

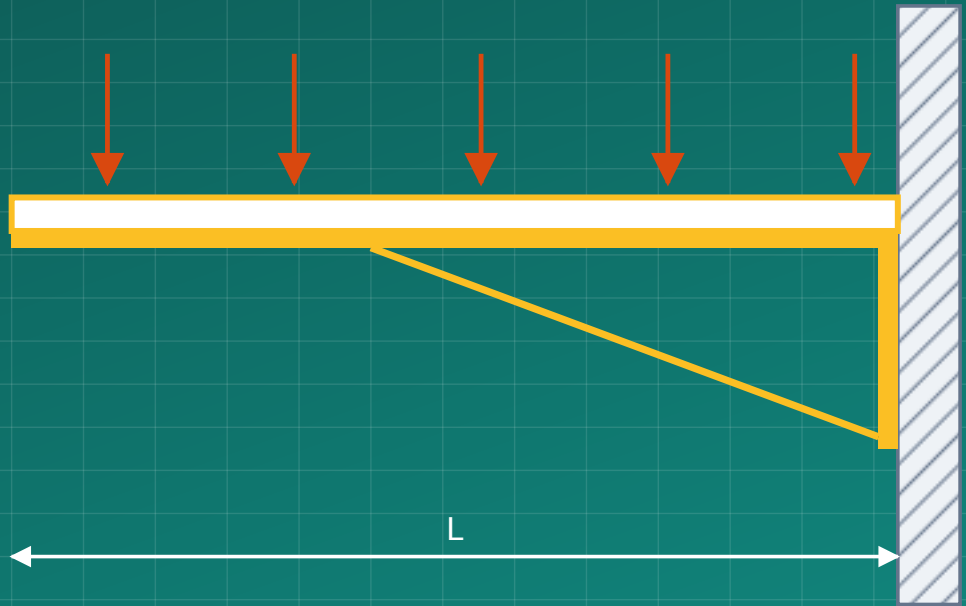
الحسابات الإنشائية للأثاث المكتبي والمنزلي

من الصفر بالأمثلة والتمارين: تراكيب طايرة، سفر، كراسي، ورفوف

11 رسم هندسي

13 مثال

11 تمرين محلول



مقدمة: ليه نحسب؟

كل نجار أو مصمم أثاث شاف تراييزة طايرة وقعت من الحيط، أو كرسي رجله اتكسرت، أو رف اتقّوس في النص بعد شهرين من الحمل. أغلب الوقت المشكلة مش في الخامة نفسها، المشكلة إن القطعة اتصمّمت بالتخمين. الحسابات الإنشائية مش سحر ومش محتاجة شهادة هندسة. هي في الحقيقة ٣ أسئلة بسيطة:

١. هل هتتكسر؟

القوة والإجهاد

٢. هل هتتقّوس؟

الترخيم

٣. هل هتقع أو تتقلب؟

الانزان

الكتيب ده بيجابو على الأسئلة دي خطوة خطوة. كل فصل فيه فكرة، ومثال محلول، وتمارين تجرّبه بنفسك.

ملاحظة

تنبيه مهم: القيم الرقمية للخامات في الكتيب تقريبية لغرض التعليم، والخامات بتختلف من مورد لمورد. في الأماكن العامة، أو الأحمال الكبيرة، أو أي حالة فيها خطر على الناس، لازم تراجع مهندس إنشائي أو تعمل اختبار تحميل فعلي على عينة.

كيف تستخدم الكتيب

- اقرأ الفصول بالترتيب، لأن كل فصل مبني على اللي قبله.
- حل التمرين بنفسك الأول، وبعدين قارن بالحل في الفصل 10.
- الوحدات: **الكيلوجرام (كجم)** للقوة، و**السنتمتر (سم)** للأطوال. يعني العزم بـ **كجم·سم** والإجهاد بـ **كجم/سم²**.
- آلة حاسبة عادية تكفي.

الفصل	الموضوع	هنتطبقه على
1	القوة والوزن والأحمال	وزن الأسطح
2	العزم	الرف والتراييزة الطايرة
3	الاتزان وردود الأفعال	السفرة
4	خواص المقطع	الألواح والقسطع الخشب والحديد
5	الإجهاد والترخيم	الرفوف وأسطح التراييزات
6	التراييزة الطايرة	مثال كامل
7	السفرة	مثال كامل
8	الكرسى	مثال كامل
9	الوصلات والتثبيت	المسامير والدُّبِل والانكر
10	حلول التمارين وجداول مرجعية	

1 القوة والوزن والأحمال

1.1 يعني إيه قوة؟

القوة هي الدفع أو السحب اللي بيأثر على القطعة، وأبسط قوة هي **الوزن**. هنقيس القوة في الكتيب بالكيلوجرام (كجم) زي ما بنقيس الوزن بالظبط. (للمعلومة: 1 كجم قوة تقريباً = 10 نيوتن، لو احتجت تحوّل لوحدات عالمية.)

1.2 أنواع الأحمال

النوع	معناه	مثال
حمل ميت (ذاتي)	وزن القطعة نفسها	وزن سطح الترابيزة
حمل حي	اللي بيتخط على القطعة أثناء الاستخدام	لابتوب، كتب، شخص قاعد
حمل ديناميكي	حمل بيتخط فجأة أو بحركة	واحد بيرزق نفسه على الكرسي
حمل عرضي	حمل مش متوقع لكن ممكن يحصل	واحد بيقد أو بيتسند على حرف ترايبيزة

ملاحظة

القاعدة العملية: صمّم على أسوأ حمل ممكن يحصل، مش على الحمل العادي بس.

1.3 الحمل المركّز والحمل الموزّع

- **الحمل المركّز (P):** حمل في نقطة واحدة. مثال: شخص قاعد على نص لوح. بنقيسه بالكجم.
- **الحمل الموزّع (w):** حمل منتشر على طول القطعة. بنقيسه بالكجم لكل سم.

$$w = P \div L$$

حيث P الحمل الكلي و L الطول.

مثال محلول

مثال 1: رف طوله 80 سم عليه كتب وزنها 20 كجم موزعة بالتساوي.

$$w = 20 \div 80 = 0.25 \text{ kg/cm}$$

1.4 وزن القطعة نفسها

عشان نعرف الحمل الميت لازم نحسب وزن القطعة:

$$W = V \times \rho \div 1,000,000$$

حيث W الوزن بالكجم، و V الحجم بالسـم³، و ρ الكثافة بالكجم/م³.

الخامة	الكثافة التقريبية (كجم/م ³)
MDF	750
أبلكاش	650
خشب موسكي (لين)	500
خشب صلب (زان / بلوط)	700
ألومنيوم	2700
زجاج	2500
حديد	7850

مثال محلول

مثال 2: وزن سطح مكتب MDF أبعاده 70 × 140 سم وسمكه 1.8 سم.

• الحجم = $1.8 \times 70 \times 140 = 17,640$ سم³

• الوزن = $1,000,000 \div 750 \times 17,640 = 13.2$ كجم

1.5 معامل الأمان للأحمال الديناميكية

لما الحمل بيتخط بحركة أو فجأة، تأثيره بيبقى أكبر من وزنه الساكن. عشان كده بنضرب الحمل في معامل ديناميكي حوالي 1.5 إلى 2، في الكراسي والأسطح اللي بيتعامل معاها بعنف.

مثال محلول

مثال 3: شخص وزنه 100 كجم بيقتد على كرسي. حمل التصميم = $1.5 \times 100 = 150$ كجم على الأقل.

🔗 جرب بنفسك

تمرين 1: احسب وزن سطح مكتب MDF أبعاده 60 × 120 سم وسمكه 2.5 سم.

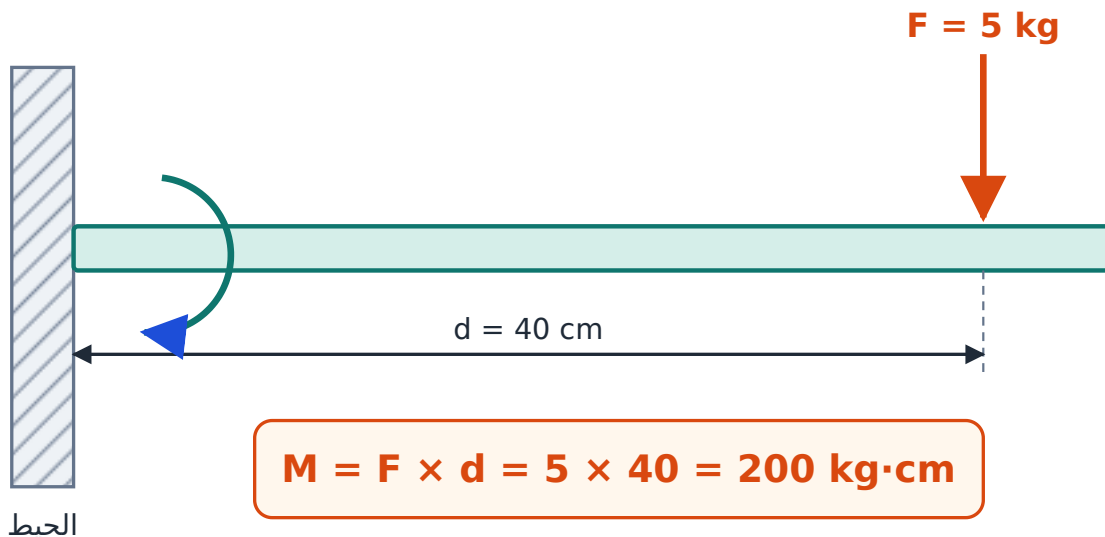
تمرين 2: رف طوله 100 سم عليه حمل 30 كجم موزع بالتساوي. كام قيمة الحمل الموزع W؟

2.1 الفكرة

العزم هو قدرة القوة على اللف أو الدوران. إنت بتستخدمه كل يوم: لما بتفتح باب، الأسهل إنك تزق من بعيد عن المفصلة. ولما بتفك صامولة، المفتاح الطويل أسهل من القصير. القوة هي هي، لكن المسافة بتضاعف التأثير.

$$M = F \times d$$

حيث F القوة و d المسافة العمودية عن نقطة التثبيت. ووحدة العزم كجم·سم.



القوة × المسافة = العزم: كل ما الحمل يبعد عن الحيط، العزم بيزيد بنفس النسبة.

مثال محلول

مثال 4: شنطة وزنها 5 كجم متعلقة على حرف تراييزة طيارة، على بعد 40 سم من الحيط: العزم = $5 \times 40 = 200$ كجم·سم. ولو نفس الشنطة على بعد 80 سم، العزم هيقى 400.

يعني كل ما الحمل يبعد، الخطر بيزيد بنفس النسبة.

2.2 الحمل الموزع بيتحسب عند منتصفه

لما يكون الحمل موزع على طول، نقدر نختصره في قوة واحدة بقيمة الحمل الكلي، شغالة في منتصف الطول.

مثال محلول

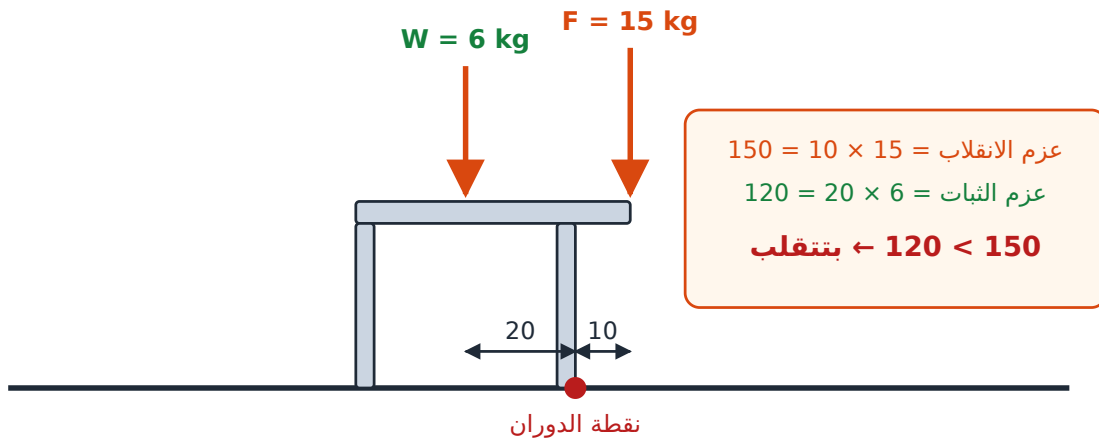
مثال 5: سطح تراييزة طاية بياخد 50 سم من الحيط، عليه حمل كلي 42 كجم موزع بالتساوي.

- القوة المكافئة = 42 كجم
- مكانها = $25 = 50 \div 2$ سم من الحيط
- العزم عند الحيط = $1050 = 25 \times 42$ كجم·سم

2.3 الاتزان ضد الانقلاب

أي قطعة ممكن تقلب حوالين حرف رجلها. القاعدة:

- **عزم الانقلاب** = قوة الحمل $\times$ بعدها عن خط الارتكاز.
- **عزم الثبات** = وزن القطعة $\times$ بعد مركز ثقلها عن نفس الخط.
- القطعة بتثبت لو **عزم الثبات أكبر من عزم الانقلاب** بهامش أمان مريح (يفضل مرتين على الأقل).



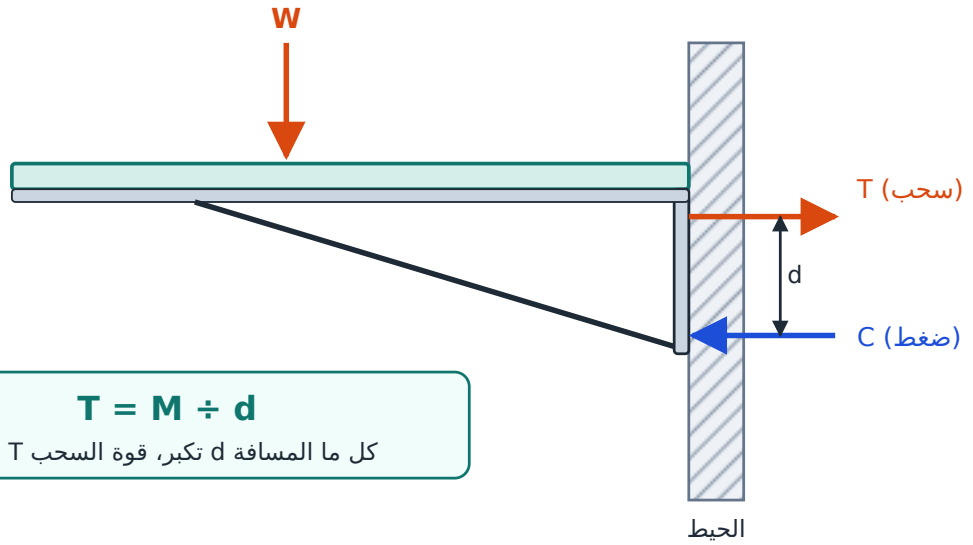
الاتزان ضد الانقلاب: لازم عزم الثبات يغلب عزم الانقلاب بهامش أمان (2 على الأقل).

2.4 الازدواج: قوة السحب عند التثبيت

لما تراييزة طاية بتحاول تلف لتحت، الجزء العلوي من التثبيت في الحيط بيتسحب بره، والجزء السفلي بيتضغط على الحيط. القوتين دول بيكوّنوا **ازدواج**:

$$T = M \div d$$

حيث T قوة السحب و d المسافة بين نقطة السحب ونقطة الضغط.



الحمل يحاول يلف الرف: الجزء العلوي بيتسحب من الحيط والسفلي بيتضغط عليه.

مثال محلول

مثال 6: رف عزمه عند الحيط 300 كجم·سم، والمسافة بين المسمار العلوي والسفلي 10 سم.

$$T = 300 \div 10 = 30 \text{ kg}$$

يعني المسمار العلوي لازم يتحمل **سحب** 30 كجم على الأقل (وبعدين نضرب في معامل أمان، هنشوفه في الفصل 9).

لاحظ إن كل ما زادت المسافة بين المسمارين، قلت قوة السحب. عشان كده البراكيت الطويل أقوى من القصير.

جرب بنفسك

تمرين 3: حمل 12 كجم موجود على بعد 35 سم من نقطة التثبيت. احسب العزم.

تمرين 4: تراييزة جنب السرير وزنها 6 كجم، رجليها على مربع 40×40 سم، ومركز ثقلها في منتصف المربع. حد حط كوابية مائة وكتاب وزنهم 15 كجم على حرف السطح، على بعد 10 سم **بره** خط الرجلين. هل التراييزة هتتقلب؟ وإيه الحل لو اتقلبت؟

3 الاتزان وردود الأفعال

3.1 شرط الاتزان

أي قطعة ساكنة (مش بتتحرك ولا بتلف) لازم تحقق شرطين:

1. مجموع القوى الرأسية = صفر (اللي لتحت يساوي اللي لفوق).
2. مجموع العزوم = صفر (اللي بيلف مع عقارب الساعة يساوي اللي بيلف عكسها).

3.2 ردود الأفعال

لما لوح أو سطح مرتكز على دعامتين، كل دعامة بتدفع لفوق بقوة اسمها **رد فعل**. ومجموع ردّي الفعل يساوي الحمل الكلي.

حالة الحمل الموزع بالتساوي: كل دعامة بتاخذ نص الحمل.

مثال محلول

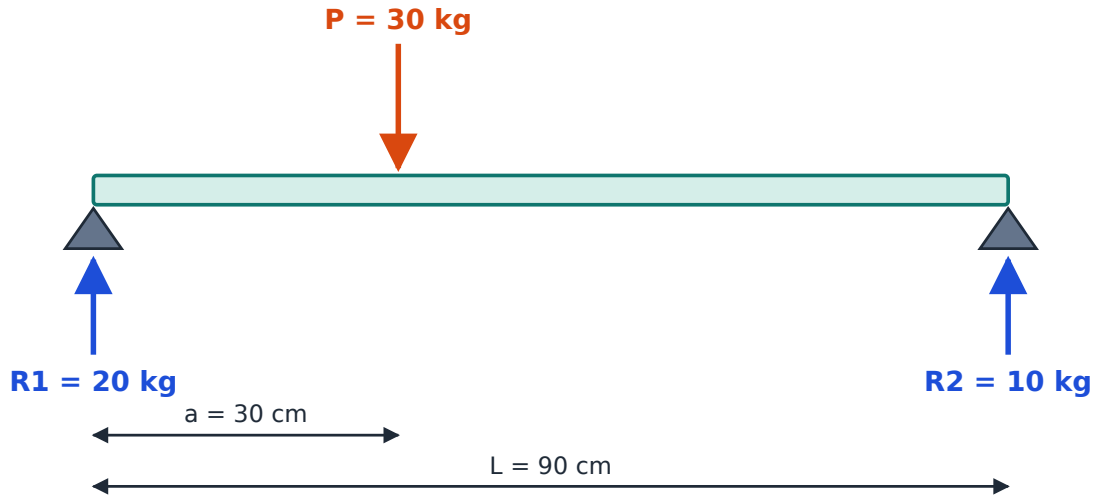
مثال 7 (سفرة): وزن السطح 34 كجم، والحمل الحي 100 كجم موزع بالتساوي، والسطح مرتكز على إطارين جانبيين.

- الحمل الكلي = $100 + 34 = 134$ كجم
- كل إطار بياخذ $134 \div 2 = 67$ كجم

حالة الحمل المركّز: ناخذ العزوم حوالين الدعامة الشمال. لو الحمل P على بعد a من الشمال، والمسافة بين الدعامتين L:

$$R2 = P \times a \div L$$

$$R1 = P - R2$$



الدعامة الأقرب للحمل يتاخذ نصيب أكبر: $R2 = P \times a \div L$ و $R1 = P - R2$.

مثال محلول

مثال 8: لوح بين دعامتين المسافة بينهما 90 سم، عليه حمل 30 كجم على بعد 30 سم من الشمال.

• $R2$ (اليمين) $= 90 \div 30 \times 30 = 10$ كجم

• $R1$ (الشمال) $= 10 - 30 = 20$ كجم

لاحظ إن الدعامة الأقرب للحمل يتاخذ نصيب أكبر.

جرب بنفسك

تمرين 5: لوح بين دعامتين المسافة بينهما 100 سم، عليه حمل 60 كجم على بعد 30 سم من الدعامة الشمال. احسب رد فعل كل دعامة.

4.1 ليه سمك اللوح مهم أكثر من عرضه؟

جَرِّب كده: خد مسطرة خشب أو بلاستيك عريضة ورقيقة، احطها منبطحة على كوبايتين واضغط في النص، هتلاقيها بتتقوّس بسهولة. بعدين قلبها على حرفها واضغط نفس الضغطة: هتلاقيها صلبة جداً. نفس القطعة ونفس الخامة، لكن شكل المقطع واتجاهه غيّر كل حاجة.

الهندسة بتقيس الفرق ده برقمين:

- معامل المقطع (S): بيقولنا المقطع هيتكسر ولا لأ. وحدته سم³.
- عزم القصور الذاتي (I): بيقولنا المقطع هيتقوّس قد إيه. وحدته سم⁴.

4.2 المقطع المستطيل

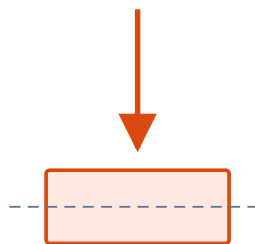
لمقطع مستطيل عرضه **b** وارتفاعه **h**:

$$I = b \times h^3 \div 12$$

$$S = b \times h^2 \div 6$$

انتبه للقاعدة دي: **h هو البعد اللي يكون في اتجاه الحمل** (أو اللي بيتقوّس فيه). لوح رف منبطح، الحمل نازل من فوق، ف **h = السمك** و **b = العرض**. مسطرة متقلبة على حرفها، **h = العرض الكبير**.

منبطحة

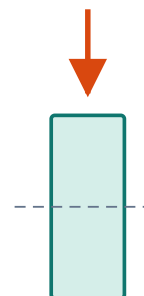


$$b = 5, h = 2$$

$$S = 3.33$$

$$I = 3.33$$

موقوفة على الحرف



$$b = 2, h = 5$$

$$S = 8.33$$

$$I = 20.83$$

نفس القطعة
نفس الخامة

h هو البعد في اتجاه الحمل. الوقفة على الحرف أقوى 2.5 مرة وأقل ترخيماً 6.25 مرة.

مثال محلول

مثال 9: لوح MDF عرضه 30 سم وسمكه 1.8 سم.

$$I = 30 \times 1.8^3 \div 12 = 30 \times 5.832 \div 12 = 14.58 \text{ cm}^4$$

$$S = 30 \times 1.8^2 \div 6 = 30 \times 3.24 \div 6 = 16.2 \text{ cm}^3$$

مثال محلول

مثال 10: تأثير السمك (نفس العرض 30 سم)

السمك (سم)	S (سم ³)	I (سم ⁴)
1.8	16.2	14.6
2.5	31.3	39.1
3.6	64.8	116.6

لاحظ: لما ضاعفنا السمك من 1.8 لـ 3.6، الـ S زاد 4 مرات (لأنه مربع)، والـ I زاد 8 مرات (لأنه مكعب). سمك أكثر = أقوى بكثير جداً.

4.3 المقاطع الحديدية

نفس القانون ينطبق على شرائح الحديد (flat bar). شريحة عرضها 3 سم وسمكها 0.5 سم:

الوضع	h	b	S
موقوفة على الحرف	3	0.5	$0.5 \times 9 \div 6 = 0.75$
منبسط	0.5	3	$3 \times 0.25 \div 6 = 0.125$

الشريحة الموقوفة على الحرف أقوى 6 مرات في مقاومة الكسر، بنفس الحديد! لذلك لازم تركب الشرائح والمساند موقوفة في اتجاه الحمل، مش منبسط.

الماسورة المربعة (مواسير حديد مفرغة): لماسورة مربعة ضلعها الخارجي B والداخلي b:

$$S = I \div (B \div 2) \quad , \quad I = (B^4 - b^4) \div 12$$

مثال: ماسورة 4 × 4 سم بسمك جدار 2 مم (الداخلي 3.6 سم): $I = (256 - 168) \div 12 = 7.3 \text{ cm}^4$ و $S = 7.3 \div 2 = 3.7 \text{ cm}^3$. مساحة الحديد فيها حوالي 3 سم² بس، بالمقارنة بـ 16 سم² لو كانت مصمتة، يعني أخف بحوالي 5 مرات وقوتها مقبولة. ده سر استخدام المواسير في أرجل التراييزات والكراسي المعدنية.

تمرين 6: قطعة خشب مقطوعها عرضها 5 سم وسمكها 2 سم. احسب I و S للحالتين: منبطحة وموقوفة على الحرف. كام مرة أقوى الوضع الثاني في مقاومة الكسر؟ و كام مرة أقل ترخيماً؟

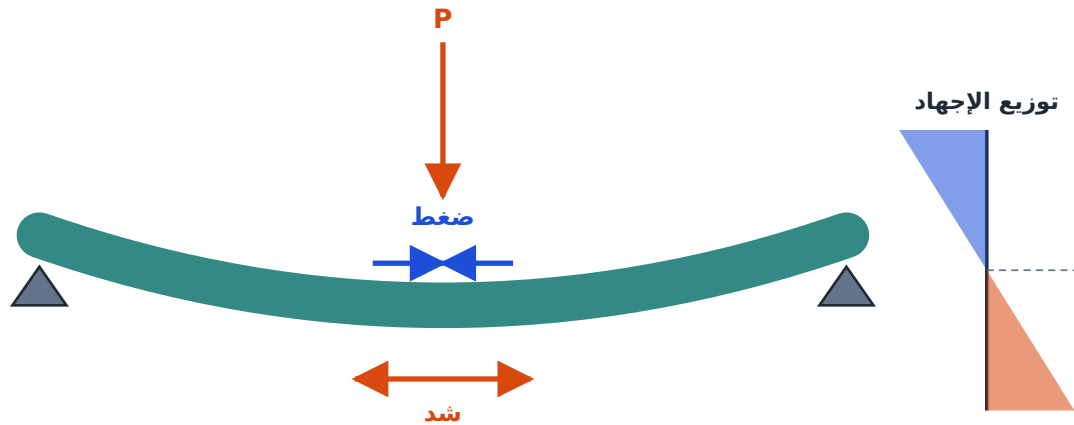
5 الإجهاد والترخيم

5.1 الإجهاد

الإجهاد هو «مقدار الشد» الذي يتحمله كل سم² من الخامة. لما قطعة بتتقوَّس، الوجه التحتاني بيتشد والفوقاني بيتضغط، والكسر بيدأ عادةً من الوجه المشدود.

$$\sigma = M \div S$$

ووحده كجم/سم².



الوجه العلوي بيتضغط والسفلي بيتشد، والكسر عادةً بيدأ من الوجه المشدود.

5.2 الإجهاد المسموح

مش هندفع الخامة لحد الكسر أبدأ. بنحدد إجهاد مسموح أقل بكثير من حد الكسر:

$$\sigma_{allow} = \sigma_{break} \div SF$$

حيث SF معامل الأمان. بالنسبة للخشب والألواح المصنعة بيكون كبير (حوالي 4 لـ 5) لأن الخشب مش متجانس: فيه عقد وعيوب، ويتأثر بالرطوبة، ويبضعف لما الحمل يفضل مدة طويلة.

الجدول ده قيم تقريبية للتعليم فقط. ولما تتوفر بيانات المصنع أو المورد استخدمها بدله:

الخامة	الإجهاد المسموح للانحناء (كجم/سم ²)	معامل المرونة E (كجم/سم ²)
خشب حبيبي (Chipboard)	25	20,000
MDF	50	30,000
أبلكاش	80	60,000
خشب موسكي	90	80,000
خشب صلب (زان / بلوط)	150	100,000
صلب عادي (St37)	1,400	2,100,000

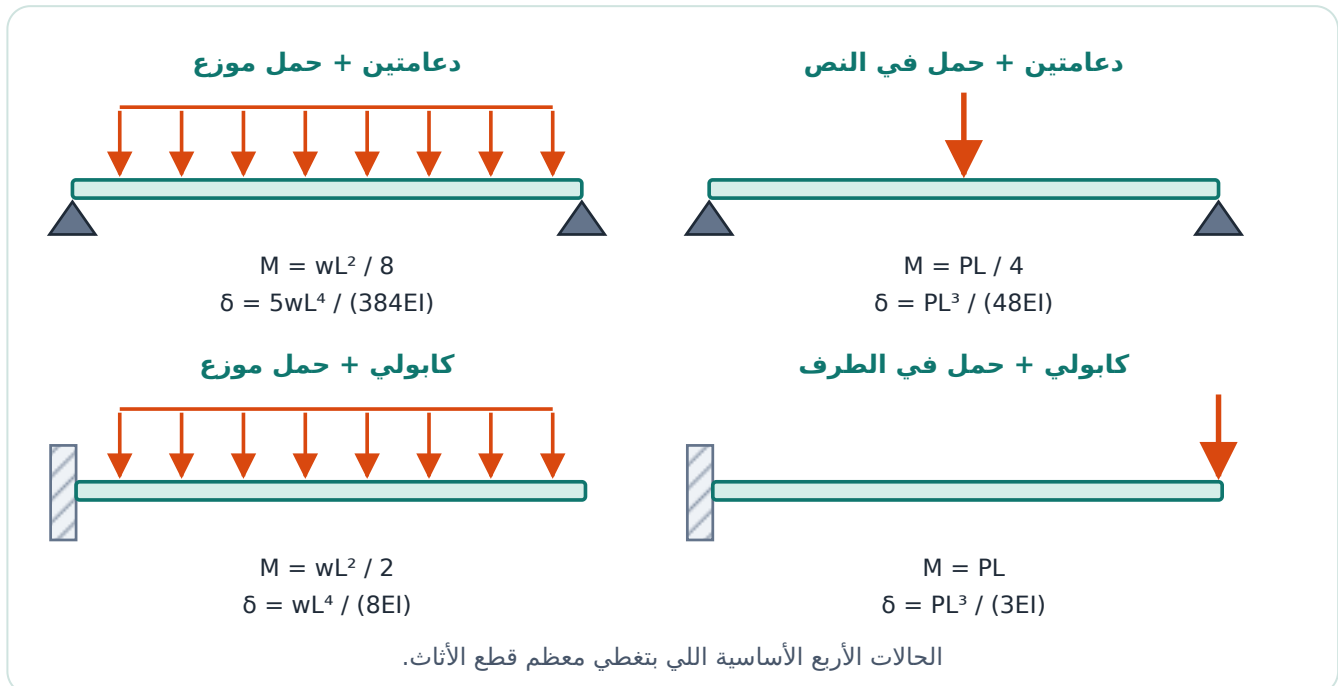
معامل المرونة E يقول الخامة مقاومة للتقوس أد إيه. لاحظ إن الصلب أصلب من الخشب حوالي 20 مرة، ومن الـ MDF حوالي 70 مرة.

5.3 الترقيم

الترقيم (deflection) هو مقدار نزول القطعة أو تقوسها تحت الحمل. حتى لو القطعة مش هتتكسر، الترقيم الكبير بيخلي الشكل وحش، ويفك الوصلات، وبيخلي الكوابيات تميل. الحدود المعتادة في الأثاث:

- الألواح المرتكزة على دعامتين (رفوف، أسطح): أقصى ترقيم = $\text{الطول} \div 300$
- الكابولي (الطاير): أقصى ترقيم = $\text{طول البروز} \div 150$

الصيغ الأساسية (L الطول، w الحمل الموزع بالكجم/سم، P الحمل المركز بالكجم):



ملاحظتين مهمتين من الصيغ:

1. **الطول بيظهر بأس كبير في الترقيم:** لما نضاعف الطول، الترقيم بيزيد 8 أضعاف (حمل مركز) أو 16 ضعف (حمل موزع).
2. **السماك بيظهر بأس 3 في الـ I:** لما نضاعف السمك، الترقيم بيقل للثمان (÷ 8).

5.4 خطوات التصميم الثابتة

هتكرر الخطوات دي في أي قطعة أثاث:

1. حدد الحمل، ميت + حي + معامل ديناميكي لو لازم.
2. احسب أقصى عزم M .
3. احسب S و I للمقطع.
4. احسب الإجهاد $\sigma = M \div S$ وقارنه بالمسموح.
5. احسب الترخيم وقارنه بالحد المسموح.
6. لو أي من الاثنين مش متحقق، زوّد السمك أو قلّل المسافة أو غيّر الخامة، وكرر.

مثال محلول كامل: رف MDF

مثال محلول

المطلوب: رف MDF مرتكز على دعامتين المسافة بينهم 80 سم، عرضه 30 سم، سمكه 1.8 سم، عليه حمل 20 كجم موزع بالتساوي. هل الرف آمن؟

1. الحمل: $w = 20 \div 80 = 0.25 \text{ kg/cm}$
2. العزم: $M = wL^2 \div 8 = 0.25 \times 6400 \div 8 = 200 \text{ kg}\cdot\text{cm}$
3. المقطع (من مثال 9): $S = 16.2$ و $I = 14.58$
4. الإجهاد: $\sigma = 200 \div 16.2 = 12.3 \text{ kg/cm}^2$ أقل من المسموح (50) ✓ مش هيتكسر.
5. الترخيم: $\delta = 5 \times 0.25 \times 80^4 \div (384 \times 30,000 \times 14.58) = 0.305 \text{ cm} = 3.05 \text{ mm}$
6. الحد المسموح: $80 \div 300 = 0.267 \text{ cm} = 2.67 \text{ mm}$. الترخيم 3.05 أكبر منه ✗ **الرف هينزل أكثر من المسموح.**

التعديل: نزوّد السمك لـ 2.5 سم ($I = 39.06$):

$$\delta = 5 \times 0.25 \times 80^4 \div (384 \times 30,000 \times 39.06) = 0.114 \text{ cm} = 1.1 \text{ mm}$$



والإجهاد هيبقى ✓ $200 \div 31.25 = 6.4$

النتيجة: الرف نجح في الكسر لكن رسب في الترخيم. وده موقف شغال جداً في الأثاث: الترخيم غالباً هو اللي بيحكم، مش الكسر.

حلول أخرى لنفس المشكلة من غير تزويد السمك: تركيب شريحة تقوية خشب موقوفة على الحرف الأمامي (في اتجاه الحمل)، أو تقليل المسافة بدعامة في المنتصف، أو استخدام خامّة أصلب.

تمرين 7: رف MDF مرتكز على دعامتين المسافة بينهما 90 سم، عرضه 25 سم، سمكه 1.8 سم، عليه حمل 15 كجم موزع بالتساوي. احسب الإجهاد والترخيم وقارنهم بالحدود المسموحة. لو مش مطبوط، اقترح تعديل.

تمرين 8: سطح سفرة خشب صلب أبعاده 80×150 سم وسمكه 3 سم، مرتكز على إطارين المسافة بينهما 130 سم. شخص قعد أو اتسند بحمل مركز 80 كجم في النص. احسب الإجهاد والترخيم (اهمل وزن السطح في هذا التمرين).

6 الترابيزة الطايرة (الكابولي)

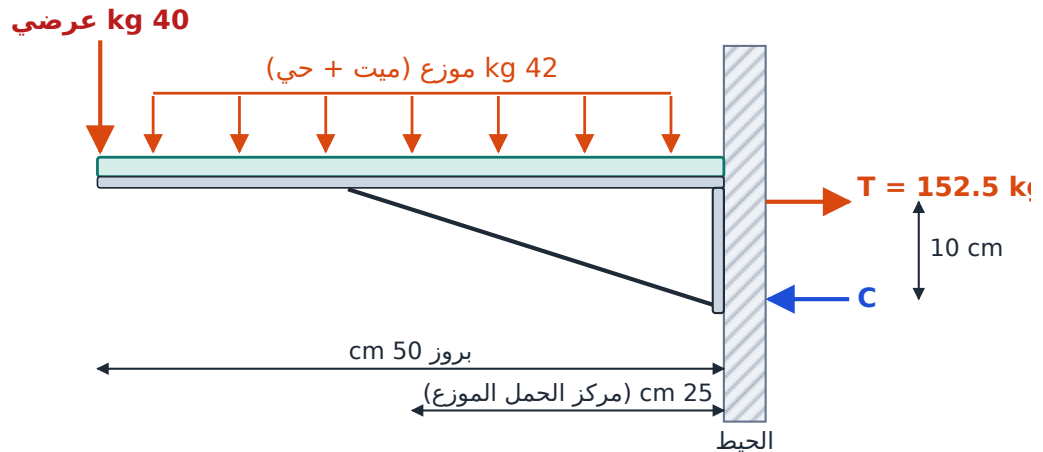
6.1 الفكرة

الترابيزة الطايرة هي قطعة مثبتة من طرف واحد بس (الحيط)، والطرف الثاني حر. اسمها الهندسي **كابولي**. وهي أصعب حالة في الأثاث لأن كل العزم بيتجمع عند نقطة التثبيت. لازم تفحص **4 حاجات**:

1. **الدعامة** (البراكيت أو الشريحة المخفية): هل هتتكسر أو تتقووس؟
2. **التثبيت بالحيط** (المسامير أو الانكر): هل هتتخلع؟
3. **الحيط نفسه**: هل هيتحمل المسامير؟
4. **السطح**: هل هيتقووس بين الدعامتين؟

6.2 مثال كامل: مكتب طاير

المعطيات: مكتب من أبلكاش عرضه 120 سم، بيبرز 50 سم من الحيط، سمكه 3 سم، مثبت على **براكيتين** من الحديد.



المكتب الطاير: العزم 3050 kg·cm على الاتنين براكيت، وسحب 152.5 kg على المسمار العلوي لكل براكيت.

الخطوة 1: الأحمال

- وزن السطح: $18,000 \text{ cm}^3 = 120 \times 50 \times 3$ إذن $18,000 \times 650 \div 1,000,000 = 11.7$ نقرنها

12 كجم

- حمل حي موزع (لايتوب، شاشة، أوراق): **30 كجم**
- حمل عرضي: شخص يتسند على الحرف الأمامي بـ **40 كجم** مركزة على بعد 50 سم من الحيط

الخطوة 2: العزم عند الحيط (أسوأ حالة = كل الأحمال مع بعض)

- الحمل الميت + الحي: $1050 \text{ kg} \cdot \text{cm} = (12 + 30) \times 25$

- الحمل العرضي: $2000 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 40 \times 50$

- المجموع: **3050 كجم·سم**

- كل براكيت بياخذ النص: $1525 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 3050 \div 2$

الخطوة 3: فحص الدعامة (براكيت شريحة حديد 4×0.6 سم موقوفة على الحرف)

- $S = 0.6 \times 4^2 \div 6 = 1.6 \text{ cm}^3$

- $\sigma = 1525 \div 1.6 = 953 \text{ kg/cm}^2$ أقل من المسموح 1400 ✓

- الترخيم (تقدير متحفظ: حمل كلي 41 كجم متركز في الطرف لكل براكيت):

$$I = 0.6 \times 4^3 \div 12 = 3.2 \text{ cm}^4 \text{ و}$$

$$\delta = 41 \times 50^3 \div (3 \times 2,100,000 \times 3.2) = 0.254 \text{ cm} = 2.5 \text{ mm}$$

$$50 \div 150 = 3.3 \text{ mm} \quad \checkmark$$

الخطوة 4: قوة السحب عند التثبيت بالحيط

لو المسافة بين المسمار العلوي والسفلي في كل براكيت 10 سم (من الفصل 2):

$$T = 1525 \div 10 = 152.5 \text{ kg} \text{ سحب على المسمار العلوي لكل براكيت.}$$

بنضرب في معامل أمان 3 للتثبيت (لأن خطأ التركيب وجودة الحيط مش مضمونة): $152.5 \times 3 \approx 460 \text{ kg}$
 . لو استخدمت **مسمارين** في الصف العلوي لكل براكيت، كل مسمار لازم تكون مقاومته للسحب لا تقل عن **230 كجم**.

تحذير

مهم جداً عن الحيط: الطوب المفرغ (أحمر أو أسمنتي) ضعيف جداً في مقاومة السحب، ويمكن المسمار ينخلع مع جزء من الطوب نفسه عند 20-30 كجم بس. الكابولي الثقيل لازم يتثبت في **خرسانة أو طوب مصمت**، أو بمسامير تخترق الحيط وتتثبت من الجهة الثانية بصاجة عريضة، أو انكر كيماوي. ودايماً ارجع لبيانات المصنع لقيمة السحب المسموحة للانكر في نوع حيطك.

الفحص	النتيجة
إجهاد البراكيت	953 مقابل 1400 ✓
ترخيم البراكيت	2.5 مم مقابل 3.3 مم ✓
سحب المسمار العلوي	230 كجم مطلوب لكل مسمار (حسب مواصفات الانكر ونوع الحيط)

6.3 قواعد عملية للترابيزة الطايرة

- **قلّل البروز:** كل ما البروز زاد، العزم ييزيد بنفس النسبة والترخيم ييزيد بالمكعب.
- **زوّد ارتفاع التثبيت في الحيط:** كل ما المسافة بين المسمار العلوي والسفلي أكبر، قلت قوة السحب.
- **الشريحة دائماً موقوفة على الحرف** (في اتجاه الحمل).
- **لا تركّب ترابيزة طايرة على حيط جيس أو طوب مفرغ** من غير تقوية محسوبة.
- **الشريحة المخفية داخل اللوح:** الخشب حوالها لازم يكون كافي يتحمل الضغط اللي بتسلمه الشريحة، والثقب نفسه بيضعف اللوح.

🔥 جرب بنفسك

تمرين 9: رف طاير يبرز 30 سم من الحيط، عليه كتب وزنها 25 كجم موزعة بالتساوي، مثبت على براكيتين. المسافة بين مسماري كل براكيت (علوي وسفلي) 8 سم. احسب: (أ) العزم الكلي عند الحيط، (ب) العزم على كل براكيت، (ج) قوة السحب على المسمار العلوي، (د) المقاومة المطلوبة للمسمار بمعامل أمان 3.

تمرين 10: شريحة حديد مخفية عرضها 3 سم وسمكها 0.5 سم، بتبرز 40 سم من الحيط، عليها حمل مركز 20 كجم في الطرف. احسب الإجهاد والترخيم (حالة موقوفة على الحرف)، ثم احسب الإجهاد لو ركبّتها منبطحة خطأ. قارن بالمسموح 1400.

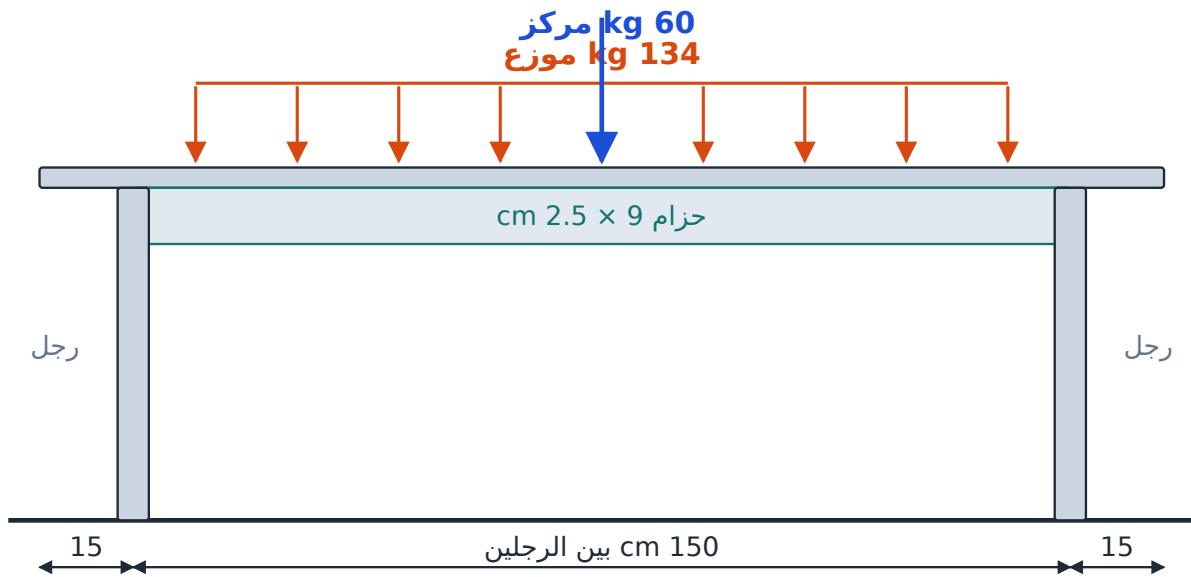
7.1 ما الذي نفحصه؟

السفرة مش كابولي، لكن فيها 4 أشياء لازم تتشاف:

1. **الحزام (apron):** القطعة اللي بتشيل السطح من تحت وبتربط الأرجل، وهي فعلياً كمره بين رجلين.
2. **الأرجل:** ضغط واتزان.
3. **الثبات الجانبي:** هل هتتهز لما حد يدفعها؟
4. **الانقلاب عند الحرف:** هل هتقلب لما حد يقعد أو يتسند على الطرف؟

7.2 مثال كامل: سفرة 180 × 90 سم

المعطيات: سطح خشب صلب سمكه 3 سم (وزنه 34 كجم كما في مثال 7)، مرتكز على حزامين طوليين، كل حزام مربوط برجلين المسافة بينهم 150 سم. الحزام خشب صلب قطعه 2.5 سم عرض × 9 سم ارتفاع.



السفرة: الحزام هو الكمره اللي بتشيل السطح، وارتفاعه أهم قرار فيها.

الأحمال:

- ميت: 34 كجم، حي موزع: 100 كجم ← المجموع **134 كجم** موزع، كل حزام يياخذ **67 كجم**
- حمل عرضي مركز (شخص بيتسند أو قاعد على الحرف في النص): 60 كجم، كل حزام يياخذ **30 كجم** في النص

فحص الحزام (لوح على دعامتين المسافة 150 سم):

- العزم: $M = 67 \times 150 \div 8 + 30 \times 150 \div 4 = 1256 + 1125 = 2381 \text{ kg} \cdot \text{cm}$
- $I = 2.5 \times 9^3 \div 12 = 151.9 \text{ cm}^4$ و $S = 2.5 \times 9^2 \div 6 = 33.75 \text{ cm}^3$
- الإجهاد: $\sigma = 2381 \div 33.75 = 70.5 \text{ kg/cm}^2$ أقل من 150 ✓
- الترخيم الموزع ($E = 100,000$):

$$61 = 5 \times 0.447 \times 150^4 \div (384 \times 100,000 \times 151.9) = 0.19 \text{ cm}$$
- الترخيم المركز: $62 = 30 \times 150^3 \div (48 \times 100,000 \times 151.9) = 0.14 \text{ cm}$
- المجموع $\approx 0.33 \text{ سم} = 3.3 \text{ مم}$ أقل من الحد المسموح $150 \div 300 = 5 \text{ mm}$ ✓

لو استخدمت حزام ارتفاعه 6 سم بدل 9، هتلاقي الـ 1 انزل لـ 45 سم⁴ (الثلث تقريباً)، والترخيم هيبقى حوالي 11 مم، أكثر من ضعف المسموح. ارتفاع الحزام هو أهم قرار في السفرة.

7.3 الأرجل

أقصى وضع للأرجل لما الحمل يتجمع على طرف واحد. بنفترض إن رجلين بس هيشيلوا كل الحمل:
 $(134 + 60) \div 2 = 97 \text{ kg}$ لكل رجل. رجل مقطعتها $6 \times 6 \text{ سم}$ (مساحة 36 سم²):

— رقم صغير جداً مقارنة بما تتحمله الأخشاب في الضغط موازياً للألياف. $\sigma = 97 \div 36 = 2.7 \text{ kg/cm}^2$

يعني الضغط مش هو مشكلة الأرجل. مشكلتها الحقيقية هي النحافة (لو طويلة مع مقطع صغير هتلولي) والوصلات. قاعدة عملية للأرجل الخشب: اختار مقطع ضلعه لا يقل عن حوالي طول الرجل $\div 18$ للأرجل المربعة المفردة (يعني رجل طولها 72 سم تكون $4 \times 4 \text{ سم}$ على الأقل، والأحسن 5×5).

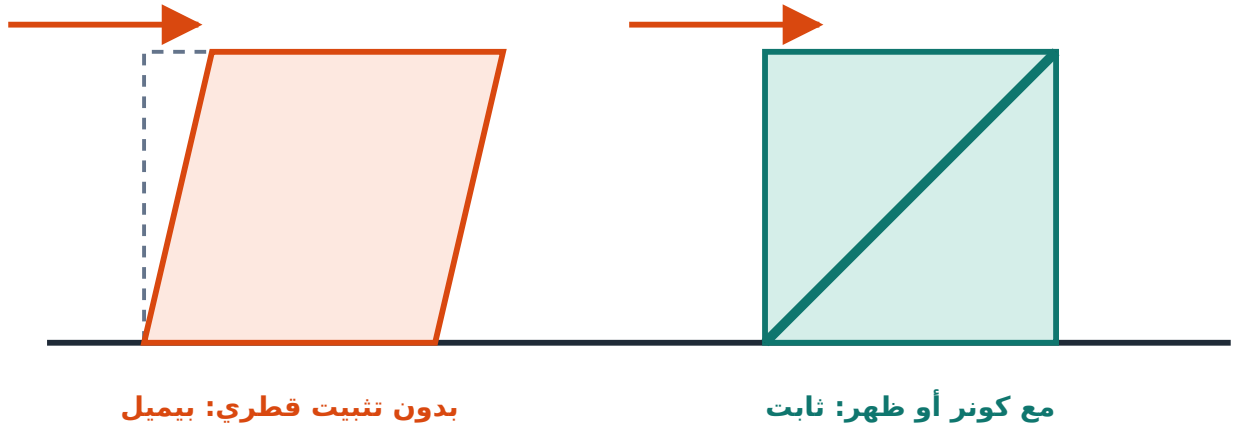
7.4 الثبات الجانبي

لما حد يدفع السفرة من الجنب بـ 15 كجم على ارتفاع 75 سم، القوة دي بتتوزع على 4 أرجل، كل رجل بتتصرف كأنها كابولي مثبت في الحزام. ارتفاع الرجل تحت الحزام $= 9 - 3 - 75 = 63 \text{ سم}$:

• القوة على كل رجل $= 15 \div 4 = 3.75 \text{ كجم}$

• العزم عند وصلة الرجل بالحزام $= 63 \times 3.75 = 236 \text{ كجم} \cdot \text{سم}$

ده عزم مش كبير، لكن المشكلة إن **الوصلة هي اللي بتتحمله**، مش الخشب نفسه. ولما الوصلة تضعف مع الوقت (الغرا ينشف، المسامير تتلقلق) السفرة بتبدأ تتهز. الفصل 9 هيشرح كيف تقوّيها.



المثلث هو الشكل الثابت الوحيد: الكونر أو لوح الظهر ييمنع الإطار من الميلان.

7.5 الانقلاب عند الحرف

السفرة اللي أرجلها متراجعة عن طرف السطح 15 سم ممكن تقلب لما حد يقعد أو يتسند على الطرف. نفترض إن الوزن الكلي للسفرة بالأرجل والحزام 50 كجم، ومركز ثقلها في النص (على بعد 75 سم من خط الأرجل اللي على الجانب)، وشخص قعد على الطرف بـ 80 كجم على بعد 15 سم من خط الأرجل:

- عزم الانقلاب $= 15 \times 80 = 1200$ كجم·سم
- عزم الثبات $= 75 \times 50 = 3750$ كجم·سم
- معامل الأمان ضد الانقلاب $= 1200 \div 3750 = 3.1$ ✓ (أكبر من 2)

تنبيه: لو السفرة على قاعدة واحدة في النص (بدل أرجل من الطرفين)، المسافة المتاحة للثبات بتقل، ولازم تعيد نفس الحسبة.

8.1 الأحمال على الكرسي

الكرسي مش بيتحمل وزن شخص ساكن بس. الناس بترمي نفسها عليه، ويتميل للخلف، وبتقعد على الحرف. فهنبداً بحمل التصميم من مثال 3 في الفصل 1: شخص 100 كجم × معامل ديناميكي 1.5 = **150 كجم** على المقعد. وللمعلومة: المعايير الدولية لاختبار الكراسي (مثل معايير EN وBIFMA) بتحمل الكرسي أحمال أكبر من وزن الإنسان العادي وتكرر الحمل آلاف المرات. لو بتصنع كراسي للبيع أو لأماكن عامة، الحسابات دي مش كافية ولازم تعمل اختبارات معتمدة.

8.2 المقعد

المقعد بيتصرف زي لوح مرتكز على دعامات (الأحزمة اللي تحته). نفترض أسوأ حالة: الحمل كله متركز في نص المقعد.

مثال محلول

مثال 11: مقعد أبلكاش عرضه 40 سم، سمكه 2 سم، مرتكز على حزامين المسافة بينهم 36 سم، الحمل 150 كجم في النص.

$$M = P \times L \div 4 = 150 \times 36 \div 4 = 1350 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = 40 \times 2^3 \div 12 = 26.7 \text{ cm}^4 \text{ و } S = 40 \times 2^2 \div 6 = 26.7 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 1350 \div 26.7 = 50.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ أقل من المسموح } 80 \text{ ✓}$$

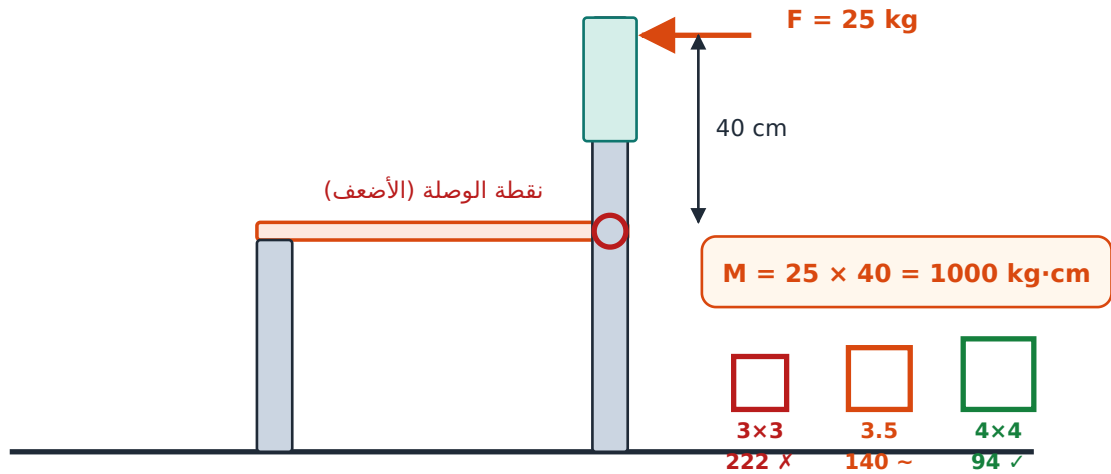
$$\delta = P \times L^3 \div (48 \times E \times I) = 150 \times 36^3 \div (48 \times 60,000 \times 26.7) = 0.09 \text{ cm} \approx 0.9 \text{ mm}$$

$$36 \div 300 = 1.2 \text{ mm أقل من } 36 \text{ ✓}$$

لو استخدمت أبلكاش بسمك 1.8 بدل 2، الإجهاد هيبقى حوالي 62 والترخيم حوالي 1.25 مم وده أكبر من الحد. فالتفرقة بين 1.8 و 2 سم مش صغيرة.

8.3 أعمدة الظهر (الأرجل الخلفية الممتدة)

أكثر مكان بيتكسر في الكراسي هو عمود الظهر عند وصلته بالمقعد. لما شخص يميل للخلف، بيضغط ضغطة أفقية على الظهر بتلف العمود من القاعدة.



عمود الظهر بيتحمل عزم الميل للخلف عند وصلته بالمقعد، والمقطع 3×3 مش كفاية.

مثال محلول

مثال 12: افترض قوة أفقية 25 كجم (قيمة تقريبية للتعليم) على ارتفاع 40 سم من المقعد. عشان نكون على الأمان، نفترض إن عمود واحد ممكن يشيل الحمل كله (لو الشخص اتسند على جهة من الظهر):

$$M = 25 \times 40 = 1000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

العمود خشب صلب مربع ضلعه a، المسموح 150:

المقطع	$S = a^3 \div 6$	$\sigma = 1000 \div S$	النتيجة
3 × 3 سم	4.5	222	أكبر من 150 ✗
3.5 × 3.5 سم	7.15	140	بس على الحد ✓
4 × 4 سم	10.67	94	مريح ✓

$$a = \sqrt[3]{(6 \times M \div \sigma_{\text{allow}})} = \sqrt[3]{(6 \times 1000 \div 150)} = \sqrt[3]{40} = 3.42 \text{ cm}$$

المقطع المطلوب الأدنى هو:

انتبه: القيم دي للمقطع الكامل. لكن عند الوصلة لما تعمل نقرة (mortise) في العمود، بتقل المساحة الفعالة بشكل واضح. لذلك التصميم العملي بيختار 4 × 4 سم أو أكبر عند منطقة الوصلة، أو بيتم تقوية المكان بكونر أو بلوكة ركنية.

8.4 الأرجل الأمامية

الحمل الرأسي أسهل بكثير: أسوأ حالة هي إن رجلين بس يشيلوا الحمل، $150 \div 2 = 75 \text{ kg}$ لكل رجل، ومقطع 4 × 4 مساحته 16 سم²: $\sigma = 75 \div 16 = 4.7 \text{ kg/cm}^2$ وده رقم تافه مقارنة بمقاومة الخشب. المشكلة الحقيقية هنا هي الانحناء الجانبي والوصلات، مش الضغط الرأسي.

8.5 ملخص الكرسي

- احسب المقعد كلوح على دعامتين (الإجهاد والترخيم).
- احسب عمود الظهر ككابولي مثبت في المقعد.
- الأرجل منش مشكلة ضغط، اهتم بالوصلات والثبات.
- اتساع القاعدة بالنسبة للارتفاع بتمنع الانقلاب عند الميلان.

🔗 جرّب بنفسك

تمرين 11: كرسي عمود ظهره ممتد من المقعد 45 سم، القوة الأفقية على أعلى الظهر 30 كجم، والخشب صلب (المسموح 150 كجم/سم²). افترض إن عمود واحد يبشيل القوة كلها. احسب العزم، ثم أقل ضلع مطلوب لمقطع مربع، ثم اقترح المقطع اللي هتنفذه عملياً مع النقرة.

9 الوصلات والتثبيت

كثير من القطع مش بتنهار بسبب ضعف الخشب، لكن بسبب ضعف الوصلات. القاعدة الذهبية: **القطعة بتضعف من أضعف نقطة فيها، والنقطة دي في أغلب الأحيان هي الوصلة.**

9.1 ثلاث أنواع من القوى على الوصلة

النوع	معناه	مثال
سحب (شد)	بتحاول تخلع المسمار أو تفصل القطعتين	مسمار البراكييت العلوي في الحيط
قص	بتحاول تقطع المسمار بالعرض	وزن السطح على مسامير الحزام
عزم (دوران)	بتحاول تلف الوصلة	وصلة عمود الظهر بالمقعد

العزم على الوصلة بيتحول لازدواج من قوتين (زي ما شفت في الفصل 2)، كل ما كانت المسافة بين المسامير أكبر، القوة على كل مسمار أقل.

9.2 كام مسمار أحتاج؟

مانعتمدش على أرقام من الذاكرة لمقاومة المسامير، لأنها بتختلف مع نوع المسمار والخشب والغرا. استخدم قيم المصنع (ال datasheet)، واضرب في معامل أمان 3 على الأقل:

$$F_{allow} = F_{fail} \div 3$$

$$n = F \div F_{allow} \text{ (وقرب لأعلى)}$$

حيث F_{fail} مقاومة المسمار الواحد حتى الفشل من بيانات المصنع، و F القوة المطلوبة، و n عدد المسامير.

مثال محلول

مثال 13 (أرقام افتراضية للتوضيح): قوة قص متوقعة 150 كجم، والمصنع يقول إن المسمار بيتحمل 60 كجم قص قبل الفشل.

• المسموح لكل مسمار = $60 \div 3 = 20$ كجم

• العدد = $150 \div 20 = 7.5 \leftarrow 8$ مسامير

والمسامير لازم تتوزع بانتظام ومش متلاصقة عشان ما تشقش الخشب من الألياف.

9.3 أنواع الوصلات في الأثاث

الوصلة	المميزات	العيوب
نقرة ولسان (Mortise & Tenon)	من أقوى الوصلات للعزم، مناسبة للكراسي والسفر	تحتاج دقة في التنفيذ
دُبل خشب + غرا	سهلة ومقبولة في الأحمال المتوسطة	أضعف من النقرة للعزم الكبير
مسامير أو براغي في نهاية الألياف	سريعة	ضعيفة جداً في السحب، بتشق الخشب
وصلات قابلة للفك (Confirmat, Cam lock)	سهلة التركيب، مناسبة للخشب المصنع	مقاومتها للدوران محدودة، تحتاج ظهر أو بلوكات تقوية
لحام (حديد)	تنقل العزم بكفاءة عالية	تحتاج جودة تنفيذ

9.4 المنع من الميلان الجانبي

أي إطار مربع موصل بمفاصل ضعيفة هيتميل مع الدفع زي متوازي أضلاع. المثلث هو الشكل الوحيد الثابت هندسياً. عشان كده لازم تدعم الزوايا بخشبة مائلة (كونر)، أو لوح ظهر مسمر بانتظام، أو بلوكات في كل زاوية. (شوف الرسم في الفصل 7).

9.5 قائمة فحص قبل التنفيذ

1. حدد الأحمال (ميت، حي، ديناميكي، عرضي).
2. احسب العزم عند النقاط الحرجة.
3. تأكد إن الإجهاد أقل من المسموح.
4. تأكد إن الترخيم أقل من الحد.
5. تأكد من الاتزان ضد الانقلاب (معامل أمان من 2 لأكثر).
6. صمم الوصلات والتثبيت بمعامل أمان 3.
7. لو التثبيت في حيط، تأكد من نوع الحيط ومواصفات الانكسار.
8. **اعمل نموذج وحمله فعلياً** بحمل أكبر بـ 1.5 مرة من حمل التصميم لمدة مناسبة، قبل ما تسلّم أي قطعة لعميل. الحساب بيوصلك للتصميم الصحيح، والاختبار بيثبتته.

10 حلول التمارين

حاول تحل كل تمرين بنفسك قبل ما تشوف الحل.

تمرين 1: الحجم = $2.5 \times 60 \times 120 = 18,000$ سم³، الوزن = $1,000,000 \div 750 \times 18,000 = 13.5$ كجم.

تمرين 2: $w = 30 \div 100 = 0.3$ kg/cm

تمرين 3: $M = 12 \times 35 = 420$ kg·cm

تمرين 4:

- عزم الانقلاب = $10 \times 15 = 150$ كجم·سم
- عزم الثبات = $20 \times 6 = 120$ كجم·سم (مركز الثقل على بعد 20 سم من خط الأرجل)
- 150 أكبر من 120 ← **الترابيزة هتقلب.**
- الحل: قلّل بروز السطح عن خط الأرجل من 10 لـ 3 سم، فيبقى عزم الانقلاب $3 \times 15 = 45$ ، ومعامل الأمان $45 \div 120 = 2.7$ ✓. أو وسّع القاعدة، أو ثقل القاعدة.

تمرين 5: $R2 = 60 \times 30 \div 100 = 18$ kg و $R1 = 60 - 18 = 42$ kg (المجموع = 60 ✓)

تمرين 6:

- منبسطة ($h = 2, b = 5$): $I = 5 \times 8 \div 12 = 3.33$ و $S = 5 \times 4 \div 6 = 3.33$
- موقوفة على الحرف ($h = 5, b = 2$): $I = 2 \times 125 \div 12 = 20.83$ و $S = 2 \times 25 \div 6 = 8.33$
- مقاومة الكسر: $2.5 = 3.33 \div 8.33$ مرة أقوى
- الترخيم: $6.25 = 3.33 \div 20.83$ مرة أقل
- لاحظ إن النسبتين $(2 \div 5)$ و $(2 \div 5)^2$

تمرين 7:

- $w = 15 \div 90 = 0.1667$ و $M = 0.1667 \times 90^2 \div 8 = 168.75$
- $S = 25 \times 1.8^2 \div 6 = 13.5$ و $\sigma = 168.75 \div 13.5 = 12.5$ أقل من 50 ✓
- $I = 25 \times 1.8^3 \div 12 = 12.15$ و $\delta = 5 \times 0.1667 \times 90^4 \div (384 \times 30,000 \times 12.15) = 0.39$ cm = 3.9 mm

- الحد = $300 \div 90 = 3$ مم ← **الترخيم أكبر من المسموح.**
- تعديل: سمك 2.5 سم ← $I = 32.55$ ← $\delta \approx 1.5$ mm ✓، أو ضع دعامة في النص.

تمرين 8:

- $M = P \times L \div 4 = 80 \times 130 \div 4 = 2600$

- $S = 80 \times 3^2 \div 6 = 120$ و $\sigma = 2600 \div 120 = 21.7$ أقل من 150 ✓

- و $I = 80 \times 3^3 \div 12 = 180$

$$\delta = 80 \times 130^3 \div (48 \times 100,000 \times 180) = 0.203 \text{ cm} = 2.0 \text{ mm}$$

- الحد $\leftarrow 4.3 = 300 \div 130$ مم ✓

تمرين 9:

- (أ) $M = 25 \times (30 \div 2) = 25 \times 15 = 375 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

- (ب) لكل براكيت: $375 \div 2 = 187.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

- (ج) $T = 187.5 \div 8 = 23.4 \text{ kg}$

- (د) بمعامل أمان 3: $23.4 \times 3 \approx 70 \text{ kg}$ لكل براكيت في الصف العلوي (لو فيه مسمارين في الصف، كل واحد 35 كجم).

تمرين 10:

- موقوفة على الحرف: $M = 20 \times 40 = 800$ و $S = 0.5 \times 3^2 \div 6 = 0.75$

- $\sigma = 800 \div 0.75 = 1067$ أقل من 1400 ✓

- و $I = 0.5 \times 27 \div 12 = 1.125$

$$\delta = 20 \times 40^3 \div (3 \times 2,100,000 \times 1.125) = 0.18 \text{ cm} = 1.8 \text{ mm}$$

- $40 \div 150 = 2.7 \text{ mm}$ ✓

- منبسطه خطأ: $S = 3 \times 0.5^2 \div 6 = 0.125$ و $\sigma = 800 \div 0.125 = 6400$ (أكبر من حد اللدونة للصلب نفسه، هتلوي وتفصل مشوّهة).

تمرين 11:

- $M = 30 \times 45 = 1350 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

- $a = \sqrt[3]{(6 \times 1350 \div 150)} = \sqrt[3]{54} = 3.78 \text{ cm}$

- عملياً مع النقرة: خد مقطع 4.5×4.5 سم أو 5×5 سم، أو قوّي الوصلة بكونر.

ملحق: جدول الصيغ الملخص

المفهوم	الصيغة
الوزن (كجم)	$W = V \times \rho \div 1,000,000$
الحمل الموزع	$w = P \div L$
العزم	$M = F \times d$
قوة السحب عند التثبيت	$T = M \div d$
رد الفعل (حمل مركز)	$R2 = P \times a \div L$
مقطع مستطيل	$I = b h^3 \div 12 , S = b h^2 \div 6$
الإجهاد	$\sigma = M \div S$
لوح على دعامتين، حمل موزع	$M = wL^2 \div 8 , \delta = 5wL^4 \div (384EI)$
لوح على دعامتين، حمل مركز في النص	$M = PL \div 4 , \delta = PL^3 \div (48EI)$
كابولي، حمل موزع	$M = wL^2 \div 2 , \delta = wL^4 \div (8EI)$
كابولي، حمل في الطرف	$M = PL , \delta = PL^3 \div (3EI)$
الترخيم المسموح	لوح: $L \div 300$ ، كابولي: $L \div 150$
معامل الاتزان ضد الانقلاب	عزم الثبات $\div$ عزم الانقلاب (يفضل 2 أو أكثر)

خاتمة

لو فاضل في أي مكان تتذكر 3 جمل من الكتيب ده:

٣. الوصلة أضعف حلقة

صمّمها بنفس اهتمامك بالخشب،
وجرب النموذج بحمل أكبر.

٢. المسافة هي العدو

كل ما البروز أو المسافة بين
الدعامتين تزيد، المشكلة بتكبر
بسرعة.

١. السمك أهم من العرض

ضاعف السمك، تضاعف المقاومة 4
مرات وبقل الترخيم للثمن.

وتذكّر: الأرقام في الكتيب للتعليم والتدريب، وأي منتج هيتباع أو هيتستخدم في أماكن عامة لازم يراجع مهندس مختص ويثبت باختبارات حمل فعلية.