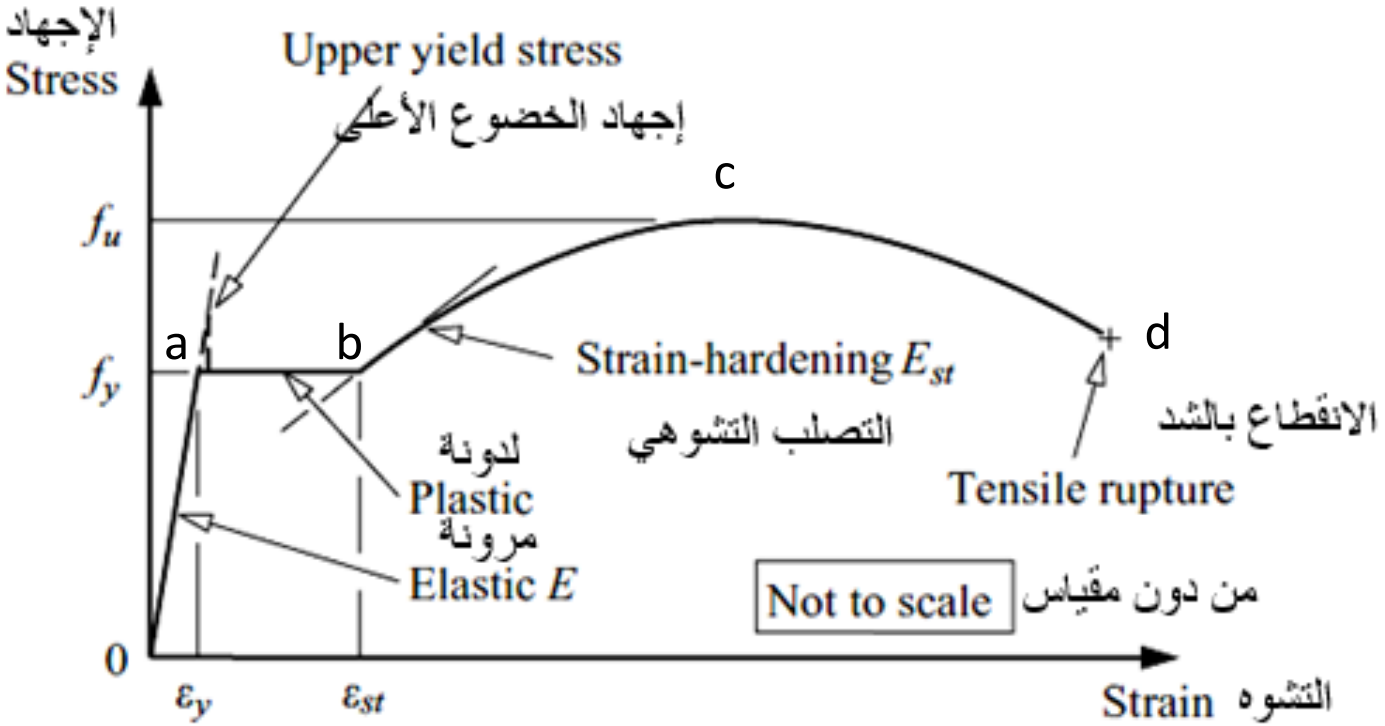
- **دراسة الحمولات المؤثرة على الإنشاء (المنشأ)،**
- **اختيار الطرق المناسبة لتحليل الإنشاءات الفولاذية.**
- **دراسة السلوك الإنشائي ونتائج التحليل والتصميم بالاعتماد على الكود الأوربي EC3.**

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

سلوك المادة Material Behaviour

الخواص الميكانيكية بتأثير الحمولات السكونية

يشار إلى الخواص الميكانيكية الهامة لأغلب أنواع الفولاذ الإنشائية تحت تأثير الحمولة الساكنة (الستاتيكية) من خلال منحني إجهاد – تشوه النموذجي (على الشد)



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- تتراوح قيمة الإجهاد الأعظمي (إجهاد الشد الأقصى) في النقطة c للفولاذ الإنشائي بين(370-600 mPa)
- يستخدم كود EC3 القيمة E=210000 N/mm2
- وتتراوح قيمة التشوه عند الانقطاع بين 23-50% وذلك بحسب نوع الفولاذ الإنشائي.
- تمثل المنطقة oa من المخطط المرحلة المرنة التي يتم اعتبارها في نظرية المرونة.
- أما في نظرية اللدونة فيهمنا منطقة السيلان ab إذ يكون التشوه عند b قد وصل إلى حوالي 1-2 %،

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

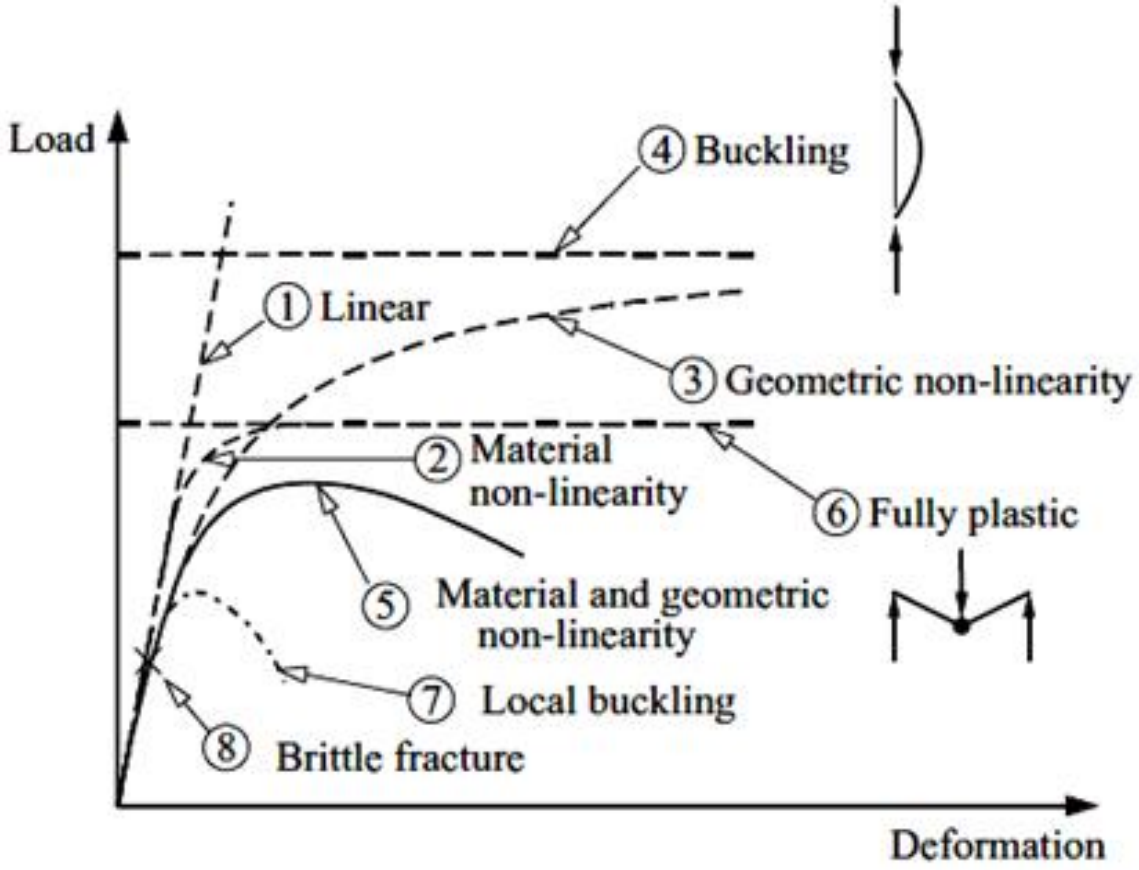
سلوك العنصر والمنشآ Member and Structure Behaviour

سلوك العنصر Member behaviour

- يشار إلى الخواص الميكانيكية الهامة لأغلب أنواع الفولاذ الإنشائية تحت تأثير الحمولة الساكنة (الستاتيكية) من خلال منحني إجهاد – تشوه النموذجي (على الشد)
- تكون العناصر الفولاذية ضرورية لنقل القوى المحورية والعرضية وعزم الفتل
- يمكن وصف استجابة عنصر لهذه الأفعال بواسطة خصائص الحمولة – تشوه المبينة في الشكل

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

سلوك العنصر Member behaviour



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- **يمكن للعنصر أن يملك استجابة خطية مبينة في المنحني *1*، تستمر هذه الاستجابة حتى تصل المادة لإجهاد الخضوع.** تعتمد قيم التشوهات على العوامل E و G. نظرياً
- **يمكن الافتراض أن استجابة العنصر تبقى خطية حتى يحدث خضوع أكثر شمولية. يصبح سلوك العنصر بعد ذلك غير خطي (المنحني *2*) ويقترب من الحالة المرتبطة باللدونة الكاملة (المنحني *6*). تعتمد هذه الحالة على إجهاد الخضوع f_y.**
- **يمكن للعنصر أيضاً أن يظهر لاخطية هندسية، يمكن أن يتأثر عزما الانعطاف والفتل المؤثران على أي مقطع بالتشوهات وأيضاً بالقوى المطبقة. يمكن لهذه اللاخطية، التي تعتمد على العوامل E و G، أن تجعل التشوهات كبيرة جداً (المنحني *3*)**
- **عندما يتم الوصول لحالة التحنيب المرن (المنحني *4*). يعدل هذا السلوك عندما تصبح المادة غير خطية بعد الخضوع الأول، ويمكن للحمولة أن تصل لقيمة عظمى ثم تنخفض.**

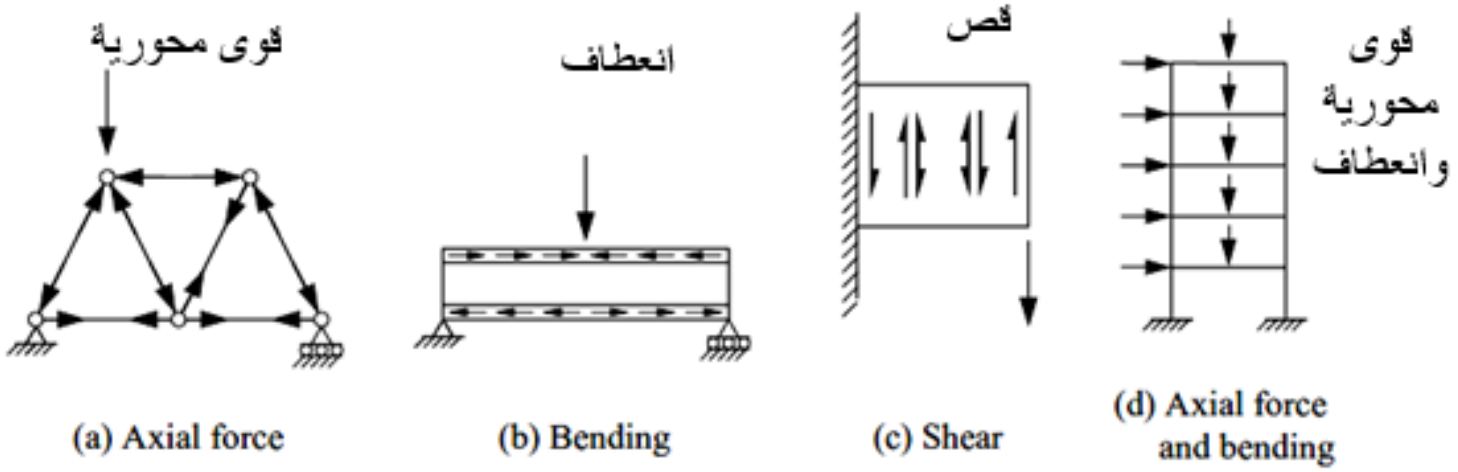
مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- يمكن للعنصر أيضاً أن يظهر لاخطية هندسية، حيث يمكن أن يتأثر عزما الانعطاف والفتل المؤثران على أي مقطع بالتشوهات وأيضاً بالقوى المطبقة. يمكن لهذه اللاخطية، التي تعتمد على العوامل E و G، أن تجعل التشوهات كبيرة جداً (المنحني 3)
- عندما يتم الوصول لحالة التحنيب المرن (المنحني 4).
- يعدل هذا السلوك عندما تصبح المادة غير خطية بعد الخضوع الأول، ويمكن للحمولة أن تصل لقيمة عظمى ثم تنخفض.
- يمكن للعنصر أن يسلك سلوكاً هشاً بسبب التحنيب الموضعي في جزء العنصر السطحي للصفيحة الرقيقة (المنحني 7)، أو بسبب انهيار المادة (المنحني 8).

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

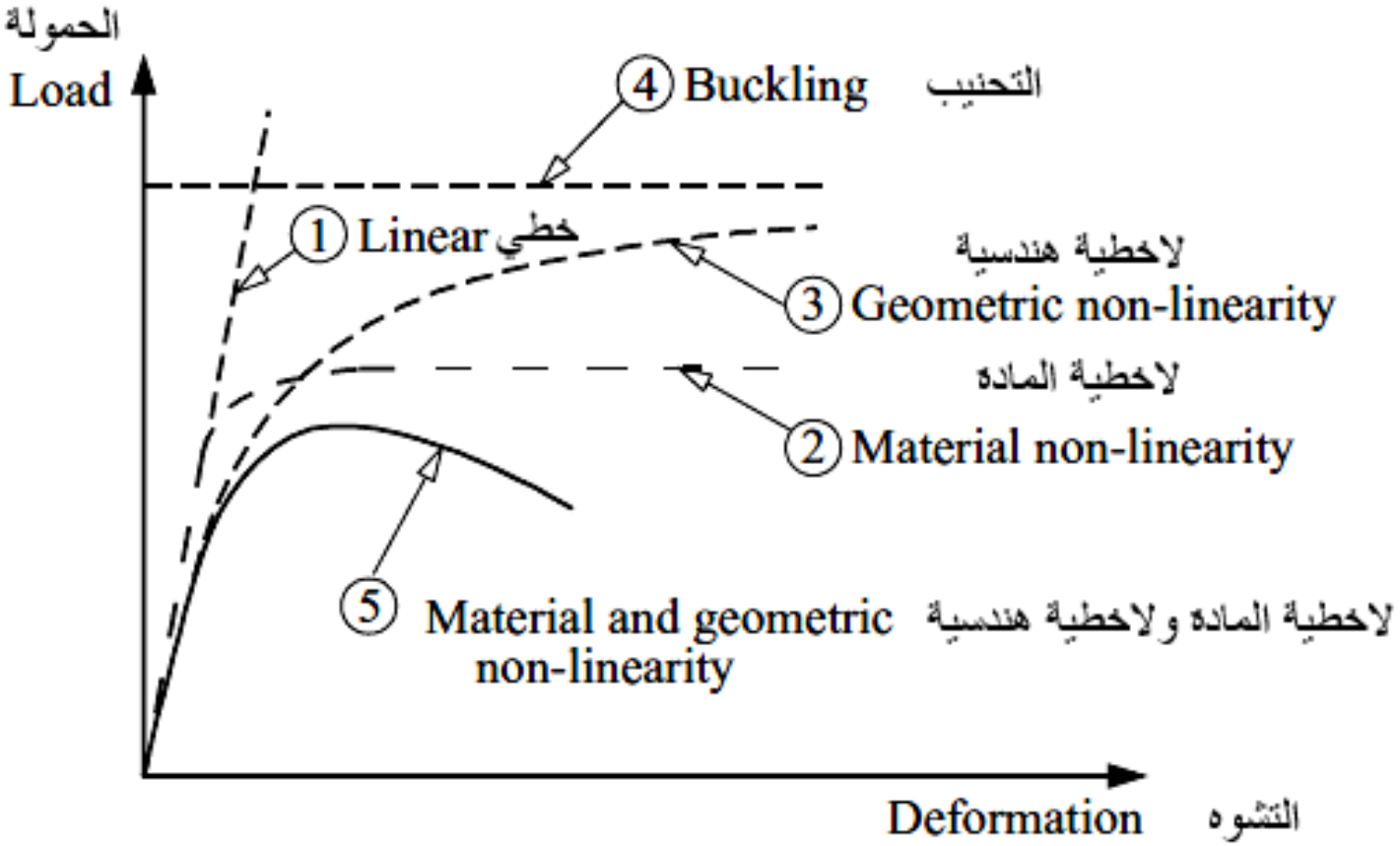
سلوك المنشأ Structure behaviour

يعتمد سلوك العنصر على أفعال نقل الحمولة لعناصره ووصلاته (عقده).



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

سلوك المنشأ Structure behaviour



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- من المألوف فرض أن سلوك المنشأ الفولاذي يكون مرناً تحت تأثير حمولات الاستثمار.
- تسلك الإنشاءات الخاضعة للانعطاف الصافي، وللحمولات المحورية الصافية ذات حمولات الضغط الصغيره، سلوكاً خطياً (المنحني *1*)
- تسلك الإنشاءات ذات الأفعال المحورية والانعطافية بشكل غير خطي، حتى لو كانت قريبة من حمولات الاستثمار (المنحني *3*)
- . وهذه نتيجة السلوك اللاخطي هندسياً لعناصره

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- تسلك معظم المنشآت الفولاذية سلوكاً لاخطياً عند حمولات قريبة من الحمولات الحدية **ultimate**، مالم تفشل مسبقاً نتيجة الانهيار الهش، التعب، أو التحنيب الموضعي.
- ينتج هذا السلوك اللاخطي إما بسبب خضوع المادة (المنحني 2، أو تحنيب العنصر أو الإطار (المنحني 4)، أو كلاهما (المنحني 5).
- تحدث التحويلات المبينة في الشكل بين السلوك المرن والحدي غالباً في سلسلة من الخطوات غير الخطية وكأنها عناصر مستقلة تصبح لدنة أو محنبة بشكل كامل.

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

الحمولات Loads

يمكن تصنيف الحمولات المؤثرة على المنشأ إلى:

- **حمولات ميتة.**
- **حمولات إضافية: متضمنة الحمولات المطبقة تدريجياً والحمولات الديناميكية.**
- **حمولات الرياح.**
- **الحمولات الأرضية أو حمولات المياه الأرضية.**
- **قوى غير مباشرة: متضمنة تلك الناتجة عن تغييرات درجة الحرارة، هبوط الأساسات، وما شابه.**

يستخدم المصطلح أفعال Actions في كل أقسام الكود الأوربي. يجب على المهندس الإنشائي تحديد قيم (شدات)الحمولات التي سيتم تطبيقها، ويجب أن يحدد تراكبات الحمولات الأخطر التي سيصمم المنشأ على أساسها.

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

تراكب الحمولات Combinations of loads

- لا تحدث القوى المذكورة في الفقرات السابقة بمفردها وإنما تتراكب (تؤثر في نفس الوقت) مع بعضها البعض، وعلى المصمم أن يحدد التركيب الأخطر (الحرج) على المنشأ من بين التراكبات المحتملة.
- لا تحدث القوى المذكورة في الفقرات السابقة بمفردها وإنما تتراكب (تؤثر في نفس الوقت) مع بعضها البعض، وعلى المصمم أن يحدد التركيب الأخطر (الحرج) على المنشأ من بين التراكبات المحتملة
- يستخدم الكود الأوربي EC3 طريقة مختلفة وأكثر منطقية في طريقة تصميم حالات الحدود، وهي تعتمد على تحاليل إحصائية للحمولات ولمقاومات المنشأ
- ينفذ عادة تصميم المقاومة على التراكبات الحادة (الأخطر) للأفعال من أجل الحالات الطبيعية (المسماة الدائمة) أو المؤقتة (المسماة عابرة) باستخدام العلاقة:

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

تراكب الحمولات Combinations of loads

- يستخدم الكود الأوربي EC3 طريقة مختلفة وأكثر منطقية في طريقة تصميم حالات الحدود، وهي تعتمد على تحاليل إحصائية للحمولات ولمقاومات المنشأ (أنظر الفقرة 1-7-3-4 من الكود). ينفذ عادة تصميم المقاومة على التراكبات الحادة (الأخطر) للأفعال من أجل الحالات الطبيعية (المسماة الدائمة) أو المؤقتة (المسماة عابرة) باستخدام العلاقة:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

حيث يشير الرمز $\sum$ إلى الأثر التجميعي،

γ_G و γ_Q عوامل جزئية للأفعال الدائمة G والمتغيرة Q, ψ_0 عامل تراكب.

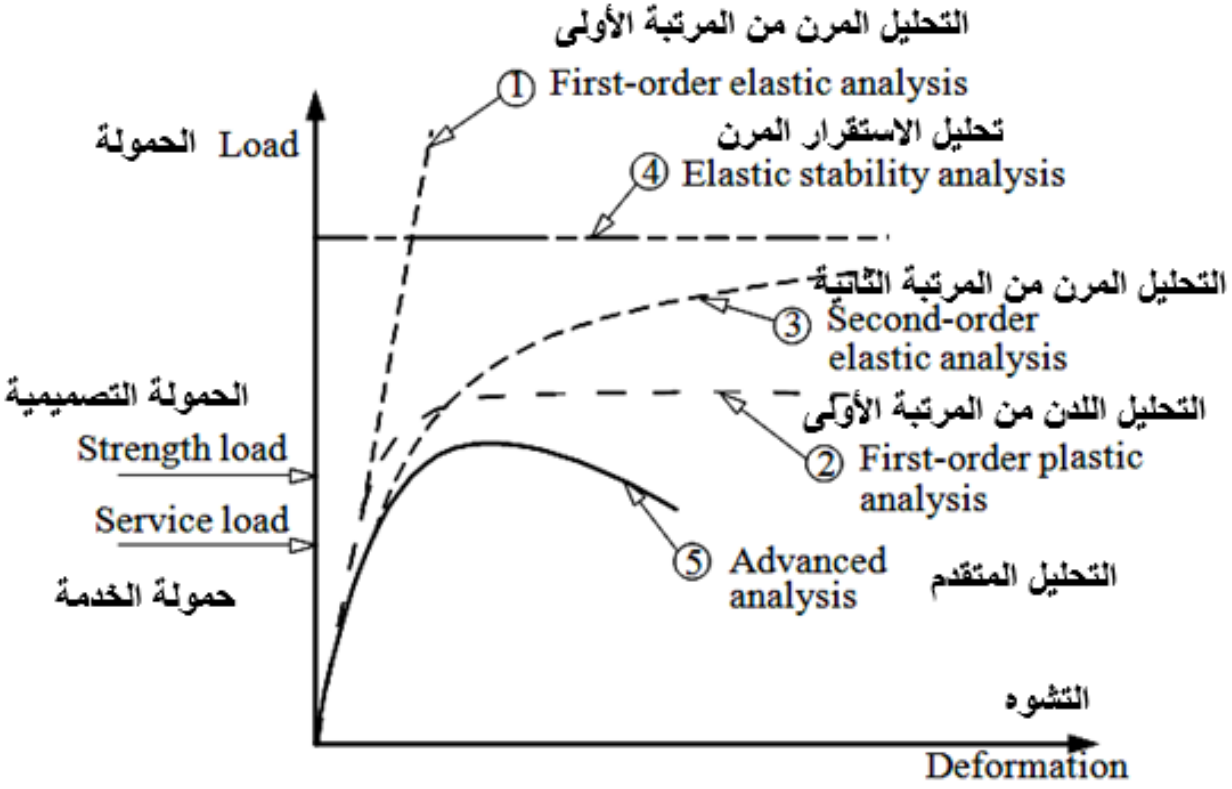
- تقوم العلاقة السابقة على مبدأ استخدام كل الأفعال الدائمة $G_{k,j}$ مثل الوزن الميت ووزن المعدات الثابتة مع فعل متغير رئيس $Q_{k,1}$ مثل الحمولة الإضافية، الثلج، أو حمولة الرياح، وحمولات مخفضة للأفعال المتغيرة الأخرى $Q_{k,i}$

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

تحليل الإنشاءات الفولاذية Analysis of steel structures

تحليل الإنشاءات المقررة سكونياً لعنصر أو لإنشاء

تحليل الإنشاءات غير المقررة سكونياً



مدخل إلى المنشآت الفولاذية

المتطلبات الإنشائية ومعايير التصميم

تكون مهمة المصمم في تقدير إن كان المنشأ سيلبي (سيرضي) المتطلبات الإنشائية من ناحية الاستثمار والمقاومة معقدة نتيجة وجود الأخطاء والشكوك في تحليله للسلوك الإنشائي وتقدير الأحمال المطبقة،

تربط متطلبات التصميم الإنشائية بحالات الحدود الموافقة

تُقدم المتطلبات بشكل عام بطريقة محددة، مثلاً يطلب أن لايتم انهيار المنشأ، أو أن السهوم فيه لاتزيد عن حدود معطاة

سيكون هناك عدد من المتطلبات الإنشائية التي تعمل عند مستويات حمولة مختلفة، وليس من غير الاعتيادي أن يطلب من المنشأ أن لايعاني من التضرر، لكن أن يسمح بحصول بعض الأضرار الصغيرة عند مستوى حمولة أعلى، دون أن يحصل انهيار كارثي

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

المتطلبات الإنشائية ومعايير التصميم

- يمكن تحديد المعايير التصميمية من قبل المصمم، أو يمكنه أن يستخدم المعايير المستخدمة في الكودات.
- عادة، تتعلق معايير تصميم الصلابة بحد الاستثمار (التشغيل) تحت تأثير حمولات الخدمة (التشغيل)، وهي تهتم بالتأكد من أن المنشأ يملك صلابة كافية لمنع، الانتقالات (السهوم) الزائدة مثل الارتخاء، التشويه، والهبوط، والحركات الزائدة تحت تأثير الأحمال الديناميكية، متضمنة الانزياح الجانبي والاهتزاز.
- تتعلق معايير حالة حد تصميم المقاومة بالطرق المحتملة لانهيار المنشأ تحت شروط زيادة الحمولات ونقص المقاومة، وكذا تهتم معايير التصميم هذه بالخضوع، التحنيب، الانهيار الهش، والتعب. وتملك مطاوعة المنشأ أيضاً أهمية بالغة عند وقرب الانهيار

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

الأخطاء والشكوك Errors and uncertainties

- يجب على المصمم أن يأخذ بالاعتبار الأخطاء العارضة والمتعمدة والشكوك المتعلقة بمعرفته بالمنشأ والأحمال عند تحديد الحدود الموصوفة (المحددة) في معايير التصميم.

المقاومة التصميمية (التصميم على المقاومة) Strength design

عوامل الحمولة والمقاومة (قدرة التحمل)، وعوامل الأمان

- يمكن أخذ الأخطاء والشكوك في تقدير الحمولات وسلوك المنشأ بعين الاعتبار في التصميم على المقاومة من خلال استخدام عوامل الحمولة لزيادة الحمولات الأسمية
- وعوامل قدرة التحمل (المقاومة) لتخفيض المقاومة الإنشائية.
- تم في الكودات السابقة التي تستخدم التصميم التقليدي بالإجهادات المسموحة تحقيق ذلك من خلال عوامل أمان تخفض إجهادات الانهيار إلى قيم إجهادات التشغيل المسموحة

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

- التصميم بإجهادات التشغيل **Working stress design**
- تتطلب طرق التصميم بإجهادات التشغيل والتي تعتمدها بعض الكودات والمواصفات السابقة أن لاتزيد الإجهادات المحسوبة من التراكبات الأسوأ للحمولات عن الإجهادات المسموحة المخصصة
- تم الحصول على هذه الإجهادات المخصصة بعد عمل بعض السماحيات لتأثيرات المادة والاستقرار غير الخطي على مقاومة العناصر المفردة، وبالواقع، تم الحصول على علاقات المقاومة الحدية مقسومة على عوامل الأمان SF. أي يمكن أن نكتب:

$$\text{Working stress} \leq \text{Permissible stress} \approx \frac{\text{Ultimate stress}}{\text{SF}}$$

- تم استبدال طريقة إجهادات التشغيل في كود تصميم الفولاذ السابق بطريقة تصميم حالات الحدود في كود EC3

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

التصميم بالحمولات الحدية Ultimate load design

- تتطلب طريقة تصميم المنشآت الفولاذية بالحمولات الحدية أن لاتزيد الحمولة الحدية المحسوبة لكامل المنشأ عن تراكب الحمولات الأخطر (الأسوأ) التي يتم الحصول عليها من تصعيد حمولات التشغيل بعامل الحمولة المناسب *LF*. هكذا يكون لدينا

$$\sum (\text{Working load} \times \text{LF}) \leq \text{Ultimate load}$$

- تسمح عوامل الحمولة هذه بهوامش معينة تأخذ بالاعتبار أي أخطاء عرضية أو متعمدة، والشكوك المتعلقة بالمنشأ والحمولات،

- وأيضا تزود المنشأ باحتياطي مقاومة. يجب على قيم هذه العوامل أن تعتمد على نوع الحمولة والتراكب، وأيضاً على خطورة الانهيار الذي يمكن توقعه وعلى نتائج الانهيار. تستخدم غالباً مقاربة بسيطة (ربما غير منطقية) تستخدم عامل حمولة وحيد للتراكب الاسوأ (الأخطر) لحمولات التشغيل (الاستثمار).

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

التصميم بالحالات الحدية Limit states design

- هكذا نجد في التصميم بحالات الحدود، أن المنشأ يعتبر محقق (مرضي) إذا كان أثر حمولته التصميمية design load لايزيد عن مقاومته التصميمية design resistance.
- أثر الحمولة التصميمية هو عزم الانعطاف، عزم الفتل، القوة الناظمية (المحورية)، أو قوة القص الموافقة، ويتم حسابه من مجموع آثار الحمولات المميزة (أو المخصصة) F_k مضروب بالعوامل الجزئية $\gamma_{G,Q}$ والتي تسمح بتنوعات (اختلافات) الحمولات والسلوك الإنشائي. تحسب المقاومة التصميمية R_k / γ_M من المقاومة المميزة (أو المخصصة) مقسومة على العامل الجزئي γ_M الذي يسمح بتنوع (اختلاف) المقاومة. هكذا يكون لدينا:

$$\text{Design load effect} \leq \text{Design resistance}$$

$$\sum \gamma_{g,Q} \times (\text{effect of specified loads}) \leq (\text{specified resistance}/\gamma_M)$$

مدخل إلى المنشآت الفولاذية

التصميم على الصلابة Stiffness design

يسعى المصمم عند تصميم المنشآت الفولاذية على الصلابة، على جعل المنشأ صلب بشكل كاف بحيث لاتضعف السهوم (الانتقالات) فيه، تحت أسوأ ظروف عمل حمولات التشغيل (الاستثمار)، مقاومته أو قابليته للاستثمار.

تحسب هذه السهوم عادة من التحليل المرن الخطي، مع أنه يجب إدخال تأثيرات اللاخطية الهندسية عندما تكون هامة،

كما هو الحال في الإنشاءات المعرضة لمشاكل عدم استقرار. تتعلق معايير التصميم المستخدمة في التصميم على الصلابة بشكل رئيس بقابلية استثمار (تشغيل) المنشأ،

ويجب أن لاتقود مرونة المنشأ لتضرر أي عناصر غير إنشائية، وأن لاتعطي السهوم مظهر سيئ، وأن لايعاني المنشأ من اهتزازات زائدة عن الحد.

يترك عادة للمصمم أن يختار القيم الحدية المناسبة للاستخدام في هذه المعايير والموافقة للإنشاء، مع هذا تقترح كودات التصميم بعض هذه القيم. يجب أن تكون معايير تصميم الصلابة المتعلقة بمقاومة المنشأ نفسه محققة بشكل اوتوماتيكي عندما تكون معايير تصميم المقاومة محققة.