

التحليل والتصميم للكمرات لمبنى متعدد الطوابق (بإستخدام قطاع مستطيل وقطاع (T))

إعداد:

الآء إبراهيم عابدين
النزير ناصر حسن
عبدالقادر الصديق أحمد

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية

كلية الهندسة
جامعة الشيخ عبدالله البدرى
أبريل - 2026

المستخلص:

يهدف هذا المشروع إلى تحليل وتصميم الكمرات الخرسانية لمبنى متعدد الطوابق، وذلك من خلال دراسة سلوكها الإنشائي باستخدام نوعين من القطاعات، وهما القطاع المستطيل وقطاع (T)، بهدف تحديد القطاع الأكثر كفاءة من الناحية الإنشائية والاقتصادية.

تم إنشاء النموذج الإنشائي للمبنى باستخدام برنامج (ETABS)، حيث تم اعتماد نظام إطارات خرسانية مسلحة، مع تمثيل البلاطات كعناصر تساهم في تكوين قطاع (T). وقد تم تطبيق الأحمال المختلفة، بما في ذلك الأحمال الميتة والحية، وفقاً لمتطلبات الكود البريطاني لضمان تحقيق شروط السلامة والتصميم.

أُجري التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method)، ومن ثم تم استخراج القوى الداخلية المؤثرة على الكمرات، مثل العزوم وقوى القص والتشوهات، لاستخدامها في عملية التصميم.

تم تصميم الكمرات لكلا القطاعين وفقاً لمتطلبات الكود، حيث تم تحديد أبعاد المقاطع ومساحات حديد التسليح اللازمة لمقاومة الأحمال المختلفة. كما تم إجراء مقارنة شاملة بين القطاع المستطيل وقطاع (T) من حيث كفاءة توزيع الأحمال، مقاومة العزوم، قوى القص، التشوهات، وكمية التسليح المطلوبة.

أظهرت النتائج أن قطاع (T) يتمتع بكفاءة إنشائية أعلى مقارنة بالقطاع المستطيل، خاصة في مقاومة العزوم وتقليل التشوهات، نتيجة لمساهمة البلاطة في زيادة عرض القطاع الفعال. في المقابل، يتميز القطاع المستطيل بسهولة التنفيذ والبساطة في التصميم.

وبناءً على ذلك، يمكن اعتبار قطاع (T) الخيار الأمثل في المباني متعددة الطوابق التي تتطلب كفاءة إنشائية عالية، مع الأخذ في الاعتبار الجوانب التنفيذية والاقتصادية عند اختيار نوع القطاع المناسب.

Abstract:

The project aims to analyze and design reinforced concrete beams for a multi-storey building.

Two types of cross-sections were investigated: rectangular and T-section, to determine the most efficient solution.

The structural model was developed using ETABS, adopting a reinforced concrete frame system.

Slabs were considered as flange elements contributing to the formation of the T-section.

Dead loads and live loads were applied in accordance with the British Code requirements.

Structural analysis was carried out using the Finite Element Method to determine internal forces.

Bending moments, shear forces, and deflections were extracted for the design process.

Beam design included determining suitable dimensions and required reinforcement areas.

A detailed comparison was made based on structural performance and reinforcement quantities

الايه

قال تعالى:

"أَفَمَنْ أَسَّسَ بُنْيَانَهُ عَلَى تَقْوَىٰ مِنَ اللَّهِ وَرِضْوَانٍ خَيْرٌ أَمْ مَنْ أَسَّسَ بُنْيَانَهُ
عَلَىٰ شَفَا جُرُفٍ هَارٍ فَانْهَارَ بِهِ فِي نَارِ جَهَنَّمَ ۚ وَاللَّهُ لَا يَهْدِي الْقَوْمَ
الظَّالِمِينَ"

(سورة التوبة الآية 109)

الاهداء

الى

روح الشهيد: عبد الغني الصديق أحمد الطيب

الى

روح الشهيد: عبد العزيز الصادق محمد يوسف

الى

روح المرحوم: خليل خالد إبراهيم عباس

إلى

من أحمل اسمَه بكل فخر.. إلى من شقّ الطريق لأمشي فيه بكل ثقة.. والدي العزيز.

إلى

منبع الحب والحنان.. إلى من كان دعاؤها سرّ توفيقِي.. والدتي الغالية.

إلى

رفقاء الدرب، وإخوتي الذين لم يبخلوا عليّ بالتشجيع يوماً

الشكر والعرفان

الحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه، حمداً يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، والصلاة والسلام على أشرف الخلق وسيد المرسلين، سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

انطلاقاً من قول النبي صلى الله عليه وسلم: "من لا يشكر الناس لا يشكر الله"، نتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان لكل من كان له فضل في إنجاز هذا العمل

نتوجه بجزيل الشكر والتقدير إلى أسرة كلية الهندسة، التي هيأت لنا البيئة العلمية المناسبة، وساهمت في صقل مهارتنا وتوجيهنا نحو طريق العلم والمعرفة

كما نتقدم بخالص الشكر والعرفان إلى مشرفنا الفاضل

الأستاذ: عبد الرحمن محمد عباس

لما بذله من جهد كبير، وتوجيه قيم، ومتابعة مستمرة طوال فترة إعداد هذا البحث، فكان خير مرشدٍ ومعين.

ونتقدم كذلك بالشكر الجزيل إلى أساتذة قسم الهندسة المدنية، الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وخبراتهم، وكان لهم الأثر الكبير في بناء هذا العمل.

فهرس المحتويات:

الصفحة	العنوان	
I	المستخلص بالعربي	
II	المستخلص بالانجليزي	
III	الاية	
VI	الاهداء	
V	الشكر والعرفان	
VI	فهرس المحتويات	
IX	قائمة الجداول	
X	قائمة الاشكال	
	الباب الاول	
1	المقدمه	1.1
2	مشكلة البحث	2.1
2	اهداف المشروع	3.1
3	منهجية البحث	4.1
3	اهمية البحث	5.1
	الباب الثاني	
4	المقدمه	1.2
4	الخرسانة المسلحة	2.2
6	الاحمال	3.2
12	النظام الانشائي	4.2
15	الابيام	5.2
21	الكود البريطاني للخرسانة المسلحة	6.2

23	برامج النمذجة	7.2
	الباب الثالث	
26	المقدمة	1.3
26	برنامج الـ ETABS	2.3
28	دراسة الحالة	3.3
28	خطوات النمذجة باستخدام ETABS 2022	4.3
28	إختيار الكود	1.4.3
29	إنشاء المحاور	2.4.3
30	مخططات البناء	3.4.3
31	بيانات الطوابق	4.4.3
32	تعريف المواد وخواص المقاطع	5.4.3
35	بيانات التحميل	6.4.3
35	انواع الاحمال	7.4.3
36	تراكيب الاحمال	8.4.3
37	تقسيم الشبكة	9.4.3
38	التحقق من سلامة النموذج الإنشائي	10.4.3
39	تحليل النموذج	11.4.3
	الباب الرابع	
41	المقدمة	1.4
41	نتائج التحليل و التصميم للقطاع المستطيل	2.4
41	نتائج التحليل	1.2.4
44	تحليل الكمره الاكثر حرجاً من حيث القص و العزم	2.2.4
45	نتائج التصميم	3.2.4
47	نتائج التحليل و التصميم للقطاع T- section	3.4

47	نتائج التحليل	1.3.4
49	تحليل الكمرة الأكثر حرجاً من حيث القص و العزم	2.3.4
50	نتائج التصميم للبيم T- section	3.3.4
52	مقارنة النتائج	4.4
	الباب الخامس	
55	الخلاصة	1.5
56	التوصيات	2.5
57	المراجع	
58	الملاحق	

فهرس الجداول:

الصفحة	الوصف	الجدول
46	يوضح مساحة حديد التسليح للبيم المستطيل	1.4
46	يوضح عدد حديد التسليح الطولي	2.4
46	يوضح المسافة بين حديد الكانات	3.4
51	يوضح مساحة حديد التسليح البيم T-section	4.4
51	يوضح عدد حديد التسليح الطولي	5.4
51	يوضح المسافة بين حديد الكانات	6.4
52	يوضح مقارنة نتائج التحليل بين اقصى (عزم وقوة و التشوه)	7.4

فهرس الصور :

الصفحة	الوصف	الصورة
16	توضح نوع الالبيام	1.2
17	توضح تحليل الاجهادات في مقطع خرساني	2.2
17	توضح مقطع الالبيام	3.2
18	توضح نوع الالبيام من حيث توزيع الاحمال	4.2
19	توضح طريقة نقل الاحمال في الهيكل	5.2
28	توضح اختيار الكود	1.3
29	توضح تعريف المحاور	2.3
30	توضح بلاطه غطا ارضية نموذجية	3.3
31	توضح ارتفاع إلمبنى	4.3
32	توضح تعريف الخرسانة	5.3
33	توضح تعريف حديد التسليح و الكانات	6.3
34	توضح تعريف خصائص المقطع	7.3
35	توضح انواع الاحمال	8.3
36	توضح تراكيب الاحمال	9.3
37	توضح تقسيم البلاطة	10.3
37	توضح تقسيم البيم	11.3
38	توضح التحقق من النموذج	12.3
39	النموذج المحلل النهائي	13.3
40	شكل التشوه في النموذج	14.3
42	توضح مخطط قوى القص للبيم المستطيل	1.4
43	توضح مخطط العزوم للبيم المستطيل	2.4

44	توضح العزم الاقصى للبيم المستطيل	3.4
45	توضح مساحة حديد التسليح للبيم المستطيل الحرج	4.4
45	توضح مساحة تسليح الكانات للبيم المستطيل الحرج	5.4
47	T-section توضح مخطط قوى القص للبيم	6.4
48	T-section توضح مخطط العزوم للبيم	7.4
49	T-section توضح العزم الاقصى للبيم	8.4
50	T-section توضح مساحة حديد التسليح للبيم الحرج	9.4
50	T-section توضح مساحة حديد الكانات لقطاع	10.4

الباب الأول

مقدمة عامة

1.1 مقدمة:

التصميم الإنشائي يُعدّ من أهم المراحل في تنفيذ أي منشأ هندسي، فهو يربط بين الجانب المعماري الذي يحقق الشكل الجمالي والوظيفي، والجانب الإنشائي الذي يضمن المتانة والسلامة. ويهدف التصميم الإنشائي إلى تحويل الأفكار المعمارية إلى واقع ملموس قادر على تحمل الأحمال المختلفة مثل الأحمال الميتة الناتجة عن وزن العناصر الإنشائية نفسها، والأحمال الحية الناتجة عن استخدام المبنى، إضافة إلى الأحمال الجانبية مثل الرياح والزلازل.

ويُراعى في عملية التصميم جانبيين أساسيين هما: تحقيق الأمان الإنشائي بحيث يقاوم المنشأ جميع الظروف المحتملة دون حدوث فشل أو انهيار، وتحقيق الكفاءة الاقتصادية باستخدام المواد المتاحة بصورة مثلى، بما يضمن تقليل التكلفة مع المحافظة على الجودة والمتانة.

تُعتبر الأبيام (Beams) من العناصر الأساسية في الهياكل الخرسانية، حيث تمثل الوسيط الرئيسي لنقل الأحمال من البلاطات إلى الأعمدة ومنها إلى الأساسات. وتتعرض الأبيام لعزوم انحناء عالية وقوى قص، مما يجعل تصميمها بدقة عاملاً جوهرياً في ضمان سلامة واستقرار المبنى. ويُعد فشل الأبيام من أخطر أنواع الفشل الإنشائي، لأنه قد يؤدي إلى انهيار جزئي أو كلي للمنشأ، لذلك فإن دراستها وتحليلها يمثل خطوة لا غنى عنها في أي مشروع هندسي.

ويختلف نوع البيم المستخدم حسب طبيعة المشروع والاعتبارات المعمارية والإنشائية، فمنها الأبيام الساقطة والمقلوبة والكابولية والمركبة، ولكل نوع مزاياه وقيوده. ومن هنا ظهرت الحاجة إلى التصميم الأمثل للأبيام في المباني متعددة الطوابق بحيث يجمع بين متطلبات الأمان الإنشائي والمعايير الاقتصادية فالوصول إلى تصميم أمثل لا يعني فقط اختيار قطاع يحقق المقاومة المطلوبة بل أيضاً تقليل الكميات الزائدة من المواد وتحقيق التوازن بين الكفاءة والاداء .

كما أن عملية التصميم لا تقتصر على الجانب التحليلي فقط، بل تشمل أيضًا فهم طبيعة المواد المستخدمة مثل الخرسانة المسلحة والفولاذ، والتأكد من توافقها مع الكودات والمواصفات العالمية والمحلية. وهذا يتطلب إلمامًا بطرق التصميم المختلفة مثل طريقة إجهادات التشغيل (ASD) وطريقة حالات الحدود (LSD) والتي تضمن أن يكون التصميم قادرًا على مواجهة كل من حالات الانهيار وحالات التشغيل دون تأثير سلبي على الأداء أو عمر الخدمة للمنشأ

2.1 مشكلة البحث:

يعتمد تصميم الكمرات في كثير من الحالات على اختيار تقليدي لنوع القطاع دون تحليل مقارنة كافٍ وقد يؤدي هذا إلى تصميم غير اقتصادي مع زيادة في المواد والتكلفة الكلية للمبنى كما أن عدم إختيار القطاع المناسب يقلل من كفاءة الأداء الإنشائي..

3.1 أهداف المشروع:

1. تصميم وتحليل الأبيام باستخدام الكود البريطاني
2. إجراء مقارنه بين نموذج البيم المستطيل ونموذج الشكل T من حيث:
 - كفاءه توزيع الاحمال
 - العزوم وقوى القص والتشوهات
 - كميه حديد التسليح
 - من حيث التنفيذ والأثر المعماري
3. تقديم توصيات لاختيار شكل البيم الانسب حسب نوع المبنى الوظيفي

4.1 منهجية البحث:

1. جمع المعلومات
2. النمذجة والتحليل الإنشائي عن طريق الحاسوب
3. التحليل والمقارنة

5.1 أهمية البحث:

يساعد المهندسين والمصممين علي اختيار النظام الإنشائي المناسب لتحسين اداء المنشأ وضمان السلامه

الباب الثاني

الخلفية العلمية

1.2 مقدمة:

تعد الخرسانة المسلحة من أهم مواد البناء الحديثة، ويُعتبر البيم عنصراً أساسياً في نقل الأحمال من البلاطات إلى الأعمدة ثم إلى الأساسات، مما يجعله محورياً في الاستقرار الإنشائي. ومع التطور في طرق التحليل والتصميم، أصبح الاهتمام موجهاً نحو تحقيق التصميم الأمثل الذي يجمع بين الكفاءة الإنشائية والاقتصادية، وذلك من خلال دراسة سلوك الأبيام وفق متطلبات الكود البريطاني لضمان الأمان وتقليل التكاليف .

2.2 الخرسانة المسلحة (Reinforced Concrete):

تعتبر الخرسانة المسلحة واحدة من أهم مواد البناء في الهندسة المدنية والمعمارية الحديثة. فهي تجمع بين مقاومة الضغط العالية للخرسانة ومقاومة الشد الممتازة لحديد التسليح، مما يجعلها مادة مركبة ذات كفاءة عالية في مقاومة مختلف أنواع الأحمال.

وقد أدى هذا الدمج إلى تطوير أنظمة إنشائية قادرة على تلبية متطلبات التحمل، المتانة، والاستدامة في المباني والجسور والمنشآت المائية والصناعية.

الخرسانة المسلحة هي خرسانة عادية مضاف إليها حديد تسليح (عادة على شكل قضبان فولاذية أو شبكات) بطريقة تجعل المادتين تعملان بشكل متكامل في نقل الأحمال.

1.2.2 الخواص الميكانيكية:

- الخرسانة: مقاومة عالية في الضغط (20-50 MPa غالباً)، ضعيفة في الشد (حوالي 10% من مقاومتها للضغط).
- الحديد: مقاومة عالية للشد (250-500 MPa)، ومرونة تسمح بامتصاص الانفعالات.

- المركب (R.C): عند الدمج، يتم الحصول على عنصر قادر على تحمل عزوم الانحناء، قوى القص، وأحمال محورية كبير

2.2.2 المميزات:

- مقاومة عالية للأحمال المختلفة (ضغط + شد + قص + عزوم).
- متانة طويلة الأمد ومقاومة للحريق.
- سهولة تشكيلها لتناسب أشكال معمارية وإنشائية متنوعة.
- اقتصادية مقارنة بالصلب الإنشائي في كثير من الحالات.
- إمكانية تنفيذها محليًا بمواد متوفرة.

3.2.2 العيوب:

- الوزن الذاتي الكبير للخرسانة، ما يزيد من الأحمال على الأساسات.
- زمن التنفيذ أطول لاحتياجها فترة شك ومعالجة (Curing).
- التأثير بالعوامل البيئية مثل التآكل في حديد التسليح بسبب الرطوبة والأملاح.
- صعوبة التعديل بعد التصلب (على عكس الفولاذ).

4.2.2 الاستخدامات التطبيقية:

- المباني: أعمدة، كمرات، بلاطات، جدران قص.
- البنية التحتية: الكباري، الطرق، الأنفاق، السدود.
- المنشآت المائية: الخزانات، الأرصفة البحرية.
- المنشآت الصناعية: الصوامع، المداخل، الأبراج.

5.2.2 أنواع الخرسانة المسلحة:

- الخرسانة سابقة الإجهاد (Prestressed Concrete).
- الخرسانة سابقة الصب (Precast Concrete).

- الخرسانة المسلحة التقليدية (R.C.C).
- الخرسانة عالية المقاومة (HSC).
- الخرسانة المسلحة بالألياف.

3.2 الأحمال (Loads):

بمجرد تحديد المتطلبات البُعدية (الأبعاد) للمنشأ، يصبح من الضروري تحديد الأحمال التي يجب أن يتحملها المنشأ. في كثير من الأحيان، فإن التنبؤ بمختلف الأحمال المتوقع أن تؤثر على المنشأ هو العامل الأساسي في تحديد نوع النظام الإنشائي الذي سيتم اختياره للتصميم. على سبيل المثال، المباني العالية يجب أن تتحمل أحمال جانبية كبيرة ناتجة عن الرياح، ولذلك يتم اختيار أنظمة الجدران القصية أو الأنظمة الإطارية الأنبوبية، بينما المباني الواقعة في مناطق معرضة للزلازل يجب أن تُصمم بحيث تحتوي على إطارات ووصلات مطيلة.

بمجرد تحديد الشكل الإنشائي، يبدأ التصميم الفعلي بعناصر المنشأ التي تتعرض للأحمال الأساسية التي صُمم المنشأ لحملها، ثم يتدرج بعد ذلك إلى العناصر الداعمة المختلفة حتى الوصول إلى الأساسات. على سبيل المثال، يتم أولاً تصميم المبنى، ثم الكمرات الداعمة لها، وبعدها الأعمدة، وأخيراً قواعد الأساسات. وبالتالي، من أجل تصميم أي منشأ، من الضروري أولاً تحديد الأحمال المؤثرة عليه.

عادةً ما تُحدد أحمال التصميم للمنشآت في الأكواد. وبشكل عام، يعمل المهندس الإنشائي بنوعين من الأكواد: الأكواد العامة للبناء و أكواد التصميم.

الأكواد العامة للبناء تحدد متطلبات الهيئات الحكومية المتعلقة بالحد الأدنى لأحمال التصميم على المنشآت، والحد الأدنى لمواصفات التنفيذ.

أما أكواد التصميم، فهي توفر معايير فنية تفصيلية وتُستخدم لتحديد المتطلبات الفعلية للتصميم الإنشائي.

ويجدر التنبيه إلى أن الأكواد لا تعدو كونها مجرد دليل عام للتصميم، أما المسؤولية النهائية عن التصميم فهي تقع على عاتق المهندس الإنشائي.

1.3.2 الأحمال الحية (Live Loads):

هي الأحمال المؤقتة أو المتغيرة التي يمكن أن تتعرض لها المنشآت أثناء استخدامها، على عكس الأحمال الميتة (Dead Loads) التي هي ثابتة ودائمة. بمعنى آخر، هي الأحمال الناتجة عن استخدام المبنى وليس عن وزنه نفسه.

1.1.3.2 خصائص الأحمال الحية:

- متغيرة وليست دائمة: مثل أثاث الغرف، الناس، السيارات في الجراج، المعدات المتحركة.
- توزيعها غير ثابت: يمكن أن تتغير مكانياً وزمنياً.
- تؤخذ بعين الاعتبار في التصميم لضمان السلامة: لأن الأحمال المفاجئة أو غير المتوقعة قد تسبب إجهادات إضافية.

2.1.3.2 أمثلة على الأحمال الحية:

- وزن الأشخاص داخل المبنى.
- الأثاث والمعدات المكتبية.
- المركبات على الجسور أو في مواقف السيارات.
- الأحمال المؤقتة على الأسطح أو الأرضيات، مثل الثلوج أو الماء المتجمع في بعض الحالات

2.3.2 الأحمال الميتة (Dead Loads):

هي الأحمال الدائمة التي تؤثر على أي هيكل أو مبنى، وتتضمن وزن جميع العناصر الثابتة في البناء مثل:

- الخرسانة المسلحة: وزن البلاطات، الأعمدة، الكمرات.
- الجدران: سواء كانت خرسانية أو طوبية أو أي نوع آخر.
- الأرضيات والتشطيبات: مثل البلاط، السيراميك، أو الرخام.
- الأسقف والهياكل المعدنية أو الخشبية.

- المعدات الثابتة: مثل المصاعد، أنظمة التكييف المركزية، أو أي تجهيزات ثابتة.

3.3.2 أحمال الرياح (Wind Loads) :

هي الأحمال الناتجة عن تأثير الرياح على المباني والهياكل، وتعتبر أحمال حية ديناميكية لأنها تتغير بتغير سرعة الرياح واتجاهها.

1.3.3.2 مصادرها:

- الرياح المباشرة على واجهات المبنى.
- الفرق في الضغط بين جانبي المبنى (ضغط وسحب).

2.3.3.2 أنواع تأثير الرياح:

- ضغط إيجابي: عندما تضغط الرياح على سطح المبنى.
- شفط أو ضغط سلبي: عند الجوانب المعاكسة أو الأسطح المائلة، حيث تسحب الرياح الهواء للخارج.

3.3.3.2 العوامل المؤثرة في الحساب:

- سرعة الرياح المحلية وسجلها الإحصائي.
- شكل المبنى وارتفاعه.
- التضاريس المحيطة (مباني أخرى، أشجار، تلال).
- درجة صلابة المبنى (مرونة الهيكل).

4.3.3.2 ملاحظات:

- للأبنية العالية جدًا أو الجسور، يجب أخذ تأثير التذبذب الناتج عن الرياح في الاعتبار.
- تختلف الأحمال حسب اتجاه الرياح وسطح المبنى.

4.3.2 أحمال الثلوج (Snow Loads) :

هي الأحمال الناتجة عن تراكم الثلج على أسطح المباني، وتعتبر أحمال حية ثابتة نسبياً لأنها تتغير مع ظروف الطقس ولكنها مؤثرة بشكل دائم أثناء وجود الثلوج.

1.4.3.2 مصدرها:

- تراكم الثلج على الأسطح الأفقية والمائلة.
- يمكن أن يختلف السماكة حسب الموقع الجغرافي وارتفاع المبنى.

2.4.3.2 العوامل المؤثرة:

- الموقع الجغرافي: مناطق الثلوج الكثيفة لها أحمال أكبر.
- شكل السطح: الأسطح المسطحة تتراكم عليها الثلوج أكثر من الأسطح المائلة.
- التساقط والرياح: الرياح قد تزيل الثلوج من جانب وتراكمها على جانب آخر (drift effect).
- درجة حرارة السطح: تؤثر على كثافة الثلج.

3.4.3.2 ملاحظات:

- للأسطح المائلة جداً، يمكن أن يكون معامل الشكل صغير جداً لأن الثلج ينزلق.
- يجب أخذ تراكم الثلج عند الأسطح الملتصقة أو الجوانب المختلفة بعين الاعتبار.
- عند تصميم الأسقف، يُراعى أيضاً أقصى ارتفاع تراكم ممكن لتجنب الانهيار المحلي.

5.3.2 أحمال الصدم (Impact Loads) :

هي نوع خاص من الأحمال الحية الناتجة عن تصادم أو صدمة فجائية على الهيكل، وتتميز بأنها لحظية وقصيرة المدة لكنها قد تسبب إجهادات كبيرة للهيكل.

1.5.3.2 مصادرها:

- سقوط جسم ثقيل على الأرضية أو الهيكل.
- تصادم مركبة أو رافعة بجسر أو دعامة.
- المعدات الثقيلة أثناء التنفيذ أو الاستخدام.

2.5.3.2 خصائصها:

- لحظية: تحدث في فترة زمنية قصيرة جداً.
- مركزة: غالباً تكون على نقطة محددة أو مساحة صغيرة.
- أعلى من الأحمال الثابتة: لأنها تسبب زيادة مفاجئة في الإجهاد على العنصر.

3.5.3.2 ملاحظات:

- يجب مراعاة تأثير الصدمات على الصلابة والاستقرار للهيكل.
- في بعض الحالات، قد يتطلب التصميم استخدام مواد أقوى أو تعزيز التسليح لمقاومة الصدمات.

6.3.2 أحمال الزلازل (Seismic Loads):

هي نوع من الأحمال الديناميكية الناتجة عن حركة الأرض أثناء الهزات الأرضية، وتعتبر مهمة جداً في تصميم الأبنية والهيكل لضمان سلامتها.

1.6.3.2 مصدرها :

- اهتزاز الأرض نتيجة تحرك الصفيحات التكتونية أو نشاط صدعي.
- تنتقل الحركة إلى الهيكل فتحدث تسارعاً أفقياً وعمودياً.

2.3.6.2 خصائصها:

- ديناميكية ومتغيرة مع الزمن: تختلف الشدة والاتجاه أثناء الهزة.
- عشوائية نسبياً: صعوبة توقع الموجات بدقة.
- تأثيرها يشمل المبنى كله: الأعمدة، الكمرات، الأسقف والجدران.

3.3.6.2 عوامل التصميم:

- وزن المبنى: كلما كان أثقل، زادت القوة الناتجة عن الزلزال.
- ارتفاع المبنى ومرونته: المباني الطويلة المرنة تتأثر أكثر بالاهتزازات.
- نوع التربة: التربة الطينية أو الرملية قد تزيد من اهتزاز المبنى.
- معامل الزلازل (Seismic Coefficient): قيمة مأخوذة من الكود لتحديد قوة الزلزال التصميمية.

4.3.6.2 ملاحظات:

- يجب تصميم الهيكل لمقاومة القوى الجانبية الناتجة عن الزلزال، بما في ذلك الالتواء والانحناء.
- تُستخدم تقنيات مثل المقاومة بالتنقية أو العوازل الزلزالية للحد من الضرر

7.3.2 أحمال البناء (Construction Loads) :

هي الأحمال المؤقتة التي تؤثر على الهيكل أثناء مرحلة التنفيذ، قبل أن يتم تشغيل المبنى بشكل دائم. وهي تختلف عن الأحمال الحية والميتة لأنها مؤقتة وليست جزءاً من الاستخدام النهائي

1.7.3.2 مصادرها:

- معدات البناء الثقيلة: رافعات، منصات، معدات صب الخرسانة.
- مواد البناء المخزنة مؤقتاً: كتل خرسانية، طوب، رمل، حديد تسليح.
- أفراد العمال: أعداد العمال على السطح أو في مناطق العمل.
- أحمال جزئية على الأسطح: مثل الخرسانة الطازجة قبل أن تجف.

2.7.3.2 العوامل المؤثرة:

- نوع الهيكل: الأسطح الأفقية تتحمل أحمال البناء بشكل أكبر من العناصر المائلة أو الأعمدة الرقيقة.
- توقيت التنفيذ: الحمل مؤقت ويختلف حسب المرحلة (صب الخرسانة، تركيب الأعمدة، إلخ).
- ترتيب وضع المواد والمعدات على الهيكل أثناء البناء.

3.7.3.2 الاعتبارات التصميمية:

- عند تصميم أي عنصر هيكلي، يجب أخذ أقصى أحمال البناء المتوقعة بعين الاعتبار.
- عادة يُستخدم معامل أمان أكبر للأحمال المؤقتة لأنها قد تكون غير منتظمة أو غير موزعة بشكل متساوي.

4.7.3.2 ملاحظات:

- لا تُحتسب كأحمال دائمة على المبنى بعد اكتمال البناء.
- تختلف قيمها من مشروع لآخر حسب نوع الهيكل وطرق التنفيذ.

4.2 النظام الإنشائي:

يعرف النظام الإنشائي بأنه السلوك الاستاتيكي الخاص باستقبال وتوزيع الأحمال وترحيلها من خلال النظام إلى الأساس إلى الأرض وهو المسئول عن متانة المنشأ. ويتكون النظام الإنشائي من مجموعة من العناصر الحوائط - الأعمدة - الكمرات البلاطات العقود - الإطارات - الكبلات - الجمالونات.

1.4.2 تصنيف الأنظمة الإنشائية الرئيسية:

يمكن تقسيم الأنظمة الإنشائية الأساسية إلى فئات رئيسية:

1.1.4.2 نظام الحوائط الحاملة (Load Bearing Wall System):

- التعريف: تعتمد بشكل كلي على الحوائط لنقل الأحمال الرأسية من الأسقف إلى الأساسات. لا يوجد هيكل خرساني (أعمدة وكمرات)
- الاستخدام الشائع: المباني القديمة أو المباني ذات الارتفاع المنخفض (عادة لا تتجاوز 4-5 طوابق) والبحر الصغيرة.

- الميزة :اقتصادية في المواد وسريعة في البناء.
- العيوب :لا يمكن تغيير التقسيمات الداخلية بسهولة، وارتفاع المبنى محدود.

2.1.4.2 النظام الهيكلي (Structural System):

- النظام الهيكلي (Structural System) هو الإطار أو المنظومة الإنشائية التي تُصمَّم لتأمين استقرار المبنى أو المنشأة من خلال تحمل الأحمال (مثل وزن المبنى نفسه، الأشخاص، الأثاث، الرياح، الزلازل... إلخ) ونقلها إلى الأساسات ثم إلى التربة بشكل آمن.
- تعريف النظام الهيكلي هو ترتيب للعناصر الإنشائية (أعمدة، كمرات، بلاطات، جدران قص، إطارات...) يعمل معاً لضمان مقاومة القوى المختلفة والمحافظة على ثبات واستقرار المنشأ ويستخدم:
 1. يُستخدم في المباني بمختلف أنواعها (سكنية، تجارية، صناعية، أبراج).
 2. في الجسور، الملاعب، القباب، محطات الطائرات... إلخ.
 3. اختيار النظام الهيكلي يعتمد على نوع المشروع، ارتفاع المبنى، طبيعة التربة، التكلفة، والمتطلبات المعمارية.

• المميزات (حسب طبيعة النظام المختار):

1. يوفر الاستقرار ويقاوم قوى الجاذبية والأحمال الجانبية.
2. تنوع الأنظمة (إطاري، جداري، مختلط...) يسمح بحرية تصميم معمارية.
3. إمكانية تحقيق فضاءات كبيرة (باستخدام نظم مثل الـ Space Frame أو Trusses).
4. المرونة في توزيع الأحمال وتغيير في المساحات الداخلية.
5. السلامة حيث يحافظ على المبنى من الانهيار

• عيوب النظام الهيكلي بصفة عامة:

1. التكلفة العالية أحياناً: بعض الأنظمة تحتاج مواد أكثر أو تقنيات متقدمة (زي نُظم الأبراج العالية أو الـ Space Frame).
2. التعقيد الإنشائي: في أنظمة معقدة التنفيذ تحتاج لعمالة ماهرة وتجهيزات خاصة.
3. زمن التنفيذ: بعض النظم زي الإطارات الخرسانية المسلحة أو الهياكل الفولاذية الكبيرة يتأخذ وقت أطول في التصميم والتنفيذ.
4. القيود المعمارية: في أنظمة (زي الجدران الحاملة) بتحد من مرونة تقسيم المساحات الداخلية أو فتح فتحات كبيرة للنوافذ والأبواب.
5. الوزن الكبير: بعض الأنظمة الخرسانية (solid slab, load bearing walls) تكون ثقيلة جداً على الأساسات.

6. التأثير بالعوامل الخارجية: أنظمة ما مصممة كويس ممكن تكون حساسة للزلازل أو الرياح أو الهبوط غير المنتظم للتربة.

7. الصيانة: بعض النظم محتاجة متابعة وصيانة مستمرة (زي الهياكل الفولاذية عشان الصدأ)

3.1.4.2 الأنظمة المركبة للمباني الشاهقة:

تستخدم في المباني الخرسانية العالية الأبراج يتم دمج العناصر الرأسية لزيادة الصلابة ومقاومة الأحمال الجانبية

4.1.4.2 نظام النواة والجدران القصية (Core & Shear Walls):

يتم إنشاء نواة مركزية من الخرسانة الصلبة (للمساعد والسلالم مع دمج جدران قص في المبنى .النواة والجدران تمتص معظم قوة الرياح والزلازل.

5.1.4.2 النظام المزدوج (Dual System):

يجمع بين نظام الإطارات (Moment Frames) ونظام جدران القص (Shear Walls) ليعملان معاً في مقاومة الأحمال الجانبية، مما يوفر استقراراً ومرونة تصميمية.

6.1.4.2 أنظمة البحور الكبيرة والأبراج العالية:

عندما تكون هناك حاجة لتغطية بحور كبيرة جداً قاعات، بناء أبراج شاهقة، يتم استخدام أنظمة أكثر تعقيداً لمقاومة قوى الرياح والزلازل القوية.

7.1.4.2 الأنظمة الإطارية (Frames):

وصلات صلبة بين الأعمدة والكمرات في اتجاهين لامتصاص العزوم الجانبية.

8.1.4.2 نظام الجمالونات (Trusses):

هياكل شبكية من الصلب أو الخرسانة لتغطية البحور الشاسعة المسارح، المصانع

9.1.4.2 نظام النواة والجدران القصية:

في الأبراج، تُنشأ نواة خرسانية مركزية للمساعد والسلالم تعمل كعمود فقري صلب لمقاومة الأحمال الجانبية.

10.1.4.2 الأنظمة الأنبوبية (Tube Systems):

حيث يعمل الإطار الخارجي للمبنى بأكمله كـ "أنبوب" صلب وفعال لمقاومة القوى الجانبية (مثل نظام الأنبوب الإطاري أو الشبكة القطرية .

5.2 الالبيام (Beam):

تُعد الكمرات (Beams) من العناصر الإنشائية الأفقية الأساسية في أي مبنى، ووظيفتها الرئيسية هي نقل الأحمال من البلاطات إلى الأعمدة ثم الأساسات. وتتنوع الأنظمة الإنشائية للكمات الخرسانية حسب موقعها في الهيكل، وطريقة ارتكازها، والشكل المقطعي لها

1.5.2 يمكن تصنيف الكمرات الخرسانية الشائعة في المباني إلى الأنواع التالية:

1.1.5.2 الكمرة الساقطة (Drop Beam):

- الوصف: هي النوع الأكثر شيوعاً، وتكون ساقطة مُتدلية (أسفل منسوب البلاطة/السقف)
- الاستخدام: تُستخدم في معظم المباني السكنية والإدارية، وتعتبر ذات كفاءة عالية في تحمل الأحمال ومقاومة قوى القص والترخيم، وهي جزء أساسي من نظام الهيكل الإنشائي (الكمات والأعمدة)

2.1.5.2 الكمرة المقلوبة:

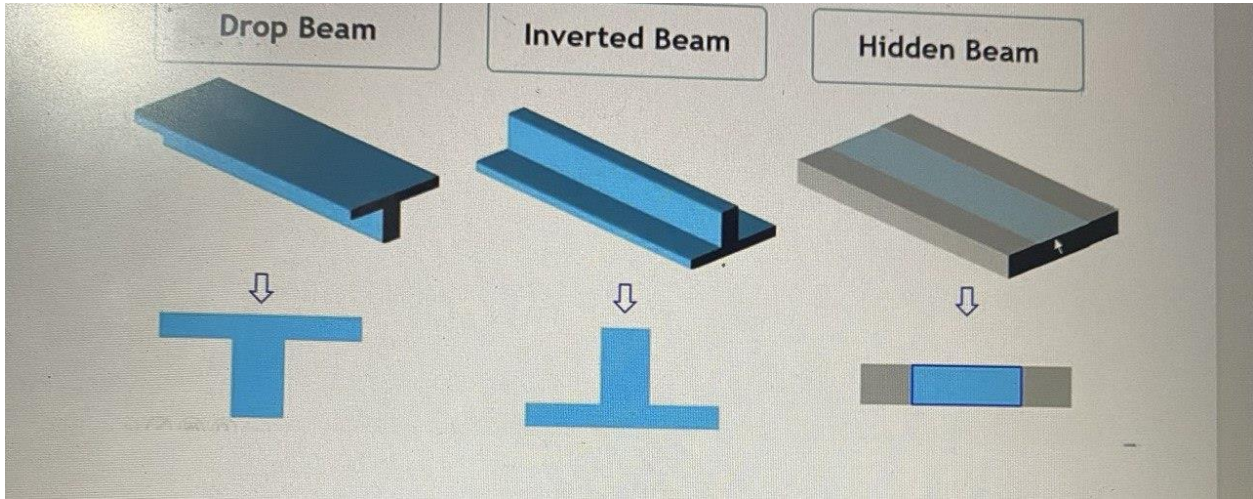
- الوصف: تكون مرتفعة مقلوبة فوق منسوب البلاطة بدلاً من السقوط تحته.
- الاستخدام: تُستخدم عادةً في الأسوار، أو حول فتحات المصاعد والسلالم، أو في المناطق التي تتطلب سطحاً مستوياً أسفل السقف مثل غرف البدروم أو الجراجات لتجنب وجود كمات ساقطة تعيق الحركة أو التمديدات.

3.1.5.2 الكمرة المدفونة:

- الوصف: يكون عمق الكمرة مساوياً لسمك البلاطة، أي أنها مدفونة بالكامل داخل السقف ولا تبرز لأعلى أو لأسفل.
- الاستخدام: تُستخدم لأسباب معمارية بحتة في أنظمة البلاطات المسطحة (Flat Slab) عندما يكون هناك شرط لعدم وجود أي بروزات للكمات.
- ملاحظة: كفاءتها أقل بكثير من الكمرات الساقطة في مقاومة العزوم والقص، ويجب دراستها بعناية لتجنب الترخيم الكبير.

4.1.5.2 الكمرة الكابولي:

- الوصف: هي كمرة مرتكزة ومثبتة من طرف واحد فقط، ويكون طرفها الآخر حراً في الفضاء.
- الاستخدام: تُستخدم لتوفير بروزات خارجية للمبنى، مثل الشرفات والبلكنات أو المظلات.
- ملاحظة: التسليح الرئيسي فيها يكون في الجزء العلوي لمقاومة العزم السالب.



الصورة (1.2) توضح انواع الالبيام

2.5.2 تصنيف الكمرات حسب الاستناد والسلوك الإنشائي

1.2.5.2 من حيث المقطع العرضي:

1. مستطيل:

- الأكثر استخداماً في الخرسانة.
- سهل التنفيذ لكن ممكن يكون غير اقتصادي لو الأعماق كبيرة.

2. T-Beam (تي بيم):

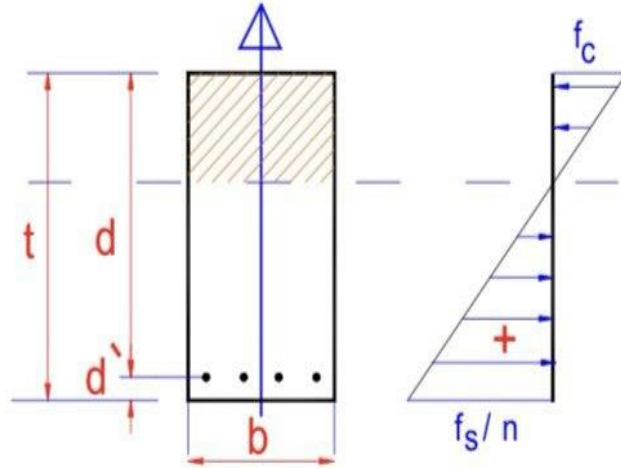
- يتكون مع البلاطة المصبوبة في مكانها.
- يوفر خرسانة وحديد لأنه يستفيد من البلاطة كجزء من المقطع.

3. L-Beam (إل بيم):

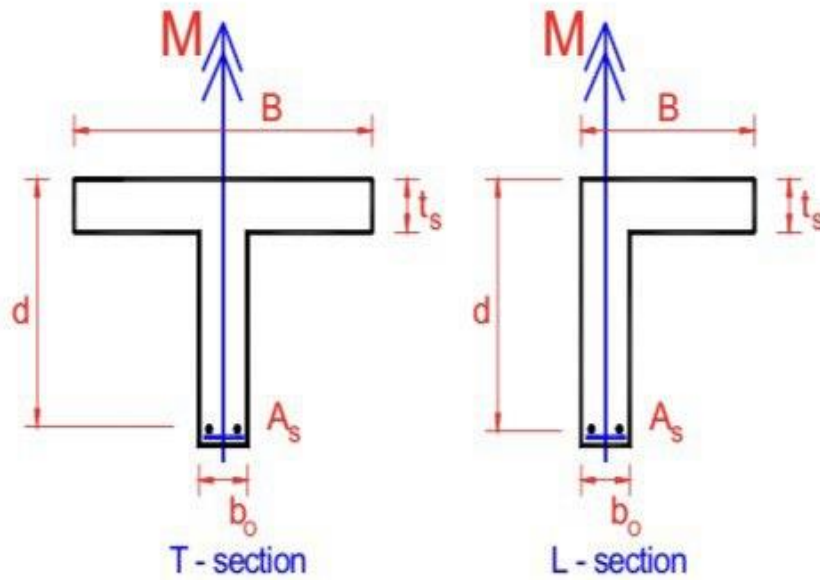
- موجود عادةً في أطراف البلاطات.
- مشابه لـ T-Beam لكن على جانب واحد فقط.

4. Circular / Tubular Beam (مقطع دائري أو أنبوبي):

- يستخدم في الأبراج المعدنية أو الهياكل الخفيفة
- مقاوم جيد للالتواء



الصورة (2.2) توضح تحليل الاجهاد في مقطع خرساني

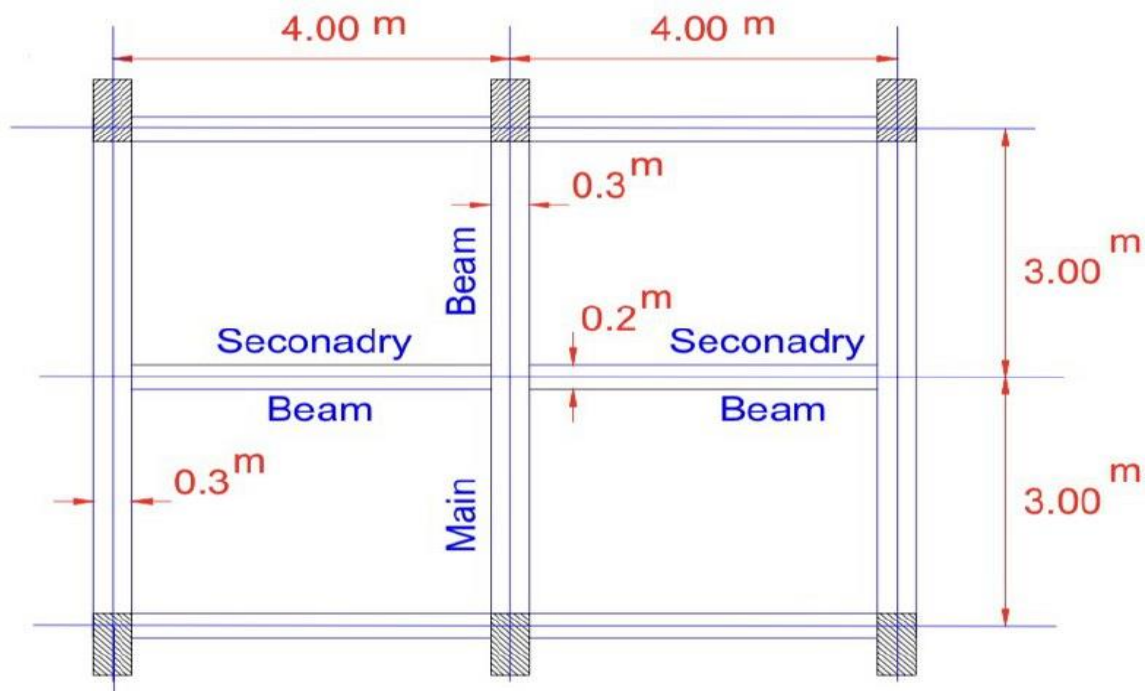


الصورة (3.2) توضح مقاطع الالبيام

3.5.2 انواع الالبيام الخرسانية من حيث توزيع الاحمال :

تنقسم الالبيام من حيث وضعها في المبني وتوزيع الاحمال الي قسمين :

1. الالبيام رئيسية :هي التي يجب ان تربط الاعمدة مع بعضها (اي انها ترتكز علي هذه الاعمدة)
2. الالبيام ثانوية: هي التي تقوم بتقسيم المساحات بين الالبيام الرئيسية (اي انها ترتكز علي الالبيام الرئيسية) .



الصورة (4.2) توضح نوع الالبيام من حيث توزيع الاحمال

4.5.2 السلوك الإنشائي للكمرة بناءً على طريقة دعمها، ومن أبرز الأنواع:

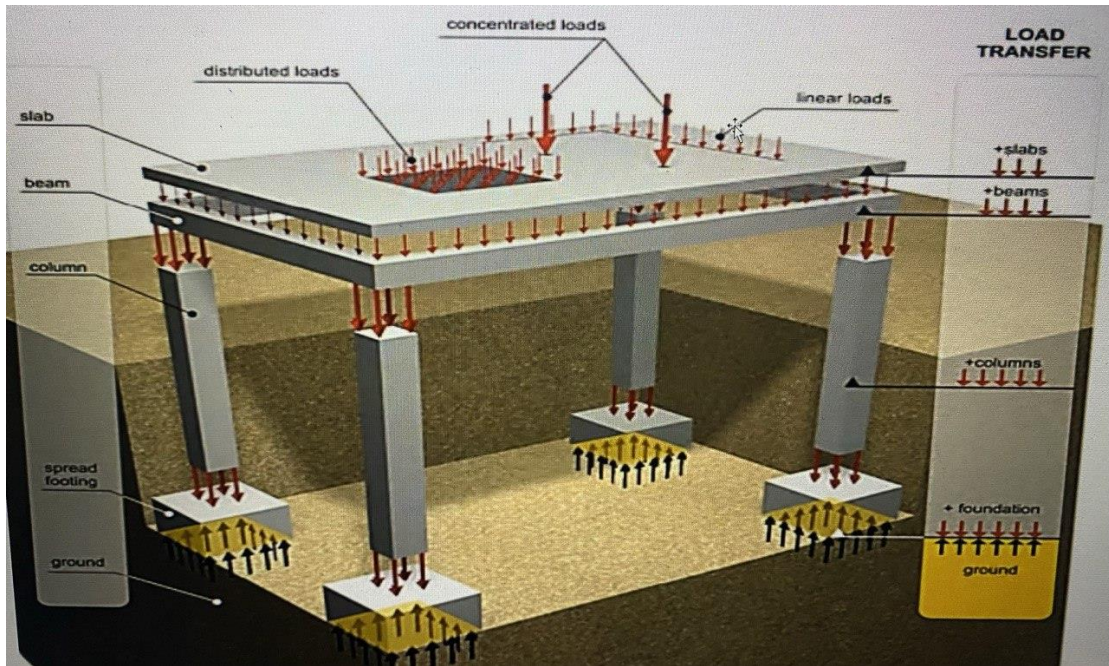
1. كمرة بسيطة الارتكاز : ترتكز على دعامتين أو حائطين (ويكون طرفها قابلين للدوران) . لا تقاوم العزوم
2. كمرة مستمرة : تمتد فوق أكثر من دعامتين أكثر من عمودي ، وتوفر كفاءة اقتصادية أفضل في استغلال المقطع.

3. كمره موثوقة/مُثَبَّتة : مثبتة بإحكام في الدعامتين، مما يمنع الدوران عند نقاط الارتكاز.

5.5.2 الكمرات في الأنظمة الإنشائية للمباني:

تعتمد أنواع الكمرات المختارة بشكل أساسي على النظام الإنشائي الكلي للمبنى:

- نظام الكمرات والأعمدة (Solid Slab System): يعتمد على شبكة من الأعمدة والكمرات الرئيسية والكمرات الثانوية لنقل الأحمال من بلاطة السقف المصمتة.
- نظام الكمرات المتقاطعة (Panelled Beams / Waffle Slabs): تُستخدم فيه شبكة من الكمرات الضيقة والمتعامدة معاً، وتكون الكمرات هي العنصر الرئيسي الحامل للسقف، وتُناسب البحور الكبيرة.
- نظام الإطارات الخرسانية (Frames): تكون فيه الكمره ملتحمة بقوة مع العمود كجزء واحد وصلة جامدة مما يجعل الهيكل أكثر مقاومة للأحمال الجانبية. يُستخدم هذا النظام للبحور الكبيرة في صالات الاحتفالات والمخازن



الصورة (5.2) توضح طريقة نقل الاحمال في الهيكل

6.5.2 كيفية اختيار النظام الانشائي:

تُعتبر الخطوة الاولى والاهم في التصميم الانشائي هي اختيار النظام الانشائي المناسب والامثل للمنشأة بحيث يضمن اقل تكاليف انشاء ممكنة وافضل اداء للمنشأة تحت ظروف التحميل المختلفة حيث تتعرض العناصر الانشائية لأحمال في اتجاهات مختلفة وقد تكون هذه الاحمال ثابتة او متغيرة ويمكن تقسيمها إلى:

1. احمال ساكنة :وتشمل الوزن الذاتي للمبنى وكذلك وزن التشطيبات المعمارية والاثاث واوزان المستخدمين للمنشأة واحمال الثلوج والمياه والتربة وغيرها من الاحمال الثابتة مع الزمن
 2. احمال ديناميكية :وهي الاحمال الناتجة عن قوى الطبيعة مثل الرياح والزلازل وهي احمال متغيرة ويمكن حسابها تقديريا بما يضمن سلامة المنشأة تحت ظروف التحميل الصعبة
 3. احمال الحرارة :وهي احمال يتعرض لها المنشأ نتيجة اختلاف درجات الحرارة على مدى العام وكذلك فروق درجات الحرارة بين داخل وخارج المنشأة
- بعد الانتهاء من تنفيذ العناصر الانشائية، تقوم هذه العناصر بحمل وزنها الذاتي بداية ثم بعد ذلك يتم اضافة الاحمال بشكل متسلسل الى ان تصل الى اقصى احمال مدروسة ويستمر تحميلها حتى نهاية عمر المبنى ويتم الاخذ في الاعتبار ان تظل تلك العناصر سليمة وقادرة على مقاومة الاحمال حسب ما تم تصميمها له دون حدوث اي تشوهات من دورها قد تؤدي الى الاخلال بإستخدام المبنى او التأثير على المستخدمين، وتسمى هذه التأثيرات بالاجهادات المتولدة عن الاحمال ويمكن تقسيمها الى التالي:

1. عزوم الانحناء BENDING MOMENT

2. الالتواء TORSION

3. قوى القص SHEAR FORCES

4. القوى المحورية ضغط او شد TENSION OR COMPRESSION AXIAL FORCES

بناءا على خبرة المهندس المصمم ودرايته بسلوك العناصر والمواد الانشائية فإنه يقوم بإقتراح النظام المناسب وبما يتوافق مع متطلبات المنشأة.

6.2 الكود البريطاني للخرسانة المسلحة (BS 8110):

هو المعيار البريطاني المعتمد لتصميم الهياكل الخرسانية المسلحة، ويعتمد على منهجية حالات الحد (Limit State Design – LSD) لضمان سلامة الهيكل وكفاءته الاقتصادية.

1.6.2 يركز الكود على حالتين رئيسيتين:

1. الحالة الحدية القصوى: لضمان مقاومة الهيكل للأحمال القصوى ومنع الانهيار الهيكلي.
2. الحالة الحدية للاستقرار: لضمان أن تشوهات الهيكل (انحناء، اهتزاز، تشققات) تبقى ضمن الحدود المقبولة أثناء الخدمة.

2.6.2 المبادئ النظرية للكود:

1.2.6.2 الخرسانة والفولاذ تكميلتان:

- الخرسانة تتحمل الضغط بكفاءة عالية لكنها ضعيفة في الشد.
- الفولاذ يتحمل الشد ويضيف مرونة الهيكل.
- تصميم العناصر يعتمد على تحديد التسليح المطلوب بحيث تتحمل الأعمدة والبيمات والبلاطات الأحمال القصوى.

2.2.6.2 معايير الأمان:

1. يستخدم الكود عوامل تحميل (Load Factors) لمراعاة الظروف القصوى:

• الأحمال الميتة: 1.4

• الأحمال الحية: 1.6

2. هذه العوامل ترفع الأحمال التصميمية لضمان السلامة الهيكلية.

• حالات الحد (Limit States):

• ULS: الانهيار العام، انزلاق القص، انحناء البلاطات، قص الأعمدة.

• SLS: الانحناءات المسموح بها، التشققات، الهزات، الترهل.

3.6.2 تصميم العناصر الهيكلية:

1.3.6.2 الأعمدة (Columns):

تعتبر الأعمدة هي الركيزة الأساسية لنقل الأحمال في المنشأ، ولذلك يعتمد تحليلها الإنشائي على دراسة دقيقة لتأثير قوى الضغط المحوري وقوى القص والالتواء. يتم تدعيمها بالتسليح الطولي الذي يتولى مهمة إسناد الخرسانة في تحمل الأحمال الرأسية الكبيرة، مع تعزيزها بالتسليح العرضي (الكانات) الذي يلعب دوراً حيوياً في تأمين الأسياخ ضد الانبعاج المفاجئ ورفع كفاءة العمود في مقاومة قوى القص الجانبية.

2.3.6.2 الكمرات (Beams):

يستند تصميم الكمرات إلى تحليل معمق لإجهادات الانحناء وقوى القص الناتجة عن الأحمال الواقعة عليها. حيث يتم وضع حديد التسليح السفلي ليعمل كعنصر أساسي في مقاومة قوى الشد، بينما يتم تكثيف الحديد العلوي عند مناطق الركائز لمواجهة العزوم العكسية. ولضمان سلامة العنصر من الانهيارات القطرية المفاجئة، يتم توزيع حديد القص (الكانات) بدقة متناهية لحماية "البيم" والحفاظ على استقراره الإنشائي.

3.3.6.2 البلاطات (Slabs):

يتم تحديد النظام الإنشائي للبلاطات بناءً على آلية توزيع الأحمال، حيث تُصمم البلاطات ذات الاتجاه الواحد (One-way slabs) لتوجيه الأحمال في مسار محدد مع وضع التسليح الرئيسي لمقاومة الانحناء في ذلك الاتجاه. أما في البلاطات ذات الاتجاهين (Two-way slabs)، فيتم توزيع الأحمال والتسليح بشكل متقاطع لمواجهة العزوم في كلا الاتجاهين. ويلتزم التصميم بالحدود الصارمة التي يفرضها الكود الهندسي لمقاومة الانحناء والترهل، وذلك لضمان عدم حدوث تشققات تؤثر على المظهر المعماري أو السلامة الإنشائية.

4.6.2 المعايير الميكانيكية:

- مقاومة الخرسانة (f_{ck}): عادة بين 20-40 Mpa.
- مقاومة الفولاذ (f_y): عادة 460 Mpa.
- نسبة التسليح: يجب ألا تقل عن الحد الأدنى لضمان صلابة العناصر وخفض التشققات.

5.6.2 الأحمال التصميمية حسب BS 8110:

- الأحمال الميتة: وزن البلاطات، الجدران، التشطيبات.
- الأحمال الحية: حسب نوع المبنى (سكني، تجاري، صناعي).
- أحمال أخرى: الرياح، الزلازل، الثلوج حسب الموقع الجغرافي

7.2 برامج النمذجة:

1.7.2 برنامج الإيتابس:

الإيتابس (ETABS) هو اختصار لـ Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems (التحليل الثلاثي الأبعاد الموسع لأنظمة المباني). إنه برنامج حاسوبي متخصص ومتطور، ويُعد الأداة الرائدة عالمياً للمهندسين الإنشائيين الذين يعملون على تحليل وتصميم المباني متعددة الطوابق والمنشآت الهيكلية المعقدة.

يختلف الإيتابس عن برامج التحليل الإنشائي العامة بكونه مُصمَّم خصيصاً لأنظمة المباني، حيث يركز على نمذجة العناصر الرأسية (الأعمدة وجدران القص) والعناصر الأفقية (البلاطات والكمرات) بشكل متكامل ضمن نظام أرضيات (Floor System) واضح، مما يسهل التعامل مع المباني ككل. المهام والوظائف الأساسية لبرنامج ETABS تتركز وظيفة الإيتابس في ثلاث مراحل أساسية: النمذجة، التحليل، والتصميم.

1.1.7.2 النمذجة الهندسية (Modeling):

يتيح البرنامج للمهندس إنشاء نموذج دقيق للمبنى في بيئة ثلاثية الأبعاد، ويشمل ذلك:

- التعريف السريع: يوفر أدوات لإنشاء نماذج الطوابق المتكررة بسرعة وكفاءة، مما يوفر وقتاً كبيراً في المباني الشاهقة.
- عناصر متخصصة للمباني: يتعامل مع العناصر الهيكلية الأساسية للمباني مثل الأعمدة، الكمرات، البلاطات، جدران القص (Shear Walls)، والوصلات الإطارية.

- مرونة في الأشكال: يدعم نمذجة المباني ذات الأشكال غير المنتظمة والمعقدة.

2.1.7.2 التحليل الإنشائي (Analysis):

هنا تكمن القوة الرئيسية للإيتابس، حيث يقوم بإجراء تحليلات متقدمة لضمان سلامة المنشأ تحت مختلف الأحمال:

1. الأحمال الرأسية: تحليل تأثير الوزن الذاتي للمواد (Dead Load) والأحمال الحية (Live Load).
2. الأحمال الجانبية الديناميكية: هذه هي الميزة الأبرز، حيث يقوم بتحليل استجابة المبنى لـ أحمال الزلازل (Seismic Loads) وأحمال الرياح (Wind Loads)، وفقاً للأكواد العالمية.
3. التحليل المتقدم: يدعم أنواع التحليل المعقدة مثل:
 - التحليل الديناميكي (Dynamic Analysis): لتحديد الأنماط الاهتزازية للمبنى.
 - تحليل P-Delta: لحساب تأثير القوة الرأسية الكبيرة التي تسبب انحرافاً إضافياً.

3.1.7.2 التصميم الإنشائي (Design):

بعد انتهاء التحليل، يقوم الإيتابس بمرحلة التصميم:

1. تحديد الأبعاد والتسليح: يحسب البرنامج كميات حديد التسليح المطلوبة في كل من الأعمدة والكمرات وجدران القص والبلاطات لضمان مقاومتها للقوى الناتجة عن الأحمال.
2. التحقق من الكفاءة: يقارن البرنامج النتائج مع المتطلبات المحددة في الأكواد الإنشائية (مثل الكود الأمريكي، الأوروبي، إلخ)، ويصدر تقارير تبين ما إذا كانت الأبعاد وكميات التسليح المُدخلة كافية أم تحتاج إلى تعديل.
3. توليد التقارير: يقدم تقارير تفصيلية شاملة لجميع مراحل التحليل والتصميم، وهي وثيقة أساسية لمهندسي المراجعة والجهات الرسمية.

4.1.7.2 أهمية برنامج ETABS :

1. الموثوقية والالتزام بالأكواد: يستخدمه مهندسون في أكثر من 160 دولة، ويعتمد على نظرية العناصر المحدودة (Finite Element Method) لضمان دقة النتائج، ويحتوي على أدوات مدمجة لتطبيق معظم الأكواد الإنشائية .
2. كفاءة تصميم المباني العالية: هو الأداة الأساسية في نمذجة وتصميم الأبراج وناطحات السحاب، وقد استُخدم في تصميم العديد من أشهر الأبراج حول العالم (مثل برج خليفة في نسخته القديمة).
3. التكامل مع البرامج الأخرى: يتكامل بشكل ممتاز مع برامج CSI الأخرى مثل SAFE (لتصميم البلاطات والأساسات) وSAP2000 (للتحليل العام للهياكل).
4. بشكل عام، يعتبر الإيتابس أداة لا غنى عنها في مكتب أي مهندس إنشائي متخصص في تصميم المباني.

الباب الثالث

التحليل الإنشائي

1.3 المقدمة:

في هذا الفصل سيتم عرض المسار التقني المتبع لنمذجة ومحاكاة المبنى باستخدام برنامج ETABS، حيث تبدأ المنهجية بتعريف الخصائص الميكانيكية للمواد وتعريف القطاعات الهندسية بدقة لتمثيل السلوك الحقيقي للمنشأ حيث تشمل خطوات العمل ضبط بروتوكولات التحميل وتطبيق خوارزميات التقسيم (Mesh) لضمان استمرارية انتقال الإجهادات بين البلاطات والكمرات بمختلف قطاعاتها المستطيلة والـ T-Section. يهدف هذا التحليل الرقمي إلى استخلاص قوى العزوم والقص والترخيم بدقة عالية وفقاً لمتطلبات الكود المعتمد، مما يتيح إجراء مقارنة تحليلية رصينة تفاضل بين الكفاءة الإنشائية والجودة الاقتصادية لكل قطاع. تُختتم هذه المرحلة بتقييم النتائج النهائية للوصول إلى التصميم الأمثل الذي يضمن استقرار المنشأ وتحقيق التوازن بين المتانة التشغيلية والتكلفة المادية، ليكون الأساس المعتمد في المخططات التنفيذية للمبنى.

2.3 برنامج الإيتابس (ETABS):

هو أحد أشهر البرمجيات الهندسية المتخصصة في تحليل وتصميم المنشآت، تم تطويره بواسطة شركة Computers and Structures Inc.. يُستخدم على نطاق واسع في تحليل وتصميم المباني متعددة الطوابق، لما يتمتع به من كفاءة عالية في نمذجة وتحليل الأنظمة الإنشائية المعقدة.

يوفر البرنامج بيئة متكاملة تشمل أدوات النمذجة (Modeling Tools)، تعريف الأحمال طبقاً للكودات العالمية، طرق التحليل المختلفة (Analysis Methods)، بالإضافة إلى تقنيات متقدمة لإيجاد الحلول العددية (Numerical Solutions). كما يتميز بقدرته على تمثيل السلوك الحقيقي للمنشآت من خلال نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة.

يعتمد البرنامج على واجهة رسومية شبيهة ببرامج الرسم الهندسي (CAD-like Interface)، مع نظام شبكي (Grid System) يسهل عملية إدخال العناصر الإنشائية مثل الكمرات، الأعمدة، والبلاطات، مما يساعد في بناء نموذج تحليلي متكامل يعكس الواقع الفعلي للمنشأ.

1.2.3 أهمية واستخدامات البرنامج في الهندسة الإنشائية:

- يُستخدم البرنامج في إجراء التحليل الإنشائي للمباني، بما في ذلك التحقق من قدرة التحمل (Load Carrying Capacity) ودراسة السلوك تحت تأثير الأحمال المختلفة مثل الأحمال الميتة، الحية، وأحمال الرياح والزلازل.
- يتيح البرنامج تمثيل النموذج التحليلي بدقة عالية، مع إمكانية استخراج المخططات الأفقية (Plans) والواجهات (Elevations) بصورة تلقائية اعتماداً على نظام الشبكة.
- يُستخدم في تحليل وتصميم الأنظمة الإنشائية المختلفة مثل: الإطارات الخرسانية (Moment Resisting Frames) وجدران القص (Shear Walls) والأنظمة المختلطة (Dual Systems) مع إمكانية إجراء التحليل الاستاتيكي والديناميكي (Static & Dynamic Analysis).
- يُعد من أكثر البرامج استخداماً في المجال الهندسي، حيث يساهم في رفع كفاءة الإنتاجية وتقليل الزمن والتكلفة مقارنة بالطرق التقليدية، مع تحقيق دقة عالية في النتائج.
- يتميز البرنامج بقدرته على التعامل مع الخصائص غير الخطية للمواد (Nonlinear Behavior) وتحليل تأثيرات الزلازل باستخدام طرق متقدمة.
- يدعم البرنامج تصميم العناصر الإنشائية وفق العديد من الكودات العالمية مثل:

BS 8110 و ACI 318

3.3 دراسة الحالة:

يتم دراسة حالتين لمبنى سكني متعدد الطوابق للمقارنة بين القطاع المستطيل وقطاع T للكمرات تم استخدام نفس المخطط المعماري ونفس عدد الطوابق ونفس أبعاد البحور في النموذجين كما تم تطبيق نفس الأحمال (الميتة، الحية، والتشطيبات) لضمان عدالة المقارنة.

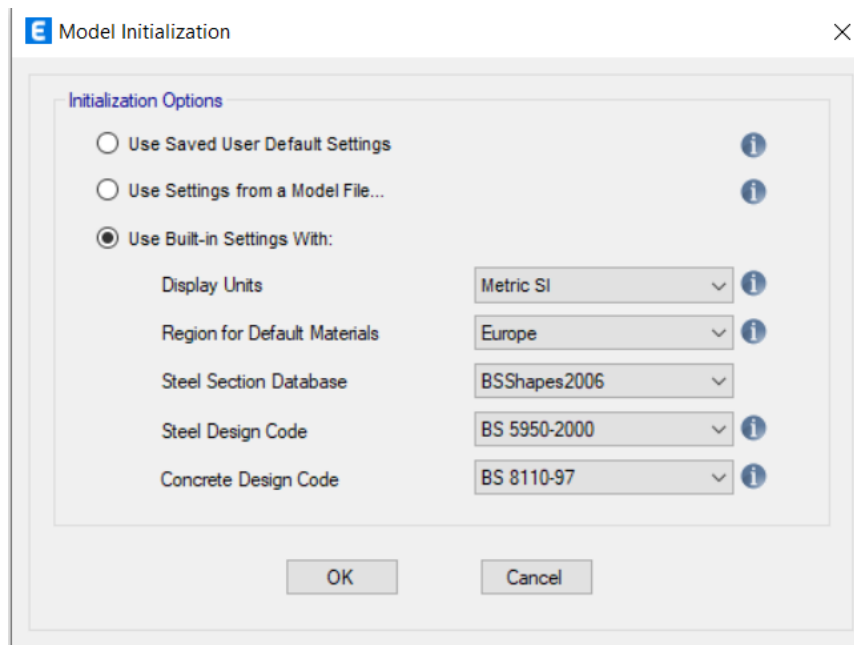
في الحالة الأولى تم اعتبار الكمرات مستطيلة بدون مساهمة البلاطة، وفي الثانية تم اعتبارها كمرات قطاع T مع مشاركة البلاطة.

4.3 خطوات النمذجة باستخدام ETABS 2022:

توضح الصور التالية الخطوات الأساسية للنموذج التحليلي:

1.4.3 إختيار الكود:

وهي الخطوة الأولى عند بدء مشروع جديد لتحديد الإعدادات الأساسية للنموذج. يتم من خلالها اختيار نظام الوحدات (Metric SI) وتحديد الكود البريطاني (BS8110-97)



الصورة (1.3) توضح إختيار الكود

2.4.3 إنشاء المحاور:

Grid System Data وهي الخطوة المتعلقة بإنشاء وتعديل الشبكة المحورية (Grids) التي تمثل الهيكل الأفقي للمبنى يتم من خلالها إدخال المسافات بين المحاور في اتجاهي X و Y (سواء عن طريق الإحداثيات Ordinates أو المسافات البينية Spacing)، مما يسهل عملية رسم العناصر الإنشائية بدقة في أماكنها الصحيحة

Grid System Data

Grid System Name: G1

System Origin: Global X: 0 m, Global Y: 0 m, Rotation: 0 deg

Story Range Option: ☒ Default - All Stories, ☐ User Specified

Top Story: Story3, Bottom Story: Base

Click to Modify/Show: Reference Points..., Reference Planes...

Options: Bubble Size: 1.25 m, Grid Color: [Color Picker]

Rectangular Grids: ☒ Display Grid Data as Ordinates, ☐ Display Grid Data as Spacing

Quick Start New Rectangular Grids...

X Grid Data:

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	0	Yes	End
B	5	Yes	End
C	10	Yes	End
D	15	Yes	End
E	20	Yes	End

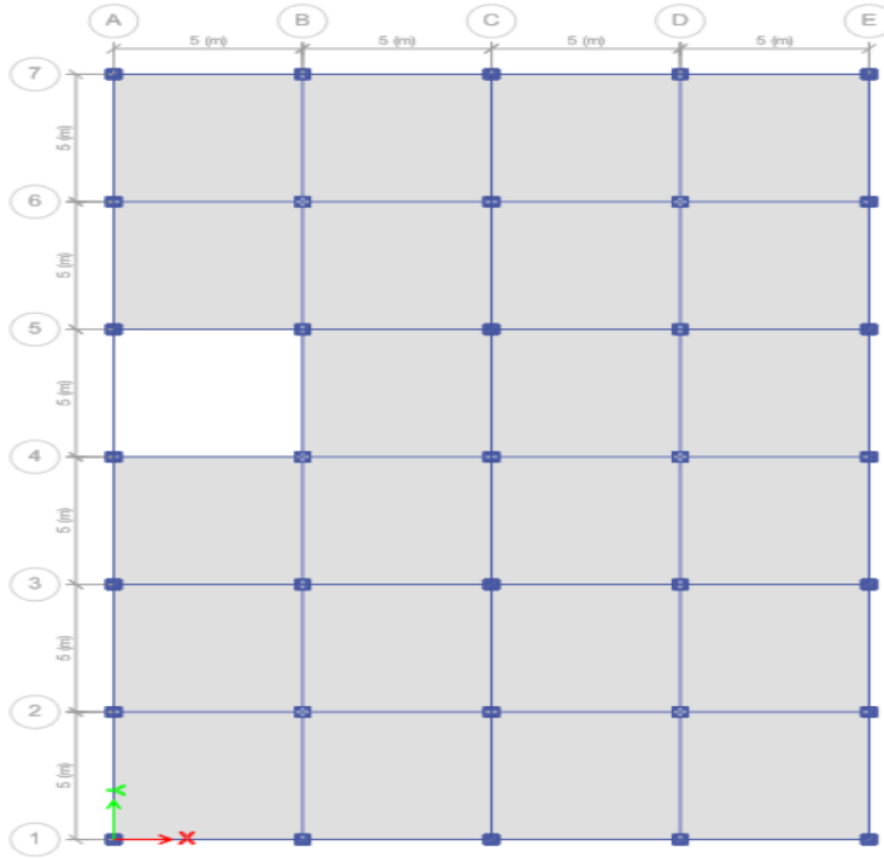
Y Grid Data:

Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	Start
2	5	Yes	Start
3	10	Yes	Start
4	15	Yes	Start
5	20	Yes	Start
6	25	Yes	Start

الصورة (2.3) توضح تعريف المحاور

3.4.3 مخططات البناء :

هذا المخطط عبارة عن رسم تخطيطي أولي لمبنى سكني



الصورة (3.3) توضح بلاطه غطاء أرضية نموذجية

4.4.3 بيانات الطوابق :

الصورة توضح كيفية ضبط الارتفاعات الرأسية للمبنى المكون من 3 طوابق متكررة بارتفاع 3.15 وإجمالي قدره 9.45 متر

Story Data

	Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
	Story3	3.15	9.45	Yes	None	No	0	
	Story2	3.15	6.3	No	Story3	No	0	
	Story1	3.15	3.15	No	Story3	No	0	
▶	Base		0					

Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View

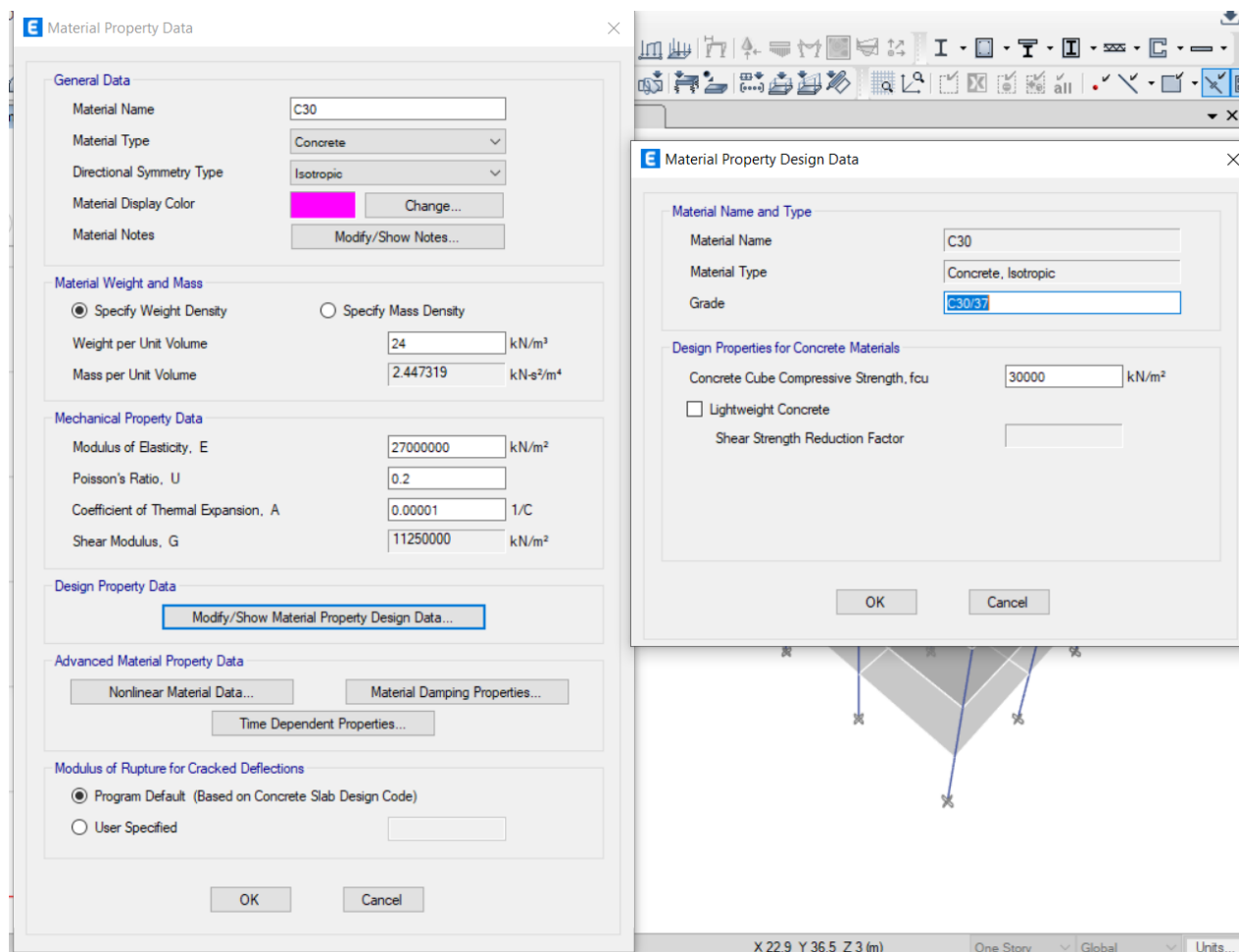
OK Cancel

الصورة(4.3) توضح إرتفاع المبنى

5.4.3 تعريف المواد وخواص المقاطع:

1.5.4.3 تعريف المواد:

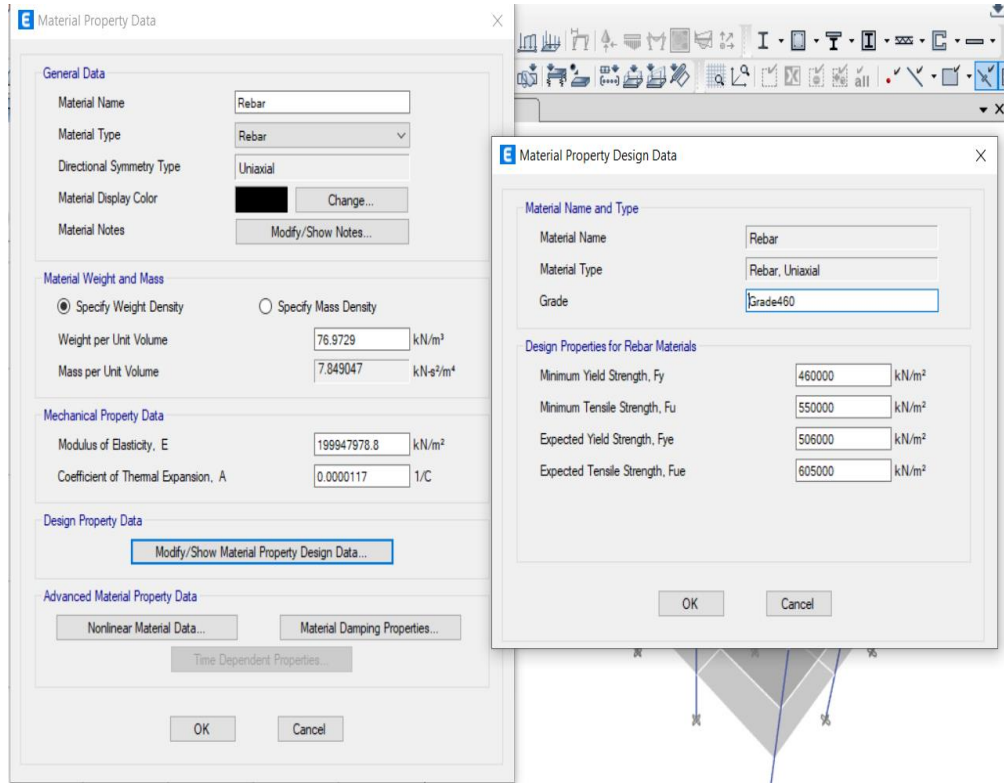
تم تعريف الخصائص الميكانيكية للخرسانة المستخدمة برتبة C30، بما يشمل مقاومة الضغط ، وكثافة المادة، ومعامل المرونة (Modulus of Elasticity)، لضمان دقة سلوك المنشأ أثناء التحليل.



الصورة (5.3) توضح تعريف الخرسانة

2.5.4.3 تعريف حديد التسليح والكانات:

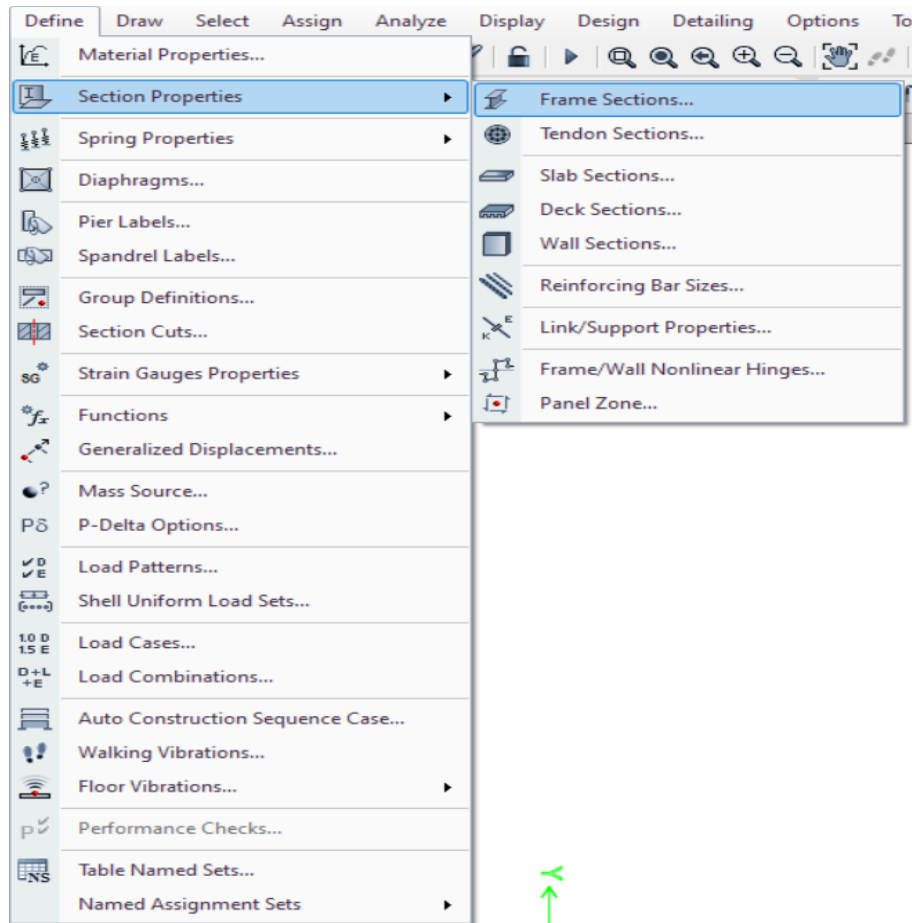
توضح الصورة خطوة تعريف خصائص مادة حديد التسليح (Rebar) في برنامج ETABS، حيث يتم إدخال الكثافة ومعامل المرونة (E) في النافذة اليسرى. أما النافذة اليمنى، فتستخدم لتحديد رتبة الحديد (Grade) وإدخال قيم مقاومة الخضوع (Fy) ومقاومة الشد القصوى (Fu) لاعتمادها في عمليات التصميم الإنشائي.



الصورة (6.3) توضح تعريف حديد التسليح والكانات

3.5.4.3 تعريف خواص المقاطع:

توضح هذه الصورة الوصول إلى قائمة Section Properties من تبويب Define، وهي الخطوة الأساسية لتعريف العناصر الإنشائية للمبنى ومن خلال خيار Frame Sections، يتم تعريف أبعاد وخصائص الأعمدة والكمرات (Beams & Columns)، بينما تتيح الخيارات الأخرى تعريف البلاطات (Slabs) وحوائط القص (Walls) لضمان دقة التحليل الإنشائي.



الصورة (7.3) توضح تعريف خصائص المقطع

6.4.3 بيانات التحميل :

1.6.4.3 الأحمال الميتة :

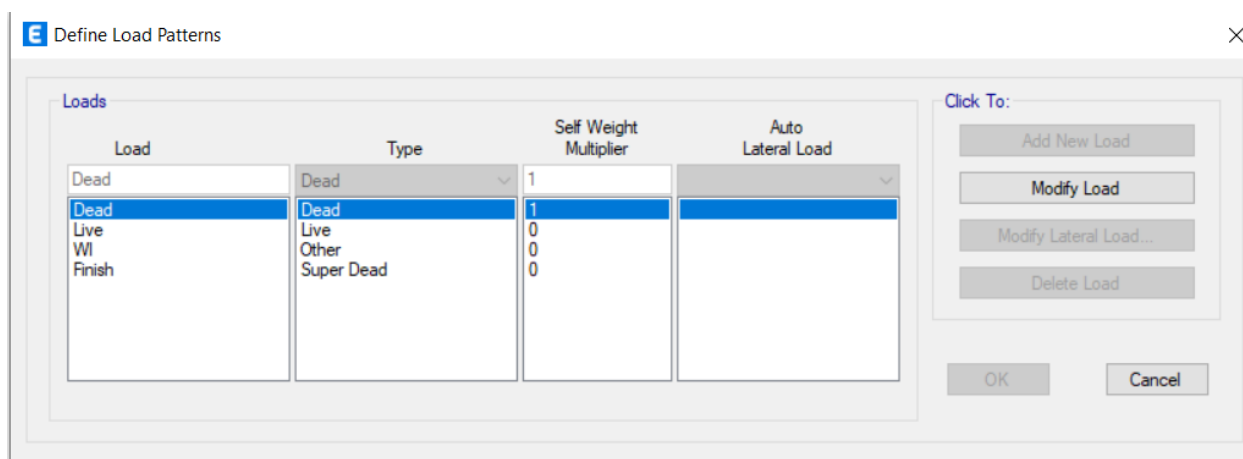
- الوزن الذاتي (Self Weight): يتم حسابه تلقائياً بواسطة برنامج التحليل الإنشائي بناءً على الأبعاد للعناصر وكثافة الخرسانة المسلحة التي تم تعريفها للمواد (24KN/m^3)
- أحمال التشطيبات : تم أخذ أحمال الأرضيات والرخام والمونة والطبقات العازلة بقيمة ثابتة لجميع الأدوار قدرها 1.5KN/m^2
- أحمال الحوائط (Wall Loads): تم توزيع أحمال الحوائط فوق الكمرات بقيمة قدرها: 15 KN/m

2.6.4.3 الأحمال الحية:

- قيمة الحمل الحي (Live Load): تم تقديرها لجميع الأدوار المتكررة بقيمة: 2 KN/m^2

7.4.3 أنواع الأحمال (Load patterns) :

تم تعريف حالات الأحمال المختلفة المؤثرة على المنشأ وتشمل الأحمال الدائمة (Dead Load) مع تفعيل الوزن الذاتي للعناصر، والأحمال الحية (Live Load)، بالإضافة إلى أحمال التشطيبات (Finish) والجدران، لضمان محاكاة واقعية للأحمال المؤثرة



الصورة (8.3) توضح انواع الاحمال

8.4.3 تراكيب الأحمال (Load combinations) :

تم تعريف تراكيب الأحمال وفق الكود البريطاني (BS 8110) باستخدام معاملات الأمان 1.4 للأحمال الميتة و 1.6 للأحمال الحية للحصول على أقصى إجهادات تصميمية

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: JLS

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.4
Live	1.6

Add

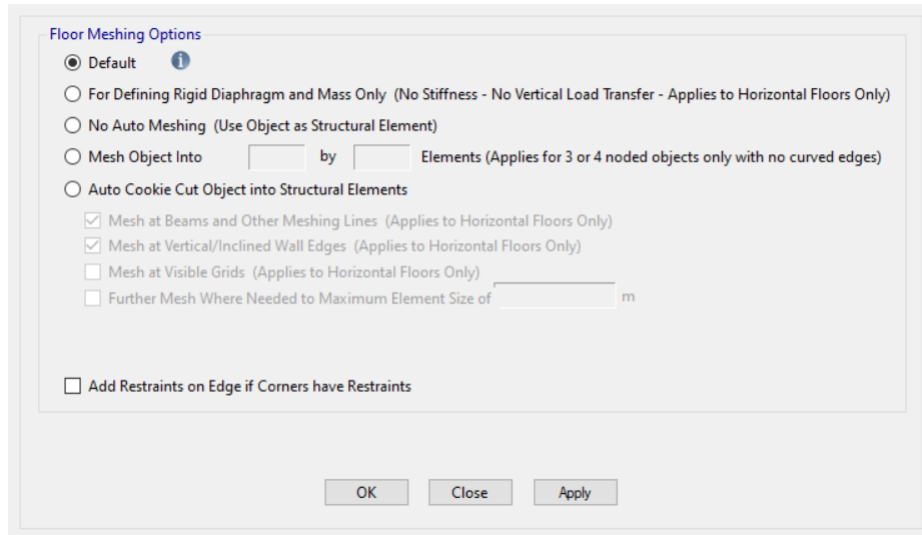
Delete

OK Cancel

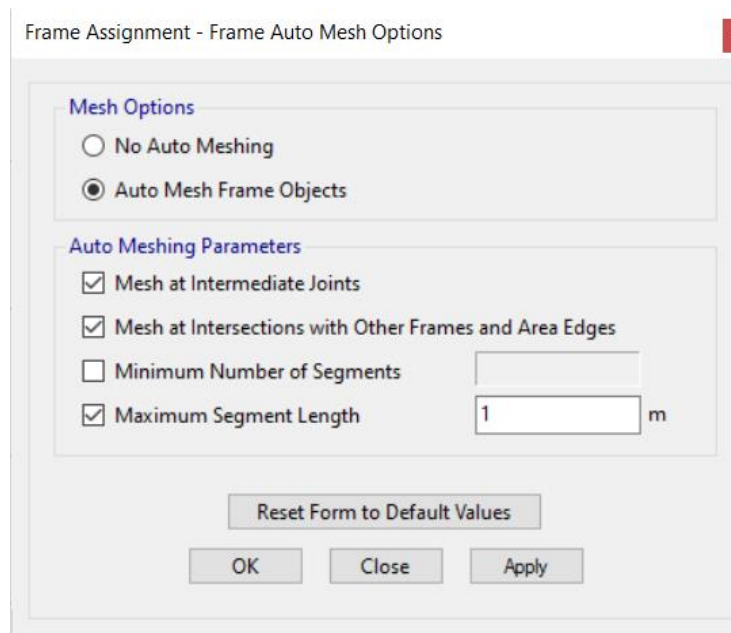
الصورة (9.3) توضح تراكيب الاحمال

9.4.3 تقسيم الشبكة (Creating mesh):

هو عملية تقسيم العناصر الإنشائية (بلاطات وكمرات) إلى أجزاء صغيرة لضمان انتقال الأحمال بدقة وتحقيق اتصال كامل بينها. هذه الخطوة ضرورية للحصول على نتائج دقيقة للعزوم والترخيم وفقاً لأسلوب التحليل بالعناصر المحدودة



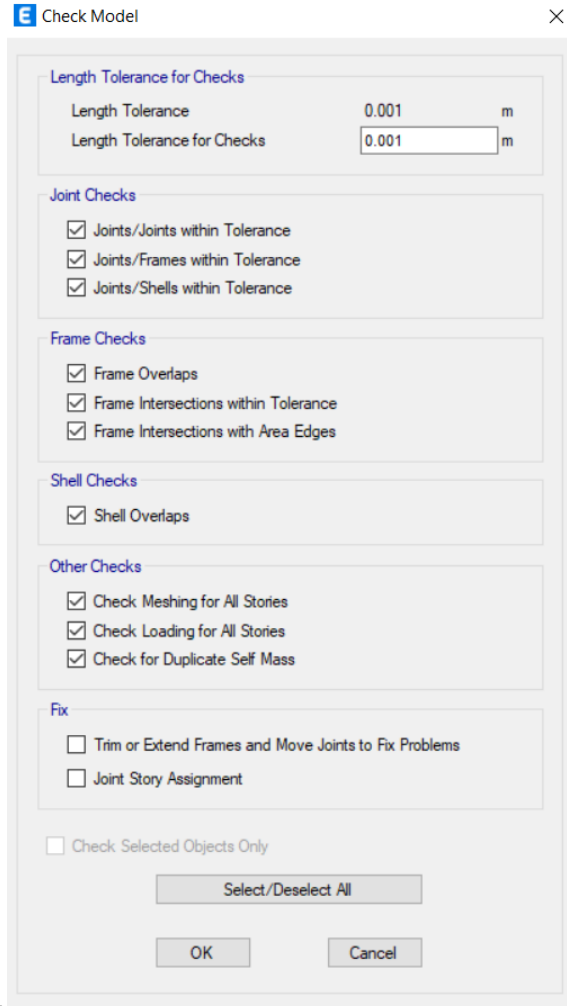
الصورة (10.3) توضح تقسيم البلاطة



الصورة (11.3) توضح تقسيم البيم

10.4.3 التحقق من سلامة النموذج الإنشائي:

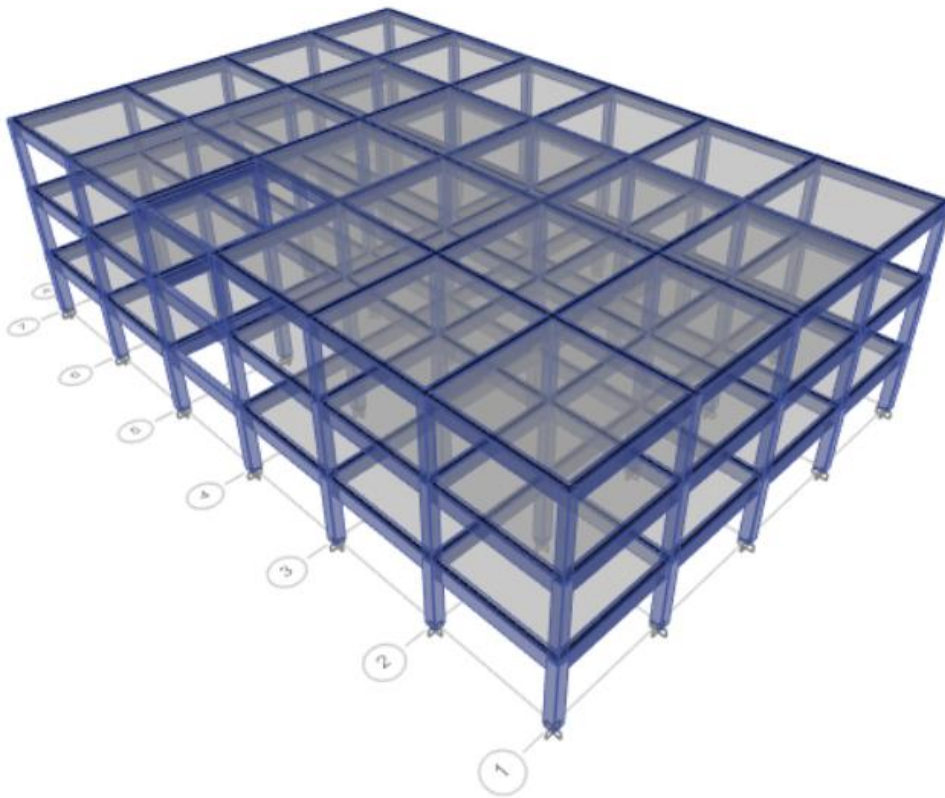
تم إجراء عملية تدقيق هندسي للنموذج لضمان خلوه من أي تناقضات أو أخطاء في النمذجة، وذلك لضمان دقة النتائج قبل البدء في مرحلة التحليل الإنشائي.



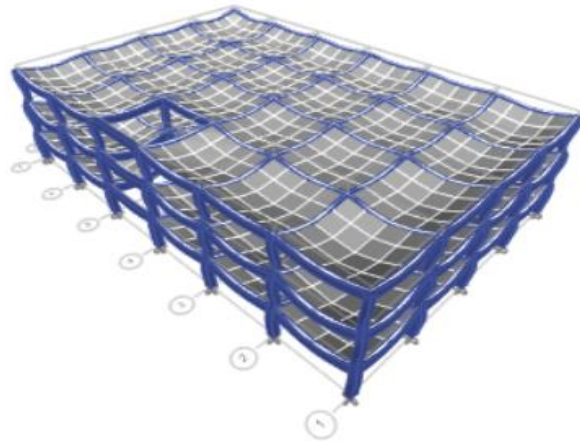
الصورة (12.3) توضح التحقق من النموذج

11.4.3 تحليل النموذج:

تُظهر الصورة النموذج الإنشائي النهائي للمبنى ثلاثي الأبعاد في برنامج ETABS بعد الانتهاء من عملية النمذجة (Modeling) تمثل هذه الخطوة مرحلة تحليل النموذج، حيث تظهر فيها العناصر الإنشائية من أعمدة وكمرات وبلاطات مكتملة، وهي المرحلة التي تسبق استخراج النتائج مثل العزوم وقوى القص للتأكد من سلامة التصميم.



صورة (13.3) النموذج المحلل النهائي



صورة (14.3) شكل التشوه في النموذج

الباب الرابع

تصميم ومقارنة النتائج

1.4 مقدمه:

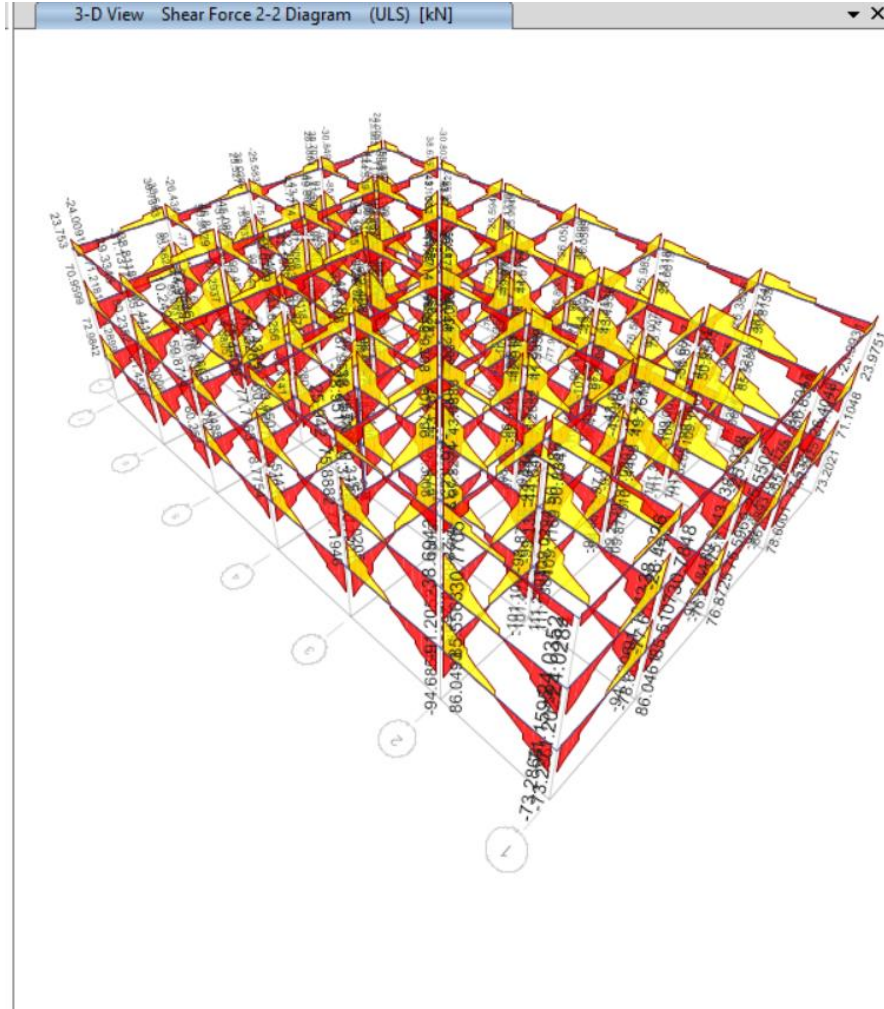
يهدف هذا الباب إلى عرض نتائج التحليل و تصميم الأبيام الخرسانية لمبنى متعدد الطوابق، مع إجراء مقارنة بين النتائج المتحصل عليها باستخدام القطاع المستطيل وقطاع (T-Section). حيث يتم توضيح الفروقات في السلوك الإنشائي، وقيم العزوم والتسليح، وذلك للوصول إلى القطاع الأكثر كفاءة من الناحية الاقتصادية والإنشائية.

2.4 نتائج التحليل والتصميم للقطاع المستطيل:

يتم في هذا الجزء عرض نتائج التحليل والتصميم لقطاع المستطيل وقد تم الحصول على هذه النتائج من خلال برنامج التحليل الإنشائي (ETABS) بعد إدخال الأحمال على النموذج الإنشائي. تشمل النتائج قيم العزوم وقوى القص بالإضافة إلى التسليح الطولي والكانات المطلوبة وتم اعتماد هذه النتائج وفقاً لمتطلبات الكود البريطاني المستخدم في التصميم.

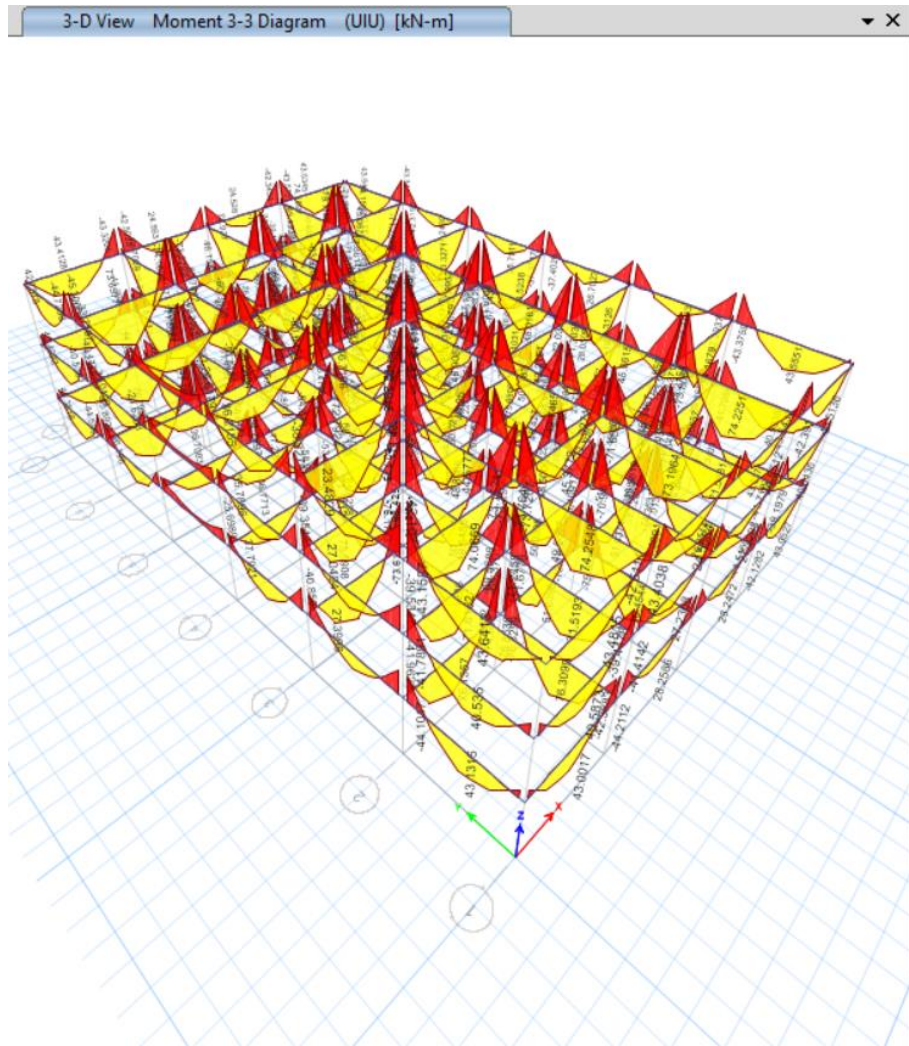
1.2.4 نتائج التحليل:

❖ هذه الصورة (1.4) توضح مخطط قوى القص (Shear Force Diagram) لهيكل خرساني متكامل (شبكة من الأبيام المستطيلة) تم استخراجها من برنامج الإيتابس تُظهر الرسوم البيانية توزيع الأحمال الرأسية على طول الكمرات، حيث تساعد هذه القيم في تحديد كمية الكانات (Stirrups) المطلوبة لمقاومة قوى القص



الصورة (1.4) توضح مخطط قوى القص للبيم المستطيل

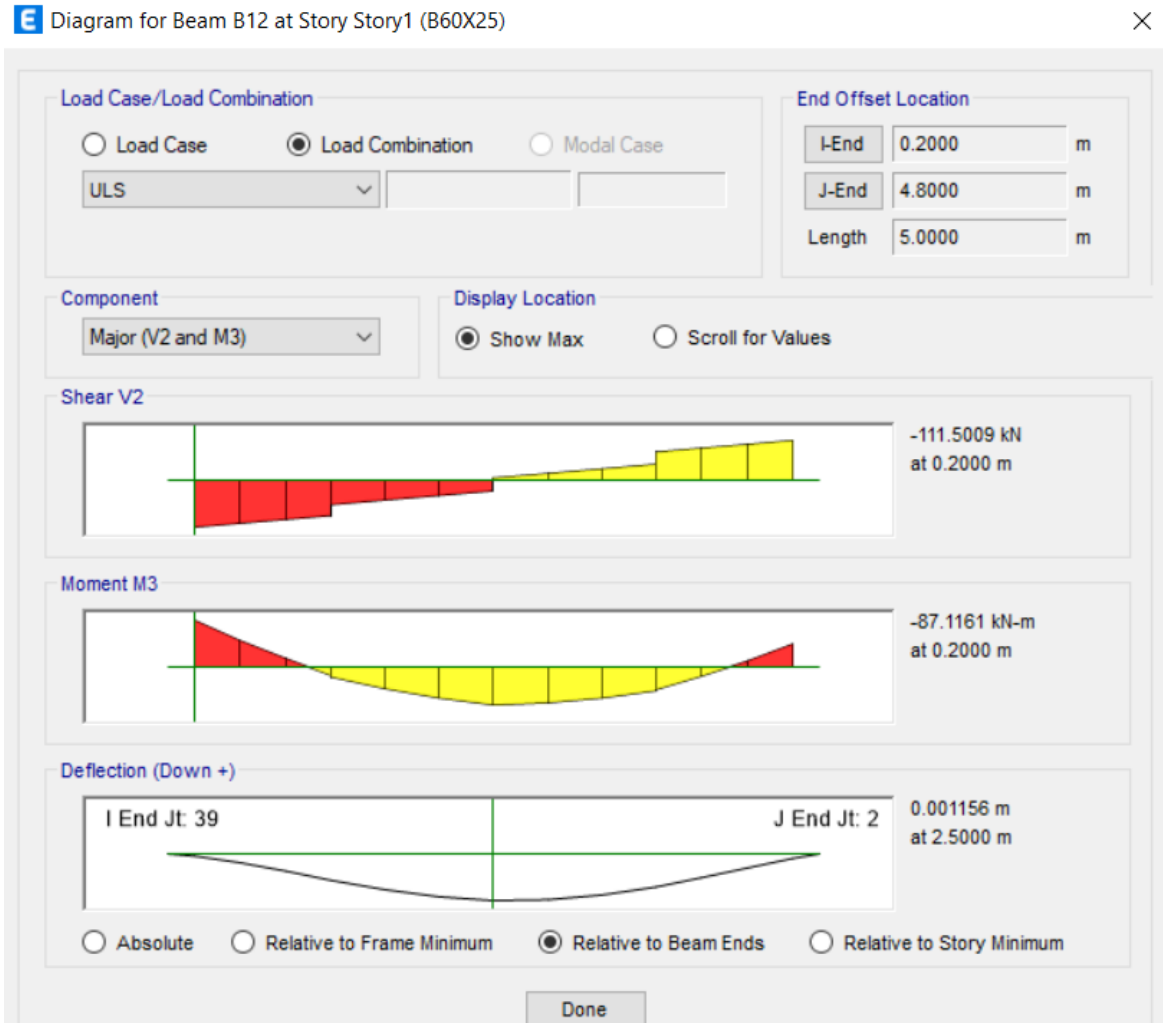
❖ تُظهر الصورة (2.4) مخطط عزوم الانحناء (Moment 3-3 Diagram) يوضح المخطط توزيع الأحمال والعزوم على الكمرات (Beams) حيث ترمز المناطق الملونة إلى قيم العزوم الموجبة والسالبة الناتجة عن الأحمال المطبقة.



الصورة(2.4) توضيح مخطط العزوم للبيم المستطيل

2.2.4 تحليل الكمرة الأكثر حرجاً (Critical Beam) من حيث القص والعزم:

تُوضح الصورة تفاصيل الإجهادات للكمرة التي تتعرض لأعلى قيم من قوى القص (Shear) وعزوم الانحناء (Moment) في المنشأ، مما يجعلها المرجع الأساسي لتحديد أبعاد القطاع وتسليحه لضمان الأمان الإنشائي.



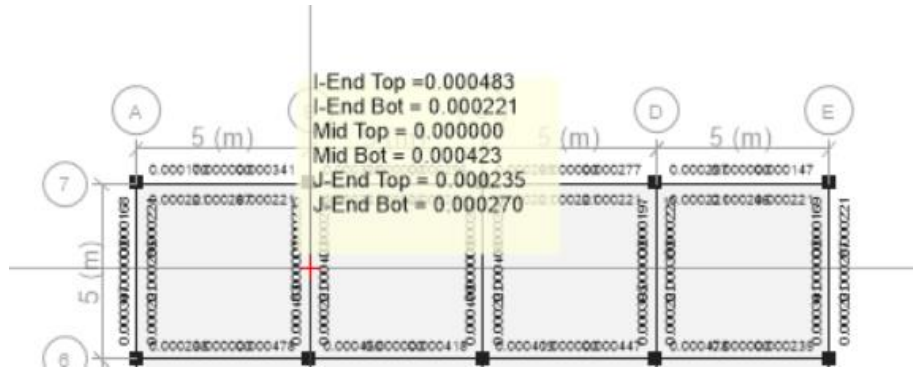
الصورة (3.4) توضح العزم الاقصى للبيم المستطيل

3.2.4 نتائج التصميم:

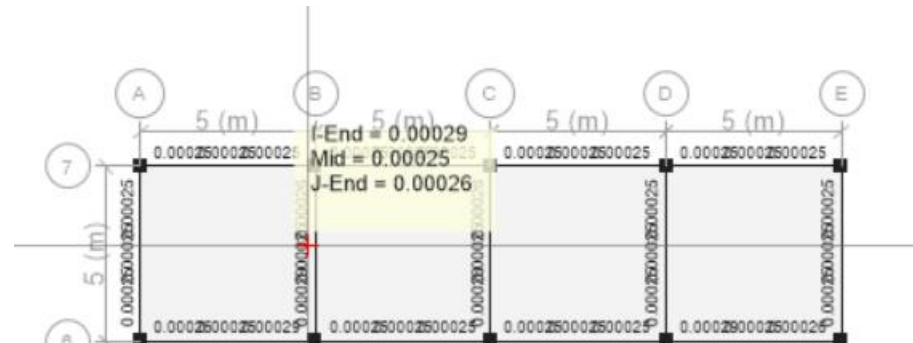
تم إجراء تصميم الكمرات الخرسانية محل الدراسة اعتماداً على الأبعاد المحددة في مرحلة التحليل، حيث تم استخدام كمرات بقطاع مستطيل بأبعاد (600 × 250 mm)

تستعرض هاتان صورتان مخرجات تصميم حديد التسليح الناتجة من الكمرات الأكثر حرجاً عند التحليل الإنشائي من برنامج ETABS.

تُبين الصورة الأولى مساحة حديد التسليح الطولي (Longitudinal Reinforcing) المطلوبة عند الأطراف والمنتصف لمقاومة عزوم الانحناء، بينما تُبين الصورة الثانية مساحة حديد الكانات (Shear Reinforcing) لكل متر طولي لمقاومة قوى القص حيث يتم اختيار أقطار وعدد الأسياخ بناءً على هذه المساحات المقدرة



الصورة (4.4) توضح مساحة حديد التسليح للبيم المستطيل الحرج



الصورة (5.4) توضح مساحة تسليح الكانات للبيم المستطيل الحرج

1.2.2.4 القيم المستخرجة للبيم المستطيل من ETABS:

❖ تم استخراج مساحة حديد التسليح المطلوبة من برنامج ETABS وكانت كما يلي:

الموقع	Top(m ²)	Bottom(m ²)
I-End	0.000483	0.000221
Mid Span	0.0000	0.000423
J-End	0.000235	0.000270

الجدول (1.4) يوضح مساحة حديد التسليح البيم المستطيل

❖ نقوم بتحويل المساحات المطلوبة إلى أعداد وأقطار قضبان التسليح الفعلية بأخذ قطر 16 ملم للحديد العلوي والسفلي، موزعة حسب مكان العزم.

الموقع	Top(m ²)	Bottom(m ²)
I-End	3Ø16	2Ø16
Mid Span	0	3Ø16
J-End	3Ø16	2Ø16

الجدول (2.4) يوضح عدد حديد التسليح الطولي

❖ تحديد تفاصيل حديد الكانات لمقاومة قوى القص، موضحاً استخدام قطر 8 ملم والمسافات البينية بين الكانات في كل منطقة (تكثيف عند الأطراف وتباعد في المنتصف).

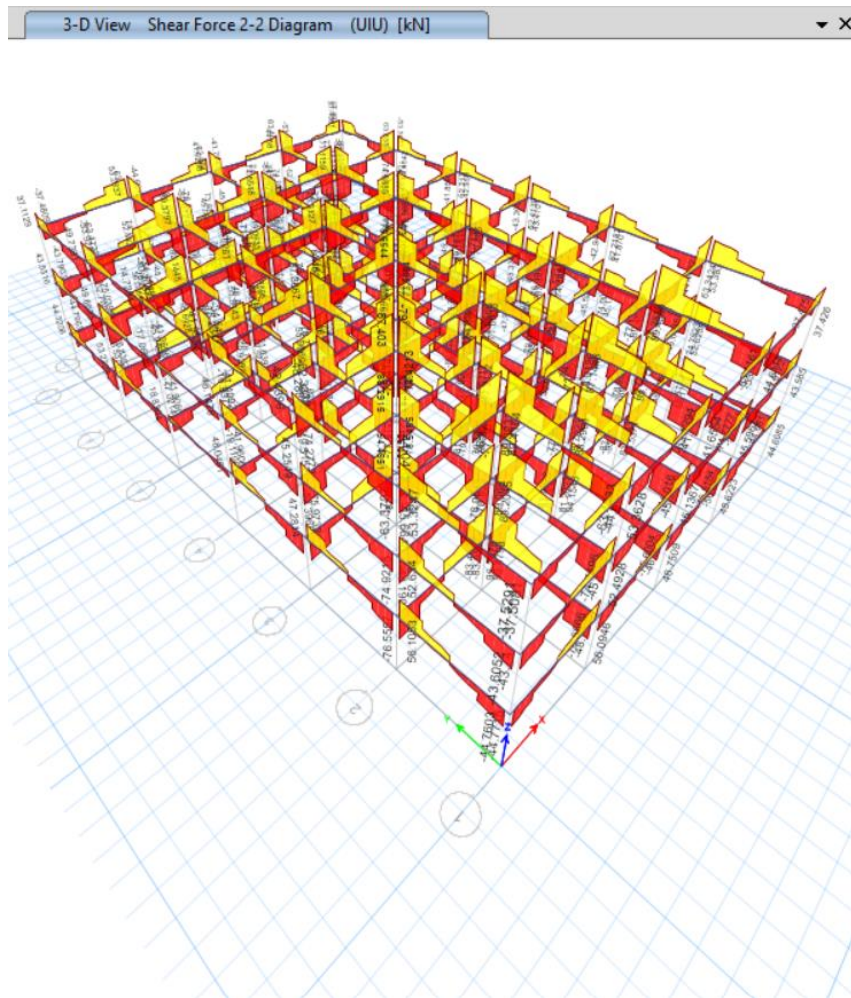
الموقع	حديد الكانات
I-End	Ø8@150mm c/c
Mid Span	Ø8@200mm c/c
J-End	Ø8@150mm c/c

الجدول (3.4) يوضح المسافه بين حديد الكانات

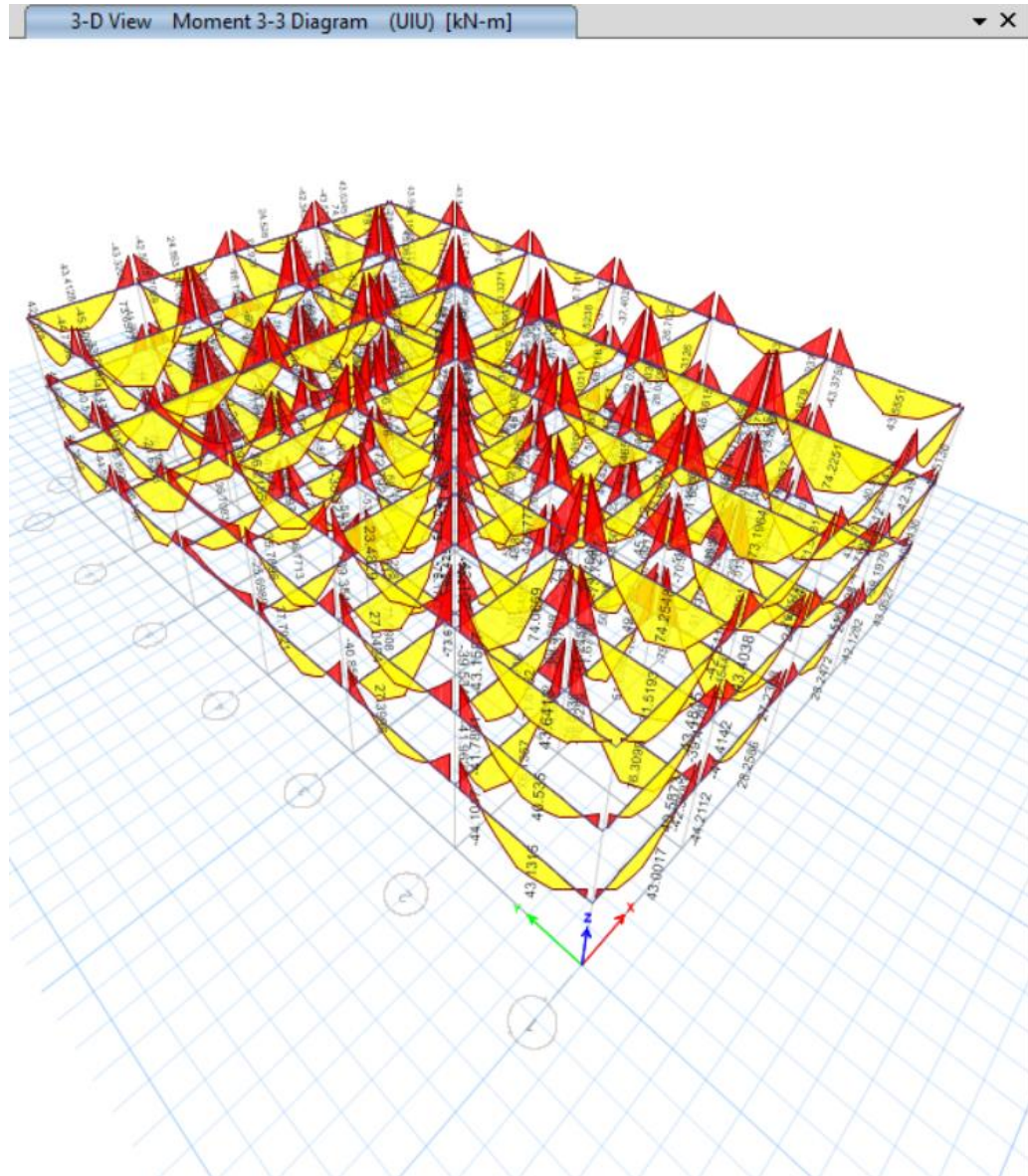
3.4 نتائج التحليل والتصميم للقطاع T-Section :

1.3.4 نتائج التحليل:

يتم في هذا الجزء عرض نتائج التحليل والتصميم لقطاع T-Section وقد تم الحصول على هذه النتائج من خلال برنامج التحليل الإنشائي (ETABS) بعد إدخال الأحمال على النموذج الإنشائي.



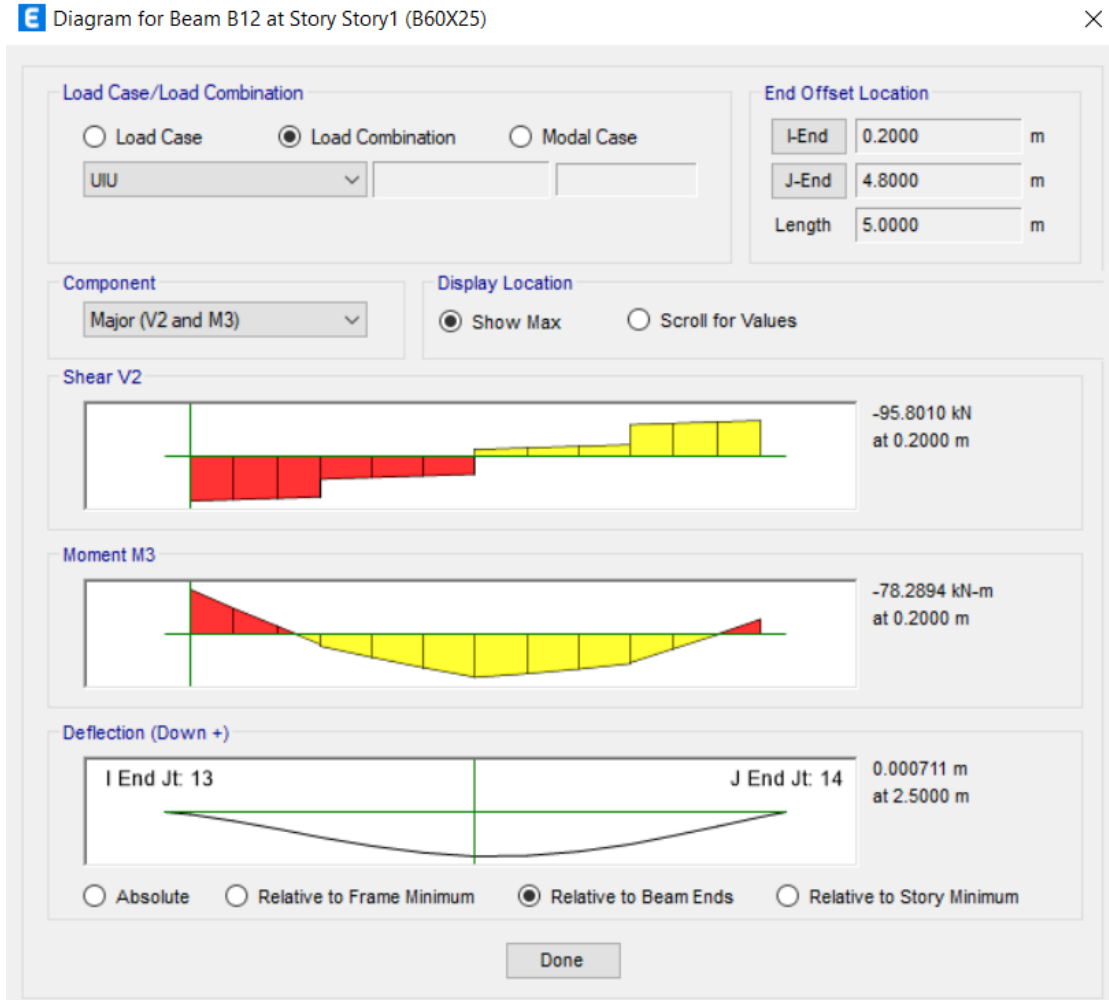
الصورة (6.4) توضح مخطط قوى القص للبيم T-section



الصورة (7.4) توضيح: مخطط العزوم للبيم T-section

2.3.4 تحليل الكمرة الأكثر حرجاً (Critical Beam) من حيث القص والعزم:

تُوضح الصورة تفاصيل الإجهادات للكمرة التي تتعرض لأعلى قيم من قوى القص (Shear) وعزوم الانحناء (Moment) في المنشأ، مما يجعلها المرجع الأساسي لتحديد أبعاد القطاع وتسليحه لضمان الأمان الإنشائي.



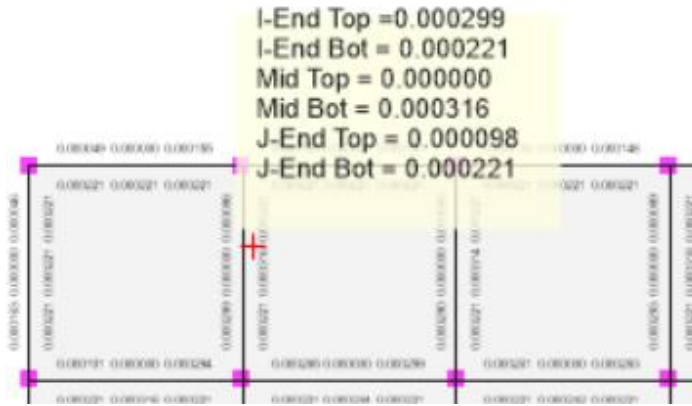
الصورة (8.4) توضح الكمرة الأكثر حرجاً قطاع T-Section

3.3.4 نتائج التصميم:

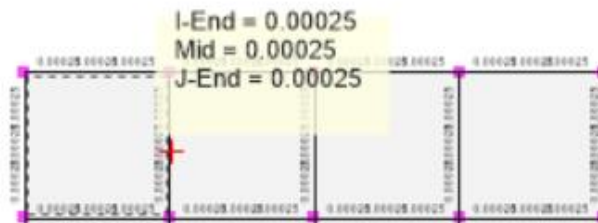
كما تم تصميم كميرات بقطاع (T) ، حيث يبلغ عرض الجذع ($b_w = 250 \text{ mm}$) والارتفاع الكلي ($h = 600 \text{ mm}$)، مع اعتبار سمك الفلانج مساوياً لسمك البلاطة ($t_f = 150 \text{ mm}$)

تستعرض هاتان صورتان مخرجات تصميم حديد التسليح الناتجة من الكمرة الأكثر حرجاً عند التحليل الإنشائي من برنامج ETABS.

تُبين الصورة الأولى مساحة حديد التسليح الطولي (Longitudinal Reinforcing) المطلوبة عند الأطراف والمنتصف لمقاومة عزوم الانحناء، بينما تُبين الصورة الثانية مساحة حديد الكانات (Shear Reinforcing)



الصورة (9.4) توضح مساحة حديد التسليح الطولي لقطاع T-Section



الصورة (10.4) توضح مساحة حديد الكانات لقطاع T-Section

1.3.3.4 القيم المستخرجة لقطاع T-Section من ETABS :

❖ تم استخراج مساحة حديد التسليح الطولي المطلوبة من برنامج ETABS وكانت كما يلي:

الموقع	Top((m ²)	Bottom(m ²)
I-End	0.000299	0.000221
Mid Span	0.0000	0.000316
J-End	0.000098	0.000221

جدول (4.4) يوضح مساحة حديد التسليح البيم T-Section

❖ نقوم بتحويل المساحات المطلوبة إلى أعداد وأقطار قضبان التسليح الفعلية بأخذ قطر 16 ملم للحديد العلوي والسفلي، موزعة حسب مكان العزم

الموقع	Top(m ²)	Bottom(m ²)
I-End	2Ø16	2Ø16
Mid Span	0	3Ø16
J-End	2Ø16	2Ø16

الجدول (5.4) يوضح عدد حديد التسليح الطولي

❖ تحديد تفاصيل حديد الكانات لمقاومة قوى القص، موضحاً استخدام قطر 8 ملم والمسافات البينية بين الكانات في كل منطقة (تكثيف عند الأطراف وتباعد في المنتصف).

الموقع	حديد الكانات
I-End	Ø8@200mm c/c
Mid Span	Ø8@250mm c/c
J-End	Ø8@200mm c/c

الجدول (6.4) يوضح المسافة بين حديد الكانات

4.4 مقارنة النتائج:

تم إجراء مقارنة شاملة بين القطاع المستطيل والقطاع (T) اعتماداً على نتائج التحليل والتصميم، بهدف تحديد السلوك الإنشائي الأمثل لكمرات المبنى متعدد الطوابق من حيث الكفاءة الإنشائية، الأداء الخدمي، والاعتبارات التنفيذية والمعمارية.

وجه المقارنة	الكمرة المستطيلة	الكمرة T-Section	الفرق الملاحظ
أقصى عزم	87.11 KN.m	78.28 KN.m	إنخفاض بنسبة تقارب 10% في T-Section
أقصى قص	111.5 KN	95.8 KN	إنخفاض بنسبة تقارب 14% في T-Section
التشوهات	0.00115 m	0.00071 m	تحسن كبير في الجساءة للT-Section

الجدول (7.4) يوضح مقارنة نتائج التحليل بين أقصى (عزم وقوة قص والتشوه)

1.4.4 كفاءة توزيع الأحمال والعزوم:

T-Beam: أظهرت الصور كفاءة أعلى حيث تساهم البلاطة في منطقة الضغط بشكل كبير، مما أدى إلى خفض قيمة العزوم وقوى القص مقارنة بالمستطيلة لنفس طول البحر 5m

الكمرة المستطيلة: تتحمل العزوم بالاعتماد فقط على أبعاد المقطع الخرساني الخاص مما يجعلها أقل كفاءة في استهلاك المواد الإنشائية.

2.4.4 التشوهات:

نلاحظ من قيم البرنامج أن الترخيم في الـ T-Beam أقل بشكل ملحوظ 0.71mm مقابل 1.15mm

التفسير للمقطع T أكبر بكثير بفضل اشتراك جزء من البلاطة، مما يزيد من جساءة الكمرة (Stiffness) ويقلل التشوهات.

3.4.4 كمية التسليح :

بما أن العزم في الـ T-Beam أقل (78.28 مقابل 87.11) فإن كمية حديد التسليح الطولي المطلوبة ستكون أقل.

بما أن قوى القص في الـ T-Beam أقل (95.8 مقابل 111.5)، فإن الإجهادات على الكانات ستكون أخف مما يوفر في حديد التسليح العرضي.

4.4.4 سهولة التنفيذ:

الكمرة المستطيلة: أسهل بكثير في التنفيذ (النجارة والحدادة) وتوفر مظهراً معمارياً منتظماً من الأسفل.

الكمرة T: تنفيذها يتطلب دقة أكبر في ربط حديد البلاطة بالكمرة (Monolithic Casting)، وهي اقتصادية جداً في المشاريع الكبيرة (مثل الأبراج التي تعمل عليها) لأنها توفر في الخرسانة والحديد عبر استغلال البلاطة إنشائياً.

5.4.4 الأثر المعماري:

❖ يُعتبر قطاع (T) أكثر ملائمة من الناحية المعمارية، حيث:

1. يقلل من بروز الكمرات أسفل السقف

2. يزيد من الارتفاع الصافي (Clear Height)

3. يحسن المظهر الداخلي للمبنى

❖ في حين أن القطاع المستطيل يؤدي إلى:

1. بروز واضح للكمرات

2. تقليل الارتفاع الصافي

3. تأثير بصري أقل كفاءة في الفراغات الداخلي

6.4.4 خلاصة المقارنة:

أثبتت المقارنة أن النموذج T هو الأفضل من الناحية الإنشائية والاقتصادية حيث يوفر جساءة أعلى (ترخيم أقل) وقوى داخلية أقل (عزوم وقص أقل)، مما يقلل من استهلاك حديد التسليح

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

1.5 الخلاصة :

تناول هذا المشروع تحليل وتصميم الكمرات الخرسانية لمبنى متعدد الطوابق باستخدام نوعين من القطاعات، وهما القطاع المستطيل وقطاع (T)، وذلك بهدف مقارنة القطاع من الناحية الإنشائية والاقتصادية والمعمارية.

أظهرت نتائج التحليل أن قطاع (T) يتمتع بكفاءة أعلى في توزيع الأحمال نتيجة لمساهمة البلاطة كجزء من القطاع، مما أدى إلى تحسين مقاومة العزوم وتقليل التشوهات مقارنة بالقطاع المستطيل. كما تبين أن قيم الإزاحة في قطاع (T) أقل نسبياً، مما يعزز الأداء الخدمي للمنشأ.

من ناحية قوى القص، لم يكن هناك فرق كبير بين القطاعين، إلا أن قطاع (T) أظهر سلوكاً أفضل نسبياً نتيجة لزيادة عرض القطاع.

أما من ناحية التسليح، فقد أظهرت النتائج تقارباً في كمية حديد التسليح المطلوبة، إلا أن قطاع (T) يحقق كفاءة أفضل في استغلال المواد نتيجة لمساهمته في مقاومة العزوم.

من الجانب المعماري، يوفر قطاع (T) ميزة تقليل بروز الكمرات داخل الفراغات، مما يؤدي إلى تحسين الارتفاع الصافي وإعطاء مظهر أكثر انتظاماً.

وبناءً على ما سبق، يمكن الاستنتاج أن قطاع (T) يعتبر الخيار الأمثل في المباني متعددة الطوابق، نظراً لما يوفره من كفاءة إنشائية واقتصادية ومعمارية، في حين يظل القطاع المستطيل خياراً مناسباً في الحالات التي تتطلب بساطة في التنفيذ.

2.5 التوصيات:

1. يُوصى بإجراء دراسة متكاملة لتصميم أساسات المبنى، مع الأخذ في الاعتبار القوى الداخلية الناتجة من الكمرات، وذلك لتحقيق تكامل جميع عناصر المنشأ وضمان نقل الأحمال بصورة آمنة إلى التربة.
2. يوصى بدراسة إمكانية استخدام الكمرات الفولاذية أو المقاطع المختلطة (Composite Sections)، ومن ثم إجراء مقارنة شاملة بينها وبين الكمرات الخرسانية (المستطيلة وقطاع T)، لتحديد مدى تأثير نوع المادة على القوى الداخلية والتشوهات والتكلفة الاقتصادية.
3. يُوصى بأخذ تأثير الأحمال الجانبية مثل الرياح والزلازل في الاعتبار، ودراسة سلوك الكمرات تحت هذه الأحمال، خاصة في المباني متعددة الطوابق.
4. يُنصح باستخدام برامج تحليل إنشائي إضافية مثل SAP2000 أو SAFE، وذلك لمقارنة النتائج والتحقق من دقة التحليل الذي تم باستخدام ETABS.
5. يوصى بإجراء تحليل اقتصادي تفصيلي يشمل تكلفة الخرسانة وحديد التسليح وأعمال التنفيذ، وذلك للمقارنة الدقيقة بين القطاع المستطيل وقطاع (T) من حيث الجدوى الاقتصادية.

المراجع :

- ❖ BS_8110_1_1997_structural_use_of_concrete_design_construction
- ❖ British Standard BS6399 Part 1 'Loading for Buildings– Code for practice for Dead and Imposed loads" 1996.
- ❖ Reinforced Concrete Design (BS 8110)

W. H. Mosley J. H. Bungey R. Hulse

- ❖ BS 8004:1986.

❖ المهندس ناجي فليح، تصميم المنشآت الخرسانية المسلحة، 2020.

Bar areas and perimeters

Table A.1 Sectional areas of groups of bars (mm²)

Bar size (mm)	Number of bars									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	28.3	56.6	84.9	113	142	170	198	226	255	283
8	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	503
10	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	785
12	113	226	339	452	566	679	792	905	1020	1130
16	201	402	603	804	1010	1210	1410	1610	1810	2010
20	314	628	943	1260	1570	1890	2200	2510	2830	3140
25	491	982	1470	1960	2450	2950	3440	3930	4420	4910
32	804	1610	2410	3220	4020	4830	5630	6430	7240	8040
40	1260	2510	3770	5030	6280	7540	8800	10100	11300	12600

Table 5.1 Value of ultimate shear stress ν_c (N/mm²) for a concrete strength of $f_{cu} = 30$ N/mm²

$\frac{100A_s}{bd}$	Effective depth (mm)						
	150	175	200	225	250	300	≥ 400
≤ 0.15	0.46	0.44	0.43	0.41	0.40	0.38	0.36
0.25	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.46	0.42
0.50	0.68	0.66	0.64	0.62	0.59	0.57	0.53
0.75	0.76	0.75	0.72	0.70	0.69	0.64	0.61
1.00	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75	0.72	0.67
1.50	0.98	0.95	0.91	0.88	0.86	0.83	0.76
2.00	1.08	1.04	1.01	0.97	0.95	0.91	0.85
≥ 3.00	1.23	1.19	1.15	1.11	1.08	1.04	0.97

For characteristic strengths other than 30 N/mm² the values in the table may be multiplied by $(f_{cu}/25)^{1/3} + 1.06$. The value of f_{cu} should not be greater than 40 N/mm².

Shear reinforcement

Table A.4 A_{sv}/s_v for varying stirrup diameter and spacing

Stirrup diameter (mm)	Stirrup spacing (mm)									
	85	90	100	125	150	175	200	225	250	300
8	1.183	1.118	1.006	0.805	0.671	0.575	0.503	0.447	0.402	0.366
10	1.847	1.744	1.57	1.256	1.047	0.897	0.785	0.698	0.628	0.571
12	2.659	2.511	2.26	1.808	1.507	1.291	1.13	1.004	0.904	0.822
16	4.729	4.467	4.02	3.216	2.68	2.297	2.01	1.787	1.608	1.462

Table 1 — Minimum imposed floor loads

Examples of specific use		Uniformly distributed load kN/m ²	Concentrated load kN
All usages within self-contained  single family  dwelling units Communal areas (including kitchens) in blocks of flats with limited use (See note 1) (For communal areas in other blocks of flats, see C3 and below)		1.5	1.4
Bedrooms and dormitories except those in  single family dwelling units and in  hotels and motels		1.5	1.8
Bedrooms in hotels and motels Hospital wards Toilet areas		2.0	1.8
Billiard rooms		2.0	2.7
Communal kitchens except in flats covered by note 1		3.0	4.5
Balconies	Single  family  dwelling units and communal areas in blocks of flats with limited use (See note 1)	1.5	1.4
	Guest houses, residential clubs and communal areas in blocks of flats except as covered by note 1	Same as rooms to which they give access but with a minimum of 3.0	1.5/m run concentrated at the outer edge
	Hotels and motels	Same as rooms to which they give access but with a minimum of 4.0	1.5/m run concentrated at the outer edge
Operating theatres, X-ray rooms, utility rooms		2.0	4.5
Work rooms (light industrial) without storage		2.5	1.8
Offices for general use		2.5	2.7
Banking halls		3.0	2.7
Kitchens, laundries, laboratories		3.0	4.5
Rooms with mainframe computers or similar equipment		3.5	4.5
Machinery halls, circulation spaces therein		4.0	4.5
Projection rooms		5.0	To be determined for specific use
Factories, workshops and similar buildings (general industrial)		5.0	4.5
Foundries		20.0	To be determined for specific use
Catwalks		—	1.0 at 1 m centres
Balconies		Same as rooms to which they give access but with a minimum of 4.0	1.5/m run concentrated at the outer edge
Fly galleries		4.5 kN/m run distributed uniformly over width	—
Ladders		—	1.5 rung load