نظريات الإنشاء

كلية الهندسة المعمارية

السنة الثالثة

فصل دراسي أول

منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة المعمارية

نظريات الإنشاء

الدكتور
عزام كتخدا
أستاذ في كلية الهندسة المدنية

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

١٤١٧هـ - ١٩٩٦م

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

مقدمة

يحتاج المهندس المعماري الجيد خلال عمله الهندسي إلى معرفة كبيرة وخبرة عالية، ليس فقط في طرق وأساليب التصميم المعماري فحسب، بل في طرق الدراسة الإنشائية للأشكال المختلفة أيضاً، وكذلك أشكال الهياكل الإنشائية المستخدمة وطرق تنفيذها.

وهذه المعرفة تعطيه مجالاً كبيراً للإبتكار والإبداع، وبحيث يتلائم حله المعماري مع الشكل المناسب للهيكل الإنشائي الحامل ومع الأبعاد والعناصر المطلوبة له.

ونظراً لأن الوقت الدراسي المخصص في كلية الهندسة المعمارية لدراسة الهياكل الإنشائية وتصميم العناصر المختلفة غير كافٍ لإعطاء طلاب كلية الهندسة المعمارية فكرة واسعة عن الأشكال المختلفة للهياكل الإنشائية وأبعادها وطرق تحميلها، فإن لمادة نظريات الإنشاء أهمية كبيرة لشرح الأفكار الأساسية الإنشائية، كما أن وجود كتاب موسع يبحث في أشكال الهياكل الإنشائية المختلفة، وطرق دراستها والأسس الرئيسية والهامة لتحليلها، وفهم أسلوب عملها، يعتبر ضرورياً وبشكل كبير لإعطاء طلاب كلية الهندسة المعمارية فكرة أساسية عن هذه الهياكل الإنشائية. كما أنه يمكن أن يكون واحداً من المراجع الهامة والأساسية، والتي يمكن للمهندس المعماري الإعتماد عليها.

إن هذا الكتاب يهدف بصورة أساسية إلى تعريف طلاب كلية الهندسة المعمارية على مبادئ التصميم الإنشائي، ويقدم لهم كامل الإيضاحات عن مجمل العوامل التي يأخذها المصمم الإنشائي بعين الإعتبار في إختياره الهيكل الإنشائي المناسب، ويوضح بصورة سهلة ومبسطة الأفكار الأساسية المتعلقة بكل عنصر أو هيكل إنشائي، وذلك دون الخوض في تفاصيل الحسابات الرياضية أو طرق الحل الإنشائية.

يبحث هذا الكتاب أولاً في الشروط التي يجب أن تحققها الهياكل الإنشائية، وعلاقتها مع متطلبات التصميم المعماري والتكنولوجي، وضرورات السلامة العامة والأمان، إضافة للإعتبارات الإنشائية التي تؤخذ بعين الأعتبار عند تصميم هذه الهياكل، كما يعطي فكرة عن الحمولات المختلفة المؤثرة على هذه الهياكل ومراحل التصميم الإنشائي لها. كما يعطي فكرة عن المواد الإنشائية المستخدمة بهذه الهياكل وخصائصها وكيفية استخدامها.

ثم يتطرق الكتاب إلى الجمل المقررة وغير المقررة وميزاتها ومساوئها وكيفية استخدامها. ويعطي فكرة مفصلة عن أشكال وأنواع الهياكل الإنشائية المختلفة والتي استخدمت قديماً كالأقواس والعقود والقباب المبنية والجوائز المعدنية والخشبية.

كما يشرح الكتاب وبصورة مفصلة العناصر الإنشائية المستخدمة في المنشأت الحديثة كالجوائز البيتونية المسلحة والمسبقة الإجهاد، وأنواع البلاطات البيتونية المختلفة، والأعمدة والأساسات، والأسس الرئيسية في تحليلها وحسابها، إضافة لبعض الهياكل الإنشائية كالجوائز الشبكية والإطارات والأقواس وكيفية استخدامها في بناء المنشآت المختلفة.

ثم يوضح الكتاب الأفكار الرئيسية للمنشأت الحديثة وذات الصفة الخاصة كالمنشأت الفراغية بأنواعها المختلفة والأسقف المعصبة والمنشأت المعلقة، والمبادئ الأساسية التي يجب أن تؤخذ بعين الأعتبار عند إستخدامها. كما يتطرق الكتاب إلى أسلوب الإنشاء بواسطة القطع مسبقة الصنع وميزاته وتفاصيله الإنشائية.

وأخيراً يعطي الكتاب فكرة مختصرة عن التصنيف الأقتصادي للجمل الإنشائية المختلفة وكيفية إختيار الحلول الإنشائية الأكثر إقتصادية للمنشأت المختلفة.

ويحتوي الكتاب على عدد كبير من الأشكال التوضيحية والتفاصيل الإنشائية المبسطة لتعطي القارئ فكرة واسعة عن الأفكار المطروحة .

وإنني آمل أن يكون هذا الكتاب ذو فائدة كبيرة لطلاب كلية الهندسة المعمارية، وأن يجدوا فيه

عوناً كبيراً لهم في سنوات دراستهم الجامعية، وأن يكون لهم مرجعاً هاماً في حياتهم العملية بعد التخرج. كما أتمنى أن تكون الأفكار والمعلومات الواردة فيه ذات قيمة علمية وعملية تساعدهم في حياتهم المهنية وتفتح أمامهم طرق المعرفة والإبتكار.

الدكتور المهندس

عزام كتخدا

جامعة حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الأول

المقدمة

INTRODUCTION

١ - ١ - تمهيد : INTRODUCTION

منذ القدم وحتى عهد قريب، كان البناء أو المعمار (Architect) هو المسؤول الأول والأخير عن تصميم وتنفيذ المنشأ الذي يقوم ببنائه. يصمم المبنى بخياله وعبقريته وخبرته المكتسبة ويضع تصوراته الأولية له، ثم يقوم بتنفيذ هذه التصورات ويعد لها أثناء التنفيذ، حسبما يراه مناسباً للواقع، فهو المسؤول عن عمليتي التصميم والتنفيذ. وكانت العما رة (Architecture) تعني تصميم المباني من جميع النواحي بما فيها التصميم المعماري والدراسة الإنشائية وأعمال الإنارة والتدفئة والديكور ...الخ، إضافة لتنفذ هذا التصميم بكل جوانبه .

ومع تطور الزمن، أصبح من الضروري وضع تصور كامل للمبنى وشكله وتفاصيله قبل المباشرة بالتنفيذ، وأصبح التصميم يحتاج إلى وقت أطول ودراسة أوسع وتفاصيل أكثر، ولذلك أصبح من الضروري فصله عن أعمال التنفيذ، وأصبح المصمم شخصاً غير المنفذ، إلا أن المصمم بقي مسؤولاً عن كافة جوانب هذا التصميم كما بقي دوره رئيسياً كاستشاري ومراقب لعملية التنفيذ.

ومع زيادة تعقيدات المباني وتطور أشكالها وإختلاف المواد المستخدمة في البناء، وكذلك تقدم طرق وأساليب التنفيذ وأدواته، أصبح المصمم يحتاج لمعلومات كثيرة جداً حتى يستطيع الإلمام

وبشكل جيد بالعمارة، فبالإضافة للمعرفة اللازمة لها كفن وذوق وجمال فهو يحتاج أيضاً لمعرفتها كعلم، وهذا يعني معرفة خواص المواد المستخدمة والحلول الإنشائية الممكنة وكذلك طرق التنفيذ المتوفرة ...الخ، وأصبحت هذه المعرفة أكبر من إمكانية شخص واحد للإحاطة بها جميعاً، ولذلك فقد كان من الضروري تعاون مجموعة من المختصين وبفروع مختلفة لتصميم وإنشاء المباني،وبذلك يمكن القول أن العمارة هي حصيلة تضامن جهود مجموعة من المختصين يكون دور المعمار (Architect) فيها توزيع الفراغات والمساحات والكتل توزيعاً علمياً بحيث يؤدي إلى الوظيفة المطلوبة وبشكل جميل، بينما يحقق المهندس الإنشائي (Structural Engineer) دراسة المبنى إنشائياً بطريقة أمنية وإقتصادية، كما يساهم المهندسون الآخرون في إمداد المبنى بالخدمات المطلوبة كالماء والكهرباء والهاتف والتدفئة والتبريد إلى آخر متطلبات العصر التكنولوجية.

ونتيجة للتطور أصبح الإنسان بحاجة لمباني متخصصة وذات أغراض محددة، بعضها لم يكن معروفاً من قبل ، كالفنادق، والمدارس، والمستشفيات، والمكاتب التجارية، والمصانع المختلفة، فتصميم مشفى مثلاً يحتاج لمعلومات إضافية في الطب لايعلمها المعمار. حتى إن بعض مصممي المستشفيات احتاجوا لدراسة الطب ليتمكنوا من تصميم المستشفيات بشكل أفضل، بينما لا يحتاج تصميم فندق لمثل هذه المعلومات، وإنما يحتاج لمعلومات إضافية من نوع آخر مختلف تماماً، وهكذا بدأ حديثاً اتجاه التخصص المعماري فأصبح هناك معماري للمستشفيات، ومعماري للفنادق ، ومعماري للأبنية العامة...وهكذا .

إن مبدأ التخصص هذا يعتبر تطوراً دفع بالمهنة خطوات كبيرة إلى الأمام، ولكنه من جهة أخرى تلازم بوجود تأثيرات جانبية ضارة من أهمها فقدان الفهم المشترك للعمارة وخاصة مابين المعماريين والمهندسين الإنشائين، والذين يعملون معاً لتحقيق تصميم متكامل لمنشأ واحد. فقد ينتج عنه مثلاً أن المعماري يصمم مبنىً جميلاً يؤدي وظيفته المعمارية بشكل صحيح، ولكن تنفيذه يكون بحكم المستحيل أو غير اقتصادي على الإطلاق بسبب عدم مراعاة الإعتبارات الإنشائية أثناء التصميم، وكذلك قد يختار المهندس الإنشائي أبعاداً إنشائية تجعل المنشأ سليماً وأميناً، ولكنه غير مريح وظيفياً، أو غير جميل معمارياً، وذلك بسبب عدم مراعاة الأعتبارات المعمارية أثناء دراسته.

لذلك أصبح من الضروري وبشكل تام أن يتعرف المعماري على الإعتبارات الهندسية الأساسية، وخاصة الإنشائية منها، والتي تحكم التصميم الهندسي ككل، وكذلك أن يتعرف المهندسون، وخاصة المهندس الإنشائي، على الإعتبارات المعمارية التي تحكم التصميم المعماري للمنشآت . إن هذا التعرف لن يجعل أحدهما بديلاً عن الآخر، بل بالعكس، سيجعلهما يتعاونان معاً بشكل أكبر وبتفاهم أكثر نظراً لوجود لغة مشتركة وقاعدة واحدة تجمعهما .

تهدف مادة نظريات الإنشاء والتي تدرس لطلاب كلية الهندسة المعمارية، وبصورة أساسية، إلى تعريفهم على مبادئ الدراسات الإنشائية وتحاول أن تقدم لهم كامل الإيضاحات عن مجمل العوامل التي تؤخذ بعين الأعتبارفي إختيار أشكال وأنواع الهياكل الإنشائية لمنشأ ما، وذلك دون الخوض في تفاصيل هذه الدراسات أو في الطرق والعمليات الحسابية اللازمة، كما تحاول أن تشرح لهم وباختصار المواد الإنشائية المستخدمة وتفاصيل وميزات وكيفية إستخدامها في العناصر الإنشائية المختلفة. وكذلك توضح لهم أنواع وأشكال الهياكل الإنشائية وطريقة استخدامها وأبعادها والمتطلبات الرئيسية اللازمة عند الإستخدام وبشكل مختصر. وبكلمات أخرى، فإن مادة نظريات الإنشاء محاولة للربط بين النظرة العامة للمصمم الإنشائي بتلك التي للمهندس المعماري. وعندما يفهم طلاب كلية الهندسة المعمارية وبصورة جيدة، ماهي عناصر الهياكل الإنشائية وكيف تقاوم الحمولات المختلفة المطبقة عليها، عندئذ يمكنهم وأثناء التصميم المعماري لمنشأ ما أن يختاروا شكلاً مناسباً للهيكل الإنشائي يستطيع أن يقاوم الحمولات المطبقة بأمان ويلائم جيداً الشكل المعماري المختار .

١ ـ ٢ ـ الشروط التي يجب أن تحققها الهياكل الإنشائية.

CONDITIONS OF STRUCTURAL SKELETONS

إن الهدف الرئيسي لمنشأ ما هو أن يقدم الإحتياجات الأساسية المطلوبة منه، كمأوى، وذلك بصورة مقبولة ومناسبة ومريحة. ولتحقيق هذا الهدف فإن الهيكل الإنشائي يجب أن يحقق شروطاً عديدة تؤمن التلاؤم بينه وبين متطلبات العمارة والإختصاصات الهندسية الأخرى و ويمكن تلخيصها

فيما يلي:

١ـ أن يسمح الهيكل الإنشائي بحرية الحركة والتخطيط (Planning) ، أي أن يعطي للمعماري إمكانية كبيرة في إختيار الشكل المعماري المناسب للمنشأ وتحديد الفراغات والأبعاد دون عوائق إنشائية، وبكلمات أخرى فإنه يجب على العناصر الإنشائية المختلفة أن لا تشغل حيزاً كبيراً من الفراغ المخصص للمنشأ، وبحيث لا تعاق الحركة في هذا الفراغ نتيجة لوجود هذه العناصر. فمثلاً لايسمح بعدليات كبيرة للجوائز في القاعات بحيث تعيق النظر أو الإنارة أو التهوية، أو تؤثر على إرتفاع النوافذ في الواجهات، ويمكن ضمن هذا المجال مقارنة مسقط الطابق الأرضي لناطحات السحاب الأولى والمنفذة من البيتون المسلح أو الجدران الحاملة ذات السماكات الكبيرة، والتي تشغل العاصر الإنشائية فيه نسبة كبيرة من المساحة مما يعيق الحركة والتخطيط بشكل كبير مع المسقط الأرضي لناطحات السحاب الحديثة والمنفذة من الهياكل المعدنية ذات المقاومات العالية ، والتي تشغل هذه العناصر فيه نسبة صغيرة جداً من المساحة، مما يعطينا فراغات كبيرة تسهل الحركة والتخطيط. إن هذا الشرط كما رأينا، يحدد العلاقة بين المهندس الإنشائي والمعماري، وكلما تقيدنا بهذا الشرط كان التلاؤم كبيراً بين الهيكل الإنشائي والحل المعماري.

٢ ـ يجب أن تلائم عناصر الهيكل الإنشائي ملائمة جيدة كافة متطلبات التدفئة والتهوية والإنارة، وأن لا تعيق حركتها، وفي بعض المنشآت يمكن أن يكون هذا الشرط أساسياً في تصميم الهيكل الإنشائي. فمثلاً في المنشآت التي تحتاج لتهوية وتكييف لايسمح بتدليات للجوائز بحيث تعيق تمديدات الهواء أو تتقاطع معها. إن هذا الشرط يحدد العلاقة بين المهندس الإنشائي والمهندسين الآخرين المسؤولين عن الدراسات التكنولوجية الأخرى والتي تجري على هذا المنشأ.

٣ ـ يجب أن تحقق عناصر الهيكل الإنشائي مقاومة معقولة ضد خطر الحريق، وذلك حسب أهمية المنشأ وحجمه ومستخدميه، وبحيث تقاوم هذه العناصر خطر الإنهيار نتيجة للحريق لفترة معينة تسمح بإطفائه قبل أن ينهار تماماً. إن هذا الشرط يحدد العلاقة بين المهندس الإنشائي والسلامة العامة لمستخدمي المنشأ، وهي علاقة هامة جداً في البلاد المتطورة، وبحيث لايسمح ببناء منشأ عام مثلاً دون الأخذ بعين الإعتبار وجود ممرات وسلالم خاصة تستخدم في حالة الحريق لتأمين سلامة المستخدمين

للبناء .

٤ ـ يجب أن تمنع عناصر الهيكل الإنشائي ما أمكن إنتقال الأصوات والإهتزازات من قسم أو مكان إلى قسم آخر ، وذلك حسب مواصفات المواد المستخدمة وطرق الانشاء المختلفة واستخدام عناصر مناسبة ، فمثلاً لا يسمح في المصانع بانتقال الأصوات من قسم ذي ضجيج عالٍ إلى الأقسام الأخرى كقسم الادارة ، أو انتقال الإهتزازات من الآلات الضخمة إلى المبنى بالكامل . إن هذا الشرط يحدد العلاقة بين المهندس الإنشائي وراحة مستخدمي المنشأ وبحيث يمكن استخدام هذا المنشأ في أحسن الظروف وبراحة تامة .

١ ـ ٣ ـ الاعتبارات الانشائية في تصميم المنشآت :

STRUCTURAL CONSIDERATIONS IN DESIGNING OF STRUCTURES

عند تصميم منشأ ما ، هناك شروط معينة يجب أن تؤخذ بعين الإعتبار حتى يكون التصميم مناسباً . ومن هذه الشروط : الأمان والاقتصاد والوظيفة والجمال . وياتي شرط الأمان دائماً في المقدمة وهو الشرط الوحيد الذي لا يمكن الاستهانة به مطلقاً أو إعطاؤه اعتباراً ثانوياً . وعندما يتحقق شرط الأمان في تصميم ما عندئذ يمكن تحديد مدى نجاح هذا التصميم أو فشله ، وذلك حسب تحقيقه للشروط الأخرى . أما عندما لا يتحقق شرط الأمان فليس هناك منشأ على الإطلاق . ولتحقيق شرط الأمان من الناحية الإنشائية هناك عدة اعتبارات هامة يجب ان تؤخذ بعين الاعتبار حتى يبقى المنشأ سليماً وجاهزاً للاستخدام ، وذلك طوال فترة عمره الافتراضي . ويمكن تلخيص هذه الاعتبارات حسب مايلي :

١ ـ أن يكون الهيكل الانشائي قادراً على تحمل كافة القوى والحمولات الخارجية المطبقة على المنشأ بالإضافة إلى الحمولات الذاتية وذلك بصورة سليمة و أمينة .

٢ ـ أن يقوم الهيكل الانشائي بنقل هذه الحمولات إلى قواعد ثابتة و سليمة في التربة وذلك عن طريق الأساسات .

٣ ـ أن لا يظهر في الهيكل الإنشائي أثناء الاستخدام وتحت تأثير الحمولات المطبقة أية ظاهرة من ظواهر الانهيار، سواء كانت في مقاومة كل عنصر من العناصر على حدة كالتشقق أو الانهيارات أو الميلان أو الهبوطات الكبيرة، أو في ثبات الهيكل الانشائي ككل كالانزياح الأفقي أو الانقلاب أو الانزلاق.

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الثاني

الأحمال

LOADS

٢ ـ ١ ـ تمهيد INTRODUCTION:

تتعرض المنشآت خلال كامل عمرها الافتراضي إلى حمولات مختلفة، ويكون الهدف الاساسي للهيكل الإنشائي أن يتحمل هذه القوى وأن يقوم بنقلها إلى قواعد ثابتة في الأرض. لذلك فإن الدراسة الانشائية السليمة تتطلب بصورة أساسية دراسة هذه الأحمال والتي يمكن أن تطبق على المنشأ، ومعرفة قيمها وشكل التطبيق (Line of Action) ومدى التكرار، وفترات الحدوث المحتملة خلال كامل عمر المنشأ الإفتراضي ، فمثلاً : في الشرفات قد لا يحدث التحميل الأعظمي سوى مرات قليلة فقط عندما يزدحم المشاهدون عليها لمشاهدة استعراض أو مهرجان ما ، ومع ذلك فإنه يجب تصميم هذه الشرفات لتكون آمنة ساعة التعرض لهذه الأحمال. أما في الأدراج فإن التحميل الأعظمي يحدث في زمن خروج كامل شاغلي البناء في وقت واحد وبسرعة وذلك خلال حدوث طارىء ما كالحريق مثلاً، وقد لا تتعرض هذه الأدراج لحمولات مركزة ثقيلة إلا لبضعة دقائق خلال إدخال أو إنزال حمل ثقيل، ومع ذلك فإنه يجب أخذ هاتين الحالتين بعين الأعتبار خلال التصميم .

إن أغلب الأحمال المطبقة على المنشآت هي عبارة عن أوزان ناتجة عن تأثير الثقالة الأرضية، كالوزن الذاتي للهيكل الإنشائي، وأوزان مواد التغطية والإكساء إضافة للأوزان الناتجة عن إستخدام هذا المنشأ. إلا أن هناك أحمالاً أخرى مهمة ذات طبيعة مختلفة كالحمولات الناتجة عن الرياح أو الهزات

الأرضية أو الدفع الأفقي والتأثيرات الديناميكية للقوى المتحركة . وفي بعض المنشآت البحرية هناك الحمولات الناتجة عن الأمواج. كما يجب أيضاً اعتبار بعض التأثيرات الهامة كتلك الناتجة عن تغيرات درجة الحرارة أو الرطوبة أو تلك الناتجة عن التغيرات في شكل الهيكل الإنشائي كهبوط الأساسات مثلاً.

وبالرغم من كل الإحتياطات، وكذلك الدقة في حساب الأحمال، ونظراً لأن تحديد هذه الأحمال يخضع عادة للتقدير، وقليلة جداً هي الأحمال التي يكون التقدير فيها قريباً جداً من الواقع، فإن المصمم وبعد تنفيذ المنشأ يجد أحياناً أن بعض الأحمال قد تجاوزت القيم التي قدرت لها في الحسابات، إضافة إلى أن حمولات الرياح والهزات الأرضية غير محددة بدقة ولا تزال قيمها موضع مناقشة وبحث. لذلك فإن المصمم الإنشائي الحاذق يأخذ بعين الأعتبار كل هذه العوامل ويقوم بتحديد الأحمال بحيث يكون من المستبعد جداً أن تزيد قيمتها الفعلية في المستقبل عن القيمة المقدرة لها والمعتبرة في التصميم، أو في حال إزديادها أن تكون هذه الزيادة طفيفةولفترة قصيرة. فمثلاً تنص المواصفات العالمية لتصميم المباني، وعند إعتبار قوى ضغط الرياح، على إعتماد قيمة لهذا الضغط ناتجة عن سرعة للرياح لايمكن حدوثها إلا مرة واحدة كل خمسين عاماً.

٢ـ٢ تصنيف الأحمال : CLASSIFICATION OF LOADS

يمكن تصنيف الأحمال بعدة طرق وحسب عدة إعتبارات، إلا أن أهم هذه التصانيف هي التي تعتمد على نوع هذه الأحمال، ويمكن تلخيصها بمايلي:

٢ـ٢ـ١ـ الحمولات الوزنية: WEIGHTS

ويقصد بها جميع الحمولات الناتجة عن الثقالة الأرضية، ويمكن تقسيمها إلى قسمين أساسين:

٢ ـ ٢ ـ ١ ـ ١ ـ الحمولات الميتة : DEAD LOADS

ويقصد بها جميع الحمولات الدائمة والثابتة كالوزن الذاتي للهيكل الإنشائي وأوزان التغطيات والإكساءات والجدران ...الخ، ويمكن القول أنها تعبير عن وزن المنشأ نفسه.

٢ ـ ٢ ـ ١ ـ ٢ ـ الحمولات الحية : LIVE LOADS

ويقصد بها جميع الحمولات المؤقتة والمتغيرة سواء كانت ثابتة أم متحركة ، ويمكن القول أنها تعبر عن أوزان مستخدمي المنشأ وتقسم إلى قسمين أساسين:

١ ـ الحمولات الحية غير المتحركة: STATIC LIVE LOADS

ويقصد بها جميع الحمولات الحية التي ليس لها تأثير ديناميكي على المنشأ كحمولات الثلج والماء والأثاث في الأبنية السكنية والآلات الساكنة وأوزان مستخدمي المنشآت والمواد المخزنة..الخ.

٢ ـ الحمولات الحية المتحركة: DYNAMIC LIVE LOADS

ويقصد بها جميع الحمولات الحية التي لها تأثير ديناميكي على المنشأ، كحمولات السيارات والقطارات والروافع والآلات المهتزة والدوارة ...الخ.

UNIVERSITY OF ALEPPO

٢ ـ ٢ ـ ٢ ـ الحمولات غير الوزنية : OTHER THAN WEIGHTS

ويقصد بها جميع الحمولات الناتجة عن غير الثقالة الأرضية، كحمولات ضغط الرياح والحمولات الناتجة عن الهزات الأرضية وقوى الفرملة في الروافع وضغط الأمواج والمياه وكذلك دفع التربة...الخ.

٢ ـ ٢ ـ ٣ ـ التأثيرات الأخرى : OTHER EFFECTS

ويقصد بها جميع التأثيرات الإضافية الأخرى، وهي ليست قوى تطبق على المنشأ كالحمولات غير الوزنية، بل هي تأثيرات معينة على المنشأ تؤدي لخلق إجهادات فيه كتأثيرات الحرارة والإنكماش والزحف للبيتون وهبوط المساند، وأخطاء التنفيذ...الخ.

يجب الإشارة هنا إلى أن الحمولات غير الوزنية والتأثيرات الأخرى تعامل عند التصميم الإنشائي معاملة الحمولات الحية ، وذلك نظراً لأن لها نفس الطبيعة من حيث أنها متغيرة بالقيمة ومكان التطبيق، وإمكانية تطبيقها في لحظة معينة وعدمه في لحظة أخرى.

إن أهم الأحمال التي يجب اعتبارها عند التصميم الإنشائي هي الحمولات الميتة والحية أولاً ، ويليها الحمولات غير الوزنية وخاصة حمولات الرياح والهزات الأرضية، ثم التأثيرات الأخرى في بعض المنشآت الخاصة.

٢ ـ ٣ ـ نسبة الأحمال الميتة إلى الحية : DEAD / LIVE LOADS RATIO

كما رأينا يمكن تقسيم الحمولات المطبقة على المنشآت إلى نوعين : الحمولات الميتة والحمولات الحية، الشكل (٢ ـ ١) ، ويمكن التفريق بين هذين النوعين حسب مايلي :

ـ **الحمولات الميتة:** (Dead Loads) وهي أوزان المنشأ ككل بما فيه الهيكل الإنشائي ومواد الإكمال والإكساء.

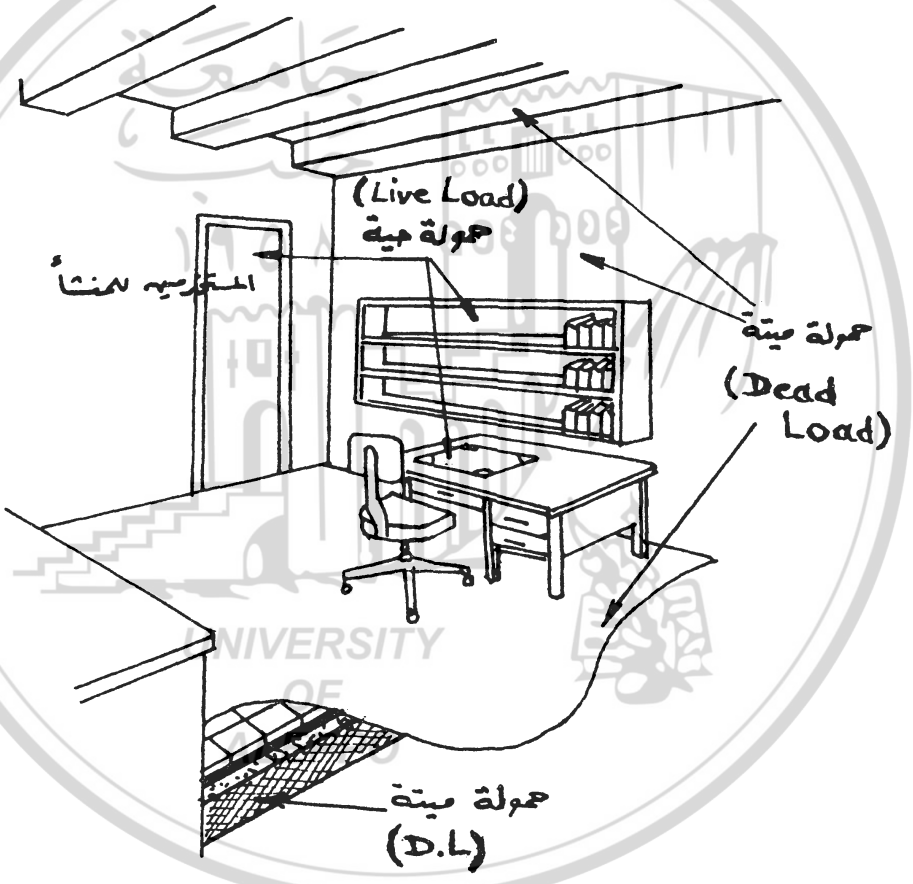
ـ **الحمولات الحية** :(Live Loads) وهي جميع الحمولات الأخرى التي يمكن أن يتعرض لها المنشأ، والتي صمم هذا المنشأ لتحملها.

تمثل الحمولات الميتة وزن المواد اللازمة لبناء المنشأ كي يكون قادراً على أداء وظيفته، لذلك كلما قلت هذه الحمولات مع بقاء الحمولات الحية ثابتة كلما كان المنشأ ذو فعالية إنشائية أكبر، وكانت

التكلفة أقل .

خلال تقدم العلوم وعلى مر التاريخ كانت هناك رغبة وبحث دائم باتجاه تقليل نسبة الحمولات الميتة/الحية ، وذلك بابتكار طرق حديثة للتصميم وباستخدام مواد أخف وذات مقاومات أعلى وكذلك باستخدام المواد المتوفرة استخداماً مختلفاً مناسباً للهياكل الإنشائية المستخدمة .

ويمكن ملاحظة ذلك بمقارنة المعابد الفرعونية القديمة والهياكل الرومانية مع المباني الحديثة والمساوية لها في الحجم والمساحة، لمعرفة مدى التغيير الذي حصل على نسبة الحمولات الميتة / الحية.



شكل رقم (٢-١)

الحمولات الميتة والحمولات الحية .

إن نسبة الحمولات الميتة / الحية ليست ثابتة دوماً ولجميع المنشآت وإنما تتأثر بعوامل عديدة منها:

ـحجم المنشأ : يؤثر حجم المنشأ تأثيراً كبيراً على نسبة الحمولات الميتة / الحية، ويمكن كمثال على ذلك مقارنة هذه النسبة لجسر صغير الأبعاد فوق قناة مثلاً وذى مجاز صغير يتحمل حمولات الشاحنات المارة فوقه مع تلك التي لجسر كبير ذو مجاز كبير جداً، والذي يحتاج لمقاطع وأبعاد كبيرة لتحمل نفس حمولات الجسر الأول.

وبذلك تكون نسبة الحمولات الميتة / الحية صغيرة في المنشآت الصغيرة وكبيرة في المنشآت الكبيرة رغم أنها معرضة لنفس الحمولات الحية.

ـنوع المنشأ: كما تتأثر نسبة الحمولات الميتة/ الحية بنوع المنشأ والحمولات المطبقة عليه، فمثلاً تكون هذه النسبة كبيرة في الأبنية السكنية العادية نظراً لأن الحمولات الميتة تتضمن بالإضافة إلى الوزن الذاتي للهيكل الإنشائي أوزان مواد الإكساء، وهي عالية نسبياً، بينما الحمولات الحية قليلة، أما في المصانع وعلى عكس ذلك تكون نسبة الحمولات الميتة / الحية صغيرة نظراً لان أوزان مواد الإكساء قليلة نسبياً بينما الحمولات الحية عالية.

ـمادة الإنشاء: كما تتأثر هذه النسبة كثيراً بمادة الهيكل الإنشائي فهي مرتفعة في الأبنية الحجرية ومتوسطة في الأبنية ذات الهيكل الإنشائي من البيتون المسلح وصغيرة في الأبنية ذات الهيكل المعدني.

ومن جهة أخرى فإن نسبة الحمولات الميتة / الحية وتغيرها تؤثر تأثيراً كبيراً على إختيار نوع الهيكل الإنشائي، وخاصة عند إختيار الجوائز. فعندما تزداد المجازات لهذه الجوائز تزداد تبعاً لذلك العزوم المطبقة والناتجة عن الحمولات الميتة والحية معاً. وبالتالي تزداد أبعاد الجوائز اللازمة لتحمل هذه العزوم. إن زيادة هذه الأبعاد يعني إضافة مواد جديدة وزيادة في الحمولات الميتة مما يؤدي إلى زيادة العزوم المطبقة وهكذا ... ، فكلما زادت أطوال المجازات زادت نسبة الحمولات الميتة / الحية ولكن بشكل كبير جداً وحتى نصل في النهاية إلى قيم كبيرة بصورة غير معقولة.

عندما نصل إلى هذه المرحلة يجب أن نغير شكل الجوائز إلى أنواع أخف، فالجوائز المستقيمة يمكن أن تتحول إلى الأشكال المنحنية كالأقواس والقشريات، والجوائز المؤلفة من مقاطع معدنية مصمتة

تتحول إلى مقاطع مركبة مفرغة أو جوائز شبكية لتخفيف وزنها . إن هذا التغيير يؤدي إلى تقليل نسبة الحمولات الميتة / الحية . ولكنه بنفس الوقت يؤدي إلى زيادة تكاليف التصنيع والتنفيذ بالرغم من الوفر في المواد المستخدمة . لذلك فإن النظرة الإقتصادية والتكلفة الكلية للهيكل الإنشائي هي التي تحدد المجاز الذي يجب أن نغير الهيكل الإنشائي عنده من شكل لآخر . فإذا كانت أسعار المواد المستخدمة رخيصة مثلاً وتكاليف التنفيذ واليد العاملة غالية يتم التغيير في المجازات الكبيرة ، أما إذا كانت وعلى العكس أسعار المواد غالية وتكاليف التنفيذ واليد العاملة هي الرخيصةعندئذ يتم التغيير في المجازات الأصغر .

٢ ـ ٤ ـ تقييم الحمولات الميتة : EVALUATION OF DEAD LOADS

تتألف الحمولات الميتة من الوزن الذاتي للهيكل الإنشائي إضافة إلى الأوزان الميتة الإضافية وهي جميع أوزان مواد الإكساء اللازمة ليقوم المنشأ بوظيفته على أكمل وجه ، بما فيها وزن الجدران والأبواب والنوافذ والبلاط ، وبقية مواد الإكساء .

وبالرغم من أ ن تقدير أوزان مواد الإكساء اللازمة يمكن أن يتم بسهولة إلا أن الوزن الذاتي للهيكل الإنشائي لايمكن تحديده بهذه السهولة ، فالعناصر الإنشائية كالبلاطات والجوائز والأعمدة تعتمد أبعادها ، وبالتالي أوزانها الذاتية ، على العزوم الكلية المطبقة والناتجة عن الحمولات الكلية والتي تتضمن وزنها الذاتي . وبذلك فإن المصمم الإنشائي يواجه مشكلة صعبة وهي أنه لا يمكن حساب أبعاد المقاطع دون أن نعرف أولاً الحمولات الميتة والتي نعتمد على هذه الأبعاد . ولكسر هذه الحلقة المفرغة جرت العادة على إفتراض أبعاد تقريبية للمقاطع ، معتمدين على الخبرة السابقة وعلى طرق وقوانين تقريبية وبذلك يتم تقدير الوزن الذاتي وتحديد الحمولات الكلية . وعند الإنتهاء من التصميم النهائي لهذه المقاطع يجب التأكد من أن الأبعاد النهائية وأوزانها الذاتية قريبة من الأوزان الذاتية المفترضة مسبقاً . فإذا كان الفرق بسيطاًبحدود (١٠٪) ، نبقي التصميم على حاله وإلا يتم تعديل الوزن الذاتي والحمولات الكلية ويعاد التصميم مرة أخرى .

٢ ـ ٤ ـ ١ ـ تقييم الأوزان الميتة الإضافة :

EVALUATION OF ADDITIONAL DEAD WEIGHTS

يمكن حساب الأوزان الميتة الإضافية حسب الأبعاد والأحجام للمواد المستخدمة وأوزانها الحجمية. إن القياسات والأبعاد والمسافات الملحوظة في التصميم تكون كافية إجمالاً لتقدير الأحجام وتحديد الأوزان، إلا في بعض الحالات الخاصة، كالقشريات الرقيقة، حيث ينتج عن زيادة ضئيلة في السماكات المنفذة أوزاناًذاتية إضافية هامة نسبياً، وفي هذه الحالة يجب أخذ هذه الزيادة في الحسبان .

المادة	الوزن الحجمي KN/M^3
ـ البيتون العادي دون تسليح	24.0
ـ فولاذ التسليح	78.5
ـ البيتون المسلح	25.0
ـ الأحجار: رملي ـ بازلتي	23.0 - 30.0
ـ البلوك الملئ	20.0
ـ البلوك المفرغ	14.0 - 19.0
ـ البحص والرمل	15.0 - 18.0
ـ البلاط والسيراميك	24.0 - 25.0
ـ بناء عادي مع المونة	18.0 - 20.0
ـ البيتون الخفيف	12.0 - 20.0
ـ الإسمنت (فلت)	10.0 - 12.0
ـ الزريقة (الطينة)	20.0
ـ الجبول الإسفلتي	23.0

الجدول (٢ ـ ١) الوزن الحجمي لبعض مواد البناء.

يمكن في العادة إعتماد الأوزان الحجمية الواردة في الجدول (٢ ـ ١) التالي لتحديد الأوزان الميتة الإضافية لبعض مواد البناء المستخدمة .

كما يجب التنويه إلى أن بعض الأنظمة والكودات تعطي قيماً تقريبية لأوزان مواد الإكساء المستخدمة ، فمثلاً للأسقف تؤخذ أوزان البلاط والمونة والرد م أسفله كاملة وذلك حسب مايلي :

ـ البلاط دون تمديدات التدفئة = $200\ Kg / M^2 = 2.0\ KN / M^2$.

ـ البلاط مع وجود تمديدات التدفئة = $300\ Kg / M^2 = 3.0\ KN / M^2$.

٢ ـ ٤ ـ ٢ ـ تقييم الأوزان الذاتية EVALUATION OF OWN WEIGHTS

إن تقييم الأوزان الذاتية لعناصر الهيكل الإنشائي يحتاج لخبرة عملية ، وهو من المهارات التي تكتسب بالممارسة . ومن البديهي أن تكون تقييمات المهندس المبتدئ بعيدة عن الصواب أحياناً ، ولكن مع الممارسة والخبرة تقترب هذه التقييمات أكثر فأكثر من الواقع . كما يجب ملاحظة أنه وفي العناصر ذات الأبعاد الصغيرة ، كالجوائز ذات المجازات القصيرة ، يمكن تحديد الأوزان الذاتية بدقة مقبولة وعدة لانحتاج لإعادة التصميم ، بينما عندما يكبر المجاز بصورة كبيرة وتذادا الحمولات عليه يحتاج تحديد الأوزان الذاتية لدقة أكبر ، وعادة مانضطر لإعادة التصميم .

تحدد الأوزان لعناصر منشآت البيتون المسلح إعتماداً على الأبعاد التقريبية للمقاطع والتي تحدد بناء على أبعاد ومجازات هذه العناصر . ويمكن إعطاء فكرة عن بعضها حسب مايلي :

ـ المنشآت القشرية : وتؤخذ سماكتها عادة مابين 60mm إلى 100mm .

ـ البلاطات المليئة : وتؤخذ سماكتها عادة مابين 100mm إلى 150mm .

وتحدد عادة بنسبة (1 / 25) من البعد الأصغر للبلاطة .

ـ البلاطات الهوردي : وتؤخذ سماكتها عادة مابين 200mm إلى 300mm .

وتحدد عادة بنسبة(1 / 20)من البعد الصغر للبلاطة .

ـ الجوائز : ويحدد ا رتفاعها عادة بنسبة (1 / 10)إلى (1 / 15) من المجاز .

وعرضها بنسبة (2/ 1) إلى (5 / 1) من الإرتفاع.

أما في المنشآت المعدنية فيمكن تحديد الوزن الذاتي للجوائز الشبكية بحدود (15 - 25 Kgs /M^2= 0.15 - 0. 25 KN / M^2) من المنطقة المغطاة وذلك حسب المجازات يضاف إليها أوزان عناصر تغطية السقف. وهي بحدود (10 - 20 kgs / M^2 = 0. 10 - 0.20 KN/ M^2) .

٢ ـ ٥ ـ تقييم الحمولات الحية: EVALUATION OF LIVE LOADS

تعرف الحمولات الحية بأنها الحمولات الناتجة عن إستخدام المنشأ وبالتالي فأية حمولة لم تؤخذ بعين الإعتبار كحمولة ميتة تعتبر حمولة حية، ويمكن تمييز الحمولات الحية عن الميتة بأن لها خاصية عدم التطبيق بصورة دائمة إذ يمكن أن تطبق في وقت ما، ولا تطبق في وقت آخر. كما أنه يمكن أن تطبق على بعض أجزاء المنشأ دون أن تطبق على بقية الأجزاء.

إن الطريقة غير المنتظمة هذه في تطبيق الحمولات الحية تجعلنا نواجه عند تقييمنا لها مشكلتين إثنتين:

١ـ يجب تحديد قيمة كل الحمولات الحية التي يمكن أن تطبق على المنشأ .

٢ ـ يجب تحديد أسوا شكل من أشكال التحميل الناتج عن كامل الحمولات والتي يمكن أن تطبق على المنشأ خلال عمره الإفتراضي.

٢ ـ ٥ ـ ١ ـ أنواع الحمولات الحية: TYPES OF LIVE LOADS

تقسم الحمولات الحية إلى نوعين رئيسيين :

أ ـ الحمولات الحية غير الديناميكية (حمولات غير متحركة).

ب ـ الحمولات الحية الديناميكية (حمولات متحركة).

٢ ـ ٥ ـ ١ ـ ١ ـ الحمولات الحية غير الديناميكية: STATIC LIVE LOADS

تعرف الحمولات الحية غير الديناميكية بمايلي:

١ ـ الأوزان غير المتحركة والتي قد تنقل من مكانها من وقت إلى آخر كأثاث البيوت والأجهزة والآلات الثابتة غير الديناميكية والمواد المخزنة.

٢ ـ أوزان الأشخاص مستخدمي المنشأ.

المنشأ أو العنصر		الحمولة الحية الموزعة $100\ Kg / M^2 = KN / M^2$
الأسطح الأخيرة	ـ لايمكن الوصول إليها	1.0
	ـ يمكن الوصول إليها	2.0
الأبنية السكنية	ـ الغرف	2.0
	ـ أدراج	3.0
	ـ الشرفات	4.0
المكاتب والمشافي والفنادق	ـ الغرف	3.0
	ـ أدراج	4.0
المكتبات	ـ غرف مطالعة	3.0
	ـ غرف تخزين ومطالعة	5.0
الصالات والقاعات والمدرجات	ـ مقاعد ثابتة	5.0
	ـ مقاعد متحركة	6.0
	ـ منصة مسرح	6.0
السينما والمسارح ودورالعبادة	ـ مقاعد ثابتة	5.0
المخازن والمستودعات والمطابع والمرائب	حسب المواد والآلات	5.0 _ 10.0

الجدول (٢ ـ ٢) الحمولات الحية للمنشآت المختلفة.

تدخل هذه الحمولات في الحساب بشكل حمولات موزعة بانتظام على المنشأ، رغم أن الحمولات في كل نقطة مختلفة عن الأخرى، وتؤخذ قيم هذه الحمولات الموزعة حسب الأنظمة والكودات المخصصة لحساب الحمولات، ويبين الجدول (٢ ـ ٢) بعض الحمولات الحية المعتمدة للمنشآت المختلفة.

٢ ـ ٥ ـ ١ ـ ٢ ـ الحمولات الحية الديناميكية DYNAMIC LIVE LOADS:

ليس من الضروري أن تكون الحمولات الحية حمولات متحركة، ولكن العكس صحيح، فالحمولات المتحركة هي نوع من الحمولات الحية، في المباني العادية يكون تأثير الحمولات المتحركة، كحركة العربات الصغيرة ضئيلاً بحيث يمكن إعتباره ضمن الحمولة الحية غير الديناميكية الموزعة على المنشأ. أما في المنشآت الأخرى وعندما تكون الحمولات الحية المتحركة ذات قيم أكبر، فإن تأثيراتها على تصميم المنشأ يكون كبيراً وهاماً ويجب تحديده بصورة مباشرة. فمثلاً وفي المصانع يمكن أن تطبق على عناصر الهيكل الإنشائي حمولات حية متحركة كبيرة نتيجة لوجود الروافع ولحركتها مع الأثقال المحمولة بها . وعند تصميم الجسور الحاملة للسيارات والقطارات تكون أغلب الحمولات الحية أحمالاً متحركة وهي بصورة أساسية أوزان السيارات والقطارات المنتقلة إلى المنشأ عن طريق الإطارت، وعند دراسة هذه المنشآت يؤخذ بعين الأعتبار مقدار الحمولات المطبقة، ونقاط التطبيق، والأبعاد بين المحاور، وأماكن التطبيق...الخ.

UNIVERSITY OF ALEPPO

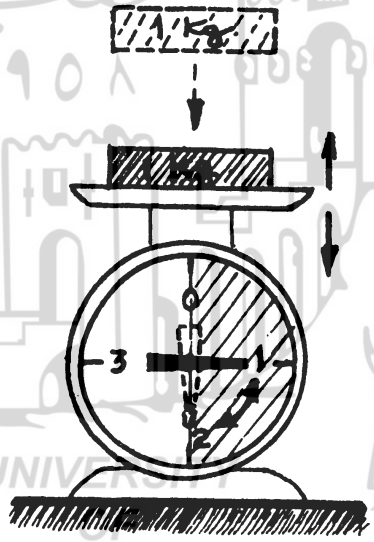
٢ ـ ٥ ـ ١ ـ ٣ ـ التأثيرات الديناميكية للحمولات المتحركة:

DYNAMIC EFFECTS OF MOVABLE LOADS

إن تأثيرات الحمولات المتحركة يجب أن تدرس على كامل المنشأ لانها يمكن أن تطبق على نقاط عديدة متنقلة على كامل هذا المنشأ، ويمكن أن تكون هذه التأثيرات كبيرة نتيجة للعامل الديناميكي. فمثلاً في الروافع يمكن أن تنتقل نقاط تطبيق القوى حسب مكان الرافعة إضافة للعامل الديناميكي الناتج عن الصدمات والإهتزاز أو سقوط الأحمال وقوى الفرملة. ومن البديهي ونتيجة للعامل الديناميكي أن

تتولد في مقاطع وعناصر المنشأ قوى وإجهادات أعلى بكثير منها في حال تطبيق نفس الحمولات بصورة هادئة أو توازنية.

ولأخذ ذلك بعين الأعتبار عند التصميم تحدد الكودات والأنظمة العالمية مقدار الحمولات الإضافية الناتجة عن العامل الديناميكي والصدمات ، وتعتمد هذه الحمولات على إتجاه الحركة ومقدار الإهتزاز. وبصورة عامة، وفي الحالات العادية يمكن اعتماد قاعدة تقريبية بزيادة الحمولات الحية الديناميكية المطبقة على عنصر ما بنسبة تقريبية تتراوح مابين (5%) إلى (25%) ، وذلك للأخذ بعين الإعتبار التأثيرات الديناميكية وبحيث .تختلف هذه النسبة حسب نوع الحمولات والمنشآت ويعطي الشكل(٢ـ ٢)فكرة بسيطة عن تأثيرات الحركة الديناميكية(إلقاء الوزن)على زيادة الحمولة على المنشأ.



شكل رقم (٢ ـ ٢)

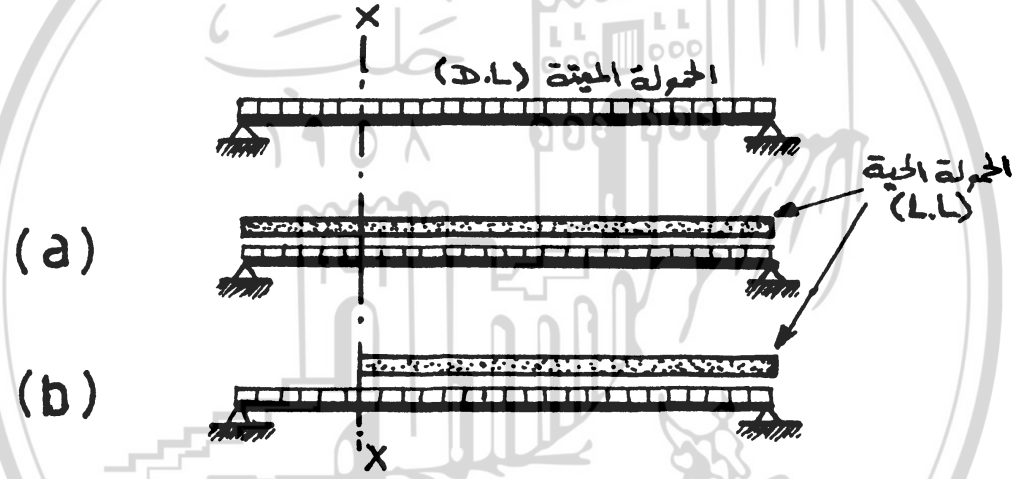
تأثير الحركة الديناميكية على زيادة الحمولات .

٢ ـ ٥ ـ ٢ ـ أشكال التحميل: CASES OF LOADING

إن تحديد قيمة الحمولات الحية المطبقة على عناصر المنشأ لا يكون كافياً لوحده لدراسة هذه الحمولات، نظراً لأنها قد تكون مطبقة على المنشأ في حالة ما، وغير مطبقة في حالة أخرى، أو قد تكون

مطبقة جزئياً على قسم من المنشأ فقط. لذلك يجب دراسة جميع أشكال وحالات التحميل الممكنة ولجميع الحمولات الحية المطبقة وذلك لتحديد الحالة التي تعطي أكبر تأثير ممكن على المنشأ. علماً أن حالة التحميل التي تعطي أكبر تأثير بالنسبة لعزوم الإنعطاف قد لاتكون هي نفسها التي تعطي أكبر تأثير بالنسبة لقوى القص.

فمثلاً في الجائز البسيط الشكل (٢ ـ ٣)، نحصل على أكبر عزم ممكن في المقطع X - X عند تطبيق الحمولة الحية على كامل الجائز، بينما نحصل على أكبر قوة قص ممكنة لنفس المقطع X - X إذا كانت الحمولة الحية مطبقة على أحد طرفي المقطع فقط، وأي تطبيق لهذه الحمولات على الطرف الآخر يؤدي إلى تقليل قيمة قوة القص هذه.



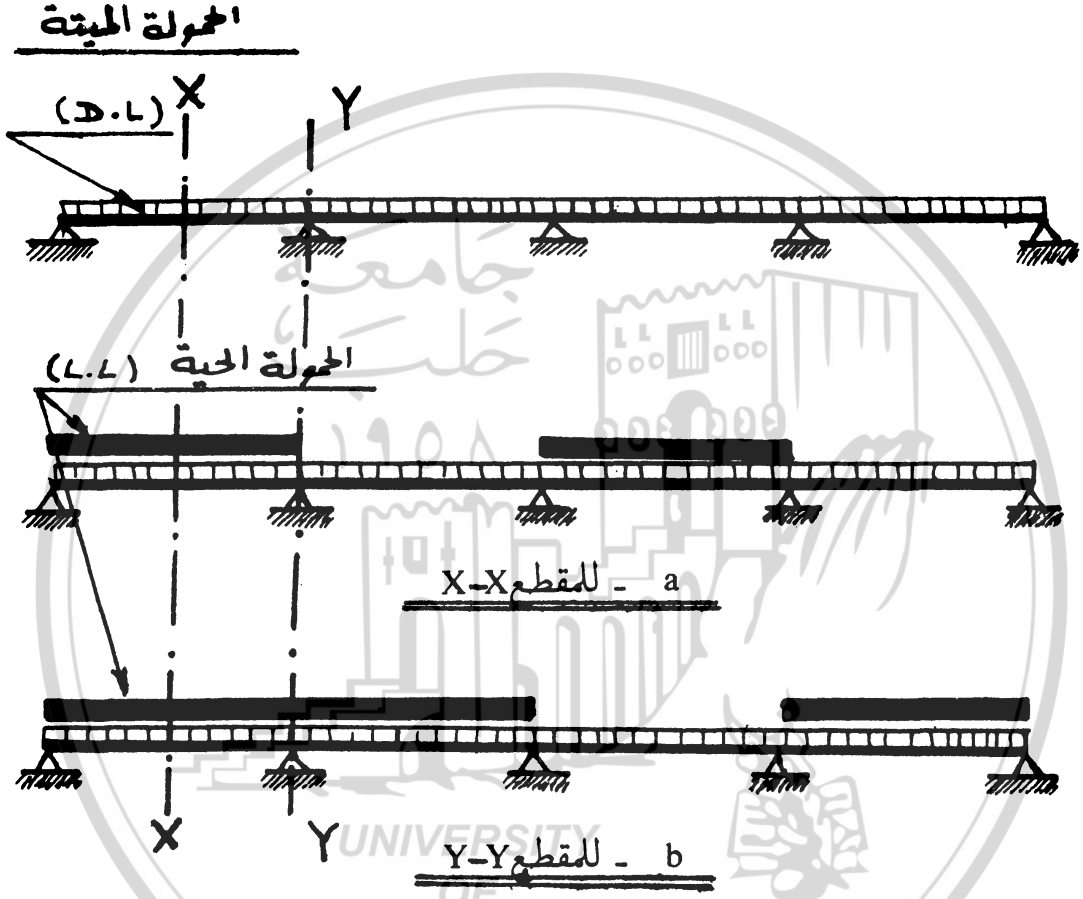
شكل رقم (٢ـ ٣) أشكال التحميل ذات التأثير الأكبر للمقطع X-X :

a ـ التحميل ذو التأثير الأكبر بالنسبة لعزوم الإنعطاف.

b ـ التحميل ذو التأثير الأكبر بالنسبة لقوة القص.

وفي هذه المنشآت الأكثر تعقيداً وخاصة في الجوائز المستمرة والإطارات .تكون أشكال التحميل المختلفة ذات تأثيرات كبيرة على القوى الداخلية وفي بعض الأحيان، وخاصة عندما تكون الحمولات الحية كبيرة، قد تؤدي أشكال التحميل المختلفة إلى تغيير كبير في شكل مخططي عزوم الإنعطاف وقوى القص من حيث القيمة والإتجاه والإشارة أيضاً، وعند دراسة هذه المنشآت يجب تحديد أشكال

التحميل التي تعطي أكبر التأثيرات لكل مقطع على حدة ، حيث أن لكل مقطع من المنشأ شكلاً مختلفاً من أشكال التحميل يعطي أكبر التأثيرات بالنسبة لعزوم الإنعطاف، وشكلاً آخر بالنسبة لقوى القص ويبين الشكل رقم (٢ ـ ٤) أشكال التحميل ذات التأثير الأكبر بالنسبة لعزوم الإنعطاف وذلك للمقطع x-x في منتصف الجاز الأول والمقطع y- y عند المسند الثاني.



شكل رقم (٢ ـ ٤) أشكال التحميل ذات التأثير الأكبر بالنسبة لعزم الإنعطاف

a ـ لمنتصف الجاز الأول ، المقطع (x-x)

b ـ عند المسند الثاني، المقطع (y-y)

٢ ـ ٦ـ تقييم الحمولات غير الوزنية:

EVALUATION OF LOADS OTHER THAN WEIGHTS

تشمل الحمولات غير الوزنية أنواعاً مختلفة. ويقصد بها جميع الحمولات الناتجة عن غير الثقالة

الأرضية، ومن أهمها حمولة ضغط الرياح وحمولة الهزات الأرضية، كما نذكر منها حمولة ضغط القنابل على جدران الملاجئ ، وكذلك القوى الأفقية الناتجة عن حركة وفرملة الروافع في المصانع والورشات ، إضافة إلى ضغط السوائل على السدود والخزانات.

٢ـ٦ـ١ ـحمولة الرياح : WIND LOAD

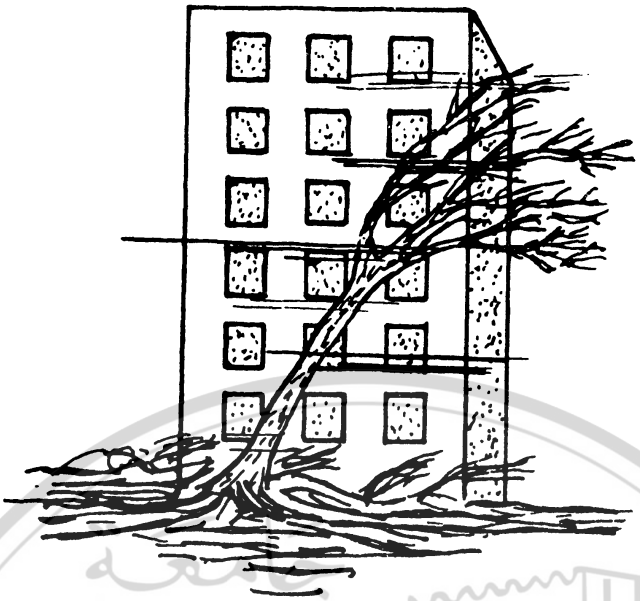
يتم تقييم حمولة الرياح إنطلاقاً من فرضية أساسية تعتمد على أن الطاقة الحركية للرياح والناتجة عن سرعتها تتحول إلى طاقة ضغط ستاتيكي مكافئ بمجرد إصطدام هذه الرياح بحاجز ثابت، ويعتمد هذا الضغط على سرعة الريح.

تقوم دوائر الأرصاد الجوية عادة بإعطاء قيمة سرعة هبات الرياح القصوى السنوية للمناطق المختلفة، وعادة يؤخذ بالإعتبار عن تصميم المنشآت سرعة هبة الرياح القصوى التي لا يمكن تجاوزها أكثر من مرة واحدة خلال خمسين عاماً متتالية .

لقد بينت التجارب أن التأثيرات الديناميكية لحمولة الرياح على المنشآت العادية والأبنية قليلة الإرتفاع صغيرة نسبياً ويمكن إهمالها وخاصة في المنشآت التي لا تزيد النسبة بين ارتفاعها وعرض واجهتها المواجهة للرياح عن (4) مرات. حيث يمكن أخذ تأثير الرياح الكلي بصفة حمولة ضغط غير ديناميكي (ستاتيكي)منتظم وأفقي موزع على كامل عرض الواجهة المعرضة للرياح ، وتعتمد قيمة هذه الحمولة على جملة من العوامل التي يجب أخذ تأثيراتها بعين الإعتبار عند الدراسة، الشكل (٢ ـ ٥) وهي:

١ ـالسرعة القصوى لهبات الرياح التي يمكن أن تحدث في مكان تنفيذ المنشأ، والتي لايمكن تجاوزها أكثر من مرة واحدة خلال خمسين عاماً متتالية.

٢ ـمقدار الضغط الستاتيكي المكافئ للسرعة القصوى لهبات الرياح تلك ، وكيف يتغير هذا الضغط على المنشأ بتغير السرعة.



شكل رقم (٢ ـ ٥)

حمولة ضغط الرياح على المباني ـ حمولة ستاتيكية.

٣ ـ كيف تتغير تأثيرات حمولة الرياح مع تغير شكل المنشآت، مستوية وشاقولية ،مائلة ودورانية، إضافة إلى تأثير خشونة السطوح المعرضة للرياح، ويعبر عنها بمعامل يدعى معامل السطح.

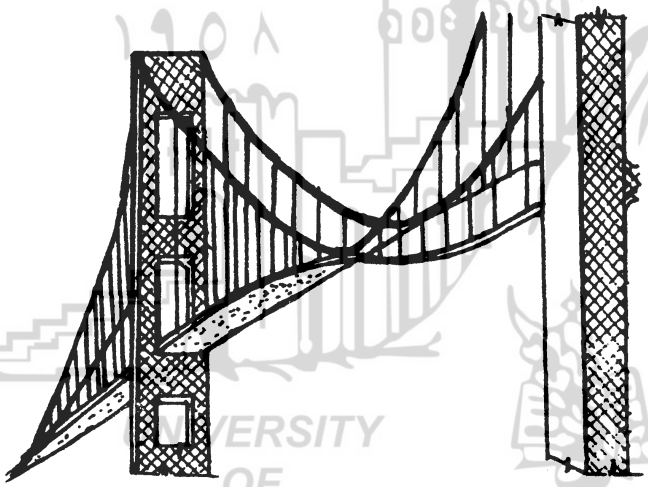
٤ ـ كيف يتغير ضغط الرياح على المنشأ مع تغير الإرتفاع عن سطح الأرض، حيث يزداد الضغط كلما زاد إرتفاع المنشأ .ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل علو المنشأ.

٥ ـ ماهو تأثير موقع المنشأ، ومقدار حماية هذا المنشأ من فعل الرياح أو من تعرضه لها وذلك حسب المنشآت والمباني المجاورة، حيث تتعرض المنشآت لضغوط أكبر من الرياح إذا كانت واقعة على شواطئ البحار أو رؤوس التلال ولضغوط أقل إذا كانت محمية من الرياح بالتلال المجاورة أو بالعناصر والمباني الثابتة الأخرى ويعبر عن ذلك بمعامل يدعى معامل الموقع.

إن هذه العوامل وعوامل أخرى مشابهة كثيرة قد تمت دراستها وتم لحظ تأثيراتها بطرق مختلفة حسب الأنظمة والكودات العالمية، وخاصة بعد إستخدام الأنفاق الهوائية وإختبار نماذج المنشآت منها، والتي أعطتنا معلومات دقيقة وكثيرة عن حمولة ضغط الرياح.

عند تقييم حمولة الرياح على المنشآت والمباني العادية تطبيق حمولة دفع ستاتيكية أفقية موزعة على الأسطح وحمولة سحب أفقية موزعة أيضاً على الأسطح المعاكسة لها، كما تطبق أحياناً حمولة سحب للأعلى على الوجه الخارجي للسقف في المنشآت ذات الطابق الواحد كالمستودعات والمعامل وذات السقف المثلثي أو المقوس.

أما المباني العالية والنحيفة كناطحات السحاب والتي لا تنطبق عليها الإشتراطات البعدية الواردة سابقاً وكذلك المنشآت الهندسية الضخمة كالجسور المعلقة والطويلة فتتعرض إلى تأثيرات ديناميكية كبيرة ناتجة عن سرعة هبات الرياح يجب أخذها بعين الإعتبار، الشكل (٢ ـ ٦) ويتم ذلك بإجراء دراسة ديناميكية معقدة لحركة المنشأ تحت تأثير سرعة هبات الرياح، وتحديد القوى الأعظمية المطبقة عليه وتغيرها مع الزمن.



شكل رقم (٢ ـ ٦)

تأثير ضغط الرياح على الجسور المعلقة ـ حمولة ديناميكية.

٢ ـ ٦ ـ ٢ ـ حمولة الهزات الأرضية: EARTH QUAKE LOAD

تقسم البلاد العربية إلى خمس مناطق من وجهة التعرض للزلازل :

ـ المنطقة (0) : لا تعد معرضة لزلازل تذكر ، حتى الدرجة (V) مقياس ميركالي المعدل MM .

ـ المنطقة (1) : لا تعد معرضة لزلازل قوية بل زلازل يمكن الشعور بها وتحدث بهدمات بسيطة ، حتى الدرجة (VI) MM .

ـ المنطقة (2) : معرضة لزلازل متوسطة التسارع تحدث تهدمات متوسطة ، حتى الدرجة (VII) MM.

ـ المنطقة (3) : تكثر فيها الزلازل ، وتعد معرضة لزلازل عالية التسرع تحدث تهدمات ملحوظة ، حتى الدرجة (VIII) MM .

ويجرى تصنيف المناطق في كل بلد عربي حسب الأنظمة والكردات الخاصة المعتمدة لهذا البلد ، وفي الجمهورية العربية السورية يعتمد التصنيف على الخارطة الزلزالية التي توضح توزع مناطق إحتمالية التعرض للخطر الزلزالي لحقبة زمنية مقدارها 1000 عام ، الشكل (٢ ـ ٧) .

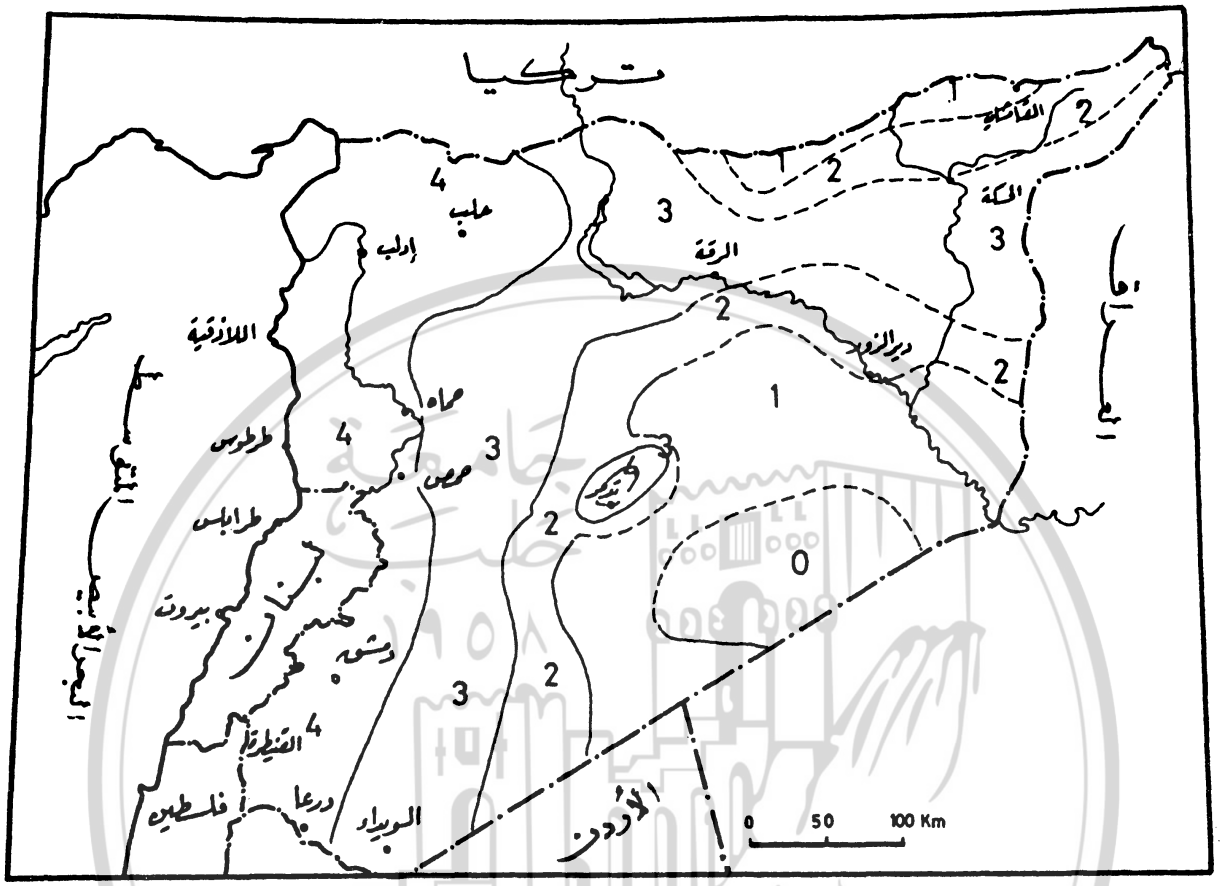
يتم تقييم حمولة الهزات الأرضية في المنشآت والأبنية العادية وفق التعليمات الواردة في الأنظمة والكودات العالمية . حيث يتوجب تصميم وتنفيذ كل منشأ ، وكل جزء منه ، في المناطق الخاضعة لخطر الزلازل لمقاومة قوى أفقية جانبية تمثل قوى الزلازل مطبعة عند مركز ثقل كل منسوب من مناسيب المنشأوتؤثر باتجاه المحاور الرئيسية للمنسوب المدورس وبالإتجاه المدروس . وتعتمد قيمة هذه القوى على جملة من العوامل التي يجب أخذها بعين الإعتبار عند الدراسة وهي :

١ ـ مقدار قوة الهزة الأرضية وتسارعها وبعد مركز الزلزال عن المنشأ وعمق البؤرة الزلزالية ، ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل زلزالية المنطقة .

٢ ـ اتجاه الهزة الأرضية بالنسبة لمحاور المنشأ .

٣ ـ نوع وأهمية المنشأ وطبيعة استخدامه ، حيث أن هناك منشآت من الضروري استمرار وظائفها عند حدوث الكوارث الطبيعية ، كمباني المطافي ومراكز الشرطة والمستشفيات ومباني الإدارة

وغرف العمليات في الأوقات الحرجة ، ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل أهمية المنشأ وطبيعة استخدامه .



شكل رقم (٢ ـ ٧) خارطة توزع مناطق إحتمالية التعرض للخطر الزلزالي لحقبة زمنية مقدارها 1000 عام في الجمهورية العربية السورية .

٤ ـ نوع وطبيعة الهيكل الإنشائي والعناصر المقاومة في المنشأ والمواد المستخدمة وكيفية تصرفها وسلوكها اللامرن تحت تأثير قوى الهزة الأرضية ، ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل السلوك اللامرن .

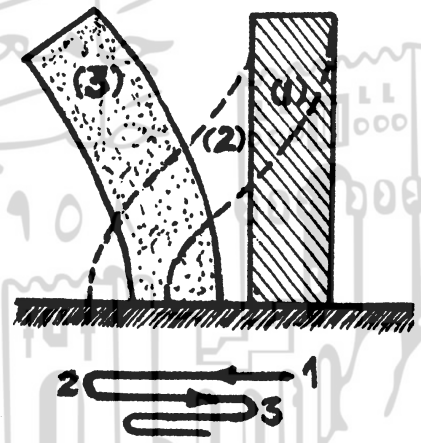
٥ ـ مقدار تسارع المنشأ تحت تأثير الهزة الأرضية ودور الأهتزاز الأساسي للمنشأ ، و الذي يعتمد على شكل المنشأ وأبعاده وارتفاعه ، ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل نسبة التسارع .

٦ ـ نوع ومقاومة تربة التأسيس والترابط المشترك والطنين بين أساسات المنشأ وتربة تأسيسه ،

والدور الأساسي للإهتزاز لكلا المنشأ والتربة، ويعبر عنه بمعامل يدعى معامل التربة.

٧ ـ الوزن الكلي للمنشأ والحمولات المطبقة عليه.

أما المباني العالية والنحيفة، وكذلك المنشآت الهندسية الضخمة فتتعرض إلى تأثيرات ديناميكية كبيرة ناتجة عن تسارع الهزة الأرضية، يجب أخذها بعين الإعتبار، الشكل (٢ ـ ٨). ويتم ذلك باجراء دراسة ديناميكية معقدة لحركة وإهتزاز المنشأ تحت تأثير الهزة الأرضية وتحديد القوى الأعظمية والإجهادات المطبقة عليه وتغيرها مع الزمن.



شكل رقم (٢ ـ ٨)

التأثيرات الديناميكية للهزة الأرضية.

٢ ـ ٧ ـ تقييم التأثيرات الأخرى : EVALUATION OF OTHER EFFECTS

هناك تأثيرات كثيرة يمكن أن تندرج ضمن هذا العنوان، ومن أهمها : تأثيرات تغير درجة الحرارة والإنكماش في البيتون والزحف والحركة والهبوط في مساند المنشأ وكذلك الأخطاء الناتجة عن التنفيذ وأسلوب وحمولات التنفيذ، وعادة ماتقاوم هذه التأثيرات بصورة أساسية باتجاه الإجراءات والإحتياطات المطلوبة. أما إذا كان ذلك غير ممكن في بعض الحالات الخاصة فيجب عندئذ حساب قيم هذه التأثيرات وإدخالها في التصميم الإنشائي.

٢ ـ٧ ـ ١ ـ تأثيرات تغير درجة الحرارة والإنكماش:

THE EFFECTS OF TEMPERATURE CHANGES AND SHRINKAGE

تقسم المنشآت من حيث الحرارة والإنكماش إلى قسمين:

ـ المنشآت التي لا يعترض تشكلها الخارجي من حيث التمدد والتقلص أية موانع أو حواجز، وبحيث يجري هذا التشكل بحرية تامة. ولا يلحق بهذا النوع من المنشأت أية أفعال نتيجة لتغير درجة الحرارة والإنكماش.

ـ المنشآت التي لاتملك الحرية التامة في التشكل الخارجي، و تعد مقيدة التشكل، فينتج عن ذلك أفعال من جراء تغير درجة الحرارة الإنكماش يمكن تقديرها حسب مايلي:

٢ ـ٧ ـ ١ ـ ١ ـ تقييم تأثيرات تغير درجة الحرارة:

EVALUATION OF TEMPERATURE GHANGE EFFECTS

يمكن إعتبار تأثيرات نوعين مختلفين من تغير درجة الحرارة هما:

١ ـ تغير درجة الحرارة للجو الخارجي:

في المنشآت مقيدة التشكل، والموجودة في الهواء الطلق، ونظراً لإختلاف درجة الحرارة للجو الخارجي صيفاً وشتاءً، فإن عناصر الهيكل الإنشائي تتعرض إلى تغيرات من حيث التمدد والتقلص في أطوالها، الشكل رقم (٢ ـ ٩)، نتيجة للفروق القصوى في درجات الحرارة خلال عام كامل. مما يؤدي إلى تولد إجهادات إضافية على المنشأ ناتجة عن هذه التغيرات قد تكون كبيرة ويجب أخذها بعين الإعتبار.

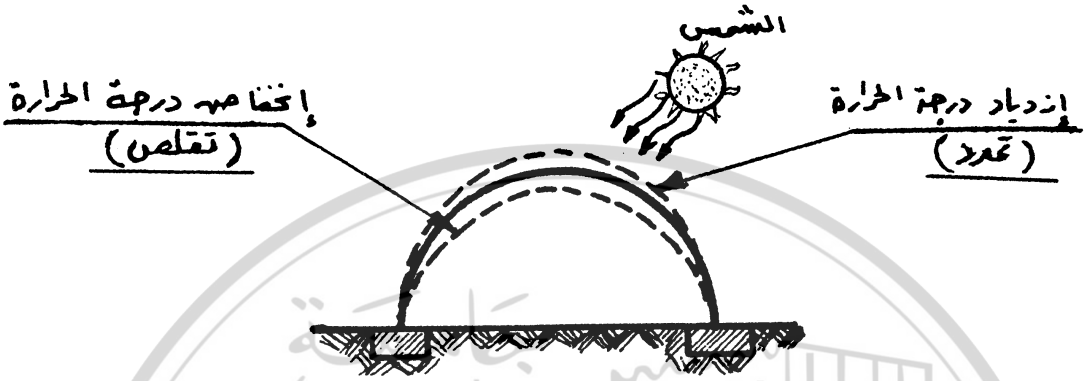
ونظراً لأن التغيرات متناسبة مع أطوال العناصر ولإهمال تأثيرات تغير درجة الحرارة فإنه يمكن تقسيم المنشأ بواسطة فواصل التمدد وبالإتجاهين، وبحيث لا تزيد المسافة القصوى بين هذه الفواصل عن:

(40)متراً في المناطق عالية الرطوبة.

(36) متراً في المناطق الرطبة .

(32) متراً في المناطق المتوسطة الرطوبة.

(28) متراً في المناطق الجافة .



شكل رقم (٢ ـ ٩)

تأثيرات تغير درجة الحرارة للجو الخارجي على المنشآت .

٢ ـ تأثيرات الحرارة الإصطناعية :

في بعض المنشآت المعرضة لحرارة إصطناعية كالأفران مثلاً، ونظراً لإختلاف درجة الحرارة داخل وخارج المنشأ، حيث تكون درجة الحرارة داخل المنشأ مرتفعة جداً ومعتدلة خارجة، فإن الأجزاء الداخلية للهيكل الإنشائي تتمدد بفعل الحرارة أكثر من الأجزاء الخارجية وبالتالي يتعرض المنشأ لدورانات في العناصر وبالتالي لإجهادات كبيرة يجب أخذها بعين الإعتبار. أما في البرادات، ونظراً لأن درجة الحرارة داخل المنشأ منخفضة جداً وأقل مماهي خارجه فإن الدورانات في العناصر وبالتالي الإجهادات المطبقة هي معاكسة لما هي عليه في الأفران.

٢ ـ ٧ ـ ١ ـ ٢ ـ تقييم تأثيرات الإنكماش:

EVALUATION OF SHRINKAGE EFFECTS

يحصل الإنكماش في البيتون خاصة، ويكون على شكل تقاصر منتظم في أبعاده، وينتج عنه

في المنشآت المقيدة التشكل قوى محورية يتم حسابها. وتتأثر قيمة إنكماش البيتون بعوامل عديدة أهمها تبخر الماء الحر في البيتون، وهويستمر لمدة طويلة، ويتعلق بعوامل مختلفة أهمها :

١ ـ رطوبة الجو المحيط : حيث يقل الإنكماش بزيادة الرطوبة المحيطة.

٢ ـ نسبة الماء إلى الإسمنت : حيث يزداد الانكماش مع زيادة هذه النسبة.

٣ ـ الزمن : حيث يزداد الإنكماش مع الزمن، ويتم الجزء الأكبر منه خلال الأشهر الأربعة الأولى وتتوقف هذه الزيادة بمضي ثلاث سنوات .

٤ ـ سماكة العنصر : حيث يزداد الإنكماش مع قلة السماكة .

٥ ـ نوع الركام : حيث يزداد الإنكماش كلما خف الوزن النوعي لركام .

ولإهمال تأثيرات الإنكماش فإنه يمكن تنفيذ فواصل تدعى فواصل التقلص، حيث يتم حسب البيتون على مراحل مع ترك فواصل بينها، ويمكن أن تملأ بعد تصلب الجزئين المجاورين وحدوث الإنكماش فيها.

٢ـ٧ ـ ٢ ـ تأثيرات الإنفعالات طويلة الأجل (الزحف) :

EFFECTS OF CREEP

إذا بقيت عناصر الهيكل الإنشائي البيتونية تحت تأثير الحمولات لمدة تزيد عن يوم واحد حدثت لها ، بالإضافة إلى الإنفعالات اللحظية المرنة، إنفعالات إضافية تزداد تدريجياً مع الزمن وتسمى الزحف. و من أهم العوامل المؤثرة على الزحف مايلي:

١ ـ مقدار نسبة إجهادات التحميل إلى المقاومة، حيث أن الزحف يتزايد بازدياد إجهادات التحميل.

٢ ـ رطوبة المحيط : حيث أن الزحف يتناقص بتزايد هذه الرطوبة.

٣ ـ عمر البيتون عند التحميل: حيث أن الزحف يتناقص كلما إزداد عمر البيتون عند التحميل.

٤ ـ نسبة الإسمنت في البيتون: حيث أن الزحف يزداد بازدياد هذه النسبة .

٥ ـ نسبة ماء الخلط: حيث أن الزحف يزداد بازدياد كمية ماء الخلط بالنسبة للإسمنت.

٦ ـ سماكة العنصر: حيث أن الزحف يزداد بتناقص السماكة .

٧ ـ الزمن : حيث أن الزحف يزداد مع مرور الزمن.

في عناصر منشآت البيتون المسلح وللأخذ بعين الإعتبار تأثيرات الإنفعالات الناتجة عن الزحف يتم إعادة توزيع عزوم الإنعطاف وقوى القص المطبقة على هذه العناصر، بحيث يتم زيادة العزوم الموجية عن القيم التي تعطيها طرق حساب الإنشاءات، والتي لا تأخذ بعين الإعتبار الإنفعالات الناتجة عن الزحف.

٢ ـ ٧ ـ ٣ ـ تأثيرات الهبوطات في المساند:

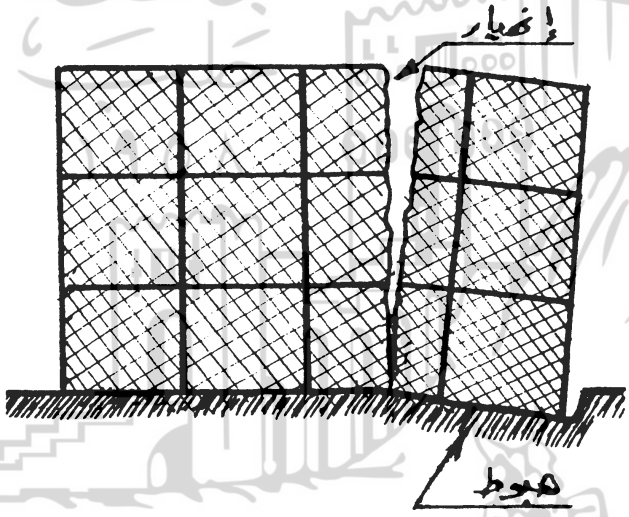
EFFECTS OF SUPPORTS SETTLEMENTS

نظراً لان كامل حمولات المنشأ ستنتقل بواسطة الأساسات إلى تربة التأسيس، فإن هذه التربة ستتعرض إلى إجهادات إضافية، وبالتالي إلى انتقالات وهبوطات ودورانات وذلك حسب نظرية المرونة. فإذا كانت تربة التأسيس صخرية أو قاسية، كانت هذه الإنتقالات والهبوطات مهملة ولاتؤثر على المنشأ. أما إذا كانت التربة رخوة أو غضارية فإن هذه الهبوطات ستكون كبيرة يجب أخذها بعين الإعتبار.

وعند هبوط بعض أساسات المنشأ بصورة أكبر بكثير من الأساسات الأخرى، نتيجة لإختلاف الإجهادات المطبقة أو إختلاف نوع التربة تحت الأساسات أو وجود فجوات تحتها، فإن ذلك يؤدي في

بعض المنشآت إلى تولد إجهدات إضافية عالية وعلى كامل عناصر الهيكل الإنشائي، وقد يؤدي أحياناً إلى إنهيار في أجزاء منه، الشكل(٢ ـ ١٠).

ويمكن التخفيف من أثر الهبوطات في المساند، وذلك بجعل الإجهادات تحت الأساسات متساوية ماأمكن، والتأكد من تجانس تربة التأسيس، وإذا كان المنشأ مؤلف من قسمين مختلفين في الإرتفاع فإنه يجب وضع فاصل بين هذين القسمين حتى لا يتأثر المنشأ بالهبوطات المختلفة في كل قسم، ويدعى هذا الفاصل بفاصل القطع أو الهبوط، كما يجب وأثناء التصميم الإنشائي إدخال تأثير الهبوطات المتوقعة في المساند على بقية العناصر، وبحيث تكون قادرة على تحمل الإجهادات الإضافية الناتجة عنها.



شكل رقم (٢ ـ ١٠) تأثيرات الهبوط في المساند

UNIVERSITY OF ALEPPO

٢ ـ ٧ ـ ٤ ـ تأثيرات حمولات التنفيذ: EFFECTS OF EXECUTION LOADS

ومن التأثيرات المهمة التي يجب أخذها بعين الإعتبار تأثيرات الحمولات المطبقة والناتجة عن أسلوب وطريقة التنفيذ، حيث أن العناصر السفلية من الهيكل الإنشائي يجب أن تكون قادرة على تحمل جميع الأحمال المطبقة عليها أثناء تنفيذ الأقسام العلوية، من وزن هذه الأقسام إضافة لوزن القالب المستخدم . فقد تؤدي بعض طرق التنفيذ إلى تطبيق حمولات على بعض العناصر تفوق الأحمال التي صممت لتحملها والتي ستتعرض لها خلال خدمتها الفعلية.

الفصل الثالث

مراحل التصميم الإنشائي

STAGES OF STRUCTURAL DESIGN

٣ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

إن مهمة المهندس الإنشائي هي تصميم هيكل إنشائي يكون قادراً على نقل الحمولات المطبقة على المنشأ وعبره إلى الأساسات ، ومن ثم تربة التأسيس بأمان. وإن كلمة تصميم تعني أنه لدى المهندس الإنشائي حرية إختيار الحل الإنشائي المناسب للمنشأ، وذلك من عدة حلول ممكنة مختلفة، يمكن أن يكون كل منها حلاً مقبولاً . ويمكن للمهندس الإنشائي الجيد أن يصل إلى حل مقبول وسليم وذلك بالتوفيق بين الإحتياجات المطلوبة من الهيكل الإنشائي والمنشأ بشكل عام والشروط المحلية وباستخدام المواد المتوفرة محلياً. وكمثال على ذلك فلقد أمكن لشعب الأسكيمو أن يجد حلاً ممتازاً لمشكلة الفراغ المغلق اللازم لسكنه ومعيشته(البيت الثلجي) ، وذلك باستخدام المواد المتوفرة لديهم، الجليد في البيئة ذات الثلج الدائم ، وبشكل جيد وباستخدام خواص هذه المادة بصورة فعالة. وكذلك فقد استطاع البدوي المتنقل دوماً في الصحراء أن يجد الحل الملائم لسكنه (بيت الشعر) القابل للبناء بسرعة والفك والحمل بسهولة وباستخدام المواد المتوفرة في البيئة الصحراوية، وبر الجمل . إن كلا التصميمين يستخدمان المواد المتوفرة بفعالية كبيرة وباستخدام خواص هذه المواد أحسن استخدام.

أما في المجتمعات المتحضرة والأكثر تقدماً فللمصمم الإنشائي مجالات كثيرة من الإختيارات من حيث المادة المناسبة من عدد كبير من المواد المتوفرة والتي يمكن أن تؤدي الغرض، وكذلك من حيث

إختيار الهيكل الإنشائي المناسب من بين الجمل الإنشائية الكثيرة المعروفة والملائمة لمادة الإنشاء المختارة. حيث أن هناك عدداً غير محدد من التراكيب الممكنة من البلاطات والجوائز والأقواس والقباب والأظفار والأعمدة والإطارات يمكن أن نختار منها التركيبة المناسبة للهيكل الإنشائي المطلوب تصميمه.

٣ ـ ٢ ـ مراحل التصميم الإنشائي : STAGES OF STRUCTURAL DESIGN

يبدأ التصميم الإنشائي من أفكار أولية عامة وخطوط رئيسية، ثم نتابع مراحل هذا التصميم مرحلة تلو أخرى وبالتتالي حتى نصل إلى حل للهيكل الإنشائي يكون فيه المنشأ في حالة توازن واستقرار وذلك طوال عمرة الإفتراضي وتحت تأثير كامل الحمولات التي ستطبق على المنشأ. وهذا يتطلب منا دراسة مقاومة الهيكل الإنشائي وثباته إضافة إلى ديمومته، وبالتالي يجب علينا تحديد المواد الإنشائية المستخدمة ودراسة خواصها إضافة إلى تقدير الحمولات المتوقعة ودراسة تأثيراتها. ويمكن باختصار تحديد مراحل التصميم الإنشائي كما يلي :

أ ـ اختيار مادة الهيكل الإنشائي ودراسة خصائصها :

إن هناك علاقة كبيرة بين مادة الهيكل الإنشائي المستخدمة وبين المواد في الجملة المعمارية للمنشأ. إذ يجب أن يتحقق التوافق التام بين هذه المواد وأن لا نشعر بأية فوارق بينهما. كما يجب على المهندس الإنشائي دراسة خصائص المواد المستخدمة في الهيكل الإنشائي إضافة لمدى توفرها وتكاليفها وأن يحدد بدقة المقاومات الأعظمية لهذه المواد، وبالتالي يمكن له تقدير إجهادات التصميم المقبولة. إذ أن أغلب الإنهيارات في المنشآت ناتج عن عدم استخدام المواد الإنشائية بشكل سليم وفعال.

ب ـ اختيار الجملة الإنشائية :

إن اختيار الجملة الإنشائية هي خطوة هامة جداً من خطوات تصميم الهيكل الإنشائي، وعليها يعتمد وبصورة كبيرة شكل المنشأ والقوى الداخلية المطبقة عليه، كما يمكن أن تتأثر الكلفة الكلية وإقتصادية المنشأ بشكل كبير بهذا الإختيار. وبالمقابل فإن هناك عوامل عديدة تؤثر على إختيار الجملة الإنشائية ستدرس في الفقرات اللاحقة.

جـ ـ تقدير الأحمال وردود الأفعال :

يتم تقدير كافة الأحمال التي يمكن أن تطبق على الهيكل الإنشائي خلال عمره الإفتراضي سواء بصورة منفردة، أو بصورة مشتركة، بما فيها الحمولات الميتة والحمولات الحية وحمولات الرياح والهزة الأرضية ...الخ، كما يجب تحديد قيم ردود الأفعال عند المساند واتجاهاتها الناتجة عن تلك الحمولات.

د ـ تقدير تأثيرات الأحمال على الهيكل الإنشائي:

يتم تقدير التأثيرات الأعظمية في جميع أجزاء الهيكل الإنشائي والناتجة عن كامل الأحمال المطبقة وذلك لأشكال التحميل التي تعطي أكبر التأثيرات الممكنة، وتكون هذه التأثيرات على شكل قوى محورية وقوى قص وعزوم انعطاف، وأحياناً عزوم فتل، مطبقة على كامل عناصر الهيكل الإنشائي. كما يمكن تحديد التشوهات والإنتقالات الناتجة عن هذه الأحمال.

هـ ـ اختيار شكل مقاطع العناصر وتحديد أبعادها :

وأخيراً يمكن اختيار شكل المقاطع ويتم تحدد أبعادها وذلك لكل عنصر من عناصر الهيكل الإنشائي، وبحيث تكون قادرة على تحمل التأثيرات الأعظمية من قوى محورية وقص وعزوم انعطاف، وبحيث يتم توفير الأمان الكافي للهيكل الإنشائي طيلة فترة استخدام المنشأ.

وسندرس فيمايلي وبتفصيل أكبر، كل مرحلة من هذه المراحل.

٣ ـ ٣ ـ إختيار مادة الهيكل الانشائي ودراسة خصائصها :

SELECTION OF STRUCTURAL SKELETION MATERIAL

يعتمد شكل الهيكل الإنشائي وأسلوب التصميم الإنشائي وبصورة كبيرة، على مواد الإنشاء المتوفرة والتي يمكن استخدامها. لذلك يجب اختيارها بشكل دقيق يؤمن التوافق مع الجملة المعمارية إضافة للأمان والإقتصاد في التكاليف .

منذ فجر التاريخ، ولقرون طويلة بقيت مواد الإنشاء محصورة بالأخشاب والأحجار والطين مع بعض الروابط الأولية كالجبس وبعض أنواع التربة والغضار.

إن هذه المواد ، ماعدا الأخشاب، لها خاصية تحمل قوى وإجهادات الضغط بصورة كبيرة دون أن تستطيع مقاومة قوى وإجهادات الشد . هذه الحقيقة كانت ، ولمدة طويلة ، تحد من شكل وأبعاد المنشآت المبنية بهذه المواد. فلقد كان بالإمكان بناء منشآت ذات مجازات قصيرة وحمولات خفيفة فقط، وذلك بتنفيذ الجدران من الأحجار أو الطين والسقف من جذوع الأشجار. وعند الحاجة إلى تنفيذ مجازات كبيرة نسبياً كانت تستخدم الأحجاروذلك على شكل أقواس ، وبحيث تتعرض مادة الإنشاء (الأحجار) ونتيجة لشكل هذه الأقواس إلى قوى ضغط فقط يمكن أن تقاومها بسهولة. لذلك يجب أن يتبع شكل هذه الأقواس شكل منحني الضغط (Line Of Thrust) الناتج عن الحمولات المطبقة. فإذا كان منحني الضغط يقع على، أو قريباً من منحني مراكز الثقل لمقاطع القوس، كانت القوى الداخلية المطبقة على المقاطع المختلفة للقوس قوى ضغط فقط ودون تولد أية قوى شد، ويبقى القوس متماسكاً دون حدوث أية تشققات فيه . أما إذا كان شكل القوس غير مطابق لشكل منحني الضغط، فستتولد في مقاطع القوس عزوم انعطاف كبيرة، وستصبح المقاطع التي تفصل بين الأحجار المتجاورة غير قادرة على تحمل قوى الشد الكبيرة الناشئة، وبالتالي ستنهار مسببة انهيار كامل القوس .

أما في المجازات الأكبر فإنه لم يكن ممكناً استخدام الأقواس الحجرية أو الآجرية وذلك نظراً للقيمة العالية جداً لنسبة الحمولات الميتة إلى الحية وللأبعاد الكبيرة جداً اللازمة لمقاطع هذه الأقواس مما يجعلها غير عملية أو ممكنة التنفيذ .

وعند إبتداء استخدام الحديد والفولاذ كمادة إنشائية ظهرت عوامل أخرى كثيرة تؤثر بشكل كبيرعلىالأشكال المختلفة للهيكل الإنشائي. فلقد أعطت الإمكانيات الجديدة لتحمل قوى الشد والناتجة عن خواص هذه المواد دفعة للأمام لطرق التصميم وأشكال الهيكل الإنشائي، وعند ظهور واستخدام البيتون المسلح، والذي يمكن فيه مقاومة قوى الشد حيث وجدت بواسطة قضبان التسليح ،تغيرت وبشكل تام أشكال الهياكل الإنشائية ، وذلك من الأشكال التي تقاوم وبشكل أساسي القوى الناظمية وقوى القص إلى أشكال جديدة يمكن أن تقاوم عزوم الإنعطاف بشكل أساسي، وبحيث أصبحت القوى الناظمة وقوى القص ذات أهمية ثانوية في هذه الأشكال. وحتى في الأشكال المستخدمة سابقاً كالأقواس فإنه لم يعد من الضروري أن يتبع شكلها شكل منحني الضغط بل أصبح يعتمد

اعتماداً كبيراً على متطلبات الحل المعماري، وبحيث يمكن مقاومة إجهادات الشد بواسطة قضبان التسليح. وفي الأقواس الفولاذية وباستخدام الفولاذ عالي المقاومة أصبح لدينا إمكانية لتنفيذ مجازات كبيرة جداً لم يكن بالإمكان التوصل إليها في المنشآت القديمة، نظراً لمقدرة الفولاذ عالي المقاومة على تحمل الإجهادات العالية وللقيمة المتدنية نسبياً لنسبة الحمولات الميتة إلى الحية.

وعند ظهور البيتون مسبق الإجهاد أصبح هناك إمكانيات أكبر للمهندس الإنشائي في مجالات التصميم، من حيث كبر المجازات وتصغير المقاطع البيتونية المستخدمة وبالتالي تقليل نسبة الحمولات الميتة إلى الحية. أما المنشآت القشرية، حيث يمكن وباستخدام سماكات صغيرة جداً تغطية مجازات ومساحات واسعة، فإنها تظهر مدى مهارة المهندس الإنشائي في كيفية استخدام خواص المواد الإنشائية بشكل أمثل وبحيث لا نطبق عليها سوى الإجهادات القادرة على تحملها، وكذلك كيفية استخدام شكل المنشأ لتقليل الإجهادات المطبقة.

وفي الوقت الحاضر وعند إجراء الدراسة الإنشائية للمنشآت فإنه يجب أن نأخذ بعين الإعتبار المواد الطبيعية والمصنعة المتوفرة والتي يمكن استخدامها، وكذلك خصائصها وكلفتها الإقتصادية، حيث أنه لا يوجد حالياً، أو في المستقبل القريب، إمكانية توفر مادة واحدة يمكن أن تفي بجميع متطلبات التصميم الإنشائي، وتكون كلفتها الإقتصادية معقولة بنفس الوقت. ولكن توفر العديد من المواد المصنعة الحديثة قد أعطى المهندس المعماري والمصمم الإنشائي مجالاً واسعاً للإختيار أكثر من أي عهد مضى. ففي المجال الإنشائي تم مثلاً استخدام خاصية الوزن الخفيف والمقاومة العالية لخلائط الألومنيوم والبلاستيك، وكذلك الألياف الزجاجية للحصول على منشآت فراغية خفيفة وذات مجازات كبيرة جداً، إلا أن تحديد أشكال هذه الهياكل الإنشائية وبما يتناسب مع خصائص هذه المواد، إضافة لتوافقها مع التصميم المعماري والشروط الإقتصادية يحتاج عادة إلي مهارة عالية ومعرفة وخبرة واسعتين.

كما يجب أيضاً على المهندس المعماري أن يتعرف أيضاً على المواد المتوفرة، وأن يدرس خصائصها بكل دقة، وأن يحاول ملائمة هذه الخواص مع متطلبات التصميم، وأن يبنى تصا[redacted]

يمكن استخدام هذه المواد في كلا الهيكل الإنشائي ومواد الإكساء بشكل متكامل ومتناسق.

٣ ـ ٤ ـ اختيار الجملة الإنشائية:

SELECTION OF STRUCTURAL SYSTEM

إن تطور أشكال الجمل الإنشائية المستخدمة عبر التاريخ وحتى زمن قريب كان ذو تقدم بطيء جداً. حيث كانت المواد القليلة المتوفرة وإمكانياتها الضعيفة إضافة إلى المعرفة البسيطة بالأمور الهندسية توثر بصورة كبيرة على عدم تطور أشكال الجمل الإنشائية. وخلال المئة سنة الأخيرة ظهرت المواد الجديدة التي يمكن استخدامها في الهياكل الإنشائية كالفولاذ والبيتون المسلح وخلائط الألومنيوم، إضافة إلى تقدم سريع في العلوم الهندسية وطرق التصميم الانشائي واستخدام الحاسبات. وقد أدى ذلك إلى ثورة في مجال التصميم واختيار الجمل الانشائية المناسبة، وما يزال المهندسون المعماريون والإنشائيون يدرسون الامكانيات الكاملة للمواد الحديثة وكيفية استخدامها أحسن استخدام. لكن في الحقيقة إن التطور لا يتم بواسطة المواد الحديثة فقط بل يعتمد أيضاً على تطور طرق التصميم الإنشائي وعلى فهم خطوات التنفيذ العملية، كما يعتمد أيضاً على دراسة المواد المعروفة قديماً دراسة عميقة ومعرفة إمكانية استخدامها استخدامات مختلفة، فمثلاً أصبحت هناك إمكانية لاستخدام الأخشاب حالياً في جمل وأشكال انشائية جديدة لم تكن معروفة مسبقاً، كاستخدامها في الأقواس والإطارات الخشبية أو في الجوائز الشبكية الكبيرة.

في الماضي القريب كان هناك اتجاه لأن تربط كافة المسائل الإنشائية بما فيها إختيار الجملة الإنشائية بالمهندس الإنشائي فقط. إلا أنه الآن ظهرت أهمية مشاركة المهندس المعماري في اختيار الهيكل الإنشائي، فالمنشآت لايتم تصميمهابواسطة عمليات حسابية مباشرة فقط بل تحتاج إلى خيال وحس معماري وجمالي مرهف وإلى استخدام الخبرة الطويلة لإظهار الشكل المعماري على أتم وجه. ويظهر لنا التاريخ مدى براعة المعمارين القدماء في تشييد المباني والأشكال المعمارية المتنوعة والجميلة مستخدمين المواد الإنشائية القليلة المتوفرة في تلك الأيام ومدى تلائم الهيكل الإنشائي مع الشكل المعماري للمنشأ.

حتى وقت قريب وفي أي منشأ كبير ، كانت اليد العاملة تشكل قسماً كبيراً من العمل الكلي اللازم للتنفيذ ، حيث أن الطرق التقليدية في البناء تتضمن قوة عاملة كبيرة ممتدة على كامل فترة الإنشاء. كما إن النمو البطئ للهيكل الإنشائي بدءاً بالأساسات وحتى السقف الأخير وكذلك أعمال الإكمال والإكساء وكافة الأعمال الضرورية الأخرى ، كل ذلك كان يؤدي إلى إطالة زمن فترة التنفيذ ويبطئ من سرعة الإنجاز. هذه الطرق التقليدية كانت مقبولة عندما كانت اليد العاملة متوفرة ورخيصة وعندما كان عنصر الزمن عنصراً ثانوياً في أعمال التنفيذ. أما في الوقت الحاضر وحيث انتشر التقدم الصناعي في أغلب بقاع العالم وأصبحت الحاجة ماسة لأعمال البناء ، أضحت الطرق التقليدية في البناء غير مناسبة نتيجة لكلفة اليد العاملة العالية ولضرورة السرعة القصوى لأعمال التنفيذ. وأصبح هناك حاجة لأشكال متطورة من الهياكل الإنشائية يتم تشييدها بسرعة ودون الحاجة لليد العاملة الكبيرة. فظهرت المباني والمنشآت مسبقة الصنع وكذلك الهياكل الفراغية سهلة وسريعة التنفيذ ....الخ. وماتزال أشكال الهياكل الإنشائية في تطور مستمر.

يمكن مع بعض التبسيط تصنيف أشكال الجمل الإنشائية وذلك حسب معايير مختلفة ويمكن تلخيصها حسب مايلي :

أ ـ التصنيف حسب التقرير التوازني :

١ ـ المنشآت المقررة توازنياً : (Statically Determinate Structures) .

٢ ـ المنشآت غير المقررة توازنياً :(Statically Indeterminate Structures) .

ب ـ التصنيف حسب الشكل الهندسي :

١ ـ المنشآت الخطية : (Line Structures) وهي ذات بعد واحد كالأعمدة والجمالون والأقواس....الخ.

٢ ـ المنشآت السطحية : (Surface Structures) وهي ذات بعدين كالإطارات والجوائز الشبكية والبلاطات....الخ.

٣ ـ المنشآت الفراغية : (Space Structures) وهي ذات ثلاثة أبعاد كالقباب والقشريات

والإطارات الفراغية والجوائز الشبكية الفراغية ...الخ.

جـ ـ التصنيف حسب القوى الداخلية :

١ ـ المنشآت المعرضة لقوى شد فقط : (Tension Structures) كالشدادات والمنشآت المعلقة....الخ.

٢ ـ المنشآت المعرضة لقوى ضغط فقط :(Compresion Structures) كالأعمدة ...الخ.

٣ ـ المنشآت المعرضة لعزوم إنعطاف : (Moment Structures) وقد تكون معرضة أيضاً لقوى محورية، كالجوائز والإطارات...الخ.

٣ـ٥ ـ تقدير الأحمال وردود الأفعال:

EVALUATION OF LOADS AND REACTIONS

تتضمن مرحلة تقدير الأحمال حساب جميع الأحمال التي يمكن أن يتعرض لها الهيكل الإنشائي خلال عمره الإفتراضي، ويأتي في المقدمة الحمولات الميتة والحية وحمولة ضغط الرياح والهزة الأرضية. وعند تقدير هذه الأحمال يجب ملاحظة أن الهيكل الإنشائي معرض لشكلين مختلفين منها :

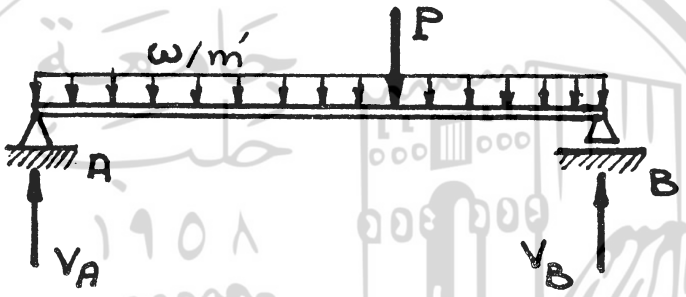
١ ـ **الحمولات الخارجية** : وهي جميع الحمولات المذكورة سابقاً والمطبقة على الهيكل الإنشائي.

٢ ـ **ردود الأفعال** : وهي القوى عند نقاط الإستناد والناتجة عن الحمولات الخارجية. وتكون ردود الأفعال هذه على شكل قوى أفقية وشاقولية مصحوبة في بعض الأحيان بعزوم إنعطاف.

إن ردود الأفعال يجب دائماً أن تساوي وتعاكس في الإتجاه جميع القوى الخارجية المطبقة لحالة التحميل المدروسة، وبحيث يكون الهيكل الإنشائي في حالة استقرار وتوازن. ونتيجة لكلا الحمولات وردود الأفعال تنشأ في عناصر الهيكل الإنشائي تأثيرات تكون مهمة المصمم الإنشائي حساب قيمتها، وتحديد أبعاد المقاطع المناسبة لها والتي تكون قادرة على مقاومة هذه التأثيرات.

إن الخطوة الأولى في عملية تصميم الهيكل الإنشائي هي تحديد كافة الأحمال المطبقة على المنشأ

بما فيها ردود الأفعال في المساند والأساسات. وقد تكون ردود الأفعال هذه قوى شاقولية فقط أو قوى شاقولية وأفقية معاً، وقد تكون مصحوبة أحياناً بعزوم انعطاف . ويعتمد ذلك علي القوى المطبقة وطبيعة المنشأ وشكل نقاط الإستناد . فمثلاً في حالة الجائز البسيط والمحمل بقوى شاقولية ، الشكل (٣ ـ ١) .تكون ردود الأفعال قوى شاقولية فقط ويمكن حسابها بسهولة، إلا أن تحديدها يكون أكثر صعوبة في الجوائز المستمرة والإطارات، ففي الإطار المتمفصل من نهايته والمبين بالشكل (٣ ـ ٢ ـ a)والمحمل بحمولات شاقولية فقط تكون هناك ردود أفعال شاقولية عند نقاط الإستناد



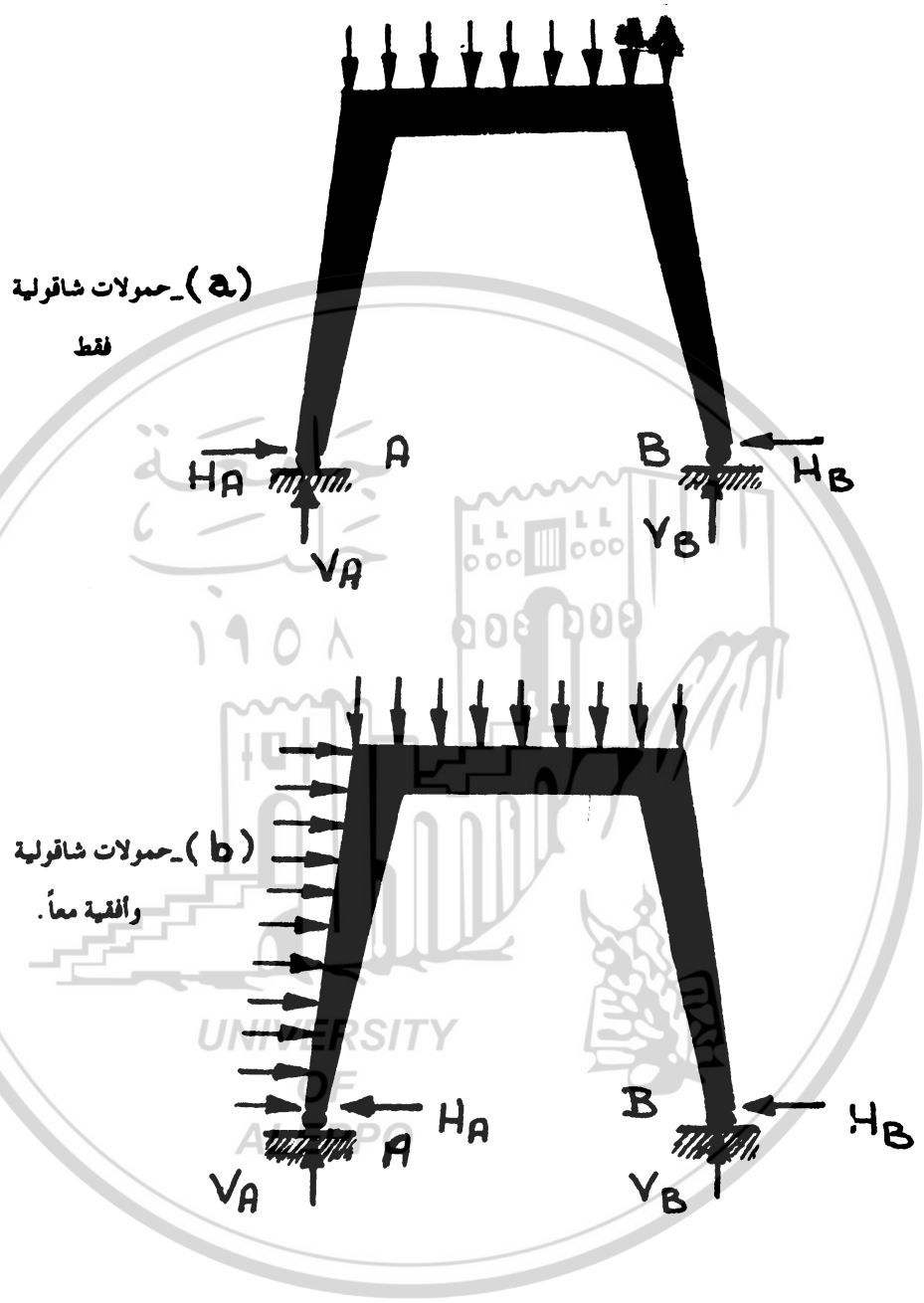
شكل رقم (٣ ـ ١)

ردود الأفعال في الجائز البسيط.

مساوية لهذه الحمولات في القيمة وتعاكسها في الإتجاه . وبالإضافة إلى ذلك نلاحظ أن الإطار وتحت تأثير القوى الشاقولية يحاول عند نقاط الإستناد أن يتحرك إلى الخارج، ولكي يبقى المنشأ محافظاً على شكله دون تغيير يجب تطبيق ردي فعل أفقيين وذلك بواسطة نقاط الإستناد لمنع هذه الحركة، ويكون ردي الفعل هذين متساويين في القيمة و متعاكسين في الإتجاه للمحافظة على توازن الإطار.

أما في حالة تطبيق قوى أفقية أيضاً، كحمولة الرياح، الشكل (٣ ـ ٢ ـ b) ، فإن ردي الفعل الأفقيين سيكونان باتجاه واحد معاكس لاتجاه حمولة الرياح.

كما أنه وفي حالة القوى الأفقية الكبيرة يمكن أن يصبح أحد ردي الفعل الشاقوليين متجهاً نحو الأسفل بدلاً من الأعلى وذلك لمنع إنقلاب الإطار تحت تأثير الحمولات.



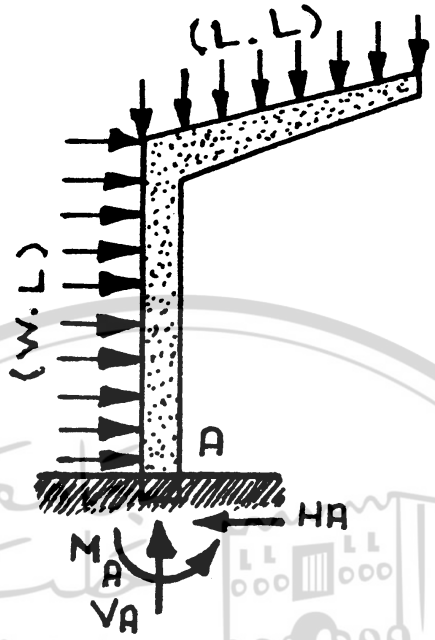
شكل رقم (٣-٢)

ردود الأفعال في الإطار المتمفصل:

a- حمولات شاقولية فقط.

b- حمولات شاقولية وأفقية معاً.

أما في حالة الإطارات الظفرية الموثوقة عند نقطة الإستناد مع الأرض الشكل (٣-٣)، وعند



شكل رقم (٣-٣)

ردود الأفعال في الإطار الموثوق.

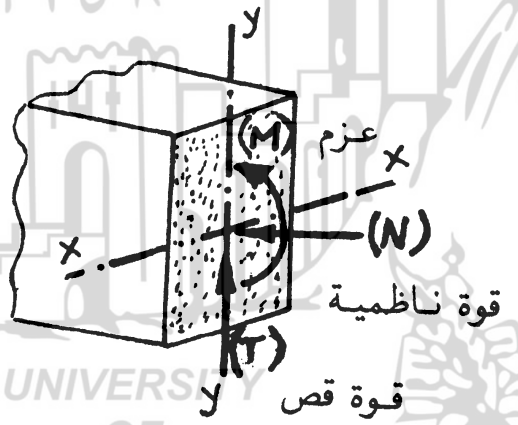
تطبيق الحمولات الشاقولية وحمولة الرياح فإن ردود الأفعال لن تظل قوى أفقية وشاقولية فقط بل سيتولد رد فعل إضافي على شكل عزم، يدعى عزم الوثاقة، ويكون اتجاهه معاكس لعزم الحمولات المطبقة. ففي الإطار المبين بالشكل (٣ - ٣) يكون اتجاه عزم الوثاقة عكس اتجاه عقارب الساعة لكي يوازن عزم الحمولات الخارجية المتجهة مع عقارب الساعة، وعندما يكون اتجاه حمولة الرياح عكس الإتجاه المبين والحمولات الشاقولية قليلة، يمكن أن يصبح اتجاه عزم الوثاقة عكس الاتجاه المبين أيضاً.

يجب التنويه إلى أنه لايمكن البدء بتصميم الهيكل الإنشائي لمنشأ ما حتى يتم تحديد كافة الحمولات المطبقة وجميع حالات التحميل التي تعطي أكبر التأثيرات، وكذلك تحديد كافة ردود الأفعال ولجميع حالات التحميل المطبقة. وعلى المهندس الإنشائي أن يكون قادراً على تحديد قيم ردود الأفعال هذه، وكذلك إتجاهاتها الصحيحة. وفي بعض الأحيان يكون تحديدها سهلاً ويتم بصورة مباشرة، وذلك في المنشآت المقررة، بينما في بعض الأحيان الأخرى يكون تحديدها كما في المنشآت غير المقررة من الصعوبة بمكان.

٣ ـ ٦ ـ تقدير تأثيرات الأحمال على الهيكل الإنشائي:

EVALUATION OF LOADS EFFECTS ON STRUCTURAL SKELETON

بعد تقدير الأحمال وردود الأفعال التي سيتعرض لها الهيكل الإنشائي، يجب على المهندس الإنشائي أن يدرس تأثير هذه الأحمال، وبأوضاع التحميل المختلفة، على كامل عناصر هذا الهيكل. وسواء كانت هذه العناصر أفقية أو شاقولية، مائلة أو منحنية، وسواء كانت العناصر ذات مقطع ثابت أو متغير، فإنها تخضع لثلاث تأثيرات داخلية: قوى ناظمية (N) ، سواء كانت قوى شد أو ضغط، وقوى قص (T) ، وعزوم انعطاف (M)، الشكل رقم (٣ ـ ٤) . ويجب تحديد هذه القوى وعزوم الإنعطاف لجميع عناصر الهيكل الإنشائي والناتجة عن الحمولات الخارجية وردود الأفعال ولحالات التحميل المختلفة والتي تعطي أكبر التأثيرات لجميع المقاطع المدروسة.



شكل رقم (٣ ـ ٤)

التأثيرات الداخلية في عناصر الهيكل الإنشائي.

عند تحديد القوى الداخلية وعزوم الإنعطاف هذه يجب الإهتمام بشدة ليس فقط بقيمة هذه القوى وعزوم الإنعطاف بل بتحديد إتجاه تأثيرها وإشارتها، لأن هناك اختلافاً جوهرياً وكبيراً بين طرق تصميم عنصر معرض لقوى الشد وعنصر آخر معرض لقوى الضغط. وفي الجوائز البيتونية المسلحة يكون مكان تواجد قضبان التسليح لحالة عزم انعطاف موجب مختلفاً اختلافاً تاماً عن مكانها لحالة عزم انعطاف سالب.

إن مهمة المهندس الإنشائي في هذه المرحلة أن يحصل على علاقات أو طرق تمكنه من القيام برسم مخططات التأثيرات المختلفة: مخطط عزوم الانعطاف (M) ، مخطط قوى القص (T) ، مخطط القوى الناظمية (N) ، لكامل عناصر الهيكل الانشائي المدروس. وتبين هذه المخططات كيفية تغير هذه التأثيرات علي كامل امتداد العناصر سواءً في القيمة أو في الإتجاه وذلك لحالات التحميل ذات التأثير الأكبر. ومتى حصلنا على هذه المخططات أمكن استخدامها في تحديد قيم الإجهادات الداخلية المطبقة علي مقاطع العناصر التي يتشكل منها الهيكل الإنشائي.

في المنشآت البسيطة المقررة توازياً، كحالة الجائز البسيط أو الجائز الشبكي المقرر توازنياً، يمكن وبسهولة تحديد قيم واتجاه التأثيرات المختلفة، وذلك بواسطة معادلات التوازن الثلاثة. بينما في المنشآت المعقدة غير المقررة توازنياً تصبح مسألة تحديد هذه التأثيرات صعبة، وتحتاج إلى طرق خاصة لحلها تعتمد بالإضافة إلى معادلات التوازن على معادلات وشروط التشوه في المنشأ .

٣ ـ ٧ ـ اختيار شكل مقاطع العناصر وتحديد أبعادها:

SELECTION OF MEMBERS SHAPES AND DIMENSIONING OF SECTIONS

إن إختيار شكل مقاطع العناصر وتحديد أبعادها هي عمل من صلب أعمال المهندس الإنشائي، إلا أنه يجب أن يكون للمهندس المعماري معرفة كافية بها حتى يتفهم مشاكل التصميم الإنشائي، وحتى يكون قادراً على مناقشة بعض الأبعاد والتفاصيل الضرورية مع المصمم الإنشائي، وأن يأخذ بعين الإعتبار عند دراسة تصميمه المعماري أبعاداً للهيكل الإنشائي قريبة من الواقع .

عند تحديد أبعاد المقاطع يجب على المهندس الإنشائي أن يربط بين التأثيرات المختلفة للحمولات المطبقة من عزوم انعطاف وقوى قص وبين الإجهادات التي يمكن أن تقاوم وبأمان في كامل مقاطع عناصر الهيكل الإنشائي. كما يجب على المهندس الإنشائي أن يحدد قيمة الإجهادات التي ستنشأ في مادة مقاطع العناصر، وأن يختار أبعاد هذه المقاطع وأشكالها بحيث تكون الإجهادات المحسوبة والناتجة عن الحمولات المطبقة مساوية، أو أقل قليلاً، من الإجهادات الأعظمية المسموحة للمواد المستخدمة في

المقاطع .

إن إختيار أشكال المقاطع وتحديد أبعادها يعتمد على مقدرة المهندس الإنشائي في إختيار الطرق الرياضية والحسابية المناسبة لمسألته . وتدخل هذه الطرق ضمن اختصاص علم مقاومة المواد (Strength of Materials) ، أو علم حساب الإنشاءات (Structures) . فإذا كانت المعالجة الرياضية تأخذ بعين الأعتبار مرحلة المرونة لمادة الهيكل الإنشائي، وتعتمد طريقة الإجهادات الأمينة أو الإجهادات المسموحة، فإنها تدخل في مجال علم نظرية المرونة (Theory Of Elasticity) ، أما إذا كانت تدرس مرحلة اللدونة لمادة الهيكل الإنشائي وتعتمد طريقة الإنهيار اللدن وإجهادات الإنهيارات، فإنها تدخل في مجال علم نظرية اللدونة (Theory Of Plasticity) .

هناك طريقتان أساسيتان لتحديد أبعاد المقاطع وذلك حسب المعالجة الرياضيةوهما :

١ ـ طريقة المرونة (Elasticiy method) ، أو طريقة الإجهادات المسموحة (Permissible stresses method) ، وتدعى أيضاً : الطريقة الكلاسيكية.

٢ ـ طريقة اللدونة (Plasticity method) ، أو طريقة الحدود القصوى (Limit state method) وتدعى أيضاً : الطريقة الحدية.

٣ ـ ٧ ـ ١ ـ طريقة الإجهادات المسموحة، الطريقة الكلاسيكية :

PERMISSIBLE STRESSES METHOD

UNIVERSITY OF ALEPPO

وتعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على نظرية المرونة، وعلى بقاء الإجهادات المطبقة على مقاطع العناصر ضمن حدود المرونة للمادة المستخدمة في الهيكل الإنشائي.وبهذه الطريقة يتم إختيار مادة الإنشاء وتحدد خصائصها وذلك بإجراء التجارب على عينات منها . ومن نتائج هذه التجارب يمكن تحديد قيمة الإجهادات الأعظمية التي تؤدي إلى انهيار هذه المادة وبالتالي يمكن تحديد الإجهادات المسموحة لها وذلك بتقسيم الإجهادات الأعظمية على عامل أمان مناسب.وعند تحديد أبعاد مقاطع عناصر الهيكل الإنشائي يجب التأكد من أن الإجهادات الفعلية المطبقة على كامل مقاطع العناصر والناتجة عن الحمولات المطبقة لا تزيد عن الإجهادات المسموحة للمادة المستخدمة .

بالرغم من أن هذه الطريقة قد درست بصورة كبيرة، إلا أنها تحتوي على بعض المساوئ والنواقص، منها مثلاً : إن المواد المستخدمة لا تتصرف دائماً في الهيكل الإنشائي كما تفعل في العينات المختبرة والمحضرة بصورة جيدة وضمن شروط نظامية، كما أن شكل العناصر وأبعاد المقاطع يمكن أن يكون لها تأثير كبير على توزع الإجهادات في الهيكل الإنشائي حيث أن مقاومة المقاطع للحمولات المطبقة لا تعتمد على الإجهادات المسموحة فقط بل على مايدعى مطاوعة المادة أيضاً ، (Ductility) ، وعلى إمكانية توزع وإنتشار الإجهادات من النقاط ذات الإجهادات العالية إلى النقاط الأخرى في العناصر. بالإضافة إلى أنه عند اختيار مقاطع العناصر المختلفة فإننا نأخذ بعين الإعتبار وجود بعض الأقسام الصغيرة من الأعضاء والتي تطبق فيها إجهادات عالية، مما يؤدي لاختيار مقاطع كبيرة نعممها على كامل العناصر. مما يؤثر بصورة كبيرة على كمية المواد المستخدمة وعلى اقتصادية الهيكل الإنشائي.

٣ - ٧ - ٢ - طريقة الحدود القصوى، الطريقة الحدية:

LIMIT STATE METHOD

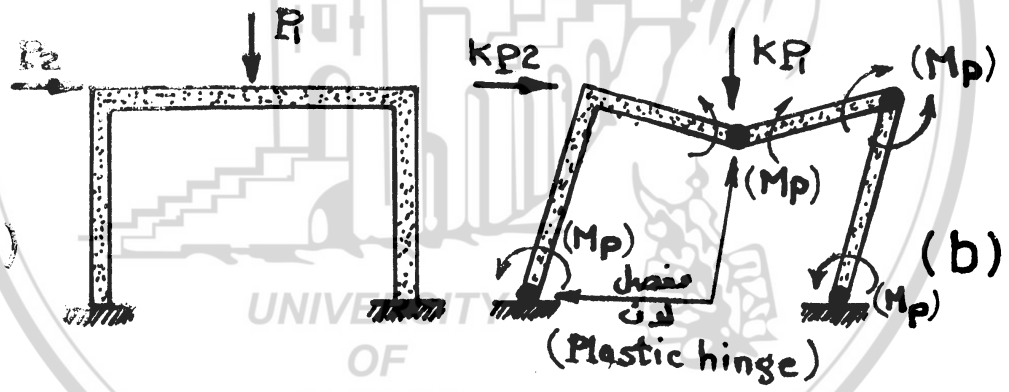
وهي الطريقة الأحدث والأكثر تقدماً وتعتمد بشكل أساسي على نظرية اللدونة وعلى وصول الإجهادات والتشوهات في بعض مقاطع العناصرإلى خارج حدود المرونة وضمن حدود اللدونة.وفيها يمكن تحديد القوى الأعظمية المقبولة والتي يمكن أن تتحملها عناصر الهيكل الإنشائي ومقارنتها مع الحمولات الفعلية المطبقة.ويتم ذلك بدراسة تصرف الهيكل الإنشائي ككل، بدلاً من دراسة عينات من المادة المستخدمة وتحديد الإجهادات المقبولة لها.ومن دراسة هذا التصرف يتم تحديد الحمولات القصوى التي تسبب إنهيار الهيكل الإنشائي. وبتقسيم هذه الحمولات القصوى على عامل أمان مناسب يدعى عامل الحمولة (Load factor) يمكن الحصول على قيمة الحمولات المسموحة التي يمكن أن يتحملها الهيكل الإنشائي بأمان . وعند تصميم المنشأ يجب التأكد من أن الحمولات الفعلية المطبقة تساوي، أو أقل قليلاً، من هذه الحمولات المسموحة.

إن هذه الطريقة ذات إتجاه مختلف تماماً عن طريقة الإجهادات المسموحة، حيث نسمح بزيادة الإجهادات المطبقة عن الإجهادات المسموحة، ففي هذه الطريقة يمكن أن نقبل أن تكون بعض أجزاء

عناصر الهيكل الإنشائي قد تجاوزت حدود المرونة وانتقلت إلى مرحلة اللدونة وأن تتعرض لتشوهات كبيرة .

عندما تتجاوز المواد المطاوعة، كالفولاذ مثلاً ، في بعض نقاطها حدود المرونة فإنها تتشوه بصورة لدنة دون زيادة في الحمولات، كما أنها لا تعود لحالتها الأولية عند إزالة هذه الحمولات بل تتعرض لما يدعى "بالتشوه الدائم" ، وعندما تمتد اللدونة على كامل مساحة المقطع لا يتبقى للمقطع أية مقاومة إضافية لتحمل مزيد من القوى أو عزوم الإنعطاف ، ويتصرف المقطع كأنه مفصل ، ويسمى عندئذ اصطلاحاً المفصل اللدن ، (Plastic hinge) .

أما في المنشآت المختلفة كالإطارات مثلاً فإنه يمكن تحديد الحمولات القصوى الإنهيار وذلك بدراسة كيفية توالي تشكل المفاصل اللدنة عند زيادة الحمولات. وبحيث يتم إنهيار المنشأ عندما يتشكل فيه عدد كاف من المفاصل اللدنة تسمح له بالحركة وتؤدي لفقدان استقراره كما في الشكل (٣-٥) .



شكل رقم (٣-٥) تشكل المفاصل اللدنة في الإطارات:

a- الحمولات الأعظمية المسموحة.

b - الحمولات القصوى للإنهيار.

إن توالي تشكل المفاصل اللدنة في بعض أجزاء الهيكل الإنشائي نتيجة للإنتقال إلى مرحلة اللدونة يؤدي إلى تسهيل تقدير تأثيرات القوى المطبقة على عناصر الهيكل الإنشائي. ففي بعض المنشآت غير المقررة بدرجة كبيرة والتي تكون حلها بالطريقة المرنة صعباً للغاية، ومع توالي تشكل

المفاصل اللدنة تقل درجة عدم التقرير، حتى يصبح المنشأ مقرراً توازنياً قبل الإنهيار مما يسمح بتقدير تأثيرات القوى بشكل سهل للغاية .

إن هذه الطريقة تؤدي أيضاً إلى اقتصاد كبير في كمية المواد المستخدمة، فلو كان تحميل الهيكل الإنشائي سيتوقف، كما في طريقة الإجهادات المسموحة، عندما تصل الإجهادات الأعظمية في أحد مقاطع العناصر إلى الإجهادات المسموحة لكانت باقي المقاطع معرضة بالتاكيد إلى إجهادات دون الإجهادات المسموحة وستكون أبعاد العناصر كبيرة بصورة غير إقتصادية. بينما في سماحنا، بهذه الطريقة، بوجود عدة مقاطع تصل فيها الإجهادات إلى المرحلة اللدنة وبالتالي تتشكل فيها مفاصل لدنة، فإنه يمكن زيادة الحمولات على الهيكل الإنشائي بحمولات إضافية وبالتالي فإن ذلك يؤدي إلي تصميم أكثر اقتصادية.

إن طريقة الحدود القصوى ماتزال في طور الدراسة والتطويروهناك مشاكل عديدة يجب حلها حتى يمكن تطبيقها على كامل أشكال المنشآت كتأثير قوى القص والقوى الناظمية على تشكل المفاصل اللدنة وعلى مقاومتها. كما أن ميزات هذه الطريقة لا تظهر بصورة جلية في المنشآت الصغيرة، وكلما زادت درجة عدم التقدير للهيكل الإنشائي وازداد تعقيده كلما ظهرت واضحة ميزاتها وأصبحت المنشآت المصممة بهذه الطريقة أكثر توفيراً وأقل استخداماً للمواد من طريقة الإجهادات المسموحة.

وأخيراً فإنه يجب التنويه إلى أن التحليل في مرحلة اللدونة أمر ضروري لمعرفة و فهم شكل وميكانيكية الإنهيار المحتمل (Collapse mechanism) ، وتحديد حمولة الإنهيار، وكيفية تصرف الهيكل الإنشائي تحت تأثير هذه الحمولات، كما أن التحليل في مرحلة المرونة أمر ضروري أيضاً وذلك لمعرفة سلوك الهيكل الإنشائي تحت تأثير حمولات الإستثمار الفعلية وتحديد الإجهادات الفعلية الناتجة عنها . وبذلك فإننا نرى أن التحليل في مرحلة اللدونة يكمل التحليل في مرحلة المرونة، وأن كلاً منها يعطي جانباً واحداً من الصورة فقط ولا تكتمل إلا بوجودهما معاً . ويمكن القول أنها وجهان لعملة واحدة.

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الرابع

المواد الإنشائية الأساسية

THE PRINCIPAL STRUCTURAL MATERIALS

٤ - ١ - تمهيد : INTRODUCTION

اختلفت المواد الإنشائية المتوفرة وذلك عبر التاريخ الطويل للبشرية كما اختلفت باختلافها أنواع وأشكال الهياكل الإنشائية التي بنيت بهذه المواد. فلقد بدأت البشرية معرفتها بالأحجار والأخشاب والطمي، وهي المواد الطبيعية المتوفرة، ثم اكتشفت الآجر والفولاذ والبيتون، ومع تقدم المعرفة الإنسانية تم استخدام خلائط الألومنيوم والبلاستيك واللدائن المقواة والمقاطع المركبة، إلى آخر هذه المواد.

ويمكن تقسيم المواد الإنشائية إلى مجموعتين أساسيتين:

أ- المواد المتجانسة : (Homogenous materials)

كالأحجار والأخشاب والحديد وخلائط الألومنيوم وهي مواد أولية غير مركبة، وقد تكون خصائصها واحدة من حيث إجهادات الشد والضغط كالحديد وخلائط الألومنيوم أو مختلفة كالأحجار والأخشاب. يجب التنويه إلى أنه أثناء استخدام هذه المواد في الهياكل الإنشائية قد نستعمل مواداً إضافية لتأمين الوصلات، كاستعمال المونة لبناء الأحجار والمسامير والبراغي المعدنية لوصل الأخشاب واللحام للمقاطع المعدنية، إلا أن هذا الإستعمال محصور في الوصلات فقط ونسبته صغيرة جداً بالنسبة للمادة الأصلية بينما تبقى مادة الهيكل الإنشائي خارج هذه الوصلات متجانسة.

ب ـ المواد غير المتجانسة: (Heterogenous materials)

كالبيتون المسلح واللدائن المقواة (Reinforced plastics) والمقاطع المركبة (Sandwich sections). إن كل مادة من هذه المواد مؤلفة من عدد من المواد الأولية، فالبيتون المسلح مؤلف من البيتون العادي، المكون من خليطة البحص والرمل والإسمنت والماء، وقضبان التسليح. كذلك تتألف اللدائن المقواة من مادة راتنجية أو بلاستيكية، كالبوليستر أو الإيبوكسي، وألياف التقوية، كالألياف الزجاجية والألياف الفولاذية. إن خصائص المواد الأولية مختلفة عن بعضها البعض وتتميز كل مادة منها ببعض الخصائص المتميزة. وعندما نستخدم عدد من هذه المواد الأولية معاً نحصل على مادة جديدة تجمع خصائص وميزات المواد المكونة لها.

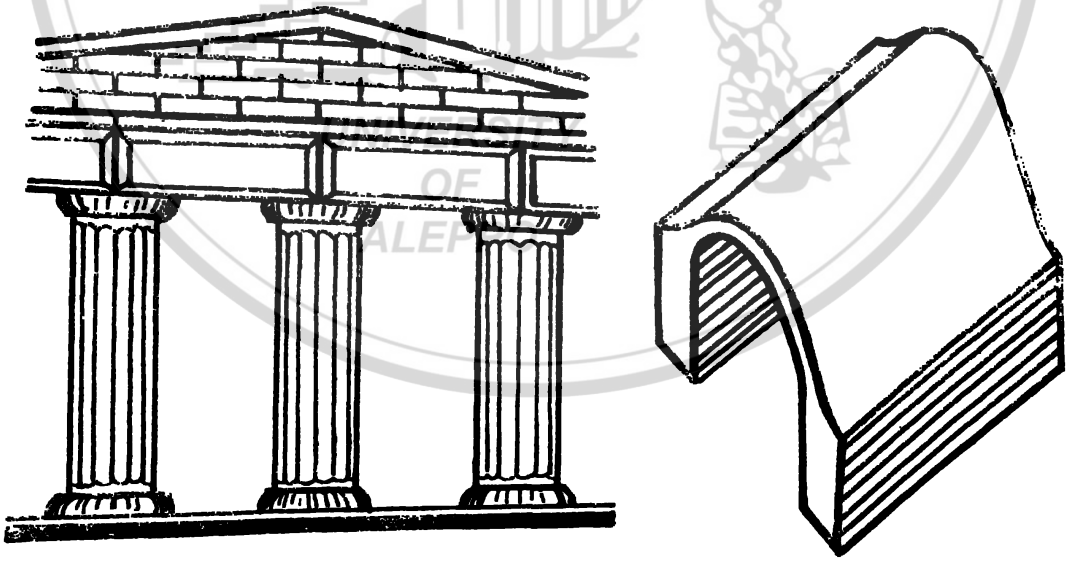
وبصورة عامة يمكن تحديد المواد الإنشائية الأساسية الأكثر استخداماً في وقتنا الراهن بمايلي: الأحجار، الآجر، أحجار الإسمنت (البلوك)، الأخشاب، البيتون المسلح، الفولاذ، كما استخدمت سبائك الألومنيوم واللدائن المقواة في بعض المنشآت الحديثة بالإضافة إلى المقاطع المركبة المختلفة، إلا أن استخداماتها ماتزال للآن محدودة وفي بعض الهياكل الإنشائية الكبيرة، نظراً لمواصفاتها الخاصة وكلفتها العالية.

٢ ـ ٤ ـ الأحجار STONES

بدأ استخدام الأحجار كمادة إنشائية منذ أقدم العصور لتوفره في الطبيعة، وكان من المواد الإنشائية الأولى المستخدمة حيث استخدم في المعابد والقصور. إلا أن استخدامه الآن أصبح قليلاً وحصوراً في المناطق التي تتوفر فيها هذه الأحجار بكثرة وبأسعار رخيصة، وبحيث يكون استخدامها اقتصادياً. وتستخدم الأحجار عادة في المباني كجدران حاملة، كما أنها استخدمت في قواعد ودعامات وأقواس الجسور الحجرية. وفي القرن التاسع عشر كان كثير من جسور السكك الحديدية يبنى من الأحجار. كما تستخدم الأحجار حالياً في بعض المنشآت الكبيرة على شكل قشرة تبنى على الجدران محمولة على الهيكل الإنشائي، والذي يمكن أن يكون فولاذياً أومن البيتون المسلح.

إن الأحجار مادة هشة سهلة الإنكسار (Brittle) لها مقاومة كبيرة على الضغط لكن مقاومتها على الشد ضعيفة جداً. ولذلك فإن استخدامها ينحصر في الأعضاء المعرضة لقوى الضغط فقط. إن تحديد قيمة الإجهاد المسموح للمنشآت الحجرية كالجدران الحاملة والدعامات والأقواس يعتمد على شكل وصلابة ومقاومة الأحجار المستخدمة، حيث أن هذه المقاومة تختلف إختلافاً كبيراً حسب نوعها، إضافة إلى إرتفاع وأبعاد هذه العناصر ونوع ومقاومة الملاط الرابط بين هذه الأحجار. فمثلاً تكون إجهادات الضغط المسموحة في الجدران الحجرية الحاملة وفي الأبنية العادية مساوية ($1.0MPa = 10\ Kgs/cm^2$) نظراً لضعف مادة المونة بين الأحجار إضافة لنحافة هذه الجدران، بينما يسمح في المنشآت المبنية من أحجار الغرانيت وذات النوعية الممتازة للملاط الرابط أن تقاوم وبأمان إجهادات ضغط مسموحة قد تصل إلى ($5.0MPa = 50Kgs/cm^2$). ويجب التنويه إلى أن المقاومة القصوى للإنهيار لهذه الأحجار أكبر من هذه القيم بكثير، إلا أنه ولتحديد قيم الإجهادات المسموحة للعناصر المبنية من هذه الأحجار يجب أن تقسم المقاومة القصوى للإنهيار على عامل أمان كبير.

يبين الشكل (٤ - ١) كيفية استخدام الأحجار في الهياكل الإنشائية التاريخية كالعقود والأقواس وأسبابه القديمة.



شكل رقم (٤ - ١)

استخدام الأحجار في الهياكل الإنشائية التاريخية.

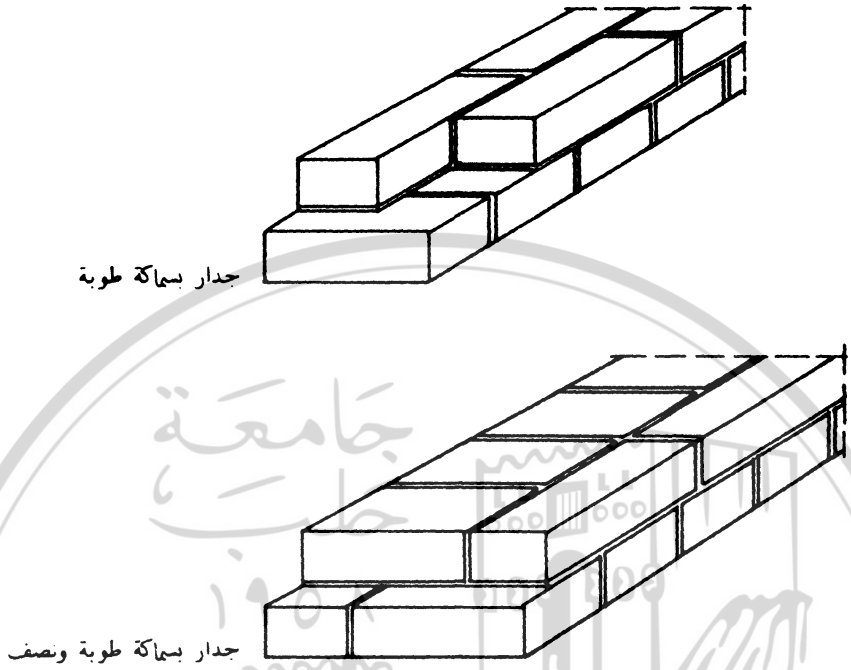
٤ ـ ٣ ـ الآجر : BRICKS

استخدم الآجر كمادة إنشائية منذ عدة آلاف من السنين. فقد استخدمه الفراعنة القدماء في بناء المعابد، وكانوا يصنعونه من الطمي الممزوج بالقش المقطع وذلك لإعطائه مقاومة أكبر ولمنع تشققه وتفتته بعد تجفيفه بالشمس .

أما الآجر فهو يصنع اليوم من الغضار الذي يضغط يدوياً في قوالب أو باستخدام آلات خاصة، ثم يشوي في أفران حتى الدرجة (1000°)مئوية فيأخذ شكله وصلابته المعروفة. وبما أن هناك أنواعاً مختلفة من الغضار فهناك أنواع عديدة من الآجر تختلف من حيث مواصفاتها ومقاوماتها. ويستخدم الآجر العادي الرخيص في البناء أما الآجر ذو المقاومة العالية جداً فيطلق عليه اسم الآجر الهندسي، ويستخدم أحياناً في قواعد الجسور ودعاماتها. وهو ذو قساوة كبيرة جداً وكثافة عالية ولونه أزرق غامق.

إن كل أنواع الآجر، كالأحجار، ذات مقاومة على إجهادات الضغط أكبر بكثير من مقاومتها على إجهادات الشد، ولذلك فهي جميعاً غير ملائمة للاستخدام في العناصر التي تتعرض لقوى الشد وإنما تستخدم في العناصر الإنشائية المعرضة لقوى الضغط فقط. وكما في الأحجار، فإنه لا يمكن تحديد مقاومة المنشآت المبنية من الآجر بدقة وذلك بتحديد مقاومة الآجر المستخدم فقط، ذلك أن طبيعة المادة الرابطة ودقة التنفيذ تؤثر كثيراً على هذه المقاومة.

وتعطي المواصفات العالمية وبالاعتماد على تجارب مخبرية كثيرة عدة قواعد وأنظمة تحدد فيها الإجهادات المسموحة التي يمكن أن يقاومها وبأمان كل نوع من أنواع البناء بالآجر، وبصورة عامة يمكن تحميل الآجر وبأنواعه المختلفة بإجهادات مسموحة تتراوح بين ($1.2MPa = 12Kgs / cm^2$) وذلك للآجر الرخيص العادي، وحتى ($3.5MPa = 35\ Kgs / cm^2$) وذلك للآجر القاسي المقاوم، ويبين الشكل (٤ ـ ٢) نموذجاً لبناء الجدران بواسطة الآجر.



شكل رقم (٤ ـ ٢)

استخدام الآجر في الجدران .

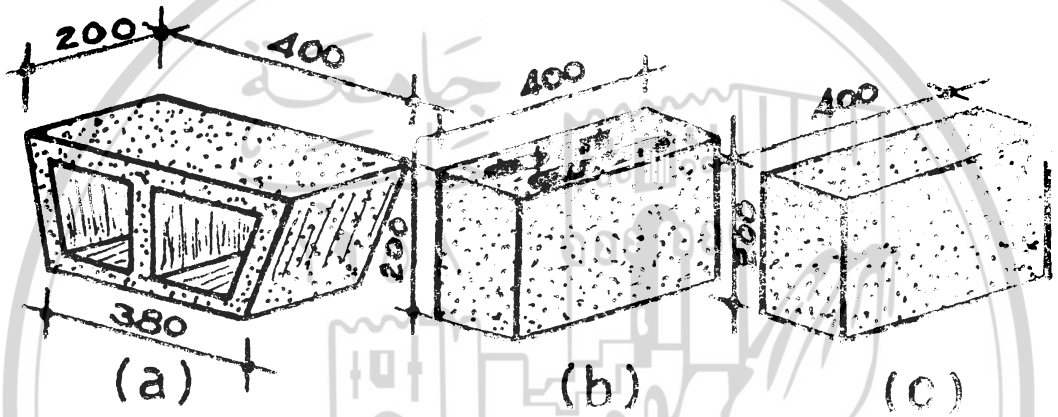
٤ ـ ٤ ـ أحجار الاسمنت (البلوك): CEMENT STONES (BLOCKS)

تصنع أحجار الاسمنت (البلوك) من الاسمنت والرمل الناعم والخشن والبحص الناعم ،وذلك بالنسب التالية (200KGS=2.0KN) إسمنت لكل (200) ليتر من الرمل الناعم و (200) ليتر من الرمل الخشن (السمسمية) و (400) ليتر من البحص الناعم (عدسية) . حيث تخلط بقليل من الماء وتضغط في قوالب مع الرج وذلك بمكابس خاصة وحتى تأخذ شكلها النهائي. ثم تحفظ هذه الأحجارمرطبة بالماء ولمدة خمسة عشر يوماً على الأقل لإكسابها المقاومة المطلوبة، وتستخدم بعد مرور شهر على الأقل من تاريخ صنعها .

ولأحجار الاسمنت (البلوك) أشكال مختلفة، فقد تكون مليئة دون فراغات وتستخدم في

الجدران الحاملة، أو ذات فراغات وتستخدم في القواطع غير الحاملة ولتأمين العزل الحراري، كما أن هناك عدة أنواع وأشكال تستخدم في البلاطات الهوردي. ويبين الشكل (٤ -٣) بعض أشكال أحجار الإسمنت (البلوك).

والأحجار الإسمنت (البلوك) أبعاد مختلفة وسماكات عديدة وذلك حسب الإستخدام والحاجة، إلا أن أكثرها استخدامها ذات أبعاد (200 x 400mm) وبسماكات مختلفة (80- 100- 150- 200mm). أما البلوك الهوردي والمستخدم في الأسقف فإن أبعاده وأشكاله تعتمد على سماكات البلاطات



شكل رقم (٤ -٣)

بعض أشكال أحجار الإسمنت (البلوك):

a - البلوك الهوردي.

b - البلوك المفرغ.

c - البلوك المليء.

UNIVERSITY OF ALEPPO

وتفاصيلها، إلا أن أكثرها شيوعاً ذات أبعاد (200 x 400mm) وسماكات مختلفة (160 - 180 - 200 - 220 mm).

إن لأحجار الإسمنت (البلوك)، كما في الأحجار والآجر، مقاومة معقولة لإجهادات الضغط بينما مقاومتها لإجهادات الشد ضعيفة، ولذلك فهي تستخدم في عناصر المنشآت التي تتعرض لقوى وإجهادات الضغط فقط كالجدران الحاملة. وتتراوح المقاومة القصوى للإنهيار للبلوك بين

(75 Kgs / cm^2= 7.5 MPa) للبلوك الملئ و (50 kgs / cm^2= 5.0MPa) للبلوك المفرغ.أما الإجهادات المسموحة فتعتمد على المقاومة القصوى للبلوك المستخدم ونوع ومقاومة الملاط، وإرتفاع العنصر وتتراوح بين (5Kgs/ cm2 = 0.5 MPa) و (10 Kgs / cm^2 =1.0 MPa) .

٤ ـ ٥ ـ الأخشاب : (WOOD (TIMBER

إن الأخشاب كالأحجار ذات مصدر طبيعي، لذلك فإنها قد استخدمت ومنذ أقدم العصور في الهياكل الانشائية . فأسقف الأبنية القديمة كانت مصنوعة من جذوع الأشجار، وكذلك كانت الجسور القديمة فوق الأنهر الصغيرة والجداول مصنوعة إما من قطع حجرية أو من قطع خشبية.

إن الأخشاب، وعلى عكس الأحجار والآجر ذات المقاومة الضعيفة لإجهادات الشد، ونظراً لطبيعتها المرنة ولأنها تحتوي على ألياف طولية فإن لها مقاومة عالية لإجهادات الشد وتعادل مقاومتها لإجهادات الضغط. إلا أن هذه المقاومة تختلف تبعاً لأنواع الأخشاب المستخدمة كما أنها تتغير ولنفس النوع وذلك حسب إتجاه الألياف الخشبية واتجاه تطبيق الحمولات.

إن هناك أنواع كثيرة من الأخشاب، إلا أن الأخشاب الطرية، كالخشب الأبيض والشوح والحور، هي الأخشاب الأكثر استخداماً في المباني والمنشآت الخشبية الصغيرة وفي العناصر الحاملة للأرضيات الخشبية، وتكون الإجهادات المسموحة لهذه الأخشاب وللعناصر القصيرة الموازية للألياف بحدود (60 kgs/cm^2 =6.0MPa) . أما الأخشاب ذات القساوة الأكبر كالصنوبر، وبالرغم من مقاومتها الأعلى، فإنها قليلة الأستخدام نظراً لكلفتها العالية . ولنفس الاسباب لا تستخدم الأخشاب القاسية جداً كالسنديان إلا في الأحوال الخاصة.

في السنوات القليلة الماضية ، بدأ المهندسون الإنشائيون باستخدام الأخشاب استخدامات جديدة وذلك على شكل منشآت قوسية أو على شكل إطارات خشبية ذات مجازات كبيرة.

٤ ـ ٦ ـ البيتون العادي والبيتون المسلح:

PLAIN CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE

يصنع البيتون العادي بمزج الإسمنت والمواد الحصوية الناعمة والخشنة مع الماء ثم صبها في قوالب لتأخذ شكلها النهائي مشكلة مادة شبه صخرية. يكون الإسمنت عادة من نوع الاسمنت البورتلاند ي العادي، أما المواد الحصوية فهي البحص والرمل المأخوذ من المقاطع الطبيعية وضفاف الأنهار أو المكسرة من الصخور. يجب أن تكون المواد الحصوية متدرجة في أحجامها وغير حاوية على أملاح أو غضار أو شوائب . يصنف الرمل بحيث تمر أغلب الحبيبات من المنخل ذو الفتحات (5mm) . وتحجز على المنخل رقم (100) وأبعاد فتحاته (150) ميكرون، أما البحص فيصنف بحيث تمر أغلب الحبيبات من المنخل ذو الأبعاد (25mm) وتحجز علي المنخل ذو الفتحات (5mm) . وقد يستخدم البحص ذو الأبعاد الأكبر في بعض المنشآت ذات السماكات الكبيرة كالسدود والجدران الإستنادية.

من الضروري أن تكون أبعاد المواد الحصوية الداخلة في الخلطة البيتونية متدرجة بانتظام دون انقطاع وبحيث أنه خلال مزج البيتون تملأ الحبيبات الصغيرة الحجم الفراغات بين الحبيبات الكبيرة الحجم، كما تملأ الروبة الإسمنتية الفراغات بين الحبيبات الصغيرة الحجم معطية بيتوناً عادياً مكتنزاً قليل الفراغات.

عادة يكون البيتون العادي المستخدم في الأبنية العادية ذو نسبة (١ : ٢ : ٤) وهذا يعني أن نسب المواد الداخلة في تركيبه حجماً هي: حجم واحد اسمنت مقابل حجمين من الرمل وأربعة أحجام من البحص،ولقد حددت هذه النسب التقريبية بحيث يكون الحجمان المأخوذان للرمل كافيين لملء فراغات الأحجام الأربعة للبحص، وبالمقابل يكون الحجم الواحد المأخوذ للإسمنت كافياً مع الماء لملء الفراغات المتبقية بين الرمل ولتغليف كامل الحبيبات، حيث أن الإسمنت ناعم جداً ويمر من المنخل رقم (170) ذو الفتحات (90) ميكرون .

نظراً لطبيعة الإسمنت الناعم جداً، فإن قياس حجمه يكون في أغلب الأحيان صعباً، ونظراً لتوفره بأكياس ذات وزن ثابت (50 kgs=0. 5KN) . فإنه عملياً وعند تنفيذ الخلطات البيتونية ، تؤخذ

عيارات الاسمنت بالوزن وعيارات الرمل والبحص بالحجم فيقال مثلاً خلطة بيتونية عيار (300kgs=3KN) اسمنت لكل (400) ليتر رمل و(800) ليتر بحص ، وهذه الخلطة وبعد مزجها تعطي ($1.0\,m^3$) من البيتون العادي.

تعتمد مقاومة البيتون العادي على عوامل كثيرة ومتعددة، إلا أن أهمها هو نسبة الماء إلى الاسمنت ، (w / c) ، (water / cement ratio) . فإننا إذا قمنا بتثبيت كافة العوامل الأخرى، فإننا نحصل ولنفس البيتون العادي علي مقاومات أعلى كلما زدنا كمية الاسمنت أو قللنا كمية المياه المستخدمة. إلا أن تقليل نسبة الماء محدود بنسب معينة وبحيث لا تؤثر على إمكانية تشغيل البيتون (Workability) ، أي إمكانية جبله وصبه بسهولة. ولذلك في بعض الأحيان ولبعض المنشآت الهامة، وبغية الحصول على بيتون ذو مقاومات أعلى، فإننا نستخدم كميات أكبر من الاسمنت حيث نستخدم بيتوناً ذو نسب (١ : ١ / ٢ : ٣) أو حتى (١ : ١ : ٢)أي بعيار (350 kgs=3.5KN) اسمنت أو حتى (400 kgs=4.0KN) اسمنت لكل(400)ليتر رمل و(800)ليتر بحص.

تحدد المقاومة القصوى للبيتون على الكسر بالضغط وذلك باختيار عينات من هذا البيتون علي شكل قوالب نظامية على شكل اسطوانات قياسية ذات أقطار (150mm) وارتفاع (300mm) أو على شكل مكعبات قياسية بأبعاد (200 X 200 X 200mm)، وبحيث يكون عمر البيتون (28) يوماً ومحفوظ تحت الماء بدرجة حرارة مقدارها (2 ±20) درجة مئوية. ويبين الجدول (٤ـ ١) مقاومات الضغط المميزة المحتملة والتي تحددها المواصفات و لعينات اسطوانية ومكعبات قياسية وذلك حسب كمية الاسمنت المستخدمة وبشرط أن تكون مركبات البيتون، ولاسيما كمية الماء المستخدمة ، وطريقة الجبل والنقل والرج قد تمت طبق الأصول الفنية.

أما إذا أجريت التجارب على أشكال أخرى من العينات غير الاسطوانة القياسية ، قطر (150mm) x ارتفاع (300mm) ، فيجب ضرب قيم المقاومات الناتجة بمعامل التصحيح الواردة قيمه في الجدول (٤ ـ ٢) ، وإذا اجريت بأعمار غير عمر (28) يوماً بعد الصب فيجب تعديل قيم المقاومة الناتجة حسب الجدول (٤ ـ ٣) وذلك لإرجاعها إلى الشروط النظامية.

كمية الاسمنت kgs/m^3	100	150	200	250	300	350	400
درجة جودة البيتون	C5	C8	C10	C12	C15	C18	C20
المقاومة الاسطوانية المميزة المحتملة ($10\ kg/cm^2 = MPa$)	5	8	10	12	15	18	20
المقاومة المكعبية المحتملة ($10\ kg/cm^2 = MPa$)	6	9.5	12	14.5	18	21.5	24
مجال الاستخدام	ردم	نظافة تحت الأساسات	بيتون عادي نظافة وأرضيات		بيتون مسلح		

الجدول (٤ - ١) المقاومات المكعبية والاسطوانية المحتملة حسب كمية الاسمنت .

شكل العينة	أبعاد العينة (mm)	معامل التصحيح
الاسطوانة	قطر 150 x 300 ارتفاع	1.00
	قطر100 x 200 ارتفاع	0.97
	قطر 250 x 500 ارتفاع	1.05
الموشور	300 x 150 x 150	1.00
	450 x 150 x 150	1.05
	600 x 200 x 200	1.05
المكعب	100 x 100 x 100	0.78
	150 x 150 x 150	0.80
	200 x 200 x 200	0.83
	300 x 300 x 300	0.90

الجدول (٤ - ٢) قيم معامل التصحيح للأشكال المختلفة للعينات .

عمر البيتون باليوم	3	7	28	90	360 أو أكثر
معامل التصحيح	2.50	1.50	1.00	0.90	0.80

الجدول (٤ ـ ٣) قيم معامل التصحيح للبيتون ذي الأعمار المختلفة .

يصنع البيتون العادي خفيف الوزن ويدعى بالبيتون الرغوي ، وذلك باستخدام بعض المواد الحصوية خفيفة الوزن مع إضافة مواد كيميائية خاصة أثناء جبل البيتون تطلق غازات ، وبحيث يصبح البيتون بعد التصلب مليئاً بالفراغات وخفيف الوزن ، ولا يستعمل هذا النوع من البيتون في عناصر الهيكل الإنشائي ، بل يستخدم لأعمال العزل الحراري والصوتي وطبقات الميول .

يرجع تاريخ الإسمنت الذي نعرفه الآن إلى النصف الأخير من القرن التاسع عشر فقط . أما قبل ذلك فلم تعرف هذه المادة وكان هناك أنواع أخرى من الملاط والمواد الرابطة . فلقد عرف الرومان نوعاً بدائياً من البناء مكوناً من قطع صغيرة من الأحجار مع مونة كلسية ترص على طبقات . وتصنع هذه المونة من الجير الأبيض أو الصخر الكلسي إلا أن مقاومتها كانت ضعيفة جداً . ولقد اكتشف الرومان طريقة لزيادة مقاومة هذه المونة وذلك بخلطها مع الرماد البركاني .

وبعد العصر الروماني انحدرت صناعة المواد الرابطة ، وبقي استخدام الكلس في المونة حتى القرن التاسع عشر حيث لوحظ أن المونة التي نحصل عليها من الأحجار الكلسية والتي تحتوي على بعض المواد الغضارية تكون أقوى من التي نحصل عليها من الأحجار الكلسية النقية . ولقد استفاد من هذه الملاحظة بناء من مدينة ليدز في بريطانيا ويدعى جوزيف أسبدين (Joseph Aspdin) ، حيث قام بانتاج نوع من الإسمنت باستخدام الغضار والأحجار الكلسية وأطلق عليه اسم الاسمنت البورتلاندي (Portland cement) نظراً لتشابهه بعد التصلب ، ومن حيث اللون ، مع الأحجار الموجودة في منطقة بورتلاند ، وهي نوع من الأحجار الكلسية . كان هذا الاسمنت ذو مقاومة ضعيفة ، إلا أن التحسينات المستمرة في طريقة الصنع أدى إلى إنتاج الأنواع الحالية من الإسمنت وذات المقاومة العالية . وتقام مصانع

الاسمنت حالياً في المناطق التي يتوفر فيها مادتي الحجر الكلسي والغضار.

إن عملية تصلب الاسمنت البورتلاندي عملية كيميائية معقدة، إلا أنه يمكن القول وببساطة أن هذا التصلب ينتج عن إتحاد الماء مع المركبات الكيميائية المختلفة والناتجة عن شي المواد الأولية من الاحجار الكلسية والغضار في الأفران الخاصة ذات درجات الحرارة المرتفعة .

هناك حالياً أنواع عديدة من الاسمنت البورتلاندي فبالإضافة إلى الاسمنت العادي هناك الاسمنت الأبيض، والاسمنت سريع التصلب، والاسمنت ذو الحرارة المنخفضة، والاسمنت المقاوم للكبريتات ...الخ . وعادة يستعمل في البيتون المسلح الاسمنت البورتلاندي العادي إلا في بعض الحالات الخاصة والتي تستدعي استعمال الانواع الاخرى من الاسمنت البورتلاندي .

وبالإضافة إلى الإسمنت البورتلاندي فإن هناك أنواعاً عديدة من الاسمنت تم إنتاجها في الوقت الحاضرومن أهمها الإسمنت عالي الألومين، وقد أنتج لأول مرة في فرنسا، ولونه داكن قريب من السواد. وهو ذو مقاومة أعلى وأسرع في التصلب، وأكثر مقاومة للتآكل الناتج عن تأثير الكبريتات وماء البحر من الاسمنت البورتلاندي العادي . وينتج هذا الأسمنت بمزج الكلس مع خام الألومنيوم ويدعى البوكسيت (Bauxite) . ولايستخدم الاسمنت عالي الألومين في المنشآت العادية، حيث يمكن استخدام الاسمنت البورتلاندي الأكثر اقتصادية، بل يستخدم في بعض المنشآت الخاصة والبحرية وفي بعض الأساسات والأنفاق، كما يستخدم في تنفيذ صوامع تخزين الكبريت والذي يؤثر بشدة على البيتون المصنوع من الإسمنت البورتلاندي ويؤدي إلى تآكله.

بالإضافة إلى أهمية استخدام البيتون العادي في المنشآت ، فإن التطبيق الأكثر أهمية، هو استخدام البيتون العادي مع فولاذ التسليح، والذي يشكل البيتون المسلح والبيتون مسبق الإجهاد.

٤ ـ ٧ ـ الفولاذ : STEEL

إن المادة الأساسية في تصنيع الفولاذ والحديد الصب هي خام الحديد ، وهو عبارة عن صخور

تحتوي على مركبات الحديد المتفاعلة كيميائياً مع المعادن الأخرى. ويتم الحصول على الحديد بتسخين الخامات إلى درجات حرارة عالية جداً بواسطة أفران خاصة. ويمكن تقسيم الحديد إلى نوعين أساسيين : الحديد الصب والفولاذ . وبالرغم من أن هذين النوعين من نفس المادة إلا أن وجود قليل من العناصر الاخرى المضافة إليها يؤثر تأثيراً كبيراً على صفات وخصائص المعدن ومن أكثر هذه العناصر تأثيراً الكربون (الفحم) . فعندما تكون نسبة الكربون قليلة يكون المعدن طرياً ومطاوعاً (Ductile) وعندما تزيد هذه النسبة يصبح المعدن قاسياً وهشاً سريع الانكسار (Brittle) .

لقد استخدم الحديد من قبل إنسان ماقبل التاريخ إلا أن طريقة استخراجه بقيت غير معروفة، ويعتقد البعض أنها كانت تتم وذلك بوضع الخامات في أفران بدائية حتى تصبح مادة عجينة طرية ثم تطرق لتأخذ شكلها المطلوب. ثم اكتشف الحديد الصب عندما عرف الإنسان كيف يصهر الحديد بالأفران ذات درجات الحرارة العالية وبالتالي يمكن صبه في قوالب ليأخذ شكله النهائي. أما الفولاذ وبالرغم من أنه قد اكتشف منذ مئات السنين إلا أنه بقي وحتى النصف الثاني من القرن التاسع عشر نادراً وذو كلفة عالية، وكان ينتج بكميات قليلة لاستخدامه في صناعة السيوف والنوابض وبعض القطع الاخرى.

أما في الوقت الراهن فإن الطرق الحديثة لانتاج الحديد الصب والفولاذ تبدأ بالمرحلة الأولى وهي صهر خامات الحديد في أفران خاصة للحصول علي الحديد الأولي (Fig iron) ، حيث يخرج من الأفران الخاصة على شكل جدول من الحديد المصهور السائل فيصب على شكل سبائك أو يؤخذ مباشرة إلى أفران انتاج الفولاذ. ويحتوي هذا الحديد الأولي علي نسبة عالية من الكربون مما يجعله هشاً سريع الانكسار بالإضافة إلى بعض العناصر كالسيكيليون والمنغنيز والكبريت والفوسفور...الخ.

يصنع الحديد الصب من الحديد الأولي وذلك بعد إذابته ومعالجته وإضافة بعض المواد إليه. ويمكن الحصول على أنواع مختلفة من الحديد الصب تختلف من حيث المقاومة والقساوة والمطاوعة وذلك حسب كمية ونوع المواد المضافة .

ولانتاج الفولاذ يؤخذ الحديد الأولي مع بعض كسارة الفولاذ إلى أفران خاصة وتسخن إلى

درجات عالية جداً لاحراق الكربون والفوسفور وجميع الشوائب. وبعد تنقية الحديد المصهور تضاف إليه الكميات اللازمة وبشكل دقيق من كافة المواد اللازمة بمافيها الكربون وذلك لإكسابه الخواص المطلوبة. ثم يصب في قوالب كبيرة ويبرد حتى يصبح عجيني القوام ثم يسحب على شكل صفائح أو قضبان أو أية أشكال أخرى مطلوبة. كما يمكن أيضاً صب الفولاذ في قوالب ذات أشكال معينة وذلك حسب الحاجة .

يحتوي الفولاذ العادي الطري المستخدم في المقاطع الفولاذية الانشائية والصفائح وقضبان التسليح علي نسبة قليلة من الكربون (حوالي 0.2%) ، بينما يحتوي الفولاذ المستخدم في آلات القطع مثلاً على نسب أعلى من الكربون، ولذلك فهو أكثر مقاومة وقساوة إلا أنه أسرع إنكساراً وأقل مطاوعة.

يتوفر الفولاذ المستخدم في الهياكل الانشائية بعدة أشكال مختلفة يمكن أن نذكر اهمها فيما يلي:

آ ـ قضبان التسليح المستخدمة في البيتون المسلح (Reinforcing bars) وهي بأشكال وبانواع مختلفة.

ب ـ كابلات التسليح المستخدمة في البيتون مسبق الإجهاد (Prestressing cables) .

جـ ـ المقاطع الفولاذية الانشائية : (Structural steel sections) .

٤ ـ ٧ ـ ١ ـ قضبان التسليح : REINFORCING BARS

يمكن أن تصنف قضبان التسليح وحسب شكلها إلى:

آ ـ القضبان الملساء (Plain bars) .

ب ـ القضبان المخلزنة وذات النتوءات (Deformed bars).

جـ ـ الشبك الملحومة (Welded meshes) .

كما يمكن أن تكون من أحد أنواع الفولاذ الآتية:

آ ـ فولاذ طري عادي (Ordinary mild steel) .

ب ـ فولاذ متوسط المقاومة (Medium strength steel) .

جـ ـ فولاذ عالي المقاومة (High tensile steel) .

وتكون مدلفنة على الساخن أو معالجة على البارد .

أشكال القضبان	نوع الفولاذ والرمز	الحد الأدنى لمقاومة الشد عند الإنقطاع (f_{su}) (MPa =10kg/cm^2)	الحد الأدنى لإجهاد الخضوع (f_y) أو إجهاد الخضوع الإصطلاحي ($f_{0.2}$) (MPa)	النسبة المئوية الدنيا للإستطالة القصوى عند الإنقطاع %
ملساء	فولاذ طري (ϕ) عادي	370	240	20
محلزنة ذات نتوءات	فولاذ طري متوسط المقاومة (H)	440	300	16
محلزنة ذات نتوءات	فولاذ طبيعي عالي المقاومة (T)	500	400	12
محلزنة ذات نتوءات	فولاذ معالج على البارد عالي المقاومة (T)	500	400	10

الجدول (٤ ـ ٤) الخواص الميكانيكية لأنواع القضبان الفولاذية الأكثر استعمالاً.

إن القضبان المصنوعة من الفولاذ الطري العادي هي عادة ذات سطح أملس (قضبان ملساء) ، أما

تلك المصنوعة من الفولاذ المتوسط أو العالي المقاومة فيشترط أن تكون ذات سطح محلزن يكون به من النتوءات مايكفي لاحداث التماسك اللازم مع البيتون .

أما الشبك الملحومة فتكون عادة من قضبان الفولاذ متوسط المقاومة ومتشابكة مع بعضها البعض وبالإتجاهين وملحومة على الكهرباء في نقاط التشابك ، وتستخدم في البلاطات والقشريات الرقيقة.

تحدد الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح بالعناصر التالية :

آ ـ إجهاد الخضوع للفولاذ الطري (Yield stress) , (f_y) . أو إجهاد الخضوع الإصطلاحي للفولاذ عالي المقاومة (Proof stress) , ($f_{0.2}$) .

ب ـ إجهاد الشد الأقصى (Ultimate tensile stress), (f_{su}) .

جـ ـ النسبة المئوية للاستطالة القصوى عند الإنقطاع .

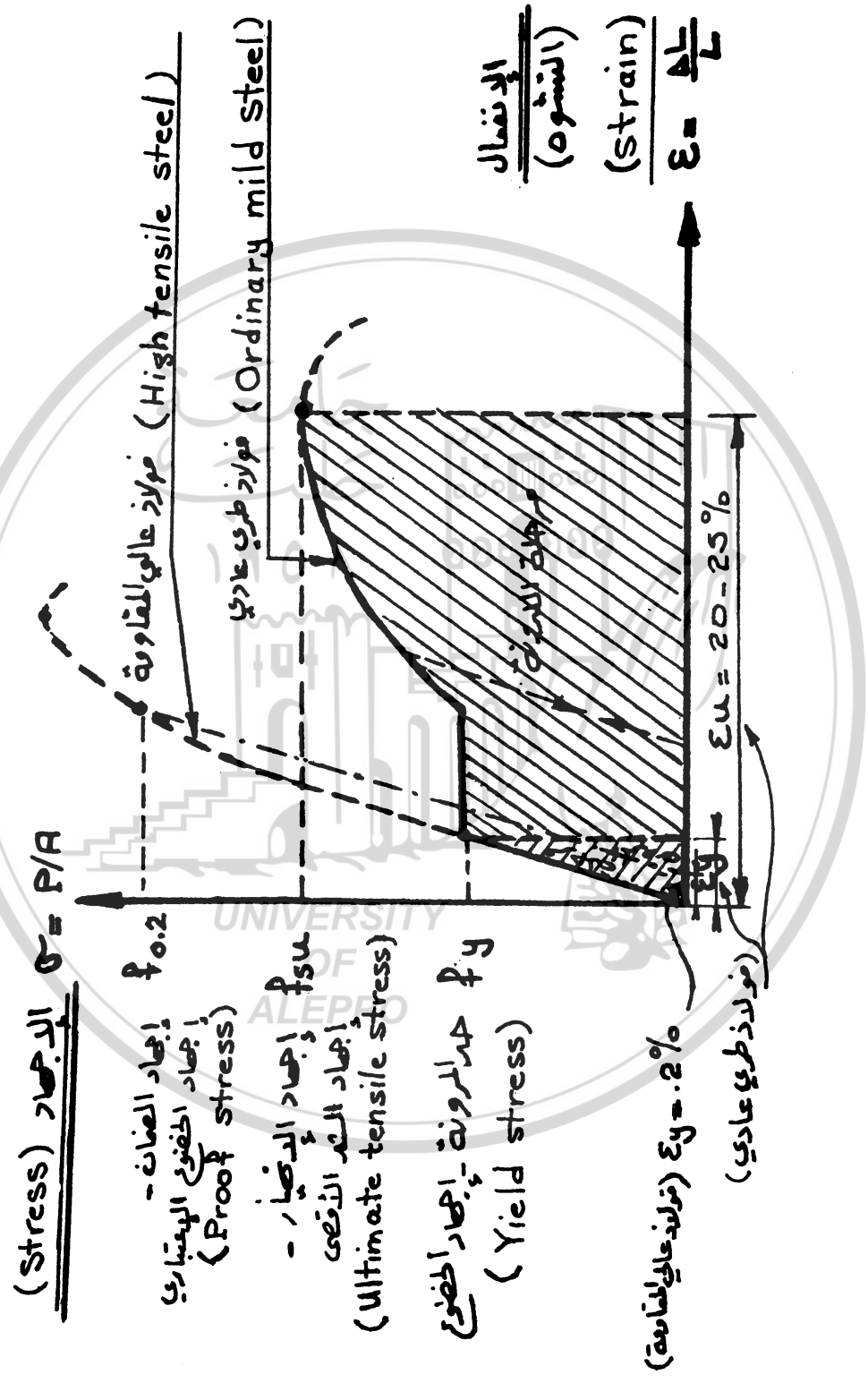
ويبين الجدول (٤ ـ ٤) أنواع القضبان الأكثر استعمالاً مع خواصها الميكانيكية.

٤ ـ ٧ ـ ١ ـ ١ ـ الفولاذ الطري العادي : ORDINARY MILD STEEL

وهو يستخدم عادة في عناصر الأبنية والمنشآت الصغيرة وفي البيتون المسلح ذو المقاومات الضعيفة وقضبانه ذات سطح أملس. إن إجهاد الشد الأقصى، (Ultimate tensile stress), (f_{su}), لهذا النوع من الفولاذ لايقل عن ($3700Kg/cm^2$ = 370 MPa) ، ومن خواصه الهامة مايعرف بحد المرونة أو إجهاد الخضوع (yield stress) , (f_y)، وهو لايقل عن ($2400Kg/cm^2$ = 240 MPa).

ويمكن توضيح مفهوم حد المرونة كما يلي : إذا اختبر قضيب من الفولاذ الطري العادي على الشد وذلك بتطبيق قوى متزايدة بالتدريج ، فإن القضيب سوف يتطاول بانتظام وحسب قيمة الإجهاد المطبق. وفي البداية يكون الفولاذ مرناً أي أنه يتطاول بنفس النسب عند تطبيق نفس الحمولات ، كما أنه يعود إلى طوله وشكله الأصلي عند إزالة هذه الحمولات . ويطلق على هذه المرحلة مرحلة المرونة

(Elastic Stage)، الشكل (٤ ـ ٤) . وعندما تزداد الحمولات بصورة كبيرة نصل إلى نقطة حدود



شكل رقم (٤ ـ ٤) منحني الإجهاد ـ الإنفعال للفولاذ الطري العادي والعالي المقاومة.

مرحلة المرونة (Elastic Limit) . حيث يفقد الفولاذ خاصية المرونة السابقة ويبدأ بالتطاول بصورة كبيرة دون زيادة في الإجهادات المطبقة . ويطلق على الاجهاد الموافق لهذه النقطة بحد المرونة أو إجهاد الخضوع (Yield stress) , (f_y) . وبعد تطاول معين يصبح الفولاذ قادراً على تحمل إجهادات إضافية ، إلا أن التطاول يصبح أكبر بكثير من مرحلة المرونة السابقة . ويطلق على هذه المرحلة ، مرحلة اللدونة (Plastic stage) . ويستمر الإجهاد في الأزدياد إلى أن ينقطع القضيب عند الوصول إلى إجهاد الشد الأقصى (Ultimate temsile stress) ، (f_{su}) . وتكون النسبة المئوية القصوى للاستطالة عند الإنقطاع حوالي (20 - 25%) .

إن حد المرونة أو إجهاد الخضوع ، (f_y)، هي المقاومة الميكانيكية المميزة للفولاذ والتي يبنى التصميم على أساسها ، ويجب أن يكون حده الأدنى المحدد بالمواصفات مضموناً ، كما يجب تحديده على أساس تجارب معملية ومخبرية . وعند التصميم الانشائي يجب أخذ عامل أمان مناسب بحيث تكون الإجهادات الفعلية المطبقة على فولاذ المقاطع أقل من إجهاد الخضوع لمنع حدوث أية تشوهات كبيرة في العناصر ، ومن ناحية أخرى ، وفي حالة زيادة الإجهادات وحتى الوصول إلى إجهاد الخضوع ، فإن التطاول الكبير الذي سيحصل عند وصولنا إلى حد المرونة سيعطينا تشوهات كبيرة وإنذاراً لإمكانية إنهيار المنشأ وذلك قبل الوصول إلى إجهاد الإنهيار ، مما يعطينا فترة إنذار كافية لترك المنشأ . بينما في المواد القاسية الهشة كما في الحديد الصب ونظراً لعدم وجود عتبة حد المرونة فإن الانهيار يحدث بصورة فجائية ودون أية إنذارات .

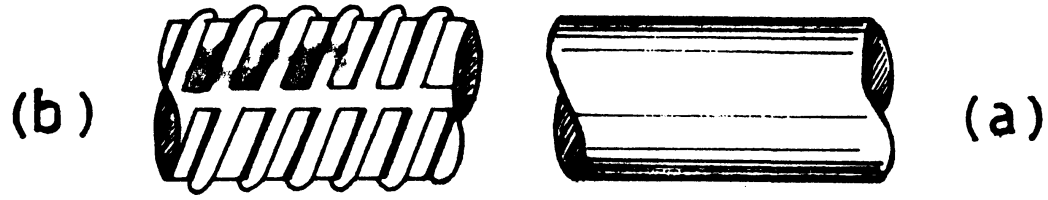
في الفولاذ العادي الطري وعند التصميم الإنشائي تؤخذ الاجهادات المسموحة للشد (σ_{per}) , مساوية إلى (σ per = 0.55 f_y = 132 MPa = 1320 kg / cm^2) ، وبذلك يكون عامل الأمان بحدود (Safety factor = 1.8) .

٤ ـ ٧ ـ ١ ـ ٢ ـ الفولاذ الطري متوسط المقاومة :

MEDIUM STRENGTH STEEL

وهو يستخدم عادة في عناصر الأبنية والمنشآت المتوسطة ، وفي البيتون المسلح ذي المقاومات

المتوسطة.وقضبانه محلزنة وذات نتوءات لزيادة تلاحمها مع البيتون ، الشكل (٤ ـ ٥) .إن منحني



قضبان ملساء
الفولاذ الطري العادي

قضبان محلزنة وذات نتوءات
الفولاذ الطري المتوسط المقاومة
والفولاذ العالي المقاومة

شكل رقم(٤ ـ ٥) أشكال القضبان الفولاذية:
a ـ الفولاذ الطري العادي .
b ـ الفولاذ الطري المتوسط المقاومة
والفولاذ العالي المقاومة.

الاجهاد ـ الإنفعال لهذا الفولاذ مشابه لمنحني الفولاذ الطري العادي، إلا أن إجهاد الشد الأقصى ، (f_{su}) ، وإجهاد [redacted] قليلاً حيث لا يقل إجهاد الشد الأقصى ، (f_{su}) ، عن (f_{su} = 440MPa = 4400 kg /cm^2) ، ولايقل إجهاد الخضوع (fy) عن (f_y = 300 MPa = 3000 kg / cm^2) . كما تبلغ النسبة المئوية القصوى للاستطالة عند الانقطاع لهذا الفولاذ حوالي (16% -20%) .و عند التصميم الإنشائي تؤخذ الإجهادات المسموحة للشد (σ_{per}) ، مساوية إلى ($\sigma_{per} = 0.55f_y$ = 165 MPa = 1650 kg / cm^2) .

٤ ـ ٧ ـ ١ ـ ٣ ـ الفولاذ عالي المقاومة : HIGH TENSILE STEEL

إن إضافة بعض المواد خلال عملية إنتاج الفولاذ كالكربون والنحاس يؤدي إلى زيادة مقاومته وقساوته. وبالتالي نحصل على ما يدعى الفولاذ عالي المقاومة .

ويستخدم هذا النوع من الفولاذ في المنشآت الكبيرة والهامة وفي البيتون المسلح ذي المقاومات العالية وقضبانه محلزنة وذات نتوءات لزيادة تلاحمها مع البيتون، الشكل (٤ ـ ٥) . إن منحني الإجهاد ـ الإنفعال للفولاذ عالي المقاومة مختلف تماماً عن منحني الفولاذ الطري، الشكل رقم (٤ ـ ٤)، حيث أن حد المرونة أو مرحلة الخضوع لا تكون ظاهرة بهذا المنحني ويكون إجهاد الخضوع إعتبارياً، ويعرف بأنه الإجهاد الذي يترك إنفعالاً متبقياً مقداره (0. 2%) وذلك بعد إزالته .ويدعى هذا الإجهاد بإجهاد الخضوع الاعتباري، (Proof stress)، ويرمز له بالرمز ($f_{0.2}$) . إن إجهاد الشد الأقصى ، (f_{su})، لهذا النوع من الفولاذ لا يقل عن ($f_{su} = 500\ MPa = 5000\ kg / cm^2$) ولايقل إجهاد الخضوع الاعتباري، ($f_{0.2}$) ، عن ($f_{0.2} = 400\ MPa = 4000\ kg / cm^2$)، كما تبلغ النسبة المئوية القصوى للاستطالة عند الانقطاع لهذا الفولاذ حوالي (15% - 10%). وعند التصميم الانشائي تؤخذ الاجهادات المسموحة للشد، (σ_{per}) ، مساوية إلى ($\sigma per = 0.55 f_y = 220\ MPa = 2200\ kg / cm^2$).

هناك نوعان من الفولاذ عالي المقاومة الأول فولاذ طبيعي مدلفن على الساخن ويكون أقل قساوة وأكثر مطاوعة وأكبر نسبة للاستطالة عند الإنقطاع وفولاذ معالج على البارد أكثر قساوة وأقل مطاوعة وأصغر نسبة للإستطالة عند الإنقطاع وهو سريع التقصف عند ثنيه.

٤ ـ ٧ ـ ٢ ـ كابلات مسبق الإجهاد PRESTRESSING CABLES

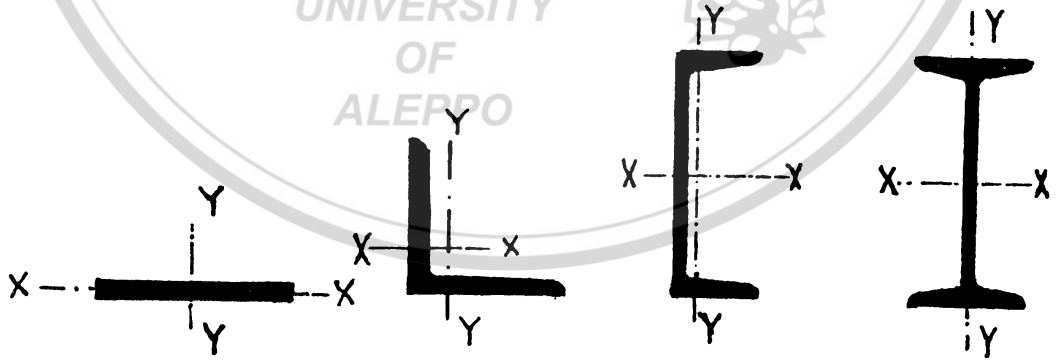
إن الفولاذ المستخدم في البيتون مسبق الاجهاد هو عبارة عن كابلات مؤلفة من عدد من الأسلاك

شكل رقم (٤ ـ ٦) كابلات مسبق الإجهاد.

الفولاذية المعالجة على البارد والعالية المقاومة وذات أقطار أصغر من الأقطار المستخدمة في قضبان التسليح للبيتون المسلح ، الشكل (٤ ـ ٦) .وكلما صغر قطر الأسلاك المسحوبة كلما زاد إجهاد الشد الأقصى لهذه الأسلاك، وتتراوح هذه الإجهادات من ($\sigma_{su} = 1500MPa = 15000\ kg/cm^2$) وذلك للأقطار (7 - 8 mm) إلى ($\sigma_{su} = 2300\ MPa = 23000kg/cm^2$) وذلك للأقطار (2mm) .

٤ ـ ٧ ـ ٣ ـ المقاطع الفولاذية الإنشائية : STRUCTURAL STEEL SECTIONS

نستخدم المقاطع الفولاذية الإنشائية في تنفيذ الهياكل الانشائية المصنوعة من الفولاذ كناطحات السحاب والمستودعات الكبيرة والإطارات والجوائز الشبكية المعدنية ..الخ . إن الخواص الميكانيكية لهذه المقاطع هي نفس الخواص لقضبان التسليح من حيث إجهاد الخضوع وإجهاد الشد الأقصى، وتختلف عنها من حيث الشكل فقط ، حيث تتوفر هذه المقاطع بأشكال وأبعاد مختلفة يمكن أن نذكر منها : الصفائح الملساء (Plates) ، والمقاطع المبسطة (Flats) ، والصفائح ذات النتوءات (Chequered plates) ، والزوايا (Angles) ، والمجاري (Channels) ، والمقاطع I (I - Sections) ، والمقاطع T (T - Sections) ، ...الخ ، ويبين الشكل(٤ ـ ٧) بعض هذه الأشكال .



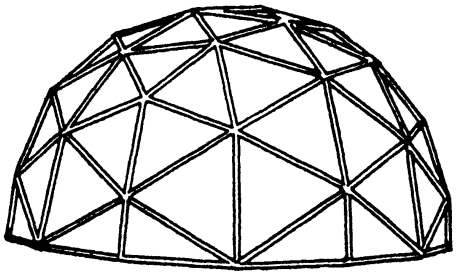
a ـ صفائح	b ـ زوايا	c ـ مجاري	d ـ مقطع I
(Plales)	(Angles)	(Channels)	I-Seations

شكل رقم(٤ ـ ٧) بعض أشكال المقاطع الفولاذية الإنشائية.

٤ ـ ٨ ـ خلائط الألومنيوم : ALUMINIUM ALLOYS

إن المصدر الأساسي لمعدن الألومنيوم هو الخام المسمى بالبوكسيت (Bouxite) والذي أكتشف لأول مرة قرب قرية ليبو (Les Baux) في فرنسا . إن معدن الألومنيوم النقي طري جداً بحيث لا يمكن استخدامه في العناصر والهياكل الإنشائية ، ولكن مقاومته يمكن أن تزداد وبشكل كبير ، وذلك عند خلطه مع بعض المعادن الأخرى مشكلين ما يدعى بخلائط الألومنيوم . وتستخدم عادة في هذه الخلائط المعادن الرئيسية التالية : النحاس والمنغنيزيوم والنيكل والزنك .

لقد تطورت صناعة خلائط الألومنيوم في الوقت الحاضر وبشكل كبير وواسع ، كما تم تحسين خواصها الميكانيكية ، حيث أمكن حالياً الحصول على خلائط تفوق من حيث إجهادات الشد القصوى إجهادات الشد للفولاذ . ونظراً لأن الوزن الحجمي لهذه الخلائط صغير جداً ($27.0\ KN / m^3$) بالمقارنة مع الوزن الحجمي للفولاذ ($78.5\ KN / m^3$) فإنه يمكن وبهذه الخلائط تنفيذ هياكل إنشائية أخف وزناً من الهياكل الإنشائية الفولاذية . ولكن لهذه الخلائط سيئتان أساسيتان ،أولهما : أن إسعارها وحتى الآن ماتزال مرتفعة للغاية ، وثانيهما : أن عامل المرونة ، (Modulus of elasticity) ، لهذه الخلائط صغير جداً بالمقارنة مع عامل المرونة لفولاذ .(عامل المرونة هو نسبة الإجهاد إلى الإنفعال) ، مما يعني أن خلائط الألومنيوم تتشوه وتنفعل تحت تأثير الحمولات المطبقة بشكل كبير ، وأكبر بكثير من تشوه وإنفعال الفولاذ تحت تأثير نفس الحمولات . ولذلك فهي لا تستخدم في الهياكل الإنشائية العادية المعرضة لإجهادات كبيرة بل يكون استخدامها محصوراً في المنشآت المعرضة لإجهادات صغيرة نسبياً والتي لا تتعرض لتشوهات كبيرة ، أو في المنشآت والهياكل الإنشائية الصلبة حيث لا توجد مثل هذه التشوهات .وفي بعض المنشآت الفراغية ذات المجازات الكبيرة جداً يكون استخدام خلائط الألومنيوم



شكل رقم (٤ ـ ٨) استخدام خلائط الألومنيوم في القباب الجيوديزية .

ضرورياً وذلك لتخفيف الوزن الذاتي للمنشأ، ويبين الشكل (٤ ـ ٨) إحدى هذه المنشآت والتي تم استخدام خلائط الألومنيوم في تنفيذها، وهي على شكل قباب مفرغة مشكلة من جائز شبكي فراغي، وتدعى القباب الجيوديزية.

٤ ـ ٩ ـ اللدائن المقواة : REINFORCED PLASTICS

تتوفر اللدائن كمواد أولية بشكلين صلب وسائل، وبعد التحضير وقبل الصب يصبح كلا الشكلين سائلاً، وذلك بعد مزجه بمواد أخرى. وتتألف اللدائن بصورة أساسية من مادة راتنجية (Resin) ، كالبوليستر (Polyester) أو الإيبوكسي (Epoxy) ومادة محرضة للتصلب. أما ألياف التقوية فتكون عادة من الألياف الزجاجية (Glass fibres) أو الألياف الكربونية (Carbon fibres) أو الألياف الفولاذية (Steel fibres) .

إن طريقة تنفيذ المنشآت باللدائن المقواة تشبه تماماً طريقة تنفيذ البيتون المسلح حيث يتم تهيئة القالب المناسب لشكل المنشأ المطلوب وتوضع ألياف التقويم بالشكل المناسب، ثم تمزج مواد اللدائن وتصب في القالب وعلى ألياف التقوية بالنسب والسماكات والأبعاد المحددة بالتصميم ويتم حشو ودك المادة المصبوبة حتى تمتلئ جميع الفراغات، وبحيث يغلف الراتنج المصبوب وبشكل كامل ألياف التقوية. ثم يتم معالجة المادة المصبوبة (Curing) حتى تتصلب وتأخذ قوتها المحددة بالتصميم. وأخيراً يتم فك القالب والحصول على العنصر المطلوب. كما يتم أحياناً تنفيذ عناصر من هذه اللدائن مسبقة الصنع ويتم تركيبها في الموقع.

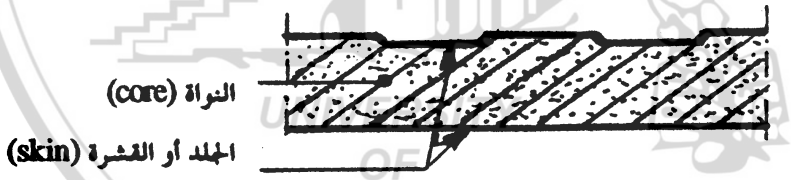
وبناء على طريقة التنفيذ هذه، فإنه يمكن ومن الناحية النظرية، تنفيذ أي شكل أو مقطع مطلوب معمارياً أو إنشائياً، ولكن نظراً لتكاليف القالب الباهظة والغلاء الكبير للمواد الراتنجية ولألياف التقوية، فإن هذه اللدائن لا تنفذ إلا بسماكات صغيرة وعلى شكل صفائح رقيقة وبسماكات تتراوح بين (10 mm) و (15 mm) .

تعتبر مادة اللدائن المقواة من المواد غير المتجانسة وثنائية المقاومة أي قادرة على تحمل قوى الشد والضغط معاً ، ولكنها تتصف بأن لها عامل مرونة صغير جداً مما يؤدي إلى تشوهات وإنفعالات كبيرة تحت تأثير الحمولات المطبقة. لذلك فهي لا تستخدم في الجمل الانشائية الخطية أو السطحية المستوية والتي تتعرض لإجهادات وتشوهات كبيرة، وإنما تستخدم في الجمل الإنشائية التي تعتمد على شكلها لمقاومة التشوهات كالمنشآت الفراغية والقشريات بأنواعها المختلفة (Shells) ، وكذلك الصفائح المطوية (Folded plates) .

٤ ـ ١٠ ـ المقاطع المركبة :

SANDWICH SECTIONS (COMPOSITE SECTIONS)

تعتبر المقاطع المركبة من أحدث المواد الإنشائية المستخدمة حالياً ، وتتألف المقاطع المركبة من عنصرين أساسيين: الطبقة الخارجية وتدعى الجلد أو القشرة (Skin) والطبقة الداخلية وتدعى النواة (Core) ، الشكل (٤ ـ ٩) .

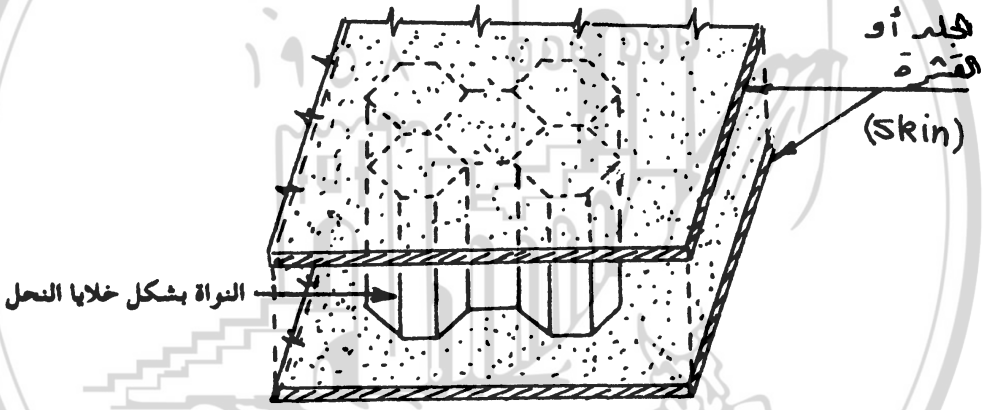


شكل رقم (٤ ـ ٩) المقاطع المركبة .

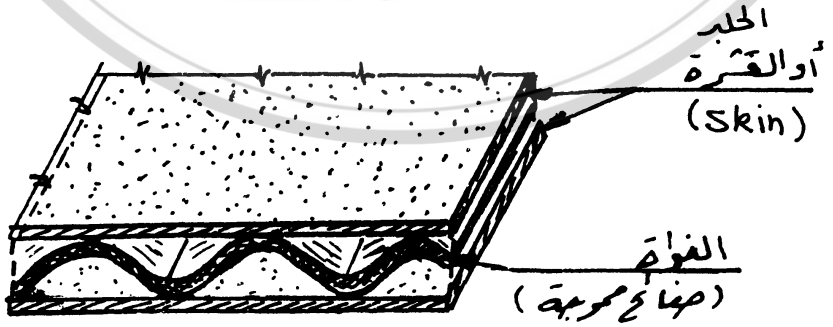
تكون الطبقة الخارجية (الجلد أو القشرة) ذات سماكة رقيقة ومصنوعة من مادة ثنائية المقاومة يمكن لها أن تتحمل قوى الشد والضغط ، ومن أفضل المواد المستخدمة لهذا الغرض رقائق : اللدائن المسلحة والألومنيوم والفولاذ ، أما الطبقة الداخلية (النواة) فهي ذات سماكة كبيرة نسبياً ومصنوعة من مادة خفيفة جداً ورخيصة الثمن. ومن أكثر المواد استخداماً في النواة المواد البلاستيكية الرغوية أو القابلة

للتمدد كالستيريوبور،والبي .في. سي القابل للتمدد (Expanded P. V.C) ، ورغوة البولي-يورتيلين (Poly_ urethane foam) ، والبولي ستيرين القابل للتمدد (Expanded poly _ styrene) . وبالإضافة إلى ذلك، يستخدم أحياناً في النواة بعض المواد المقاومة كاللدائن المقواة أو الصفائح الفولاذية الرقيقة وتكون بأشكال مفرغة لتخفيف الوزن والتكاليف، فيمكن أن تكون على شكل خلايا النحل، الشكل (٤ - ١٠) أو على شكل صفائح مموجة ، الشكل (٤ - ١١) .

عند تصميم المقاطع المركبة نعتبر أن الطبقة الخارجية، الجلد ، هي التي تتحمل القوى المحورية والعزوم بواسطة قوي الشد أو الضغط المطبقة على الطبقة الخارجية العلوية والسفلية، وينحصر دور النواة فقط في تكبير إرتفاع المقطع مما يؤدي إلى زيادة ذراع مزدوجة القوى وبالتالي لتخفيف الإجهادات المطبقة ، وكذلك التخفيف من التشوهات ومن خطر التحنيب. كما أن للنواة ميزة أخرى هامة جداً وهي



شكل رقم (٤ - ١٠) المقاطع المركبة ذات نواة على شكل خلايا النحل.



شكل رقم (٤ - ١١) المقاطع المركبة ذات نواة على شكل صفائح مموجة.

تأمين العزل الحراري والصوتي. فالنواة عازل جيد للحرارة والصوت سواء كانت منفذة من المواد الرغوية الخفيفة أو من اللدائن المقواة أ والصفائح الفولاذية ذات الفراغات. ولهذا تستخدم المقاطع المركبة وبشكل واسع في الأسقف النهائية، وخاصة في المباني الصناعية والبرادات حيث تكون الأحمال المطبقة خفيفة والعزل الحراري والصوتي مهم جداً.

٤ ـ ١١ ـ الخواص الأساسية للمواد الانشائية:

PRINCIPAL PROPERTIES OF STRUCTURAL MATERIALS

إن للمواد الانشائية خواصاً فيزيائية وميكانيكية مختلفة تؤثر بشكل كبير على إمكانية اختيارها كمادة أساسية، وبحيث تكون متوافقة مع طبيعة وشكل الهيكل الإنشائي والقوى المطبقة والإجهادات في العناصر. ومن أهم هذه الخواص التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار:

١ ـ المقاومة لإجهادات الشد. (Tensile stresses resistance)

٢ ـ المقاومة لإجهادات الضغط. (Compressive resistance)

٣ ـ عامل المرونة، (E).(Modulus of elasticity)

٤ ـ الوزن الحجمي، (γ). (Unit volume weight)

وبالإضافة إلى هذه الخواص الفيزيائية والميكانيكية فإن هناك بعض الخواص الأخرى الهامة والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار ومن أهمها:

١ ـ طريقة الإنشاء. (Method of construction)

٢ ـ الصيانة. (Maintenance)

٣ ـ الديمومة. (Durability)

٤ ـ كلفة الإنشاء. (Cost of construction)

٤ ـ ١١ ـ ١ ـ طريقة الإنشاء : METHOD OF CONSTRUCTION

يعتبر البيتون المسلح من أسهل المواد الإنشائية من حيث طريقة الإنشاء حيث يمكن تنفيذ أي شكل مرغوب وذلك بعمل قالب مناسب بالإضافة إلى عدم وجود أية مشكلة في نقاط الإتصال بين العناصر ، إلا في حالة البيتون المسلح مسبق الصنع . ويشارك البيتون المسلح بهذه الصفة اللدائن المقواة . وبصورة عامة إن المواد التركيبية غير المتجانسة هي الأسهل من ناحية طريقة الإنشاء وخاصة للأشكال المعقدة معمارياً. أما القالب فإنه من الممكن أن يصبح مشكلة صعبة عندما تكون المنشآت ذات إرتفاعات عالية أو منحنية باتجاهين. كالقالب اللازم لإنشاء جسر فوق وادي عميق أو القالب اللازم للمنشآت الفراغية العالية. وفي هذه الحالة يصبح البيتون المسلح مسبق الصنع هو الاسهل .

كذلك فإن البناء الحجري سهل جداً، إنما يعيبه محدودية الأشكال المعمارية التي يمكن استخدامه بها ، أما بقية المواد الإنشائية الأساسية كالأخشاب والفولاذ وخلائط الألومنيوم فإنها تأتي بالدرجة الثانية من ناحية سهولة طريقة الإنشاء كما أن الأشكال المعمارية التي يمكن أن تنفذ بها محدودة كذلك ، وذلك ناتج عن أن هذه المواد مصنعة بمقاطع محددة نظامية يجب الاعتماد عليها في تنفيذ الأشكال المعمارية المطلوبة للمنشآت .

UNIVERSITY OF ALEPPO

٤ ـ ١١ ـ ٢ ـ الصيانة : MAINTENANCE

يمكن اعتبار البيتون المسلح واللدائن المقواة والأحجار وكذلك خلائط الألومنيوم مواداً لا تحتاج عملياً إلى أية صيانة. أما الفولاذ فإنه يحتاج للدهان لوقايته من الصدأ في فترات معينة تتراوح عادة بين ثلاث إلى خمس سنوات. بينما تحتاج الأخشاب لمعالجة كيميائية قبل الإستخدام وللدهان في فترات متقاربة إذا كان معرضاً للجو الخارجي وذلك لوقايته من العوامل الجوية ولحمايته من الحشرات والقوارض التي يمكن أن تأكله من داخل المنشأ.

كما يجب التنويه إلى أن خلائط الألومنيوم وبالرغم من أنه لا تحتاج إلى أية صيانة إلا أنها طرية

وسهلة الخدش. كما أنه لا يمكن معالجة هذه الخدوش إن حدثت بينما يمكن معالجتها في حالة الفولاذ والأخشاب والبيتون المسلح.

٤ ـ ١١ ـ ٣ ـ الديمومة DURABILITY

تتعلق خاصية الديمومة بعنصرين أساسين: الأول بطبيعة استخدام المنشأ والثاني بتأثر مادة الإنشاء بالطقس والعوامل الجوية. أما طبيعة استخدام المنشأ فيقصدبها خطر الحريق والخدوش وتأثير الأبخرة والمواد الكيميائية كالأحماض والأملاح والقلويات في المصانع، وأية أخطار أخرى تنتج عن الاستخدام. بينما يقصد بتأثر مادة الإنشاء بالطقس والعوامل الجوية وعلى وجه الخصوص: تأثيرات الرطوبة والحرارة والأملاح المختلفة ضمن التربة أو في الجو على المنشآت القريبة من ساحل البحر.

إن البيتون المسلح مادة ذات ديمومة طويلة فهو يقاوم وبشكل جيد تأثيرات الرطوبة والحرارة، كما يمكن مقاومة تأثيرات الأملاح سواءً في الجو أو في التربة وذلك باستخدام الاسمنت الخاص المقاوم للأملاح والكبريتات. كما أن البيتون المسلح مقاوم جيد لخط الحريق إذ أنه لا يحترق ويحفظ فولاذ التسليح من التأثربدرجات الحرارة العالية لمدة تتبع سماكة الغطاء البيتوني حول فولاذ التسليح، حيث تتراوح المدة المعتبرة لمقاومة الحريق بين نصف ساعة إلى أربع ساعات. ويمكن في المنشآت المعرضة لاحتمالات خطر الحريق زيادة سمك الغطاء البيتوني لتأمين حماية أكبر لها. أما الخدوش فهي ليست بذي بال في منشآت البيتون المسلح حيث يمكن معالجتها وبسهولة بواسطة الزريقة والدهان.

وكذلك الأحجار فهي ذات ديمومة طويلة، فهي تقاوم كلا تأثيرات العوامل الجوية وطبيعة الأستخدام.إلا أن هناك خطراً واحداً يجب أخذه بعين الاعتبار وهو إمكانية تأثير المواد الكيميائية المركزة كالأحماض على الاحجار الكلسية مما يؤدي إلى تحللها أو تفتتها. ويمكن ملاحظة هذه الحالة بالأبنية الحجرية في المعامل الكيميائية.

أما الأخشاب فتعتبر ذات ديمومة أقل، وذلك لإمكانية تأثرها بالرطوبة والحرارة وأبخرة المواد

الكيميائية. كما أن يجب الأخذ بعين الاعتبار الخطر الشديد للحريق على المباني الخشبية وتأثيرها المدمر.

ويكون الفولاذ ذو ديمومة طويلة إذا كانت أعمال الصيانة مؤمنة بشكل دوري ومنتظم. حيث يمكن مقاومة تأثيرات العوامل الجوية والرطوبة والأملاح وأبخرة المواد الكيميائية الخفيفة والخدوش. ويعتبر الفولاذ ذو مقاومة مقبولة ضد خطر الحريق نظراً لانه لا يحترق، إلا أنه وعندما ترتفع نتيجة للحريق حرارة الفولاذ إلى درجة عالية يبدأ بالسيلان ويفقد جزءاً من مقاومته وخاصة إذا كان الفولاذ من النوع عالي المقاومة والمعالج على البارد.

وتشبه خلائط الألومنيوم الفولاذ من حيث الديمومة وعدم الحاجة لأعمال الصيانة، حيث أنها يمكن أن تقاوم جيداً تأثيرات العوامل الجوية وطبيعة استخدام المنشأ. إلا أن مقاومتها لخطر الحريق أضعف من الفولاذ كما أنها سهلة الخدش.

أما المواد الإنشائية الحديثة كاللدائن المقواة والمقاطع المركبة، فهي ذات ديمومة معقولة حيث أنها ذات مقاومة جيدة للرطوبة والأملاح والخدوش وأبخرة المواد الكيميائية. كما أنه يمكن استخدام اللدائن المقواة في صنع الخزانات المخصصة لحفظ المواد الكيميائية ذات التركيز المعتدل أو حتى الثقيل نوعاً ما. أما بالنسبة لخطر الحريق فإن اللدائن المقواة الحالية يمكن أن تتحمل درجات الحرارة وحتى درجة(200) مئوية ولفترة معقولة، أما إذا زادت درجة الحرارة عن ذلك أو تعرضت اللدائن للهب الحريق المباشر فإنه يمكن أن تتأثر وبشدة كالاخشاب. إلا أنه يمكن ونتيجة للتقدم العلمي الحالي التوصل إلى نوع من اللدائن لا تتأثر بخطر الحريق مما يزيد ديمومة هذه المواد وبشكل كبير.

٤ ـ ١١ ـ ٤ ـ كلفة الإنشاء : COST OF CONSTRUCTION

إذا أخذنا بعين الاعتبار كلفة المواد الانشائية لواحدة الوزن، فإننا نجد أن اللدائن المقواة والمقاطع المركبة هي الأغلى ثمناً والأكثر كلفة، ويليها خلائط الألومنيوم فالفولاذ والاخشاب والبيتون المسلح

والاحجار.

وعند حساب الكلفة الكلية للإنشاء فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار ثمن المواد المستخدمة وتكاليف التصنيع والتركيب والصيانة، ولامكانية المقارنة يتم حساب الكلفة الكلية للمتر المربع الواحد من الهيكل الإنشائي.

تعتمد كلفة المواد الإنشائية على نوع المنشأ وحجمه، ولا يمكن الجزم بصورة كاملة باقتصادية مادة إنشائية ما دون غيرها لجميع المنشآت. حيث أن الكلفة الاقتصادية الكلية تعتمد على ثمن المواد بالإضافة إلى كميتها المستخدمة والتي تعتمد بدورها على نوع وشكل الجملة الانشائية المختارة، وأبعاد المجازات. كما أن تكاليف التصنيع والتركيب تعتمد على أبعاد وشكل الجملة الإنشائية أيضاً. وهكذا فإننا نجد أن الكلفة الكلية متعلقة بمتغيرات كثيرة لا يمكن تحديدها بسهولة. ويجب الانتباه إلى أن كلفة المواد المستخدمة واليد العاملة تختلف من مكان لآخر ومن زمان لآخر مما يؤثر بصورة كبيرة على كلفة الإنشاء. وبصورة عامة، ورغم ذلك كله، فإنه يمكن للمهندس الإنشائي تحديد المواد الأكثر ملائمة واقتصادية وذلك حسب توفرها في الموقع، وحسب أبعاد ونوع الجملة الإنشائية المستخدمة. إلا أن ذلك يحتاج لخبرة واسعة ومعرفة كبيرة.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الخامس

الجمل الإنشائية

THE STRUCTURAL SYSTEMS

٥ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUTION

في المنشآت الحديثة ، هناك ترابط وثيق بين الجملة الإنشائية المختارة والجملة أو الشكل المعماري. لذلك وجب على المصمم المعماري أن يكون على معرفة واسعة بأشكال وطرق دراسة الجمل الإنشائية المختلفة بالإضافة إلى الأبعاد والأشكال اللازمة، كي يأخذ كل ذلك بالإعتبار في تصميمه المعماري، وبحيث يتم الاختيار من هذه الجمل المختلفة ماينا سب الشكل المعماري المطلوب.

UNIVERSITY OF ALEPPO

٥ ـ ٢ ـ المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً:

STATICALLY DETERMINATE AND INDETERMINATE STRUCTURES

تختلف طرق حساب القوى الداخلية في عناصر وأعضاء المنشآت وبشكل كبير وذلك حسب كونها مقررة أو غير مقررة توازنياً. وتعرف المنشآت المقررة توازنياً بأنها المنشآت التي يكون فيها تطبيق معادلات التوازن فقط كافياً لتحديد جميع ردود الأفعال المجهولة . وبذلك يمكن للمهندس الإنشائي حساب كافة تأثيرات الحمولات المطبقة على المنشأ وتحديد أبعاد المقاطع اللازمة لمختلف أعضاء المنشأ بسهولة ودون أية تعقيدات .أما المنشآت غير المقررة توازنياً فتعرف بأنها المنشآت التي يكون فيها تطبيق

معادلات التوازن غير كافٍ لتحديد ردود الأفعال المجهولة. وبذلك فإن الدراسة التوازنية تبقي واحداً أو أكثر من المجاهيل بصورة غير محدودة ، وذلك حسب درجة عدم التقرير ، ولايمكن للمهندس الإنشائي الاستمرار في خطوات التصميم الانشائي إلا بعد تحديد هذه المجاهيل بواسطة معادلات إضافية أو باستخدام طرق معقدة. وبذلك يمكن القول أن المنشآت غير المقررة توازنياً هي المنشآت التي تتألف من أعضاء أو تحوي مساند عددها أكبر من العدد الأدنى اللازم لتوازن هذا المنشأ، وأن مايحدث في عنصر من عناصر المنشأ يؤثر تأثيراً كبيراً على كامل عناصر المنشأ.

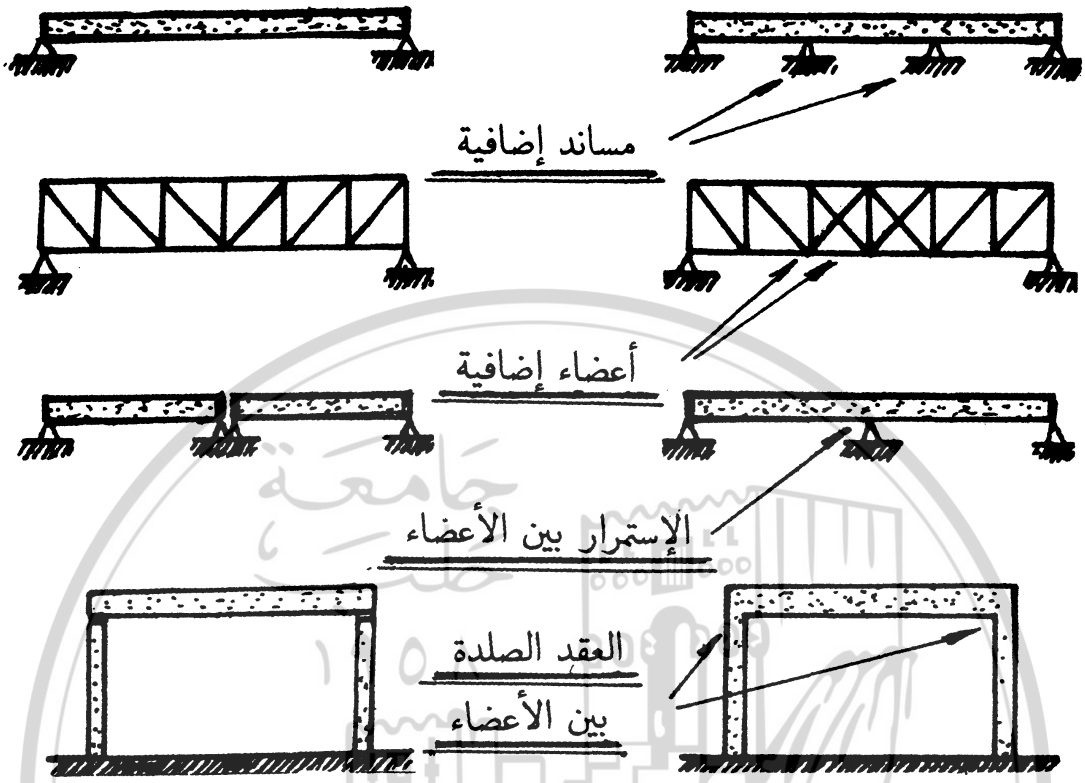
من الهام جداً أن يكون الفرق بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً واضحاً تماماً للمهندس المعماري، لأن اختيار أحد هذين النوعين يؤثر تأثيراً كبيراً على التصميم المعماري النهائي. كما يجب أن يبقي في مخيلته أن هذين النوعين مختلفان تماماً من حيث المعالجة ، وأن أية محاولة لمعاملة المنشآت غير المقررة أو المستمرة باعتبارها مقررة قد تؤدي إلى أخطاء كبيرة في تحديد القوى الداخلية وهناك احتمال كبير في تعرض هذه المنشآت للأخطار أو للإنهيار عند تنفيذها.

إن إحدى أسهل طرق التفريق بين المنشآت المقررة وغير المقررة هو معرفة هل سينهار المنشأ إنهياراً كاملاً إذا قمنا بإزالة أحد الأعضاء أو المساند أم لا ؟...فإذا إنهار المنشأ كان مقرراً توازنياً، وكان بالإمكان تحديد القوى الداخلية وردود الأفعال بمعادلات التوازن فقط . أما إذا لم ينهار المنشأ وبقي متماسكاً ومستقراً كان غير مقرر توازنياً وبالتالي يحتاج إلى طرق أخرى لتحديد القوى الداخلية.

يبين الشكل (٥ ـ ١) نوعين من المنشآت حيث يظهر القسم (a) عدة أنواع من المنشآت المقررة والتي يكون فيها إزالة أي مسند أو عضو من الأعضاء كافياً لانهيار المنشأ بالكامل ، بينما يظهر القسم (b) نفس هذه المنشآت وذلك بعد إضافة عدة مساند أو عناصر أو بعد أن تم وصل العناصر الأصلية بعقد صلبة. وبحيث أصبحت هذه المنشآت غير مقررة توازنياً وأصبح بالإمكان إزالة بعض المساند أو الأعضاء ودون أن يؤدي ذلك إلى الانهيار الكامل.

إن من أهم الفروق بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً هوأن تحديد القوى الداخلية وعزوم الإنعطاف المطبقة في عناصر المنشآت غير المقررة توازنياً يعتمد اعتماداً مباشراً على أبعاد المقاطع

العرضيـة لهذه العنـاصر ، على عكس المنشآت المقررة توازنياً والتي يتـم فيها تحديـد هذه القوى مباشرة



شكل رقم (٥ - ١) المنشآت المقررة وغير المقررة توازنيا .

دون أية عـوائق نـظراً لأنهـا لا تتـأثر بأبعـاد هذه المقـاطع . وفي المنشـآت غـيـر المقـررة توازنيـاً يجب على المهندس الإنشـائي أن يختار أولاً ما يعتبره أبعاداً مناسبة لمقاطع العناصـر قبل أن يستطيع البدء في تحديد القوى الداخلية وعزوم الإنعطاف المطبقة ، وبمعنى آخر ، فإن عليه قبل أن يبدأ في حساب الأبعاد اللازمة لمقاطعه أن يكون قد حددها مسبقاً . وأي إختلاف في الأبعاد المختارة يؤدي إلى تعديل في القوى الداخلية والعزوم المطبقة . ولحل هذا الإشكال فإننا نتبع نفس الأسلوب الذي استخدم في تحديد الأحمال الذاتية ، حيث أن على المهندس الإنشائي تحديد الأوزان الذاتية للعناصر قبل البدء في خطوات التصميم الإنشائي . إلا أن هذا المتطلب الجديد للمنشآت غير المقررة توازنياً يجب أن يحدد بدقة أكبر ، حيث يجب تحديد

كلا شكل وأبعاد المقاطع العرضية وليس الوزن فقط.

ويبين الجدول (٥ ـ ١) بعض الفروق الأساسية بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً.

المنشآت المقررة توازنياً	المنشآت غير المقررة توازنياً
١ ـ يتم تحديد ردود الافعال المجهولة بواسطة معادلات التوازن فقط. ٢ ـ القوى الداخلية وعزوم الانعطاف لا تتأثر بشكل وأبعاد المقاطع العرضية للعناصر. ٣ ـ لا تتأثر القوى الداخلية وعزوم الانعطاف بالهبوطات الصغيرة في المساند أو تغير درجة الحرارة.	١ ـ معادلات التوازن غير كافية لتحديد ردود الافعال المجهولة، وتحتاج لطرق خاصة لتحديدها. ٢ ـ القوى الداخلية وعزوم الانعطاف تتأثر بشدة بشكل وأبعاد المقاطع العرضية للعناصر. ٣ ـ تتأثر القوى الداخلية وعزوم الانعطاف بشدة بالهبوطات الصغيرة في المساند أو تغير درجة الحرارة.

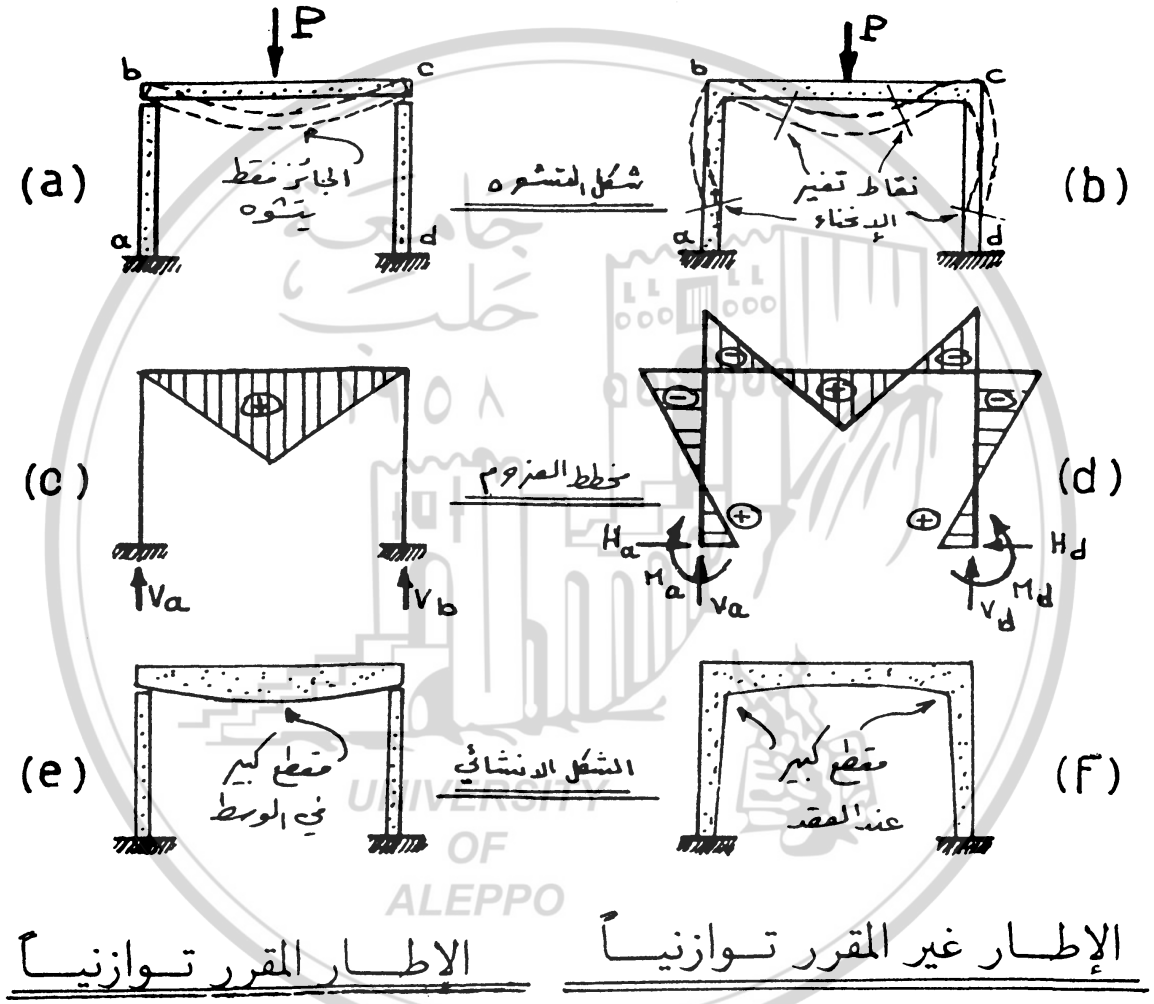
الجدول (٥ ـ ١) الفروق الأساسية بين المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً.

٥ ـ ٣ ـ ميزات المنشآت غير المقررة توازنياً:

ADVANTAGES OF STATICALLY INDETERMINATE STRUCTURES

إن استخدام الهياكل الإنشائية غير المقررة توازنياً يقدم لنا عدداً كبيراً من الميزات التصميمية من أهمها : إن عدم التقرير يساهم في زيادة مقاومة المنشأ بصورة كبيرة للأحمال المطبقة عليه. ولتوضيح هذه الحقيقة يمكن المقارنة بين إطارين متشابهين الأول مقرر توازنياً والثاني نفس الإطار الأول وذلك بعد جعله غير مقرر توازنياً ، بوصل أعضاءه بعقد صلبة، الشكل (٥ ـ ٢) . في الإطار الأول المقرر توازنياً نرى أن كل عنصر من العناصر يقاوم الحمولات المطبقة عليه مباشرة دون مساعدة من العناصر الأخرى، فعزوم الإنعطاف الناتجة مثلاً عن الحمولة المركزة المطبقة على الجائز لا تنتقل إلى الأعمدة بل تقاوم في الجائز نفسه فقط، ولا ينتقل إلى الأعمدة سوى ردود الأفعال الشاقولية. ويبين الشكل (٥ ـ ٢ ـ a)

شكل التشوه الناتج عن هذه الحمولة حيث أن الجائز فقط هو المعرض للانحناء . أما في الاطار غير المقرر حيث اتصلت الأعمدة مع الجائز بعقد صلبة ، الشكل (٥ ـ ٢ ـ b) ، فإننا يمكن أن نلاحظ عدداً من التغيرات الحاصلة نتيجة لهذا الإتصال .



شكل رقم (٥ ـ ٢) المقارنة بين الإطارين المقرر وغير المقرر توازنياً .

١ ـ إن عزوم الانعطاف الناتجة عن الحمولة المركزة المطبقة على الجائز تقاوم ليس بواسطة الجائز

نفسه فقط، بل تشارك كامل عناصر الإطار في هذه المقاومة، حيث تنقل في هذه الحالة العقد الصلبة (b,c) عزوم الانعطاف من الجائز إلى الأعمدة وذلك بالإضافة إلى الحمولات الشاقولية.

٢ ـ إن عزوم الإنعطاف التي انتقلت إلى الأعمدة ومقاومة هذه الاعمدة لها تؤدي إلى إعطاء أعلى العمودين، وبالتالي طرفي الجائز (b) و (c) مقاومة للدورانات، وذلك نتيجة للعقدة الصلبة بينهما.

٣ ـ إن مقاومة الدوران عند طرفي الجائز (b) و (c) تؤدي إلى إنقاص إنحناء وتشوه الجائز بصورة كبيرة.

٤ ـ بمقارنة الشكلين (٥ ـ ٢ـa و b) نرى أنه في الإطار المقرر توازنياً يكون للجائز اتجاه واحد للانحناء بينما لا تنحني الأعمدة مطلقاً، أما في الإطار غير المقرر توزنياً فنرى أن كلا العمودين والجائز قد أصبحت ذات اتجاهين للإنحناء، ويصبح للإطار أربعة نقاط يتغير فيها اتجاه الانحناء وتكون فيها عزوم الانعطاف مساوية للصفر. وتدعى هذه النقاط (بنقاط تغير الانحناء).

٥ ـ تصبح نقاط التقاء أطراف الجائز مع أعلى الأعمدة، النقطتين (b و c) منطقة معرضة لعزوم إنعطاف كبيرة القيمة بدلاً من كونها نهايات حرة لا تقاوم أية عزوم إنعطاف.

٦ ـ تصبح عزوم الإنعطاف والقوى المطبقة عند المساند، أي ردود الأفعال أكثر تعقيداً وبحيث لا يمكن تحديد قيمتها مباشرة، كما في الإطار المقرر توزنياً، بواسطة معادلات التوازن البسيطة فقط، بل تحتاج إلى طرق أخرى أكثر تعقيداً، ويمكن ملاحظة ذلك بالمقارنة بين المخططين المبينين بالشكلين (٥ ـ ٢ ـc و d)

٧ ـ إذا كان الإطاران مصنوعين من مادة غير متجانسة كالبيتون المسلح مثلاً، فإن أماكن توضع فولاذ التسليح ستكون مختلفة تماماً لكلتا الحالتين نظراً للاختلاف الكبير في مخططي عزوم الإنعطاف، كذلك فإن شكل الإطار وأبعاد المقاطع المطلوبة يمكن أن تكون مختلفة. ويمكن ملاحظة ذلك بالمقارنة بين المخططين المبينين بالشكلين (٥ ـ ٢ـ e و f).

إن الاطار غير المقرر توازنياً والمبين بالشكل (٥ ـ ٢ ـb) هو شكل من الأشكال الكثيرة والمتعددة

للمنشآت غير المقررة توازنياً، ولكن التحليل السابق يعطي فكرة واضحة عن المبادئ الأساية التي يجب أن يلاحظها المهندس المعماري حتى يفهم ميزات المنشآت غير المقررة توازنياً وبشكل تام.

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

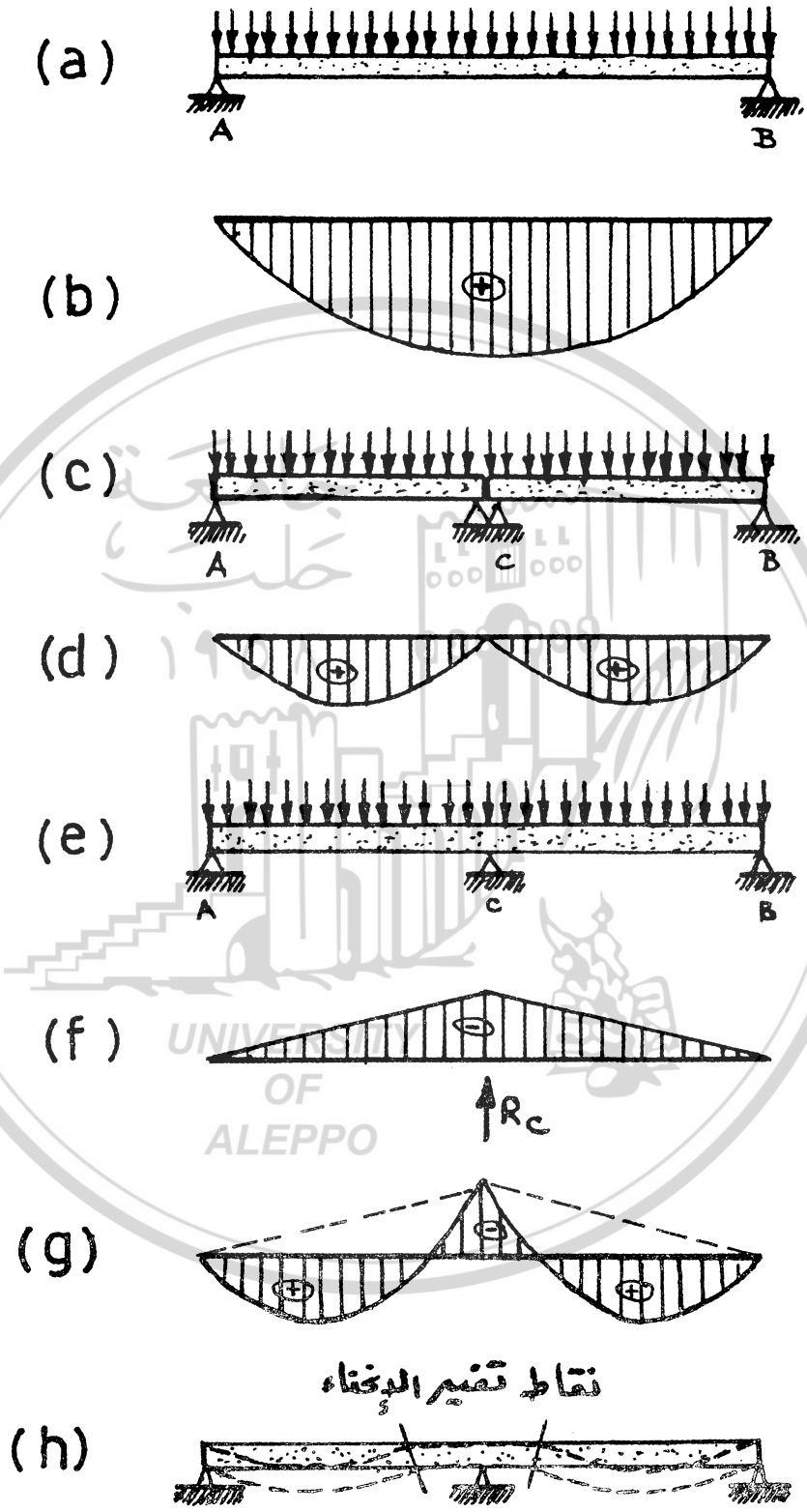
آ ـ إن بعض عزوم الانعطاف المطبقة قدانتقلت من منتصف مجاز الجائز إلى نهايتيه ثم إلى الأعمدة فالاساسات، وبذلك يمكن القول أن كامل المنشأ يساهم في تحمل القوى المطبقة.

ب ـ ونتيجة لذلك فإن قيمة عزوم الانعطاف عند كل مقطع على حدة، تقل بصورة كبيرة، وبالتالي فإننا نحتاج إلى مقاطع أصغر لعناصر الإطار من المقاطع المطلوبة للجائز البسيط.

جـ ـ كما أنه ونتيجة للعقد الصلبة فإن عزوم الانعطاف تكون كبيرة القيمة عند هذه العقد بدلاً من منتصف الجائز، وبالتالي فإننا نكون قد نقلنا كمية من المادة المستخدمة من منتصف الجائز إلى طرفيه عند العقد. وبحيث لا تضيف هذه المواد مزيداً من عزوم الإنعطاف كما تضيفه في الجائز البسيط.

ء ـ لذلك، فإن إزدياد طول المجازات في المنشآت غير المقررة توازنياً له تأثير أقل منه في المنشآت المقررة. وبالتالي فإن هناك إمكانية لإستعمال مجازات كبيرة في المنشآت غير المقررة توازنياً. وبصورة عامة إذا كانت أبعاد المقاطع للعناصر المختلفة محددة بأبعاد قصوى لا يمكن تجاوزها نظراً لاعتبارات معينة، معمارية مثلاً، فإن الاطارات غير المقررة توازنياً تكون هي الحل الفعال والمناسب للهيكل الإنشائي، وبالاحرى فإنها عادة تكون الحل الوحيد.

وكمثال آخر على طرق عدم التقرير التوازني وذلك بالاستمرارية بين العناصر، يبين الشكل (٥ ـ ٣ ـ a) جائزاً بسيطاً مقرر توازنياً، ومحملاً بحمولة موزعة بانتظام على كامل طول المجاز. وبهذه الحالة تكون عزوم الانعطاف كما هو مبين، بالشكل (٥ ـ ٣ ـ b)، أعظمية في منتصف مجازالجائز وبحيث تتطلب هذه العزوم أبعاداً كبيرة للمقطع في المنتصف مما يؤدي ونتيجة للوزن الذاتي إلى تولد عزوم انعطاف إضافية كبيرة. وإذا كان طول مجاز الجائز كبيراً جداً فإن مثل هذا الجائز سيصبح صعب



شكل رقم (٥-٣) المقارنة بين الجائزين البسيط والمستمر.

UNIVERSITY OF ALEPPO

التنفيذ وذو كلفة عالية. إن أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة هو أن نقسم مجاز الجائز إلى قسمين بواسطة مسند إضافي ، الشكل (٥ ـ ٣ ـ c) ، وبحيث يصبح طول المجاز الجديد نصف طول المجاز السابق، وبما أن عزوم الانعطاف تتناسب مع مربع طول المجاز فإن عزم الانعطاف الأعظمي سيصبح ربع عزم الانعطاف للجائز السابق فقط. إن هذا الاختصار في عزوم الانعطاف نتيجة جيدة، إلا أن الفائدة الكاملة من وضع المسند الإضافي لا تكون إلا إذا كان طرفا الجائز متصلين بشكل تام عند هذا المسند، الشكل (٥ ـ ٣ ـ e) ، وحيث تعمل عزوم الانعطاف الإضافية والناتجة عن رد الفعل (R) في المسند الوسطي بشكل معاكس لاتجاه عزوم الإنعطاف الناتجة عن الحمولات، كما هو مبين بمخطط عزوم الإنعطاف ، الشكل (٥ ـ ٣ ـ f) . وبجمع مخططي عزوم الانعطاف، الشكل (٥ ـ ٣ ـ d و f) ، ينتج لدينا مخطط عزوم الإنعطاف للجائز المستمر ذو المجازين، الشكل (٥ ـ ٣ ـ g) . وكما في حالة الاطار المبين بالشكل (٥ ـ ٢) فإننا نرى أن بعض العزوم الموجبة قد نقصت من حيث القيمة في منتصف الجائز بينما زادت العزوم عند المسند الوسطي من الصفر وحتى قيمة ما سالبة. وبمعنى آخر فإنه يمكن القول أن مهمة تحمل الأحمال الخارجية قد تم توزيعه بصورة أكثر انتظاماً على كامل الجائز، ويمكن ملاحظة مقدار الاختصار في عزوم الانعطاف والناتج عن استمرارية الجائز وذلك بمقارنة مخططي عزوم الانعطاف في الشكلين (٥ ـ ٣ ـ d و g) . ويبين الشكل (٥ ـ ٣ ـ h) الشكل النهائي للتشوه ونقاط تغير الانحناء للجائز المستمر .

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

أ ـ إن عزوم الإنعطاف سوف تتوزع بصورة أكثر انتظاماً على كامل طول الجائز المستمر مما يجعل استخدامنا لمقطع واحد ثابت على كامل طول الجائز أكثر منطقية منه في الجائز البسيط.

ب ـ إن الوزن الذاتي الإضافي والناتج عن الزيادة في طول المجازات سوف يتوضع قرب المسند الوسطي بدلاً من منتصف المجاز، وبذلك يمكن مقاومة تأثير هذه الحمولات الإضافية عند المساند وبسهولة حيث أنها لا تسبب إلا زيادة طفيفة في عزوم الإنعطاف.

جـ ـ نتيجة لان كلا مجازي الجائز قد أصبحا ذي اتجاهين للإنحناء، فإن ذلك يؤدي إلى تقليل قيم

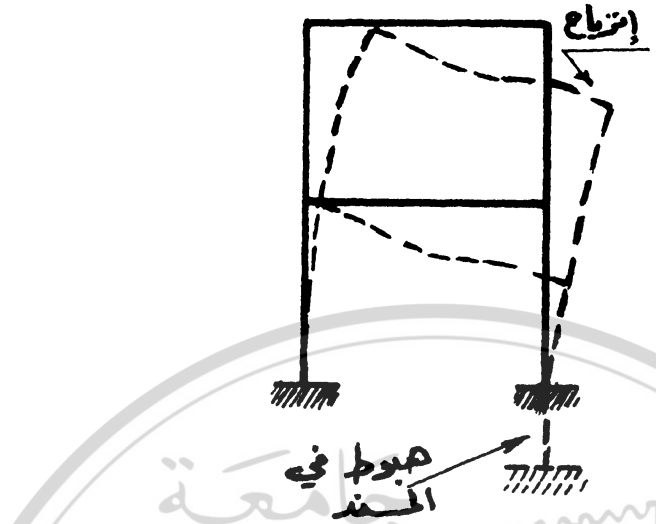
السهوم والإنحناء في هذين المجازين.

٥ ـ ٤ ـ مساوئ المنشآت غير المقررة توازنياً:

DIS ADVANTAGES OF STATICALLY INDETERMINATE STRUCTURES

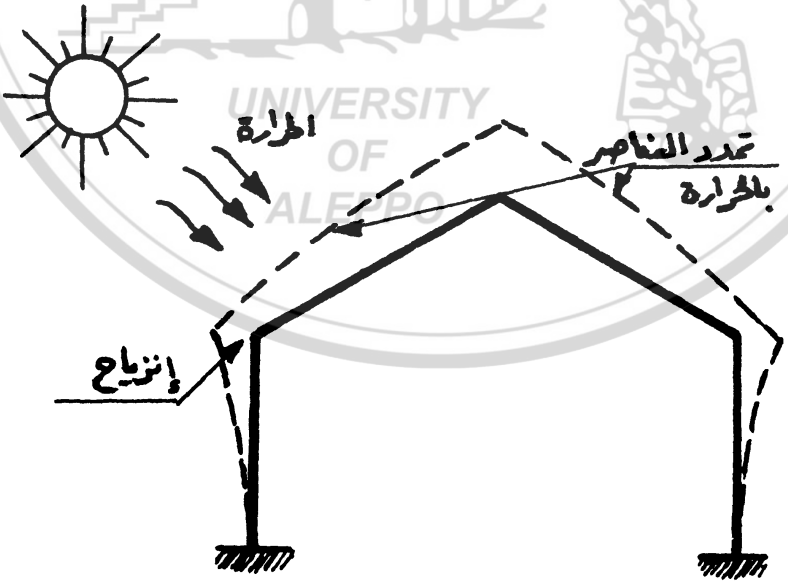
١ ـ نظراً لان طرق تصميم المنشآت غير المقررة توازنياً تعتمد وبشكل أساسي على التشوهات الحاصلة في المنشأ ومقدار تأثر عناصر هذا المنشأ بها. لذلك فإن توزع عزوم الانعطاف في عناصر هذه المنشآت يتأثر وبشكل كبير بأشكال وأبعاد مقاطع هذه العناصر. فمن الطبيعي أن المقاطع النحيلة وذات الأبعاد الصغيرة تتشوه بشكل أكبر من المقاطع ذات الأبعاد الكبيرة، وهذه الحقيقة لها تأثير كبير على قيم ردود الأفعال. كما أن إمكانية إنتقال عزوم الإنعطاف من عنصر إلى آخر تعني أن الحمولات المطبقة ستقاوم بواسطة كافة كافة عناصر المنشأ، لذلك فإن شكل وأبعاد أي عنصر من العناصر له تأثير كبير على نتائج المسألة. وعند تصميم المنشآت غير المقررة يجب أن تحدد أبعاد مقاطع العناصر مسبقاً، ويتم ذلك حسب خبرة المصمم الإنشائي. ولا يكون هدف الدراسة الإنشائية تحديد أبعاد مقاطع العناصر بل ايجاد قيم عزوم الانعطاف والقوى المطبقة وحساب الإجهادات في المقاطع العرضية للعناصر والتي تم اختيارها مسبقاً. فإذا كانت الإجهادات الفعلية المطبقة أكبر من الإجهادات المسموحة للمادة المستخدمة في عناصر المنشأ فإنه يجب على المصمم الإنشائي أ ن يعيد حساب أبعاد المقاطع وذلك حسب النتائج التي حصل عليها. وبمعنى آخر فإنه يجب على المصمم الإنشائي أن يعتمد على طريقة التجربة والخطأ في تصميمه، مما يزيد في صعوبة الحل وتعقيده. ويعتبر ذلك أحد مساوئ المنشآت غير المقررة توازنياً.

٢ ـ ومن المساوئ الكبيرة لهذه المنشآت هي تأثرها بالهبوطات التفاضلية بين المساند، الشكل (٥ ـ ٤)، حيث أن هذه الهبوطات ونتيجة لوجود العقد الصلبة التي تربط ين العناصر ستؤدي إلى تشوهات في كافة العناصر وعلى كامل المنشأ، وبالتالي تولد عزوم انعطاف وقوى داخلية إضافية في كافة هذه العناصر قد تكون أكبر من عزوم الانعطاف الأساسية الناتجة عن الحمولات المطبقة أو تكون مخالفة لها من الاتجاه.



شكل رقم (٥ ـ ٤) تأثر المنشآت غير المقررة توازنياً بالهبوطات التفاضلية في المساند .

٣ ـ ولنفس الأسباب فإن المنشآت غير المقررة تتأثر بصورة كبيرة بتغير درجة الحرارة، وذلك لان تمدد وتقلص العناصر يؤدي إلى تأثر المنشأ بكامله بهذه الحركة ، الشكل (٥ ـ ٥) ، وبالتالي لتولد عزوم انعطاف وقوى داخلية إضافية في كافة العناصر قد تكون في بعض الأحيان ذات قيم مرتفعة جداً.



شكل رقم(٥ ـ ٥) تأثر المنشآت غير المقررة بازدياد درجة الحرارة .

جامعة حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل السادس

الأقواس والعقود والقباب المبنية

THE MASONRY ARCHES, VAULTS AND DOMES

٦ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

إن الجزء الأكبر والأهم من كامل عمل المصمم الإنشائي هو مايطلق عليه "التحليل الإنشائي" وهو ما يتضمن تحديد شكل الهيكل الإنشائي، وتحديد القوى المطبقة على العناصر ودراسة تأثيرها. إن هذا التحليل الإنشائي يحتاج إلى معرفة كبيرة بالرياضيات، ولم يكن معروفاً وبصورة عملية حتى نهاية القرن الثامن عشر .كما أنه لم يحظ بالاهتمام المطلوب حتى منتصف القرن التاسع عشر. وكمثال على ذلك ، لم يكن معروفاً ، وحتى النصف الأول من القرن التاسع عشر، الفرق بين تأثيرات الحمولات المركزة في منتصف مجاز ات الجوائز والحمولات المساوية لها في القيمة والموزعة على كامل طول هذه الجوائز، مما أدى إلى انهيارات عديدة في المنشآت لم يتم تحديد أسبابها. ولقد كتب المهندس فيربيرن (Fairbairn) في تقرير له معلقاً على انهيار هذه المنشآت في بريطانيا، " إن هناك فرقاً كبيراً بين تحميل الجائز بحمولة في منتصفه وبين توزيع هذه الحمولة على كامل طوله، ففي الحالة الثانية يمكنه أن يتحمل تماماً ضعف الحمولة ".

هذه الحقيقة السهلة جداً في طرق حساب عزوم الانعطاف والتي تدرس في العادة لطلاب كلية الهندسةالسنة الاولى أو الثانية ، من الواضح أنها لم تكن معروفة في ذلك الزمان . حيث لم يكن لدى المصممين أية فكرة عن الحقائق الأولية لحساب عزوم الانعطاف في الجوائز.

كيف إذاً صممت ونفذت المنشآت والمباني وذلك قبل أن يبدأ استعمال المبادئ النظرية والحسابية من قبل المهندسين والمعماريين وبصورة كبيرة؟ . إن النصب والآثار القديمة والتي يبلغ عمرها مئات السنين وماتزال باقية حتى اليوم تظهر براعة وذكاء المصممين والبنائين على حد سواء. ونظراً لعدم وجود طرق رياضية وحسابية لتحديد أبعاد ومقاومات مقاطع وعناصر المنشآت، فإنهم كانوا يعتمدون على مبدأ التجربة والخطأ وعلى البديهة والمهارة والخبرة والمعرفة المتوارثة من جيل إلى آخر. إلا أنه يجب أن نتذكر أن هذه المنشآت المدهشة والتي ماتزال باقية حتى الآن هي في الحقيقة التجارب الناجحة في التصميم والبناء، حيث أن مبدأ التجربة والخطأ يعني أن هناك منشآت أخرى كثيرة قد إنهارت. كما أن كثيراً من هذه المنشآت إن لم تكن جميعها، غير إقتصادية وبصورة كبيرة من حيث استخدام المواد.

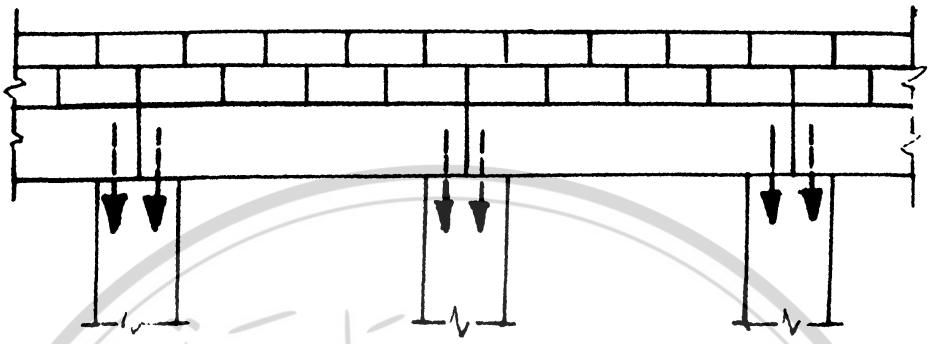
إذا استثنينا مادة الأخشاب فإن جميع المواد الانشائية التي كانت متوفرة قديماً كالأحجار والآجر، كانت مناسبة لتحمل قوى الضغط فقط، ولذلك فإن المنشآت المبنية بهذه المواد كانت مصممة وبحيث لا يتولد في مقاطعها قوة شد، أو تتولد قوى شد صغيرة جداً يمكن مقاومتها. وهذا مايفسر انتشار المنشآت المؤلفة من الأقواس (Arches) والعقود (Vaults) والقباب (Domes). ورغم أن استخدام الأحجار والآجر كمادة إنشائية رئيسية قليل هذه الايام، ولاتستخدم في بناء المنشآت المذكورة سابقاً، إلا أن هذه المنشآت تصمم حالياً بنفس المبادئ الأساسية القديمة وتنفذ باستخدام مواد جديدة كالبيتون المسلح أو المسبق الإجهاد.

UNIVERSITY OF ALEPPO

٦ ـ ٢ ـ الأقواس المبنية : THE MASONRY ARCHES

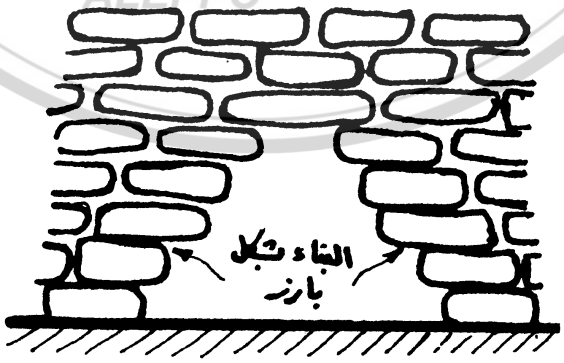
إن من أهم المسائل الأساسية في التصميم الإنشائي هي كيفية تغطية الفتحات وبناء الأسقف. ومن أبسط الحلول لهذه المسألة تنفيذ جائز أفقي مستند على الاعمدة أو الجدران في طرفي الفتحة، الشكل (٦ ـ ١). ولقد استخدمت هذه الطريقة منذ أزمان بعيدة وذلك باستعمال الجوائز الحجرية أو الخشبية، ونظراً لعدم قدرة الأحجار على تحمل إجهادات الشد، فإن أطوال المجازات الأعظمية بين الاعمدة كانت صغيرة جداً. وفي المجازات الأكبر كانت تستخدم الأخشاب وجذوع الأشجار، إلا أن

استخدامها كان محدوداً نظراً لصعوبة الحصول على هذه الأخشاب وبالابعاد المطلوبة. وماتزال الأخشاب مستخدمة حتى الآن ولكن في نطاق محدود.



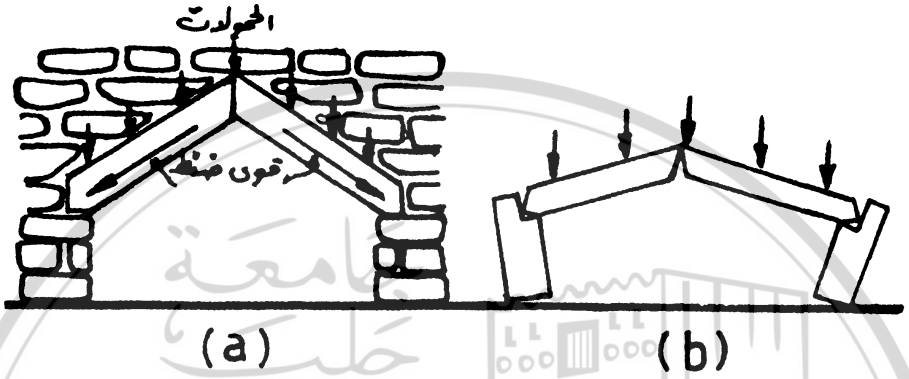
شكل رقم (٦ ـ ١) الجوائز الحجرية.

لقد فكر البناؤون القدماء كثيراً وطويلاً حول كيفية الاستفادة من المقدرة الكبيرة للأحجار والآجر على مقاومة إجهادات الضغط وكيفية استخدامها في منشآت لا تتعرض فيها لاجهادات الشد. وكانت الأقواس الحل المنطقي لهذه المسألة المعقدة. ولم تظهر الأقواس هكذا وبصورة مفاجئة، بل كانت نتيجة تجارب طويلة وتطور مستمر في الاشكال. فكما يعتقد، بدأ التطور وذلك ببناء الأحجار فوق الفتحات بشكل مائل وبارز قليلاً، الشكل (٦ ـ ٢)، وبذلك أمكن تغطية مجازات أكبر، ولقد استخدمت هذه الطريقة في بناء أسقف الغرف الداخلية للأهرامات الفرعونية.



شكل رقم (٦ ـ ٢) البناء بشكل مائل وبارز.

أما الخطوة التالية من تطور الأقواس فكانت باستخدام جائزين مائلين من الأحجار يغطيان السطح الخارجي للأحجار، الشكل (٦ ـ ٣) ، ولقد استخدمت هذه الطريقة في الممرات الداخلية للاهرامات الفرعونية أيضاً .



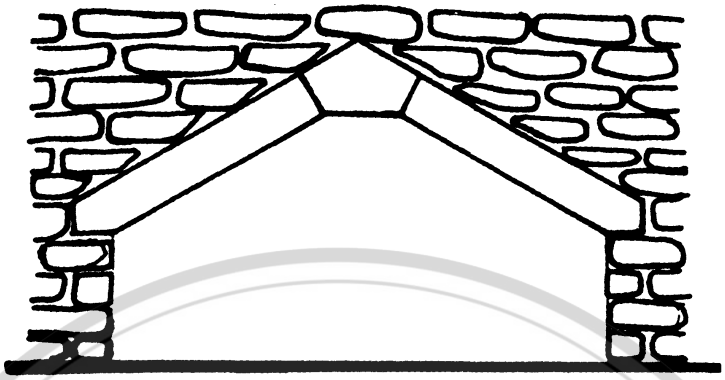
شكل رقم (٦ ـ ٣) استخدم الجائزين المائلين.

a ـ تولد قوى الضغط في الجائزين .

b ـ الانهيار نتيجة لانقلاب القواعد.

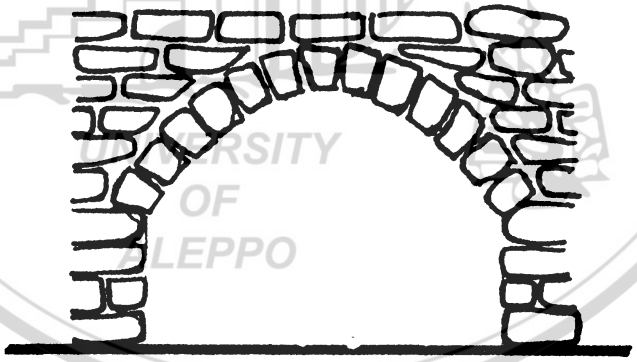
إذا كانت أبعاد هذه الجوائز وميولها مناسبة، فإنه سيتولد فيها قوى ضغط فقط، ولن تتولد أية قوى شد. لذلك فإن هذه العناصر يمكن لها أن تقاوم حمولات أكبر بكثير من التي يتحملها الجائز الأفقي. ولكن ذلك أدى لظهور مشكلة جديدة ، وهي أن قوى ضغط مائلة سوف تتولد عند مساند هذين الجائزين وذلك كرد فعل لقوى الضغط في هذه الجوائز، وعلى المنشأ أن يقاوم هذه القوى وبشكل أمين حتى لا تنهار قواعد هذه الجوائز، الشكل (٦ ـ ٣ ـ b) .

ثم ظهرت المرحلة التالية من مراحل تطور الأقواس وذلك عندما تم وضع حجر ثالث في القمة عند التقاء الجائزين، الشكل (٦ ـ ٤) ، وطالما أن قواعد المنشأ قادرة على تحمل قوى الضغط المطبقة عليها، فإن هذه الأحجار الثلاثة ستتعرض لقوى ضغط فقط وستبقى ثابتة نظراً لأنها ستستند على بعضها البعض بواسطة قوى الضغط هذه.



شكل رقم (٦ ـ ٤) استخدام الحجر الثالث في القمة.

وأخيراً ظهر الشكل النهائي للأقواس وذلك عندما تم استخدام عدد كبير من الأحجار بدلاً من الأحجار الثلاثة، الشكل (٦ ـ ٥). ورغم صغر حجم هذه الأحجار إلا أنها تبقى ثابتة في مكانها نتيجة لقوى الضغط المتولدة فيما بينها.

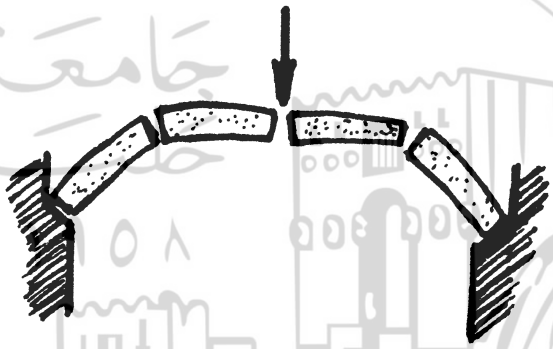


شكل رقم (٦ ـ ٥) الشكل النهائي للأقواس.

استخدمت الأقواس بكثرة في مصر القديمة وبلاد مابين النهرين وذلك قبل الميلاد بقرون عديدة، كما استخدمها الرومان وبشكل كبير في إنشاء الجسور على الطرقات والعبارات وذلك ابتداءً من القرن

الثالث قبل الميلاد .

يجب الانتباه إلى أن قوى الضغط في المساند والقواعد تعتمد وبشكل كبير وأساسي على ارتفاع القوس، فهي تكون أكبر في الأقواس الضحلة خفيفة الانحناء منها في الأقواس العميقة شديدة الإنحناء، ويجب أن تكون هذه القواعد قادرة على تحمل هذه القوى. كما أنه ولكي نتجنب تولد قوى الشد بين الاحجار المشكلة للأقواس فإنه يجب اختيار سماكة كافية لهذه الأقواس وبحيث نمنع إنهيارها نتيجة انفتاح الأحجاروتباعدها عن بعضها البعض، الشكل (٦ ـ ٦) .

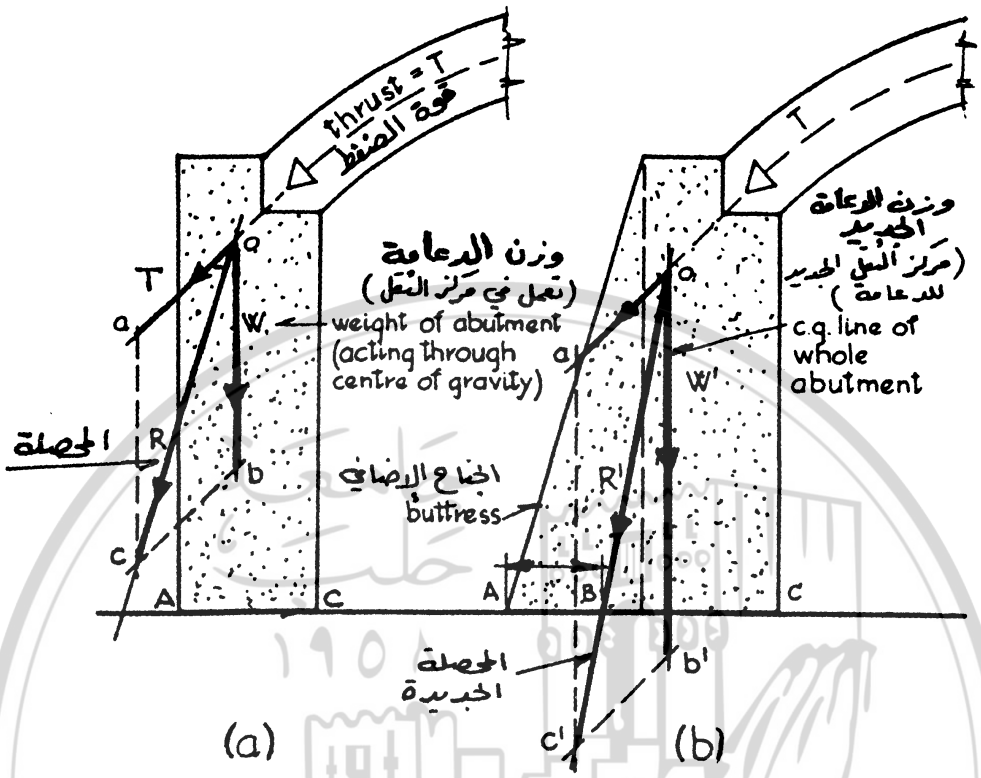


شكل رقم (٦ ـ ٦) انهيار القوس نتيجة لسماكته الصغيرة.

إن دراسة الأقواس وتحديد قوى الضغط فيها واتجاهاتها ليست مسألة سهلة كما يبدو، بل تحتاج لمهارة ومعرفة جيدة في العلوم الرياضية .ولقد قام الكثير من المهندسين والرياضين بدراسة تصرف الأقواس وذلك بدءاً من منتصف القرن السابع عشر، حين قام علماء الرياضيات بمحاولاتهم الأولية لوضع الحلول الرياضية ، كما قاموا بتحديد الأبعاد والسماكات ونسبة الارتفاع إلى المجاز في الأقواس والتي تعطي أفضل الحلول، وكذلك طرق حساب القوى الداخلية واتجاهاتها .

إن لدراسة قواعد ودعامات الأقواس أهمية خاصة . فإن لم تكن هذه الدعامات كبيرة بصورة مناسبة فإنها سوف تنقلب مسببة انهيار المنشأ بالكامل. ويبين الشكل (٦ ـ ٧) القوى المؤثرة على هذه الدعامات ، حيث يمثل الشعاع (oa) وحسب المقياس قوة الضغط (T) المنقولة من القوس كما يمثل الشعاع (ob) وزن الدعامة (W) ويمثل الشعاع (oc) المحصلة (R) لهاتين القوتين. فإذا كانت المحصلة (R) تقع خارج

مساحة القاعدة (AC)، الشكل (٦ ـ ٧ ـ a) ، فإن هذه الدعامة ستكون غير متوازنة وسوف تنقلب.



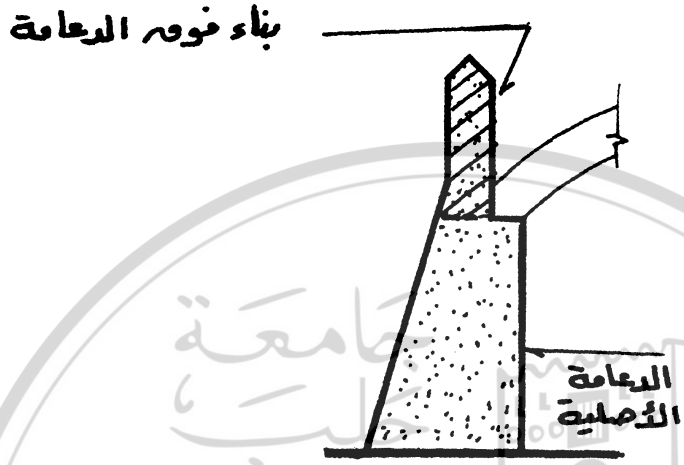
شكل رقم (٦ ـ ٧) دعامات الأقواس:

a ـ دعامة غير متوازنة.

b ـ دعامة متوازية.

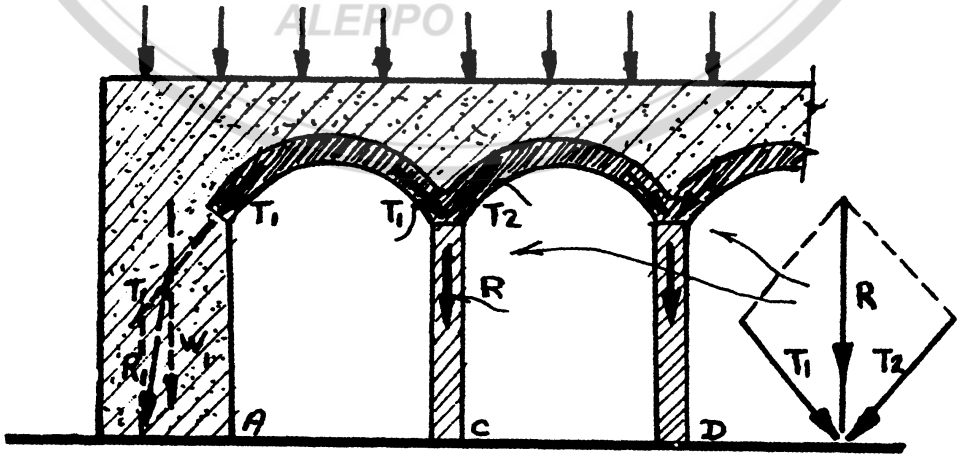
ولجعل هذه القاعدة مستقرة ومتوازية يجب أن تصبح أكبر حجماً وأثقل وزناً ، ويتم ذلك بإضافة أجنحة إضافية إليها، الشكل (٦ ـ ٧ ـ b) . حيث يبقى الشعاع (oa) والذي يمثل قوة الضغط (T) على حاله، بينما يكبر الشعاع (ob) والذي يمثل وزن الدعامة الجديد (W) . فإذا كان وزن وحجم الدعامة الجديدة مناسباً فإن المحصلة الجديدة (R) سوف تقع ضمن مساحة القاعدة (AC)، وبذلك تكون القاعدة متوازية ولا يكون هناك أي أخطار تؤدي لانقلابها .وفي الحقيقة ، ولكي نمنع وجود أية قوى شد مطبقة في الدعامة قرب القاعدة أو أساساتها فإننا يجب أن نتأكد من أن المسافة (AB) لا تقل عن ثلث عرض القاعدة الكلي (AC) .

وهناك طريقة أخرى تستخدم لزيادة وزن الدعامة، ويتم ذلك بإضافة جدار أو بناء فوق الدعامة وحتى نحصل على الوزن المطلوب لتوازن الدعامة ومنع انقلابها، الشكل (٦ ـ ٨).



شكل رقم (٦ ـ ٨) البناء فوق الدعامة لزيادة وزنها.

وفي حالة وجود عدد من الأقواس المتجاورة، الشكل (٦ ـ ٩)، فإن المساند الداخلية (C) و (D) يمكن أن تكون أصغر وأقل سماكة وبصورة كبيرة من المسند الأول (A). فإذا كانت (T_1)هي قوة الضغط الناتجة عن القوس (AC) و (T_2) هي قوة الضغط الناتجة عن القوس (CD) فإن محصلتهما في النقطة (C) تعطينا رد فعل (R). وتكون على شكل قوة شاقولية نظراً لان الدفع الأفقي الناتج عن القوس (AC) يساوي ويعاكس الدفع الأفقي الناتج عن القوس (CD)، هذا بافتراض حمولات موزعة بانتظام.

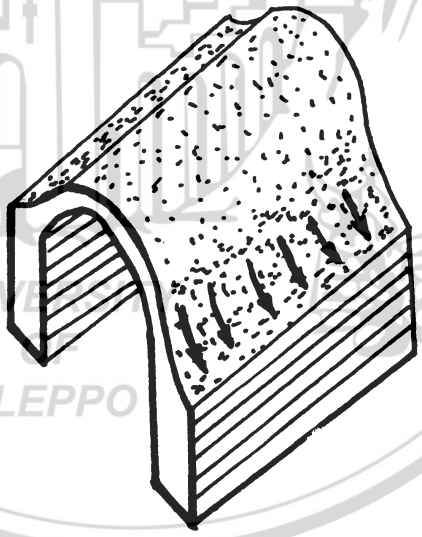


شكل رقم (٦ ـ ٩) الاقواس المتجاورة.

أما في حالة الحمولات غير المنتظمة التوزيع فإن القوة (T_1) ستكون مختلفة عن القوة (T_2) وستكون المحصلة (R) غير شاقولية تماماً، ولكن محصلتهما الأفقية ستكون صغيرة، وهذا مما يقلل من حجم وأبعاد المساند المطلوبة. بينما نرى أنه في المسند (A) لا يوجد هناك أية قوى أفقية لتوازن الدفع الأفقي الناتج عن قوة الضغط (T_1) ، ولذلك فإن المسند (A) يجب أن يكون كبيراً وضخماً وذو وزن (W) كبير لمقاومة هذه القوة.

٦ ـ ٣ ـ العقود المبنية THE MASONRY VAULTS:

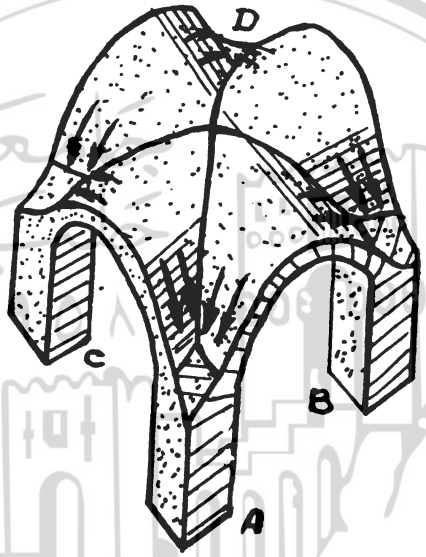
العقود من الناحية المعمارية هي الأسقف المبنية على شكل أقواس، ويطلق على الشكل البسيط منها بالعقود البرميلية (Barrel vaults) ، الشكل (٦ـ١٠) ، ويمكن اعتبار هذه العقود قوساً مستمراً مستنداً على كامل طول الجدران الطرفية. وهذه الجدران يجب أن تكون سماكتها كافية لتحمل قوى



شكل رقم (٦ ـ ١٠) العقود البرميلية.

الضغط الناتجة عن العقد، كما يجب أن تكون الفتحات الجانبية كالنوافذ والأبواب الجانبية صغيرة بحيث لا تقلل من كفاءة المساند. لقد عرفت العقود البرميلية منذ زمن بعيد واستخدمت من قبل قدماء المصريين وفي بلاد الشام، كما استخدمت كلا العقود البرميلية والمتقاطعة بكثرة من قبل الرومان.

إن تقدماً كبيراً قد طرأ على الأشكال الانشائية عند بناء العقود المتقاطعة (Intersecting vaults)، الشكل (٦ - ١١)، وهي تتشكل من تقاطع عقدين برميلين متعامدين، وبحيث تختفي الجدران الطرفية وتنتقل قوى الضغط جميعها إلى أربع دعامات طرفية كبيرة (A,B,C,D). ويجب أن تكون أبعاد وأحجام وأوزان هذه الدعامات بحيث يمكن لها أن تقاوم قوى الانقلاب بالاتجاهين. ولقد استخدمت هذه العقود بكثرة في العصر المعماري القوطي (Gothic) الممتد بين القرنين الحادي عشر والخامس عشر.



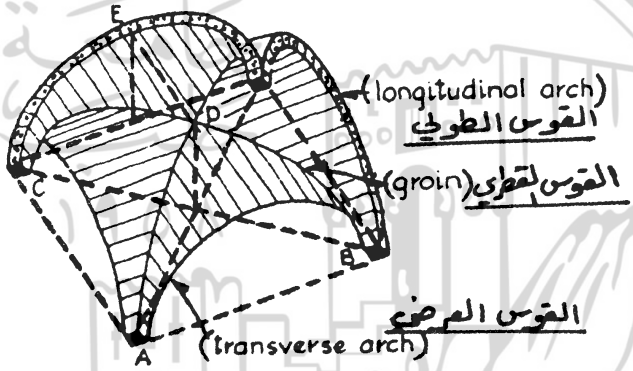
شكل رقم (٦ - ١١) العقود المتقاطعة.

UNIVERSITY OF

وبالرغم من أن الأقواس المدببة هي إحدى سمات العمارة القوطية إلا أن الأقواس نصف الدائرية مستخدمة وبكثرة قبل ذلك العصر. كما أن قدماء المصريين وسكان بلاد الشام قد استخدموا الأقواس المدببة قبل ذلك بمئات السنين. ومن البديهي أن تطور العقود في العصور الوسطى قد أدى إلى الانتشار الكبير في استخدام الأقواس المدببة نظراً لان لها ميزات كبيرة تفوق ميزات الأقواس الدائرية، فهي أقوى وقوى الضغط فيها أقل، كما أنها تحل بعض المشاكل التي تظهر عند تقاطع العقود وخاصة التي تغطي المساحات المستطيلة.

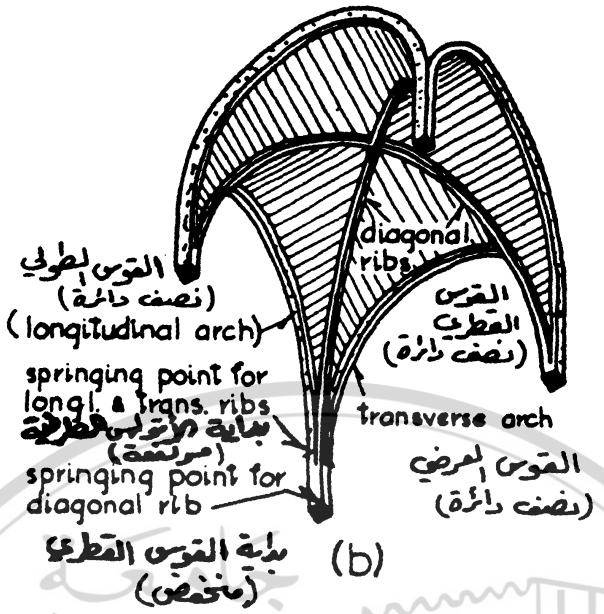
إن السبب الرئيسي لا ستخدام الاقواس المدببة في العقود موضح بالشكل (٦ - ١٢)، الذي يبين

تقاطع عقدين برميلين دائريين، ونتيجة لهذا التقاطع ينشأ لدينا قوس قطري (Groin) يمثل بالمنحني (CDB) . وبافتراض قاعدة مربعة وأقواس طرفية على شكل نصف دائرة فإن مجاز كلا الأقواس الطولية والعرضية يكون مساوياً لطول ضلع المربع (AC) أو (AB) ، بينما يكون مجاز القوس القطري (CB) مساوياً لقطر المربع. وبما أن ارتفاع القوس القطري مساوياً لارتفاع الأقواس الطولية والعرضية (حيث أن النقطتين (E) و (D) اهما نفس الارتفاع) ، لذلك فإن القوس (CDB) سيكون نصف قطع ناقص وسيكون أكثر تغلطاً من القوس الدائري (AB) .



شكل رقم (٦-١٢) العقود المتقاطعة الدائرية.

إن تطور شكل العقود وطرق تنفيذها أعطى القوس القطري أهمية إنشائية كبيرة، حيث طورت أشكال العقود وذلك بإنشاء أقواس أو أعصاب قطرية تشكل مع الأقواس الطرفية هيكلاً يتحمل كامل الحمولات المطبقة ، الشكل (٦-١٣) . ولذلك فلقد وجد أنه من الأفضل أن تكون هذه الأقواس القطرية ذات شكل دائري غير مفلطح وذلك لتقليل قوى الضغط فيها. أما الأقواس الطرفية الطولية والعرضية فيختلف شكلها حسب الحلول المختلفة وحسب الشكل المعماري. ويبين الشكل (٦-١٣) أحد هذه الحلول المقترحة ، حيث تم جعل القوس القطري على شكل نصف دائرة وثم الابقاء على الأقواس الطرفية على شكل نصف دائرة أيضاً وللمحافظة على هذا الشكل ثم رفع نقاط بداية الأقواس الطرفية عن نقاط بداية الأقواس القطرية بالارتفاع المناسب (a a) .



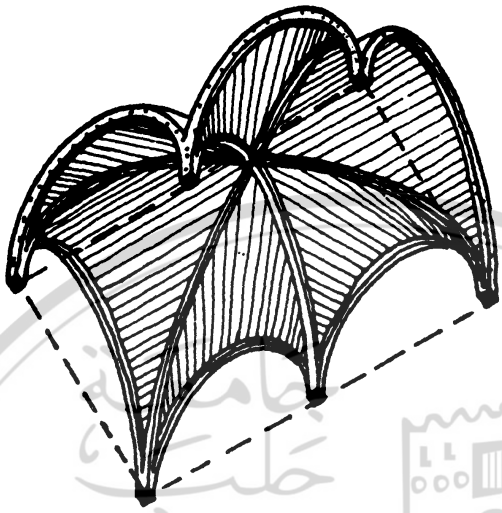
شكل رقم (٦ ـ ١٣) العقود المتقاطعة ذات الأعصاب.

في هذا الشكل من العقود المعصبة تقاوم كافة الحمولات بواسطة الهيكل الفراغي المؤلف من الأقواس الطرفية والأعصاب القطرية فقط ، أما باقي الهيكل مابين الأقواس فيبنى بحيث يتحمل حمولته الذاتية فقط وينقلها إلى الأعصاب والأقواس، ولذلك فإن سماكتها يمكن أن تكون قليلة لا تتجاوز العشرة سنتيمترات فقط، إضافة إلى إمكانية تنفيذها من مواد مختلفة كالأخشاب مثلاً .

يدعى الشكل السابق للعقود المتقاطعة ، والمبين بالشكل (٦ ـ ١٣) ، بالعقود رباعية التقسيم (Quadripartite vaults) نظراً لأنها مقسمة إلى أربعة أقسام وذلك بواسطة الأعصاب القطرية .وهناك عقوداً تدعى بالعقود سداسية التقسيم (Sexpartite vaults) نظراً لأنها مقسمة إلى ستة أقسام بواسطة الأعصاب القطرية وبواسطة العصب العرضي الإضافي المتقاطع معها ، الشكل(٦ ـ ١٤) .

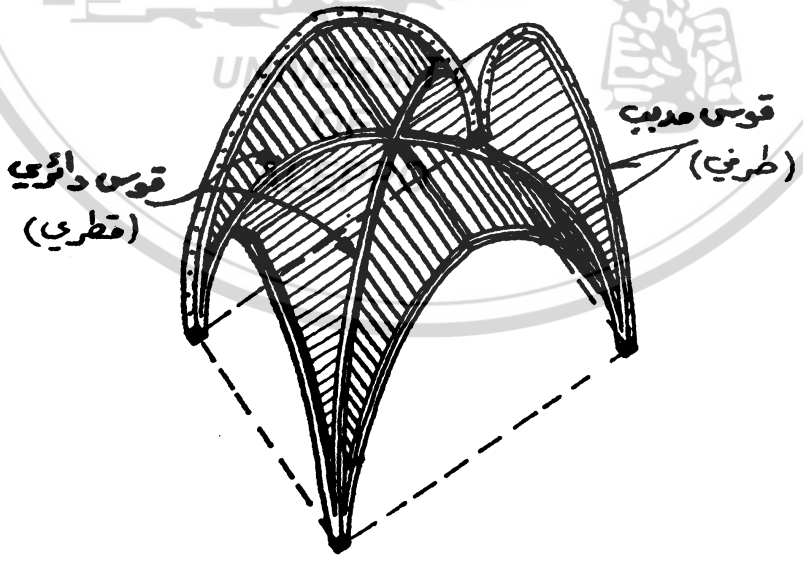
إن الصعوبة في تنفيذ مثل هذه العقود المتقاطعة ذات الأقواس الطرفية المرفوعة قد أدت إلى ظهور الأقواس المدببة (Pointed arch) ، والتي هي إحدى سمات العمارة القوطية. وكما ذكر سابقاً فإن هذه الأقواس أكثر قوة وتتعرض لقوى ضغط أقل من الأقواس الدائرية ، كما أنه وباستخدام هذا الشكل في الأقواس الطولية والعرضية من العقود المتقاطعة وإبقاء الأقواس القطرية دائرية فإنه يمكن أن نجعلها جميعاً ذات ارتفاع واحد وبذلك لا نحتاج إلى عملية رفع الأقواس الطرفية ، الشكل (٦ ـ ١٥) ، ويتم

ذلك في العقود المستطيلة أيضاً



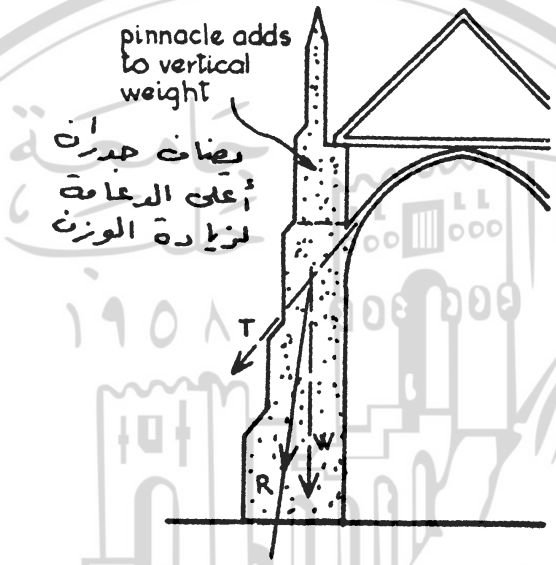
شكل رقم(٦ ـ ١٤) العقود المتقاطعة سداسية التقسيم.

لقد ظهرت العقود المتقاطعة المدببة أولاً في فرنسا حوالي بداية القرن الثاني عشر ثم انتشرت في بقية الدول الأوربية.



شكل رقم (٦ ـ ١٥) العقود المتقاطعة ذات الأقواس المدببة.

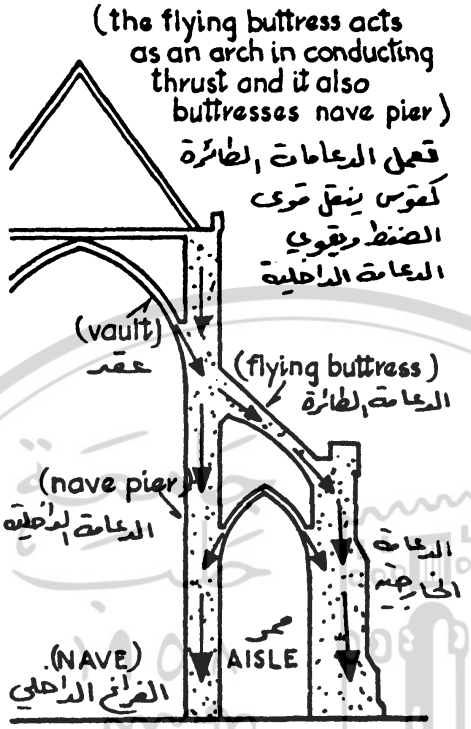
يجب أن نلاحظ أنه في كلا العقود البرميلية والمتقاطعة، وكما في الأقواس ، يجب أن تكون المساند والدعامات كبيرة نسبياً حتى تقاوم قوى الضغط الناتجة عن هذه العقود، وبحيث لا تتعرض هذه المساند للانقلاب. ولقد استخدمت من الناحية الإنشائية التفصيلية عدة طرق لزيادة مقاومة هذه الدعامات. ويبين الشكل (٦-١٦) أحد هذه الطرق ، وتعتمد على إضافة أوزان كبيرة (W) أعلي هذه الدعامات لزيادة تثبيتها ومقاومتها لقوى الضغط (T) الناتجة عن العقود.



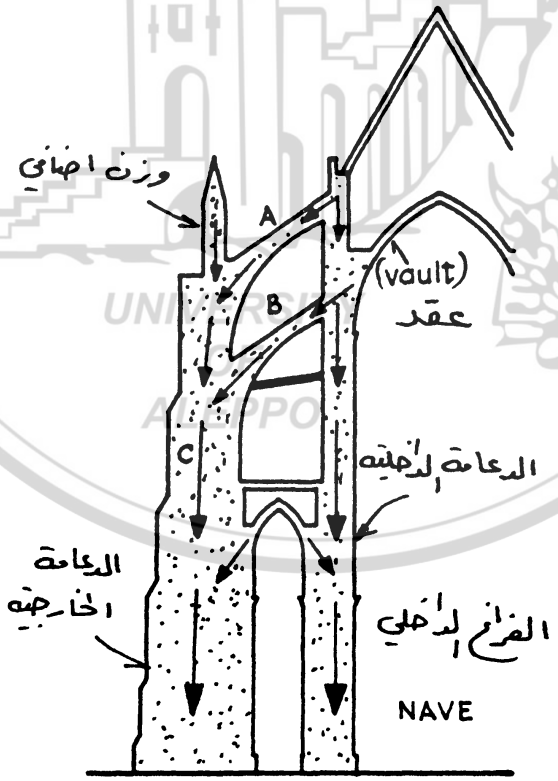
شكل رقم (٦-١٦) إضافة الأوزان الكبيرة لتثبيت الدعامات .

كما استخدمت في كثير من المنشآت الكبيرة وخاصة الكنائس مايدعى الدعامات الطائرة أو المائلة (Flying buttress) . وهي عناصر داعمة مائلة تنقل قوى الضغط الناتجة عن العقود إلى الجدران الخارجية، وبذلك تكون الدعامات الداخلية معرضة لقوى ضغط شاقولي فقط، وبذلك يمكن أن تكون ذات سماكات قليلة مما يسمح بوجود ممر صغير بينها وبين الجدران الخارجية، الشكل (٦-١٧)، أما الجدران الخارجية فتكون ذات سماكات كبيرة ولكن دون إعاقة للحركة الداخلية .

ويبين الشكل (٦-١٨) شكلاً آخراً أكثر تعقيداً من الدعامات الطائرة المضاعفة حيث تستخدم دعامة إضافية (A) فوق مستوى العقود وذلك لمساعدة الجدار العلوي لمقاومة قوى الضغط المائل الناتجة عن



شكل رقم (٦-١٧)
استخدام الدعامات الطائرة لنقل قوى الضغط المائلة.



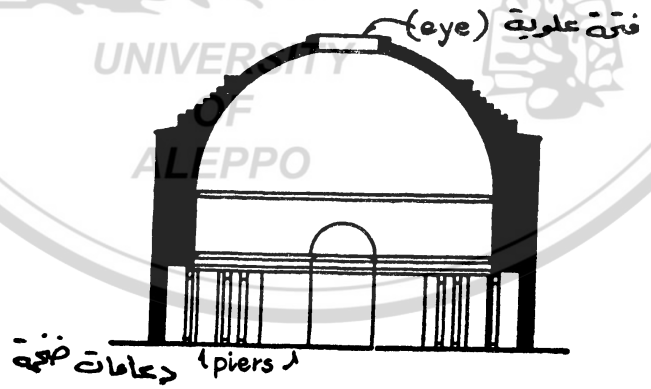
شكل رقم (٦-١٨)
الدعامات الطائرة المضاعفة.

السقف الخشبي العلوي ولتثبيت وزيادة القوى الشاقولية على الدعامة الداخلية، بينما تقوم الدعامة

الطائرة (B) بنقل القوى المائلة الناتجة عن العقود إلى الدعامة الخارجية (C) . وتبين الأسهم وبشكل مبسط اتجاه قوى الضغط وطريقة انتقالها من الأسقف وحتى الأساسات.

٦ ـ ٤ ـ القباب المبنية : THE MASONRY DOMES

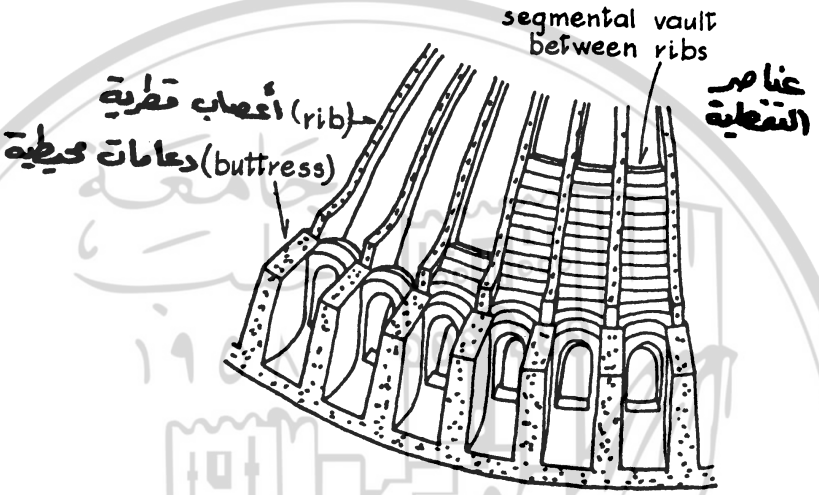
استخدمت القباب المبنية، كما الأقواس، منذ أقدم العصور. وكما يمكن اعتبار العقود من الناحية الإنشائية كمجموعة من الأقواس المتتالية على كامل الطول وتحتاج إلى دعامات طرفية ضخمة، فإن القباب يمكن اعتبارها مجموعة من الأقواس القطرية المتتالية على كامل المحيط، ولذلك فإن قوى الضغط تطبق على كامل المحيط السفلي للقبة مولدة قوى شد كبيرة على كامل محيط الحلقة السفلية، إضافة إلى قوى الضغط الشاقولية. وهناك عدة طرق لمقاومة هذه القوى. أولى هذه الطرق استخدام دعامات ذات أبعاد كبيرة وأوزان ضخمة موزعة على كامل المحيط تستطيع موازنة القوى الناتجة عن القبة، وكمثال على هذه الطريقة يمكن ذكر مبنى البانثيون (The Pantheon) في روما، الشكل (٦ ـ ١٩) ، حيث حملت القبة الضخمة المبنية من الأحجار وذات القطر (43.3 m) والمنفذة حوالي عام (120) ميلادية، على ثمانية دعامات محيطية ضخمة جداً ، ويبين الشكل (٦ ـ ١٩) فكرة عن الكمية الهائلة للمواد المستخدمة.



شكل رقم (٦ ـ ١٩) مبنى البانثيون، استناد القبة على دعائم ضخمة.

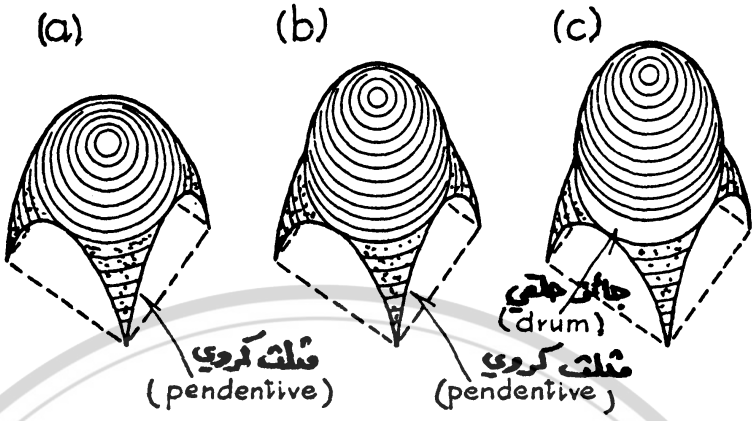
إن من أشهر القباب المبنية القديمة قبة جامع أيا صوفيا (Santa Sophia) في مدينة اسطنبول والتي

بنيت عام (532) ميلادية، حيث أن قطر القبة المركزية الرئيسية يبلغ حوالي (30 m)، ولكنه ونتيجة لان هذه القبة الرئيسية محمولة في أطرافها على أنصاف قباب أخرى ، فإن المسافة الأعظمية على مستوى الأرض وغير المقطوعة بأية أعمدة تبلغ (69 m). ولقد بنيت هذه القبة على شكل سلسلة من الأعصاب القطرية تتحمل قوى الضغط وتنقلها إلى مجموعة متتالية من الدعائم بدلاً من استخدام الجدار الدائري الضخم، الشكل (٦ ـ ٢٠) . كما أن قبة أيا صوفيا تعتبر مثالاً نموذجياً لطريقة تغطية مساحة مربعة



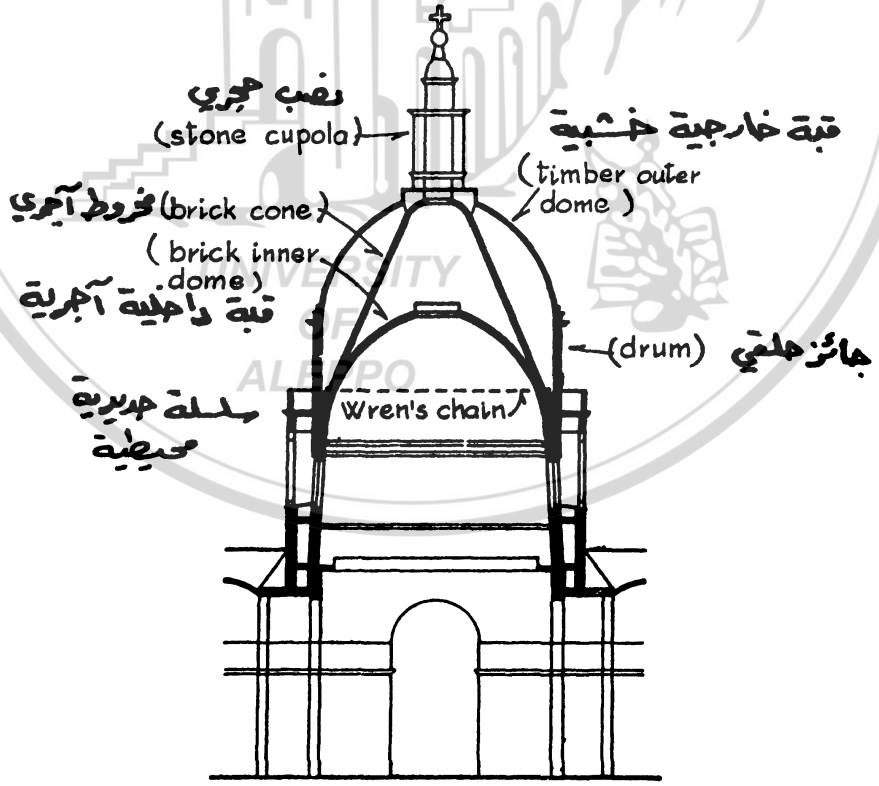
شكل رقم (٦ ـ ٢٠) القبة ذات الأعصاب، قبة أيا صوفيا.

بقبة دائرية وذلك باستخدام المثلثات الكروية (Pendentive)، وهي المثلثات المنحنية المقطوعة من سطح كرة، والمبنية بين الأقواس الرئيسية الحاملة على محيط المربع والقبة الكروية، ويبين الشكل (٦ ـ ٢١) ثلاث نماذج لا ستخدام هذه المثلثات الكروية، حيث يظهر الشكل (٦ ـ ٢١ ـ a) شكلاً مركباً من القبة والمثلثات الكروية يظهر كأنه قبة مقطوعة شاقولياً بالأقواس الأربعة من الأطرف، وذلك نظراً لان هذه المثلثات الكروية لها نفس قطر ومركز القبة، كما يظهر الشكل (٦ ـ ٢١ ـ b) الأقواس الأربعة الحاملة للقبة المنتهية إلى مستوى قمة هذه الأقواس، مما يبقي أربع مساحات في الأطراف يجب تغطيتها بالمثلثات الكروية المناسبة. أما الشكل (٦ ـ ٢١ ـ c)، فيظهر أن القبة الرئيسية مستندة على جائز حلقي يستند بدوره على الأقواس والمثلثات الكروية الاربعة.



شكل رقم (٦ - ٢١) طريقة استخدام المثلثات الكروية.

و في أوروبا الغربية لم تكن القباب المبنية شائعة في القرون الوسطى . أما في عصر النهضة (Renaissance Period) فهناك مثالان شهيران لاستخدام هذه القباب المبنية : الأول قبة كنيسة القديس



شكل رقم (٦ - ٢٢) قبة كنيسة القديس بطرس في الفاتيكان بروما .

بطرس (St. Peter) في الفاتيكان بروما والمبنية حوالي (1626) ميلادية، والثاني قبة كنيسة القديس بول (St. Paul) في لندن والمبنية حوالي (1700) ميلادية. إن كلتا القبتين تحملان عند قمتهما حمولات كبيرة ناتجة عن النصب الحجري المبني أعلى القبتين، مما يؤدي إلى تولد قوى ضغط كبيرة في القبتين تؤدي إلى انفتاحهما من الاسفل، ولمقاومة هذه القوى ثم بناء مخروط إضافي فوق القبة الداخلية المصنوعة من الآجر لتحمل القوى الناتجة عن النصب الحجري العلوي كما تم تنفيذ قبة خارجية من الاخشاب لتغطية هذا المخروط، الشكل (٦ - ٢٢) . كما استخدمت السلاسل الحديدية لربط محيط القبة السفلي ومنعه من الانفتاح والانهيار، ولتحمل قوى الشد الكبيرة الناتجة. وأثناء صيانة الكنيسة حوالي عام (1925) ثم استبدال هذه السلاسل القديمة بسلسلتين جديدتين من الفولاذ غير القابل للصدأ.

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل السابع

الجوائز الخشبية والفولاذية

TIMBER AND STEEL BEAMS

٧ـ١ ـ تمهيد: INTRODUCTION

عند تصميم الجوائز، يجب أن يكون المقطع المختار للعناصر المختلفة كافياً لمقاومة الأحمال المطبقة عليه، وعليه بنفس الوقت أن يكون اقتصادياً في المواد المستخدمة. ويمكن أن يعبر عن قدرة مقاومة المقطع للاحمال بالأسس الرئيسية التالية :

١ ـ يجب أن يكون للمقطع المختار مقاومة لعزوم الإنعطاف مساوية أو أكبر من العزوم الفعلية المطبقة عليه.

٢ ـ يجب أن لا تكون هناك أي خطر من الانهيار نتيجة لقوى القص.

٣ ـ يجب أن لا يكون تشوه العناصر كبيراً وأن لا تتسهم وبصورة غير مقبولة.

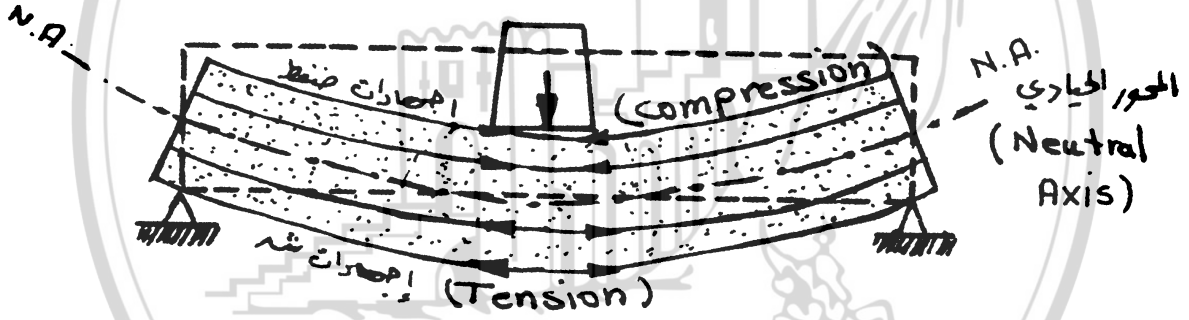
٤ ـ يجب أن لايكون هناك أية أخطار من الانهيار نتيجة للتحنيب العرضي (Lateral buckling)

يمكن وبصورة مبسطة أن تقسم الجوائز إلى نوعين أساسيين : النوع الأول : الجوائز التي تستخدم نفس المادة لمقاومة كلا قوى الشد والضغط كالجوائز المعدنية والخشبية والنوع الثاني الجوائز التي تستخدم مواداً مختلفة لمقاومة هذه القوى كجوائز البيتون المسلح.

٧ ـ ٢ ـ عزوم الانعطاف في الجوائز : BENDING MOMENTS IN BEAMS

إن الأخشاب والفولاذ وكما هو معروف من المواد التي تتحمل قوى الشد بالإضافة إلى قوى الضغط ، ولذلك فإن مقاطع هذه الجوائز تكون متناظرة ومتجانسة ، وبذلك يسهل استخدامها .

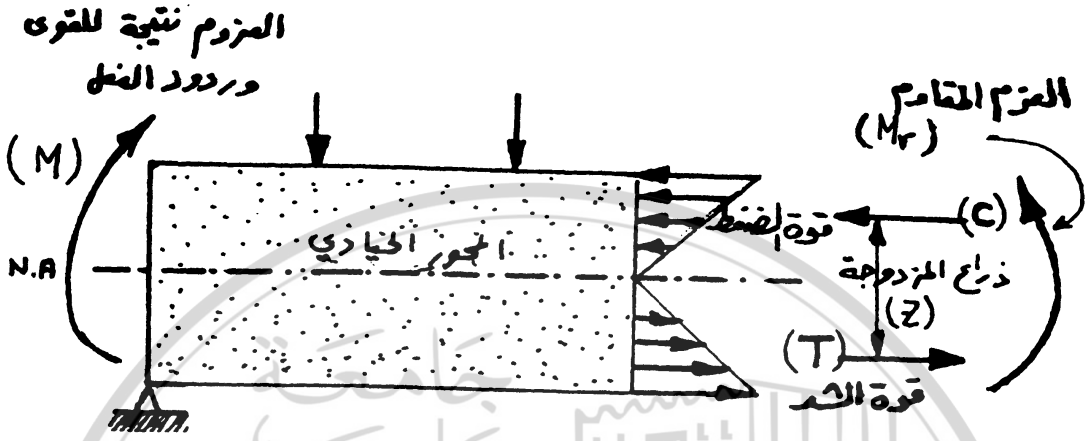
ولمعرفة تأثير عزوم الإنعطاف في الجوائز ، لندرس تصرف الجائز المبين الشكل (٧ ـ ١) ، ولنتصور أنه مؤلف من ألياف طولية متطبقة فوق بعضها البعض . نتيجة للحمولات المطبقة ، فإن هذا الجائز سوف يتشوه قليلاً وينحني نحوالأسفل ، ونلاحظ أن الألياف العلوية سوف تتقاصر نتيجة لإجهادات الضغط بينما ستتطاول الألياف السفلية نتيجة لإجهادات الشد . وسيبقى ليف واحد بين هاتين المنطقتين غير معرض لاية إجهادات ومحافظ على طوله الأصلي . ويدعى هذا الليف بالمحور الحيادي (The neutral axis) .



شكل رقم (٧ ـ ١) الإجهادات في الجوائز والناتجة عن عزوم الانعطاف .

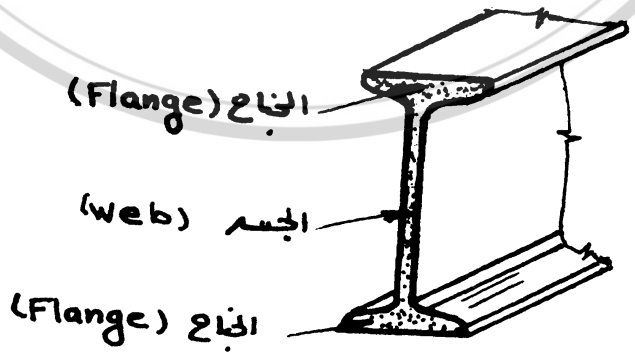
إن إجهادات الضغط أو الشد لا تكون موزعة بانتظام على مساحة المقطع بل تكبر قيم هذه الإجهادات كلما زاد بعدها عن المحور الحيادي وتقل قيمتها كلما اقتربت منه ، وتكون أعظمية في الألياف العلوية والسفلية من المقطع . يبين اشكل (٧ ـ ٢) القوى المقاومة في مادة الجائز لعزوم الإنعطاف المطبقة على المقطع المبين نتيجة للأحمال المطبقة ولردود الأفعال الناتجة . حيث القوة (C) محصلة قوى الضغط المطبقة أعلى المقطع ، والقوة (T) محصلة قوى الشد المطبقة أسفله . إن هاتين القوتين متساويتان في القيمة ومتعاكستان في الاتجاه ، وبحيث تشكلان معاً مزدوجة عزمها (M_t)مساوٍ لعزوم

الإنعطاف المطبقة على المقطع (M) . لذلك فإنه كلما كبرت المسافةبين القوتين الداخلتين (C) و (T) ، أي المسافة (Z)،(ذراع المزدوجة) ، كلما كبرت قيم عزوم الإنعطاف التي يمكن أن تقاوم بواسطة هذا المقطع.



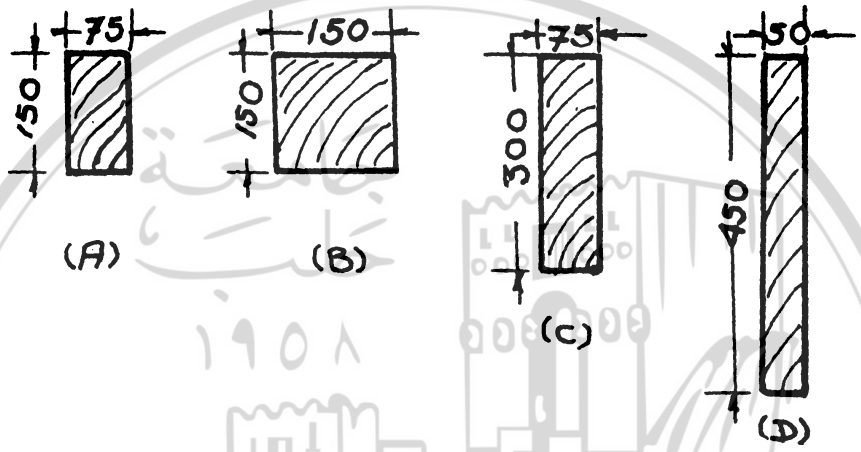
شكل رقم (٧ـ٢) العزم المقاوم (Mr) لمقطع الجائز.

كذلك ، ونظراً لأن الألياف الأبعد عن المحور الحيادي أعلى وأسفل المقطع هي التي تتعرض إلى إجهادات الضغط والشد الأكبر ، فإنه من الضروري وللاستفادة القصوى من المواد المستخدمة في المقطع ، أن نضع أكبر كمية ممكنة من هذه المواد على أبعد مسافة ممكنة عن المحور الحيادي. إن هذا هو السبب الرئيسي لا ستخدام الأشكال المعروفة للمقاطع الفولاذية النموذجية المستخدمة في الجوائز المعدنية، الشكل (٧ـ٣) ، حيث تكون أغلب كتلة الفولاذ المستخدم مركزة في الأجنحة (The flanges) لتقاوم أكبر ما يمكن من عزوم الإنعطاف ، بينما توضع بقية الكتلة في جسد المقطع (The web) وذلك لمقاومة قوى القص.



شكل رقم (٧ـ٣) المقطع النظامي للجوائز الفولاذية.

أما في الجوائز الخشبية فإن أشكال المقاطع العرضية تكون إما مربعة أو مستطيلة، ويعطينا الشكل (٧ـ٤) فكرة عن تأثير الارتفاع على مقاومة المقطع العرضي. فالمقطع العرضي (B) والذي مساحته ضعف مساحة المقطع العرضي (A)،حيث له نفس الارتفاع وضعف العرض ، هذا المقطع العرضي يقاوم ضعفي مقاومة المقطع العرضي (A). أما المقطع العرضي (C) والذي مساحته نفس مساحة المقطع العرضي (B) ولكن ارتفاعه ضعف الارتفاع الأصلي فإنه يقاوم ضعفي مقاومة المقطع

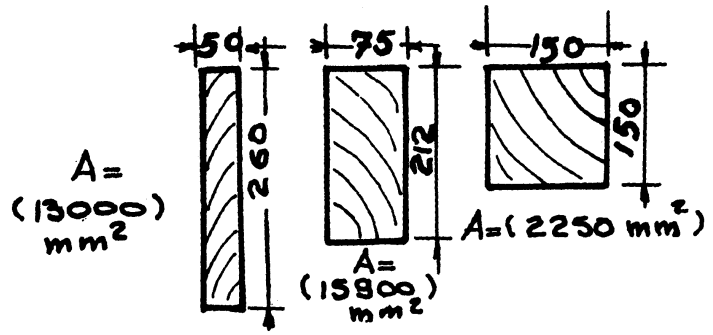


شكل رقم (٧ـ٤) تأثير الارتفاع على مقاومة المقاطع العرضية للجوائز الخشبية .

العرضي (B)وأربعة أضعاف مقاومة المقطع العرضي (A) . أما المقطع العرضي (D) فيقاوم ثلاثة أضعاف المقطع العرضي (B) ، إلا أن هذا المقطع قد لا يكون في الحقيقة عملياً نظراً لخطر التحنيب العرضي نتيجة لصغر عرضه بالنسبة لارتفاعه.

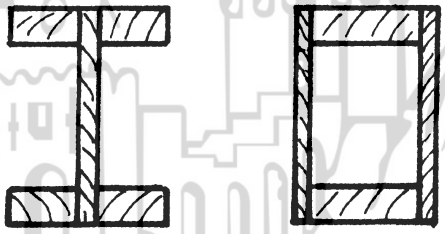
لذلك ولمقاومة عزم انعطاف معين بأقل كلفة للمواد المستخدمة، فإنه يجب استخدام جائز ذو مقطع عرضي له أكبر ارتفاع ممكن . ويبين الشكل (٧ـ٥) ثلاثة مقاطع عرضية لها نفس المقاومة لعزوم الانعطاف بالرغم من أن مساحة المقطع العرضي وبالتالي المواد المستخدمة مختلفة بصورة كبيرة.

إن المقاطع العرضية المربعة أو المستطيلة هي المقاطع المألوفة الأكثر استخداماً في الجوائز الخشبية ولكن هذه الأشكال كما شاهدنا لا تستخدم كامل طاقة المواد المستخدمة بالشكل المناسب نظراً لان كمية كبيرة من كتلة المادة تتوضع قرب المحور الحيادي (N.A) وبالتالي تتعرض لاجهادات صغيرة جداً.



شكل رقم (٧-٥) المقاطع الخشبية المختلفة ذات المقاومة الواحدة لعزوم الانعطاف.

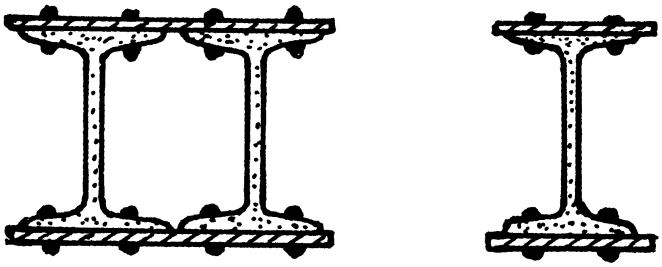
لذلك تصنع الآن بعض الجوائز ذات المقاطع المركبة، الشكل (٧-٦)، وهي أكثر مقاومة من الجوائز الخشبية العادية التي تستخدم نفس كمية المواد.



شكل رقم (٧-٦) الجوائز الخشبية المركبة.

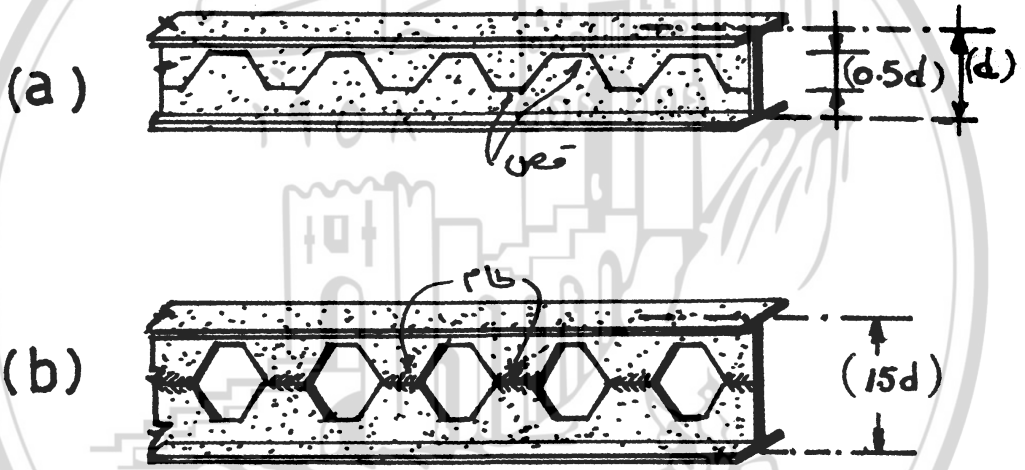
أما الجوائز الفولاذية فإنها تصنع بأبعاد نظامية وأشكال محددة كثيرة ومتعددة إبتداءً من المقاطع العرضية الصغيرة جداً بارتفاع لا يتجاوز (76 mm) وعرض (51mm) وحتى المقاطع الكبيرة جداً بارتفاع يبلغ (914mm) وعرض (419mm). وعند الحاجة إلى أبعاد أكبر أو جوائزذات مقاومة أعظم، يمكن استخدام جوائز ذات مقاطع مركبة مؤلفة من المقاطع السابقة مع صفائح ومقاطع أخرى تلحم أو تثبت ببراشيم على أجنحتها وذلك لزيادة مقاومتها، الشكل (٧-٧).

ومن الأشكال المركبة المستخدمة بكثرة مايدعى بالجوائز المصنعة (Castellated beams)، الشكل (٧-٨)، والتي يمكن تشكيلها وذلك بقص الجوائز الفولاذية التي مقطعها العرضي على شكل (I) (أو أية مقاطع أخرى) على كامل طولها، وبشكل منكسر، كما هو مبين بالشكل (٧-٨-a). ثم ترفع



شكل رقم (٧-٧) الجوائز الفولاذية المركبة.

القطعة العلوية وتسحب قليلاً ثم يعاد لحام أطراف القطعتين معاً كما هو مبين بالشكل (٧-٨-b)، وبذلك يزداد إرتفاع المقطع العرضي للجائز المصنع وتزداد مقاومته لعزوم الانعطاف بصورة كبيرة



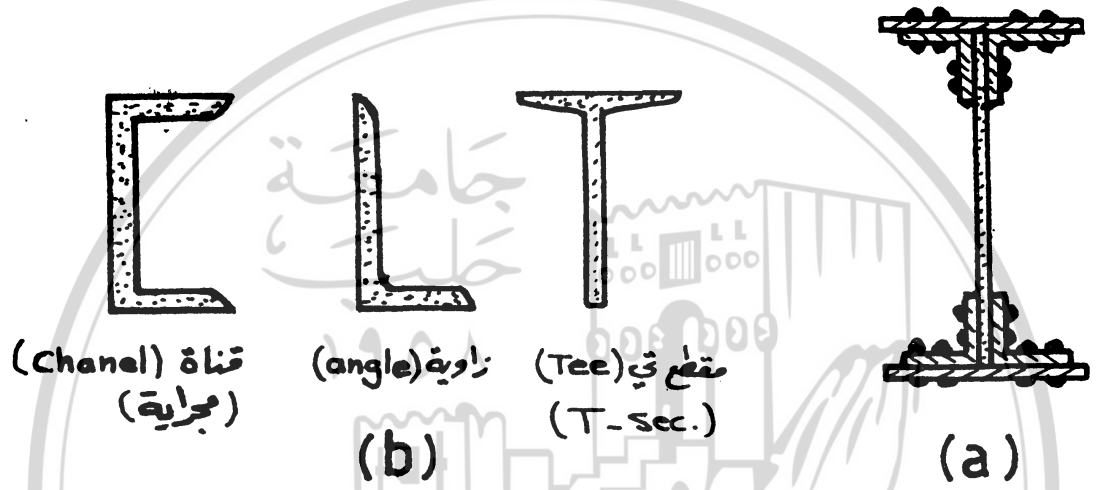
شكل رقم (٧-٨) الجوائز الفولاذية المصنعة.

UNIVERSITY OF ALEPPO

وذلك نظراً لأن أغلب كتلة المادة المستخدمة قد ركزت على مسافة أبعد من المحور الحيادي. بالإضافة إلى أن مقاومة هذا الجائز للتشوه والانحناء ستزداد أيضاً بينما ستقل مقاومته لتحمل قوى القص نظراً لوجود الفراغات في جسده. ولذلك فإن هذه الجوائز تستخدم في المجازات الطويلة ذات الحمولات الخفيفة، أما في المجازات القصيرة وذات الحمولات الثقيلة فيجب أن تؤخذ بعض الاحتياطات الإضافية لمقاومة قوى القص.

في المنشآت الضخمة والمجازات الكبيرة والمعرضة لحمولات ثقيلة، فإننا نحتاج إلى جوائز ذات

مقاطع عرضية وبارتفاعات كبيرة لا تكون متوفرة في المقاطع النظامية. ولهذه الحالات يمكن تصنيع مقاطع مركبة بالارتفاعات والمقاطع المطلوبة تدعى بالجوائز الصفائحية (Plate girders)، الشكل (٧-٩)، حيث تلحم الصفائح الفولاذية أو تبرشم مع بعض الزوايا والأشكال الأخرى لتشكل المقطع العرضي للجائز المطلوب، الشكل (٧-٩-a) ويمكن استخدام أية مقاطع نظامية متوفرة أخرى لتشكيل هذ المقاطع، الشكل (٧-٩-b).

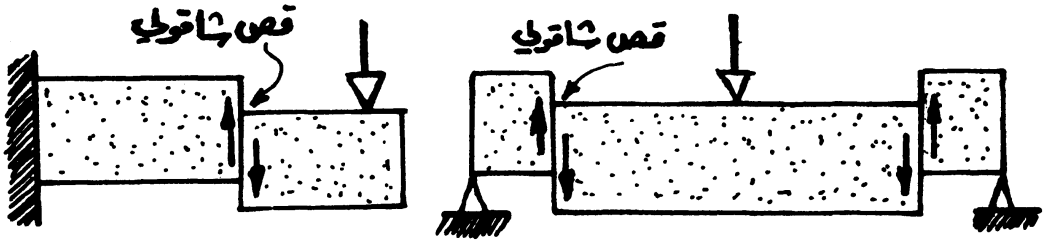


شكل رقم (٧-٩) الجوائز الفولاذية الصفائحية.

٧-٣-قوى القص في الجوائز: SHEARING FORCES IN BEAMS

إذا استخدمت الجوائز الخشبية أو الفولاذية في المنشآت فإنها يجب أن تكون قادرة على مقاومة، وبالإضافة إلى عزوم الإنعطاف، قوى القص الناتجة عن الحمولات المطبقة، وأن لا تسبب هذه الحمولات أية انهيارات كالمبنية بالشكل (٧-١٠). هذا النوع من الانهيار يدعى الانهيار نتيجة القص الشاقولي (Vertical shear).

وفي الحقيقة، فإن هذا النوع من الانهيار الشاقولي صعب الحدوث، نظراً لأن إجهادات القص الشاقولية هذه تترافق عادة بإجهادات قص أفقية أخرى. ويمكن ملاحظة هذه الإجهادات بوضوح وذلك عندما نقوم بتشكيل جائز مؤلف من عدة طبقات من الكرتون مثلاً غير ملصوقة مع بعضها البعض.



شكل رقم (٧ ـ ١٠) الانهيار نتيجة لإجهادات القص الشاقولية.

فعندما نطبق الحمولات على هذا الجائز نلاحظ أن الجائز ينحني نحو الأسفل مسبباً انزلاقاً بين هذه الطبقات نظراً لعدم مقدرتها على تحمل إجهادات القص الأفقية (Horizontal shear)، الشكل (٧ ـ ١١ـa). أما الجوائز الصلبة ذات المقطع المتجانس حيث لا يمكن ملاحظة أية انزلاقات بين الطبقات، الشكل (٧ ـ ١١ـb)، فإن إجهادات القص الأفقية المتولدة بالإضافة إلى إجهادات القص الشاقولية سوف تقاوم بواسطة مادة هذه الجائز. إلا أنه يمكن أحياناً وفي بعض الجوائز الخشبية، ملاحظة الإنهيار نتيجة إجهادات القص الأفقية، الشكل (٧ ـ ١٢)، نظراً لأن الأخشاب بطبيعتها ضعيفة التحمل لاجهادات القص الموازية لأتجاه أليافها.

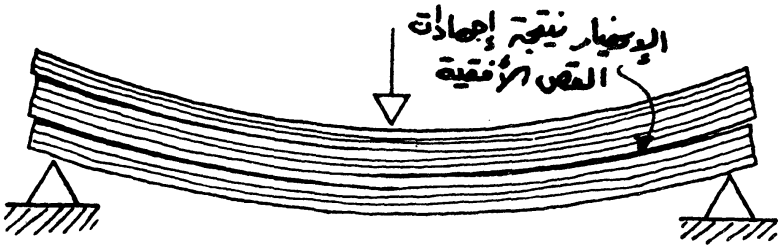
شكل رقم (٧ ـ ١١) إجهادات القص الأفقية:

a ـ الانزلاق بين الطبقات.

b ـ تأثير مركبتي إجهادات القص الأفقية والشاقولية.

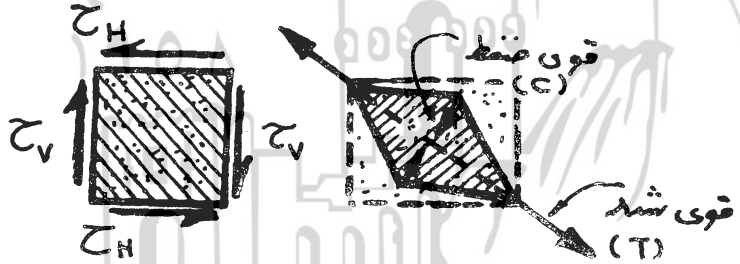
ولمعرفة نتائج تطبيق إجهادات القص الأفقية والشاقولية معاً على مادة الجائز، لندرس تأثيرهما

على عنصر صغير من الجائز والمبين بالشكل (٧ ـ ١١ـb) .إن إجهادات القص الشاقولية (τ_v) ، تعمل



شكل رقم (٧ ـ ١٢) انهيار الجوائز الخشبية نتيجة لإجهادات القص الأفقية.

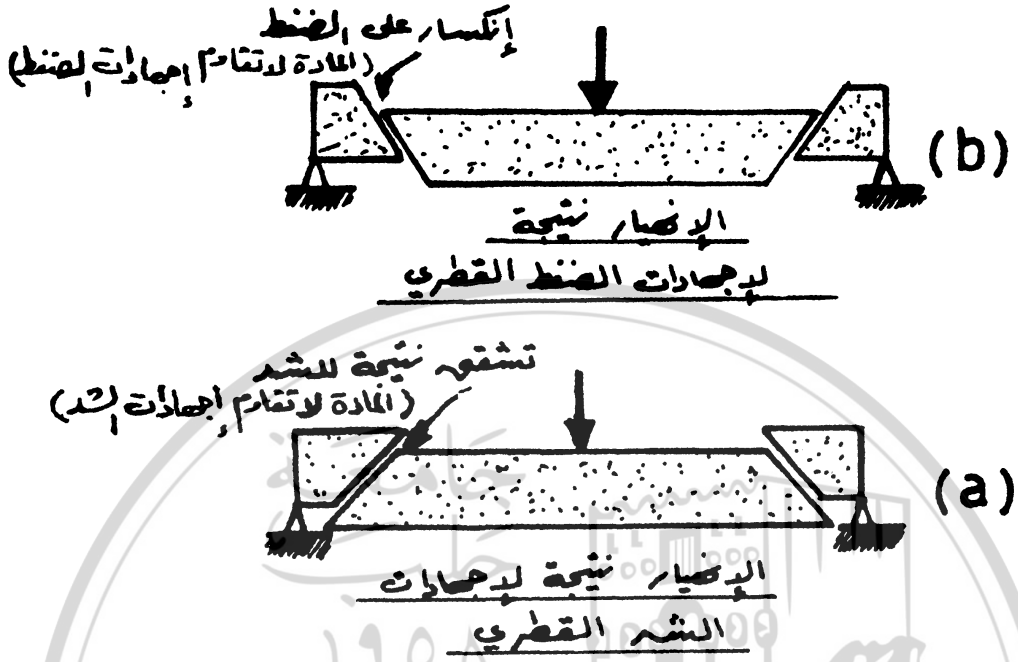
كمزدوجة تدور مع عقارب الساعة توازنها مزدوجة إجهادات القص الأفقية (τ_H) والتي تدور عكس عقارب الساعة، الشكل (٧ ـ ١٣) .ونتيجة للتوازن بينهما فإن نرى أن هذا العنصر سيتعرض لقوى شد



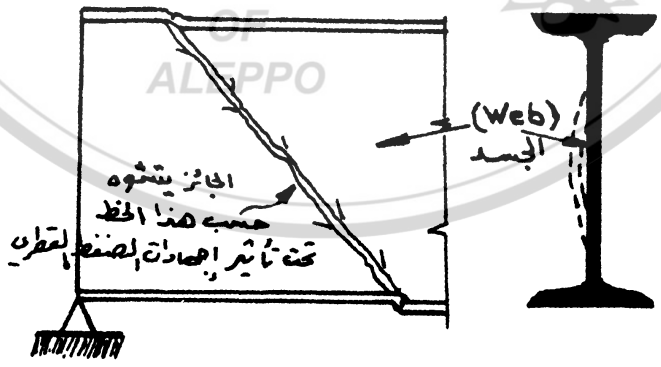
شكل رقم (٧ ـ ١٣) قوى الشد والضغط القطرية الناتجة عن إجهادات القص.

(T) ، تعمل باتجاه أحد الأقطار ولقوى ضغط (C) مساوية لها في القيمة وتعمل باتجاه القطر الآخر، أي متعامدة معها . ونتيجة لهذه القوى فإن الجوائز ، إن كانت ضعيفة المقاومة لإجهادات الشد ، سوف تنهار، كما هو مبين بالشكل (٧ ـ ١٤ ـ a) ، ونتيجة لتأثير قوي الشد. أما إذا كانت ضعيفة المقاومة لاجهادات الضغط فإنها سوف تنهار، كما هو مبين بالشكل (٧ ـ ١٤ ـ b) ونتيجة لتأثير قوى الضغط.

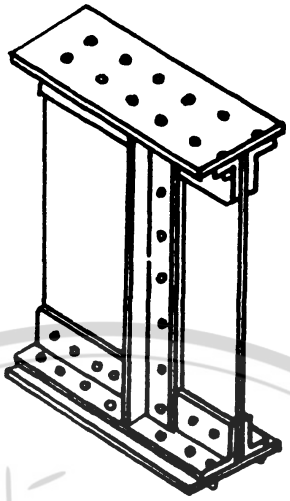
إن الفولاذ مادة شديدة المقاومة لكلا إجهادات الشد والضغط ، ولكنه في الجوائز الكبيرة الارتفاع وذات الجسد الرقيق فإنه يجب أخذ الاحتياطات الإضافية اللازمة لمنع خطر التحنيب (Buckling) في الجسد نتيجة لقوى الضغط القطري، (الشكل ٧ ـ ١٥) .ويمكن أن تقوى مثل هذه الجوائز ببرشمة أو لحام صفائح أو قطع من الزوايا على طرفي صفيحة الجسد لمنع خطر التحنيب ، (الشكل ٧ ـ ١٦) .



شكل رقم (٧-١٤) الانهيار نتيجة إجهادات الشد والضغط القطري الناتج عن قوى القص.



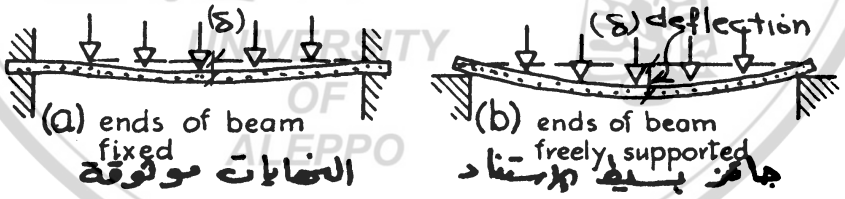
شكل رقم (٧-١٥) تحنيب جسد الجوائز المعدنية نتيجة لقوى القص.



شكل رقم (٧-١٦) تقوية الجوائز المعدنية لمقاومة قوى القص.

٧-٤ ـ السهم في الجوائز : DEFLECTION OF BEAMS

يمكن أن تكون الجوائز قوية بصورة كافية لتحمل عزوم الإنعطاف وقوى القص المطبقة، ومع ذلك تكون غير مناسبة أو مقبولة نتيجة لتسهمها الكبير تحت تأثير القوى المطبقة، الشكل (٧-١٧). وذلك لأنها تعطي شعوراً بعدم الأمان وانطباعاً بعدم السلامة. كما أن التسهم الكبير يؤدي إلى تشقق في



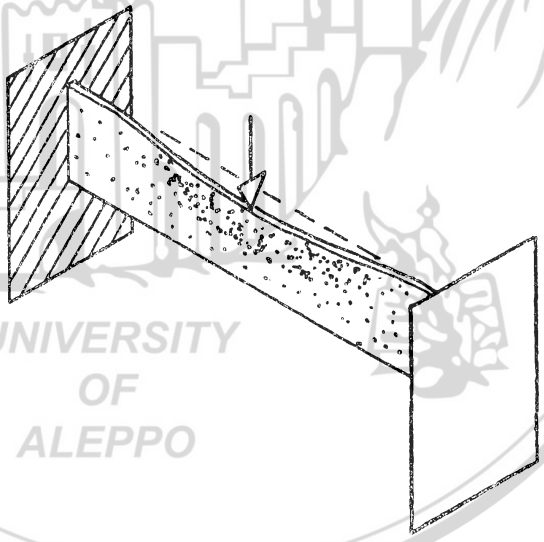
شكل رقم (٧-١٧) السهم في الجوائز.

الزريقة ومواد الإكساء والقواطع. وتحدد أغلب المواصفات والأنظمة العالمية السهم الأعظمي المسموح بحيث لا يزيد عن (1 / 360) من طول مجاز الجوائز. ويعتمد مقدار السهم في الجوائز على عوامل عديدة منها طول المجاز وشكل الحمولات وطريقة الاستناد ، وشكل وأبعاد المقطع العرضي إضافة إلى طبيعة المادة المستخدمة .

ومن الجدير أن نتذكر، أنه في المقاطع العرضية ذات الكمية الثابتة من المادة المستخدمة أو ذات المساحة الثابتة فإن المقطع ذو الارتفاع الأكبر هو الأفضل بالنسبة لمقاومة التسهم إضافة لمقاومة عزوم الانعطاف. كما أنه وفي المجازات الكبيرة قد نضطر إلى تنفيذ أبعاد للمقاطع العرضية أكبر مما نحتاجه لمقاومة عزوم الإنعطاف وذلك لإبقاء السهم ضمن الحدود المقبولة.

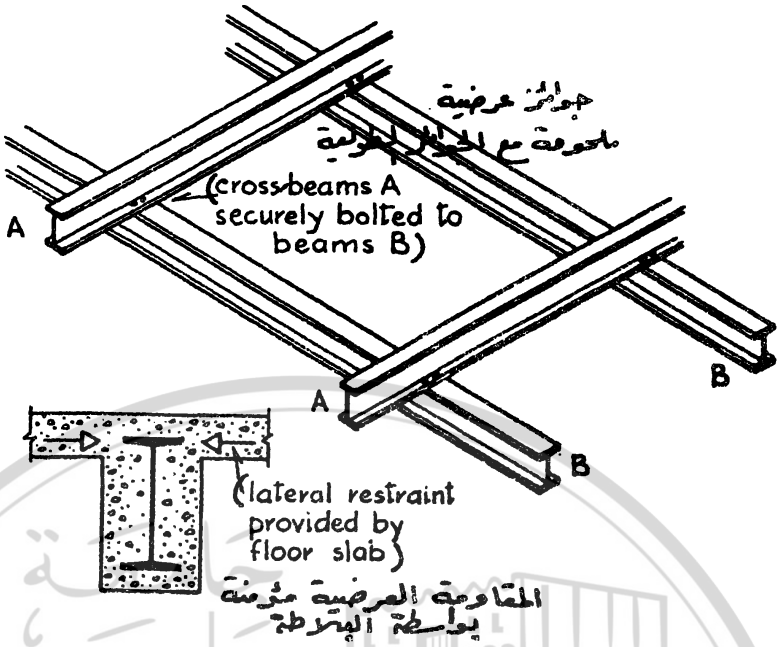
٧ ـ ٥ ـ التحنيب العرضي : LATERAL BUCKLING

كما رأينا، ولمقاومة عزوم الإنعطاف ولإبقاء السهم ضمن الحدود المقبولة، فإنه يجب أن نختار أكبر ارتفاع ممكن للمقطع العرضي، إلا أنه ذلك يجب أن يبقى ضمن حدود معينة، لأنه إذا أصبحت نسبة الارتفاع إلى العرض لهذا المقطع العرضي كبيرة، فإن ذلك يعرضه إلى التحنيب العرضي نتيجة لإجهادات الضغط المطبقة على الألياف العلوية وذات العرض الصغير، الشكل (٧ ـ ١٨).



شكل رقم (٧ ـ ١٨) التحنيب العرضي في الجوائز.

عندما يكون الجائز المعدني محاطاً ببلاط من البيتون المسلح أو يكون مقوياً بالاتجاه العرضي وذلك بربطه بعناصر التقوية العرضية والتي تمنع الحركة بالاتجاه العرضي، الشكل (٧ ـ ١٩)، فإنه لا حاجة عندئذ لدراسة خط هذا التحنيب، نظراً لان البلاطة البيتونية المسلحة وعناصر التقوية العرضية ستعطي



شكل رقم (٧-١٩) الجوائز المعدنية المقواة بالاتجاه العرضي:

a- بواسطة البلاطة البيتونية المسلحة.

b- بواسطة عناصر التقوية العرضية.

الجائز مقاومة كبيرة للحركة العرضية وتمنع تحنيبه. أما إذا كان الجائز غير مقوىً بالاتجاه العرضي أو كان جائزاً مقلوباً أي أن منطقة الضغط غير موثوقة مع البلاطة البيتونية المسلحة، عندئذ يجب تخفيض إجهاد الضغط المسموحة بنسب معينة تحددها المواصفات والأنظمة العالمية.

UNIVERSITY
OF
ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الثامن

الجوائز والبلاطات البيتونية المسلحة

THE REINFORCED CONCRETE BEAMS AND SLABS

٨ـ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

البيتون صخر اصطناعي، يشبه الأحجار الطبيعية من حيث أنه مادة ذات مقاومة عالية لقوى الضغط ومقاومة ضعيفة لقوى الشد، حيث تبلغ مقاومته لإجهادات الضغط وعلى الأقل عشرة أضعاف مقاومته لاجهادات الشد. ولذلك فإنه لا يمكن من الناحية العملية استخدام البيتون العادي لوحده في الجوائز والبلاطات المعرضة لعزوم الإنعطاف، بل يجب استخدام البيتون المسلح أي المقوى بفولاذ التسليح والذي يتوضع بحيث يتحمل جميع إجهادات الشد الناجمة عن عزوم الإنعطاف حيثما وجدت، بينما يتحمل البيتون إجهادات الضغط فقط. وبذلك يمكن الاستفادة وبصورة كاملة من مقاومة البيتون العالية لإجهادات الضغط.

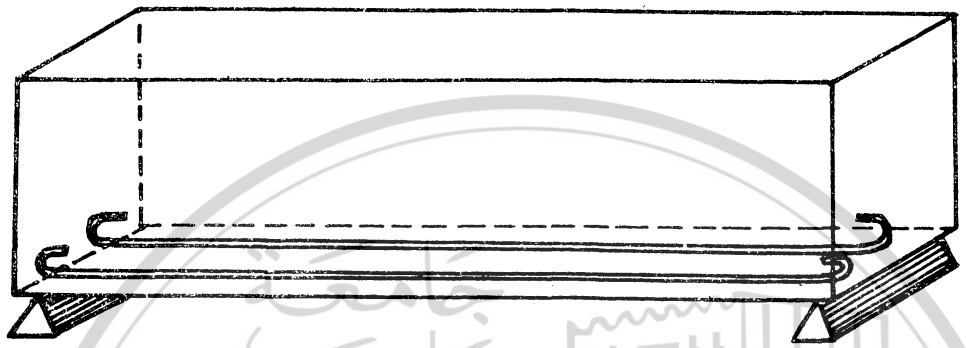
٨ـ٢ ـ الجوائز البيتونية المسلحة : REINFORCED CONCRETE BEAMS

٨ـ٢ـ١ ـ فولاذ تسليح عزوم الانعطاف

BENDING MOMENT REINFORCEMENT

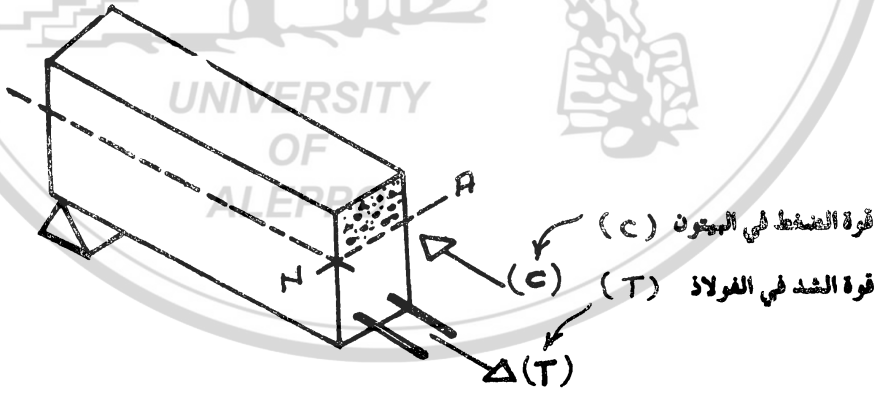
يبين الشكل (٨ـ١) نموذجاً مبسطاً لجائز بيتوني يمكن تنفيذه وذلك بوضع قضبان التسليح

في مكانها بالقالب الخشبي ثم صب البيتون الطري وإملاء القالب بالكامل وبحيث يحيط بشكل جيد بقضبان التسليح ويتماسك معها. وأثناء التصلب يتقلص البيتون ويضغط على قضبان التسليح بشدة وبحيث يعملان معاً كقطعة واحدة دون أية انزلاقات بينهما.



شكل رقم (٨ - ١) الجائز البيتوني المسلح.

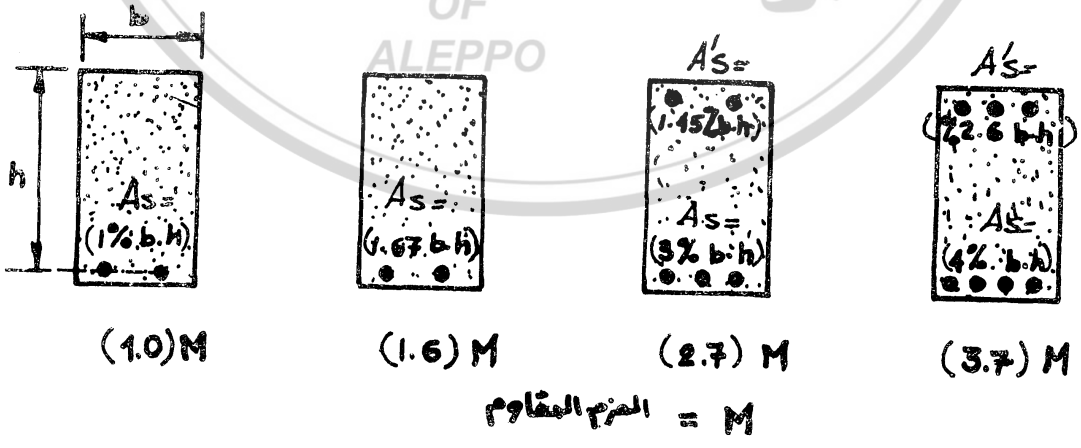
وعند تطبيق الأحمال على الجائز البيتوني ونتيجة لوجود قوى الشد (T) أسفل المقطع العرضي فإن البيتون سوف يتعرض لشقوق صغيرة غير مرئية تاركاً لقضبان التسليح تحمل كامل قوى الشد (T)، بينما يتحمل البيتون قوى الضغط (C) أعلى المقطع العرضي، الشكل (٨ - ٢).



شكل رقم (٨ - ٢) القوى الداخلية في الجوائز البيتونية المسلحة.

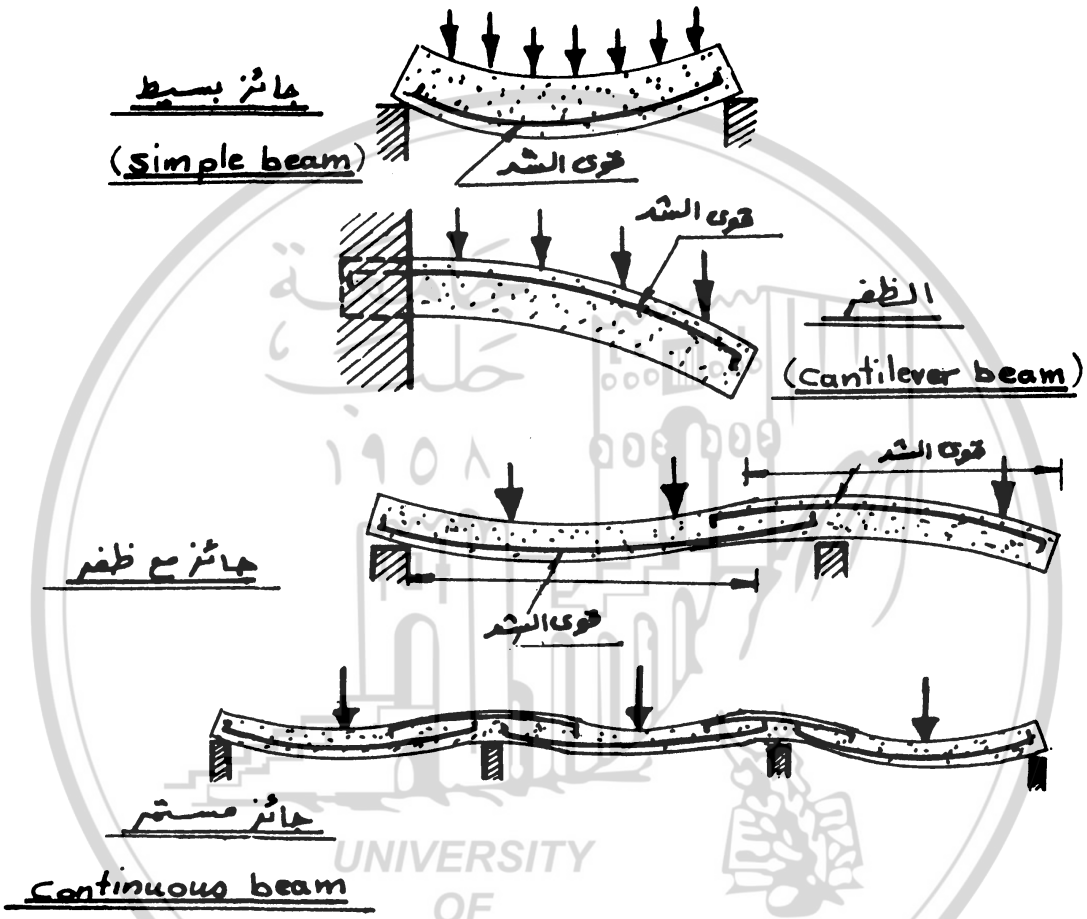
تعتمد مقاومة الجائز لعزوم الانعطاف على عوامل عديدة، فهي تعتمد أولاً على مقاومة البيتون

لقوى الضغط ، كما تعتمد أيضاً على نسبة فولاذ التسليح . فكلما زادت مساحة قضبان التسليح ، وحتى قيمة معينة ، كلما زادت مقاومة المقطع العرضي لتحمل عزوم الانعطاف . فمثلاً الجائز ذو المقطع العرضي بارتفاع (500mm) وبعرض (250 mm) والمنفذ ببيتون ذو مقاومة للانكسار مقدارها (200 kgs / cm ^{2} = 20 MPa) ، يمكن أن يقاوم وبوجود نسبة تسليح مقدارها (1.0%) من مساحة المقطع العرضي عزوم انعطاف مقدارها (11.5 t.m= 115 KN. m) ، وذلك حسب طريقة حالات الحدود ، وإذا زادت نسبة التسليح إلى (2.75%) فإن قيم عزوم الإنعطاف المقاومة ستصبح (27.0 t.m= 270KN.m) . أما إذا زادت نسبة التسليح أكثر من ذلك فإننا لن نحصل على أية زيادة إضافية في قيم الإنعطاف المقاومة وذلك نتيجة أن البيتون سوف ينهار ولن يكون قادراً على تحمل أية إجهادات إضافية لموازنة قوى الشد الإضافية في قضبان فولاذ التسليح . إلا أنه يمكن أن تزداد مقاومة الجائز ، وذلك بوضع بعض قضبان فولاذ التسليح في منطقة الضغط لتعمل بمساعدة البيتون على تحمل هذه القوى . ويدعى هذا الفولاذ بتسليح الضغط (Compression reinforcement) ، وتدعى المقاطع التي تستخدم هذا التسليح بالمقاطع ذات التسليح المضاعف (Double reinforcement sections) أو المقاطع ذات تسليح الضغط (Sections with compression reinforcement) . وبالطبع فإن هذه الطريقة ليست اقتصادية ولكنها تستخدم في بعض الأحيان عندما نكون مضطرين لا ستخدام أبعاد معينة لمقاطع للجوائز لا يمكن تجاوزها لإعتبارات معمارية أو أية اعتبارات أخرى ، ويبين الشكل (٨ - ٣) كيفية تغير قيم عزوم الانعطاف المقاومة للمقاطع مع تغير نسبة فولاذ التسليح .



شكل رقم (٨ - ٣) تغير قيم عزوم الانعطاف المقاومة تبعاً لتغير نسبة فولاذ التسليح .

في أغلب الجوائز البيتونية المسلحة وكذلك البلاطات يستخدم فولاذ تسليح الشد فقط دون تسليح الضغط وهو يوضع في جميع المناطق التي تتولد فيها إجهادات الشد نتيجة لعزوم الإنعطاف المطبقة ، ويبين الشكل (٨ ـ ٤) كيفية وشكل وأماكن توضع فولاذ التسليح لبعض أشكال الجوائز.

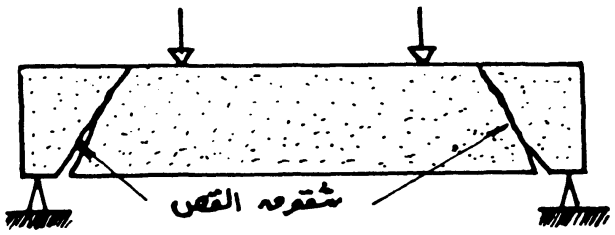


شكل رقم (٨ ـ ٤) شكل وأماكن توضع فولاذ التسليح لبعض أشكال الجوائز.

٨ ـ ٢ ـ ٢ ـ فولاذ تسليح القص: SHEAR REINFORCEMENT

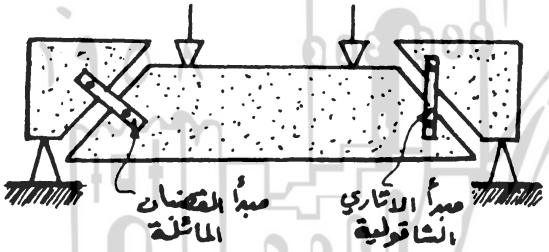
نظراً لضعف مقاومة البيتون لقوى الشد فإنه يمكن أن ينهار تحت تأثير قوى القص المطبقة على الجائز، إذا كانت قيم هذه القوى كبيرة، كما هو مبين بالشكل (٨ ـ ٥)، وخاصة أن قضبان فولاذ التسليح الموضوعة أسفل المقطع لمقاومة عزوم الانعطاف لا تساهم في تحمل الإجهادات القطرية الناتجة

عن قوى القص.

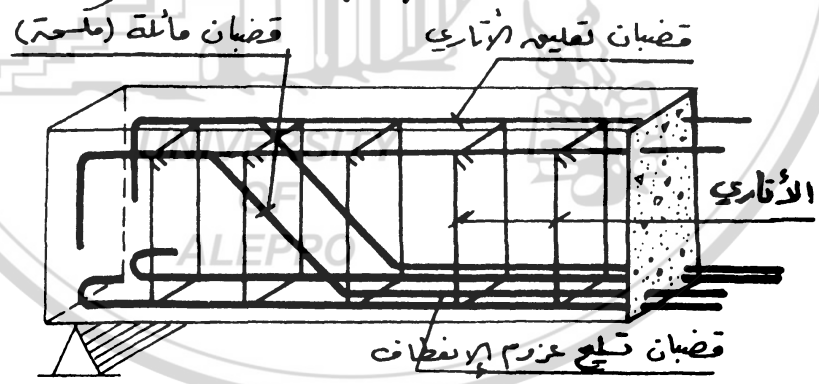


شكل رقم (٨-٥) الإنهيار نتيجة لإجهادات القص.

في بعض الجوائز وفي أغلب أنواع البلاطات تكون إجهادات القص صغيرة القيمة وبحيث يمكن مقاومتها بواسطة البيتون فقط. ولكن إذا كانت إجهادات القص مرتفعة القيمة وأكبر من الإجهادات



(a)



(b)

شكل رقم (٨-٦) فولاذ تسليح القص:

a- مبدأ عمل قضبان تسليح القص.

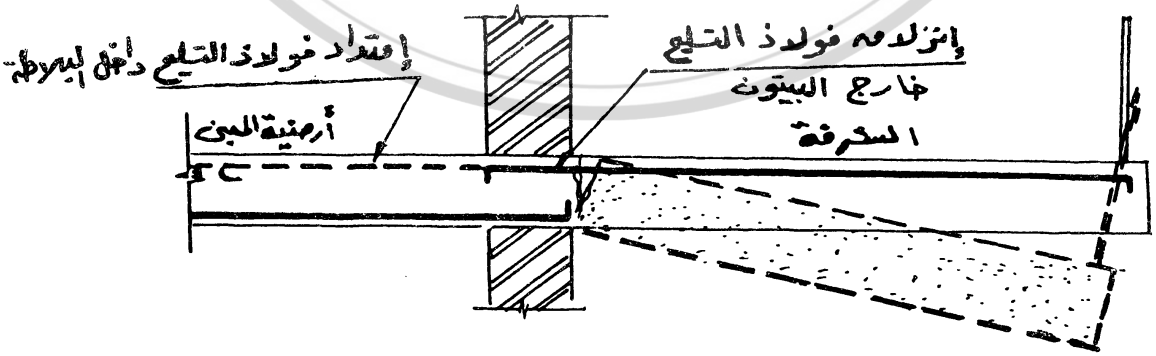
b- شكل فولاذ التسليح في الجائز البسيط.

المسموحة التي يمكن أن يقاومها البيتون بأمان، فإنه يجب وضع فولاذ تسليح إضافي لمقاومة هذه

الإجهادات يدعى فولاذ تسليح القص (Shear reinforcement) . ويمكن أن يكون هذا التسليح على شكل قضبان مائلة (Inclined bars) أو أتاري شاقولية (Vertical stirrups) أو الاثنين معاً، ويبين الشكل (٨-٦-a) تمثيلاً مبسطاً لمبدأ عمل قضبان تسليح القص في ربط طرفي الجائز ومنع الانهيار، كما يبين الشكل (٨-٦-b) شكل فولاذ التسليح في الجائز البسيط.

٨-٢-٣-التلاحم : THE BOND

عند تطبيق الحمولات على الجائز ونتيجة لوجود إجهادات الشد العالية في قضبان التسليح، فإنها تحاول أن تنزلق من البيتون. ولذلك فإن التصميم الإنشائي الجيد يجب أن يأخذ بعين الاعتبار أن هناك طولاً إضافياً لقضبان التسليح يجب أن تمتد به وبحيث يكون كافياً لمنع الانزلاق ولتأمين تلاحم جيد بينها وبين البيتون المحيط بها، كما أن القضبان الملساء العادية تعكف عند نهاياتها لزيادة هذا التلاحم، أما القضبان عالية المقاومة فيكون سطحها ذو نتوءات يؤمن التلاحم بشكل جيد . ويبين الشكل (٨-٧) مثالاً حقيقياً لانهيار شرفة ، حيث أن قضبان التسليح قد انزلقت خارج البيتون مسببة إنكسار وإنهيار الشرفة .فالبرغم من وجود قضبان فولاذ التسليح الكافية لتحمل إجهادات الشد الناتجة عن عزوم الإنعطاف إلا أن الشرفة قد انهارت نتيجة لعدم وجود طول تلاحم كافٍ لربط فولاذ التسليح العائد للشرفة مع أرضية المبنى. وكان يجب أن تمتد قضبان التسليح إلى مسافة أكبر داخل البلاطة الداخلية كما هو مبين بالخط المتقطع.

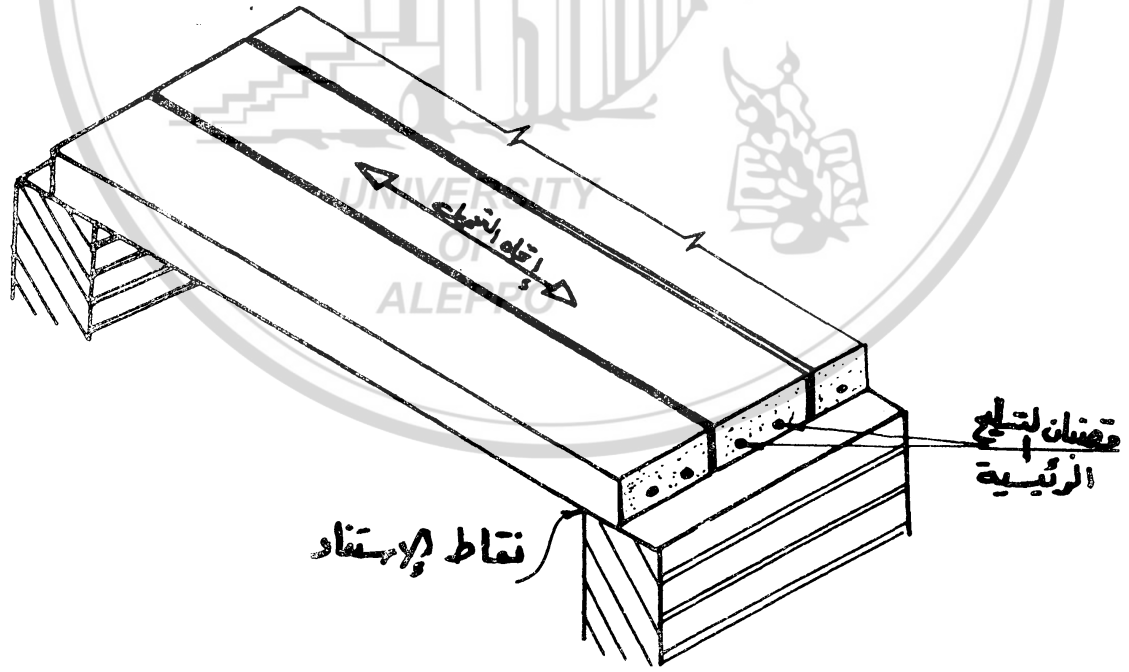


شكل رقم (٨-٧) انهيار الشرفة نتيجة عدم وجود تلاحم كافٍ بين البيتون وفولاذ التسليح.

٨ ـ ٣ ـ البلاطات البيتونية المسلحة:

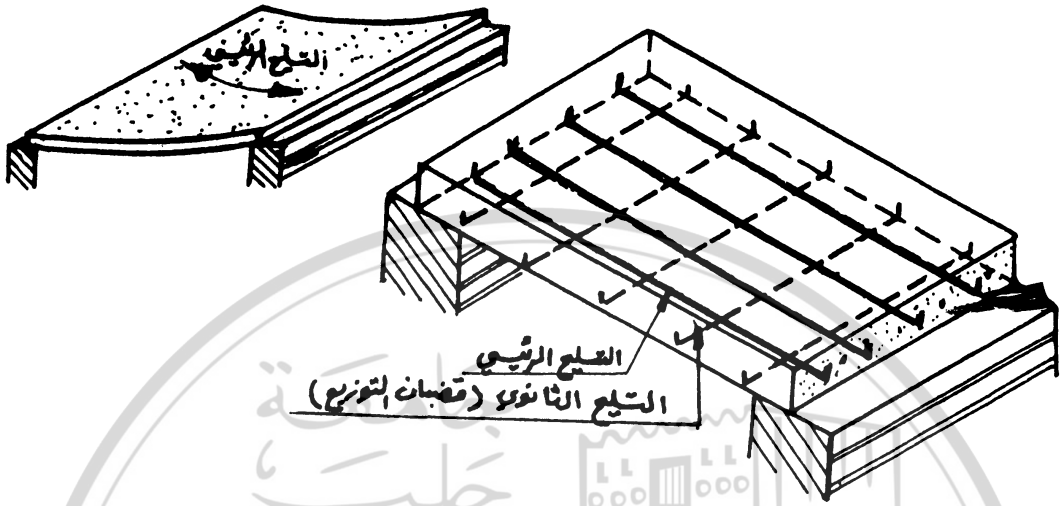
THE REINFORCED CONCRETE SLABS

لبناء سقف من البيتون المسلح، يمكن أن نضع عدة بلاطات طولية منفذة على شكل جوائز بجانب بعضها البعض مشكلين سطحاً مستوياً، الشكل (٨ ـ ٨)، ويكون لهذه الجوائز أو البلاطات قضبان فولاذ التسليح تعمل بالاتجاه الطولي لمقاومة عزوم الانعطاف الناتجة عن الأحمال المطبقة. كما يمكن أن تنفذ هذه البلاطة كقطعة واحدة مصبوبة في المكان وبنفس شكل التسليح الرئيسي (Main steel)، إلا أنه وفي هذه الحالة ونتيجة لتقلص البيتون بعد التصلب ولتأثيرات تغير درجة الحرارة، فإن إجهادات ثانوية ستتولد في البلاطة وبالاتجاه العرضي تؤدي إلى تشققها، ولكي تتم السيطرة على هذه التشققات ولتوزيع هذه الإجهادات الثانوية على كامل طول البلاطة يجب وضع قضبان عرضية ثانويةتسمى قضبان التوزيع (Distribution steel bars) أو قضبان التسليح الثانوي (Secondary steel bars) تربط مع القضبان الرئيسية مشكلة شبكة متماسكة، الشكل (٨ ـ ٩). ويفترض أن قضبان التوزيع هذه لا تتحمل أي قوى ناتجة عن عزوم الإنعطاف والتي تقاوم كلياً بواسطة قضبان التسليح الرئيسي ولذلك



شكل رقم (٨ ـ ٨) البلاطات الطولية المشكلة من قطع متتالية.

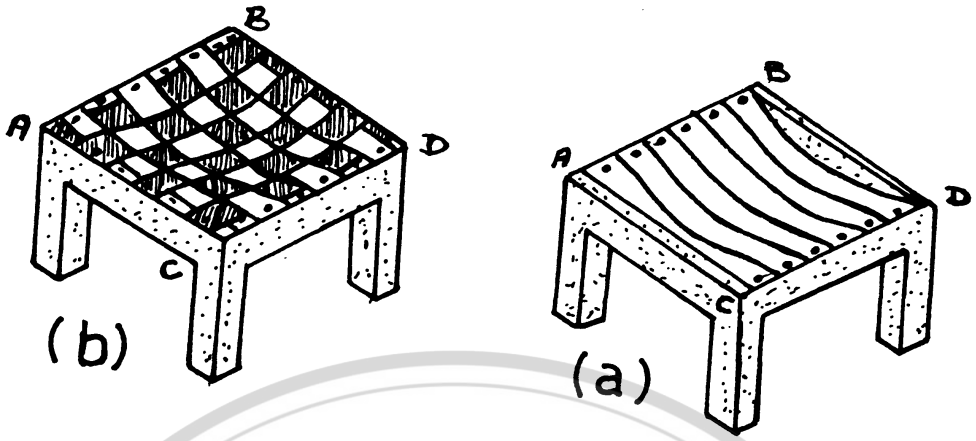
فهي أصغر من حيث المساحة من القضبان الرئيسية. ويدعى هذا النوع من البلاطات بالبلاطات وحيدة الاتجاه (One - way slabs) أو البلاطات التي تنقل الحمولات باتجاه واحد.



شكل رقم (٨ - ٩) البلاطات البيتونية المسلحة وحيدة الاتجاه.

وهناك نوع آخر من البلاطات يدعى البلاطات ثنائية الإتجاه أو البلاطات ذات الاتجاهين (Two - ways slabs) . حيث تنقل الحمولات المطبقة على هذه البلاطات بالاتجاهين وتكون كلتا شبكتي فولاذ التسليح الطولية والعرضية رئيسية وتتحملان معاً عزوم الانعطاف المتولدة بالإتجاهين والناتجة عن الأحمال المطبقة على البلاطة .

ويمكن ملاحظة الفرق بين هذين النوعين من البلاطات و ذلك بتخيل المقعد الصغير المصنوع من القش أو الأشرطة المطاطية، الشكل (٨ - ١٠)، حيث يبين الشكل (٨ - ١٠ - a) أشرطة تمتد باتجاه واحد فقط ومثبتة على الطرفين (AB) و (CD). ودون وجود أشرطة ممتدة بالاتجاه المتعامد معهـا. وعند تطبيق الحمولات على هذه الأشرطة فإن كامل الحمولة سوف تنتقل باتجاه واحد فقط من خلال هذه الأشرطة وإلى طرفي الإستناد (AB) و (CD) ، ويمكن أن نشبه ذلك لعمل البلاطة وحيدة الإتجاه. أما إذا أضفنا للمقعد أشرطة إضافية بالاتجاه الآخر وبحيث تثبت على الطرفين (AC) و(BD) وتتشابك مع الأشرطة السابقة، الشكل (٨ - ١٠ - b) ، وبافتراض أن المقعد مربع الأبعاد، فإن الحمولات المطبقة



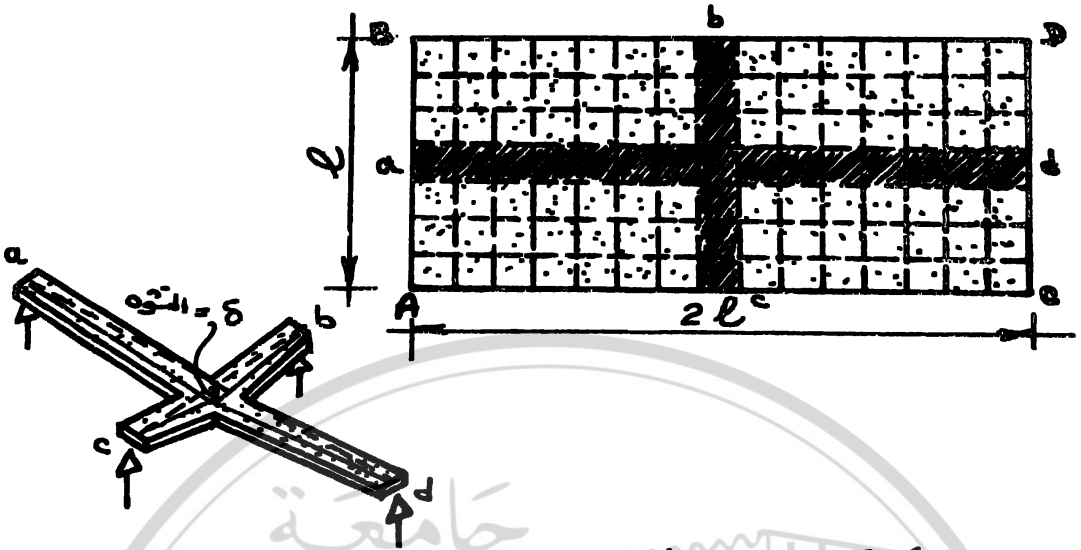
شكل رقم (٨ ـ ١٠) المقاعد ذات الأشرطة المطاطية:

a ـ الأشرطة ذات الاتجاه الوحيد.

b ـ الأشرطة ذات الاتجاهين.

سوف تنتقل بالاتجاهين وتتوزع بالتساوي من خلال أشرطة هذين الإتجاهين المتعامدين إلى الأطراف الأربعة للاستناد. ويمكن أن نشبّه ذلك لعمل البلاطات ثنائية الاتجاه حيث تعمل قضبان كلتا شبكتي التسليح على تحمل عزوم الإنعطاف المتولدة بكلا الإتجاهين والناتجة عن توزيع الأحمال المطبقة على كلا هذين الاتجاهين. ونتيجة لتوزع الأحمال بالاتجاهين وبالتالي انخفاض قيم عزوم الإنعطاف المطبقة بكل اتجاه، فإن سماكة البلاطات ثنائية الإتجاه تكون في العادة أقل من سماكة البلاطات أحادية الإتجاه وخاصة إذا كانت البلاطات مربعة أو قريبة من المربعة.

أما إذا كانت البلاطات مستطيلة الشكل ومستندة من أطرافها الأربعة فإن الأحمال سوف تتوزع بالاتجاهين بنسب غير متساوية، وبحيث يتحمل المجاز الأصغر للبلاطات النسبة الأكبر من هذه الأحمال. فمثلاً في البلاطة المستطيلة المبينة بالشكل (٨ ـ ١١) حيث البعد (BD) يساوي ضعف البعد (AB). فإن الأحمال المطبقة على البلاطة سوف تتوزع وبحيث يتحمل الاتجاه القصير نسبة (17 / 16) من الحمولة الكلية بينما يتحمل الاتجاه الطويل نسبة (17 / 1) منها فقط. ولكي نقدم إيضاحاً لهذا التوزيع لنأخذ الشريحتين الوسطيتين لكلا هذين الاتجاهين والمرتبطين معاً في منتصفهما. إن التشوه في نقطة الارتباط هذه أي في منتصف كل مجاز يجب أن يكون واحداً لكلا الاتجاهين. وبما أن طولي المجازين مختلفين فإن



شكل رقم (٨-١١) توزيع الأحمال المطبقة على الإتجاهين في البلاطات ثنائية الإتجاه.

الإتجاه هو الجاز الأقصر يجب أن يتحمل حمولة أكبر وذلك لنحصل على نفس قيمة العشوه بالإتجاهين. ويجب أن نذكر أن العشوه في حالة الحمولات المركزة يتناسب مع مكعب طول الجاز (L^3) ، وفي حالة الحمولات الموزعة بانتظام يتناسب مع طول الجاز مرفوعاً للقوة الرابعة (L^4) . فإذا كانت البلاطة ذات أبعاد بحيث كان الطول يساوي ضعف العرض أي أن نسبة أطوال الجازات هي (1:2) فإن الحمولات سوف تتوزع نسبة $(1:2)^4$ أي (1: 16) ولذلك ، وبصورة عملية ، تعتبر البلاطات التي نسبة أبعاد مجازاتها أكبر من (1:2) بلاطات وحيدة الإتجاه تعمل بالإتجاه القصير فقط رغم أنها مستندة بالإتجاهات الأربعة.

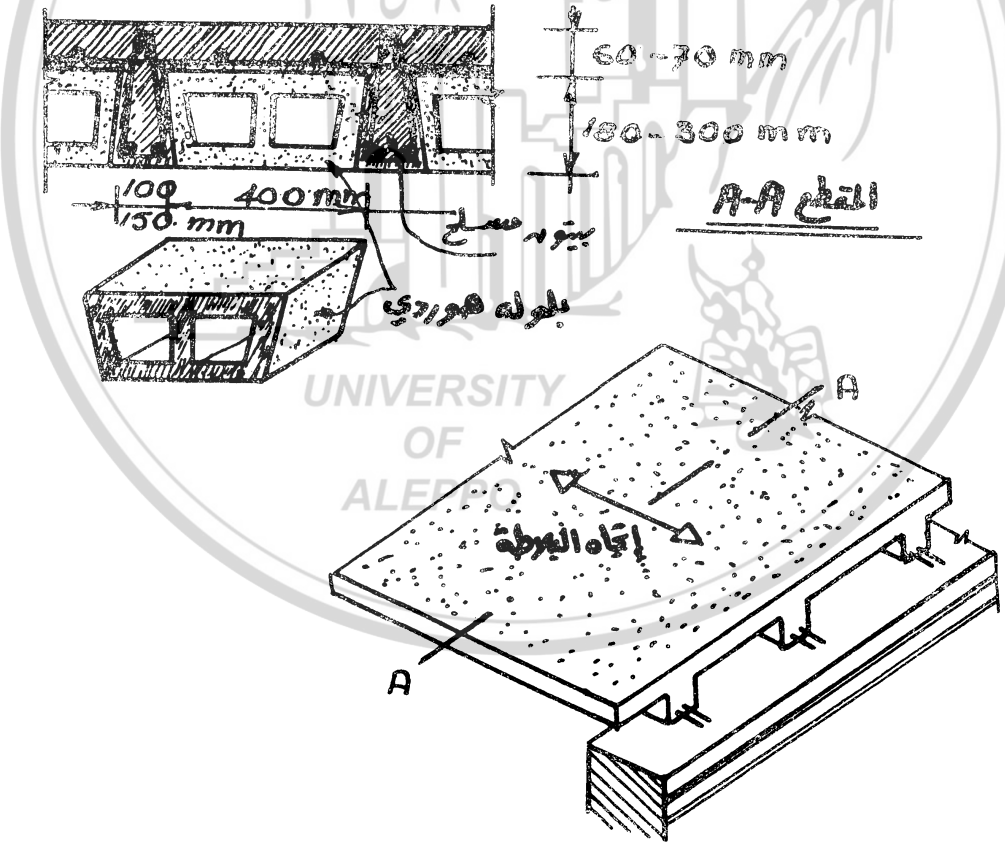
إن توزع حروم الإنطلاق يكون في الحقيقة أعقد من ذلك بكثير نظراً لأن كامل البلاطة تعمل بالإتجاهين معاً، كما أن الزوايا الأربعة دوراً في تثبيتها ومنع تشويهها بالشكل البسيط المذكور سابقاً، إلا أنه وفي البلاطات البسيطة ذات الأبعاد الصغيرة والحمولات المنتظمة تكون هذه المعالجة كافية من الناحية العملية .

أما الإجهادات الناتجة عن لوي القص فتكون صغيرة في العادة لهذا النوع من البلاطات وضمن الحدود المسموحة والتي يمكن للبيتون أن يتحملها لوحده ، ولذلك فإننا لا نحتاج لاستعمال فولاذ تسليح القص في هذه البلاطات.

٨ ـ ٤ ـ البلاطات المفرغة (البلاطات الهوردي) :

HOLLOW BLOCKS SLABS

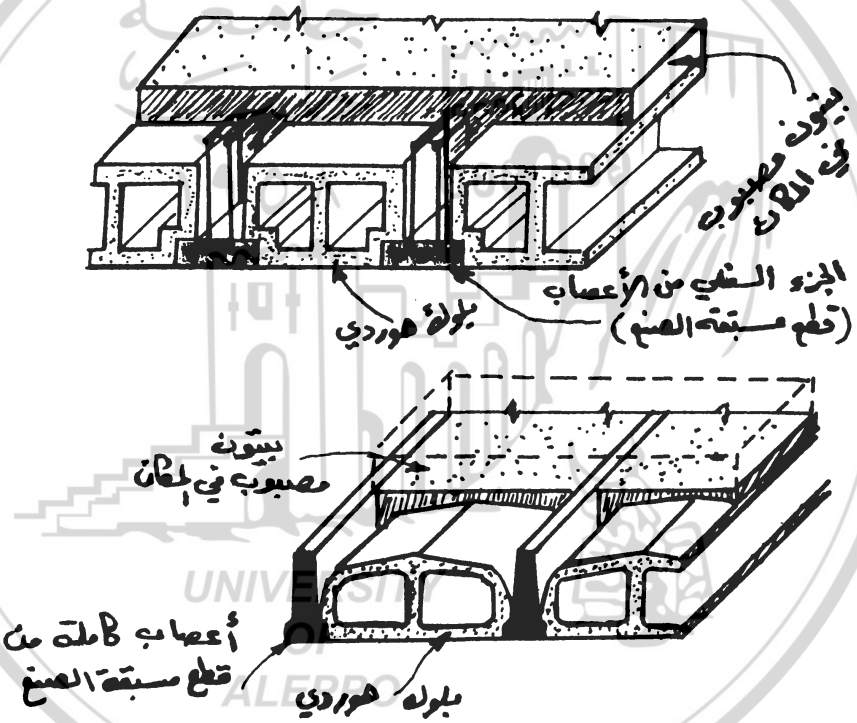
كما ذكرنا سابقاً فإن البيتون الواقع أسفل المحور الحيادي أي الذي يتعرض لإجهادات الشد لا يستخدم عملياً في تحمل هذه الإجهادات، وهو من الناحية الإنشائية بدون فائدة تذكر، سوى أنه يثبت قضبان التسليح في مكانها ويربطها مع منطقة الضغط. كما أن مقاومة الجائز أو البلاطة لعزوم الانعطاف لا تتأثر عملياً إذا أزلنا كامل البيتون من منطقة إجهادات الشد لأن قضبان التسليح هي التي تتحمل هذه الإجهادات. إن ذلك هو مبدأ البلاطات المفرغة (البلاطات الهوردي) حيث يتم إزالة بعض أجزاء البيتون في منطقة الشد و تترك فارغة أو يوضع بدلاً عنها ولتخفيف الوزن قطعاً من البلوك الهوردي المفرغ، الشكل (٨ـ١٢). وبالطبع فإننا نترك القسم المتبقي من البيتون وبحيث يكون كافياً لربط قضبان



شكل رقم (٨ـ١٢) البلاطات المفرغة والبلاطات الهوردي.

التسليح وتثبيتها ولتأمين مقاومة معقولة لقوى القص. وبذلك فإن البلاطات الهوردي ذات مقاومة لعزوم الانعطاف مساوية تماماً لمقاومة بلاطة مليئة وبنفس الارتفاع إلا أنها أخف وزناً.

تستخدم هذه البلاطات عادة في الأبنية ذات الطوابق المتعددة والتي لا يرغب بوجود جوائزمتدلية فيها، وكذلك في الأبعاد والمجازات الطويلة حيث نحتاج لسماكات كبيرة للبلاطات وذلك لنقلل من الوزن الذاتي لها، وبالتالي تقليل الأحمال المطبقة على الجوائز والأعمدة، مايسمح بتوفير كبير في المواد المستخدمة. كما أن هذه البلاطات تؤمن عزلاً مقبولاً للصوت وللحرارة نظراً لوجود الفراغات الهوائية فيها.



شكل رقم (٨-١٣) البلاطات الهوردي ذات الأعصاب مسبقة الصنع.

كما يمكن في البلاطات الهوردي استخدام بعض الأشكال المختلفة من القطع مسبقة الصنع، الشكل (٨-١٣)، حيث يمكن استخدام أعصاب كاملة أو أجزاء منها مسبقة الصنع تستند عليها قطع البلوك الهوردي ثم يصب فوقها البيتون لتصبح قطعة واحدة. إن استخدام هذه القطع مسبقة الصنع

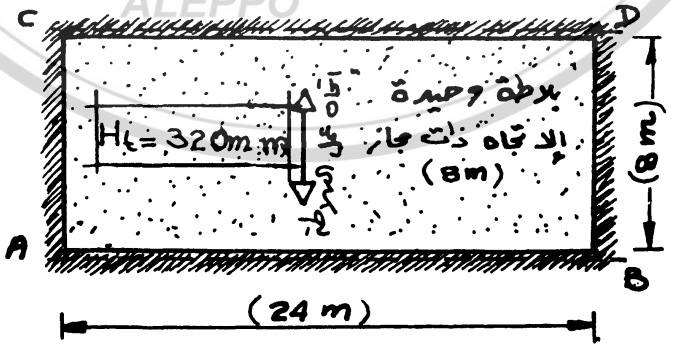
يؤدي إلى اقتصادية كبيرة نتيجة لعدم استخدام القوالب الخشبية إضافة إلى اختصار تكاليف المواد وللسرعةالكبيرة في التنفيذ.

يمكن وكما في البلاطات المليئة أن تكون البلاطات الهوردي ذات أعصاب ممتدة باتجاه واحد فتدعى البلاطات الهوردي وحيدة الاتجاه، أو ذات أعصاب ممتدة باتجاهين فتدعى بالبلاطات الهوردي ثنائية الاتجاه.

٨ ـ ٥ ـ المنشآت المؤلفة من البلاطات والجوائز:

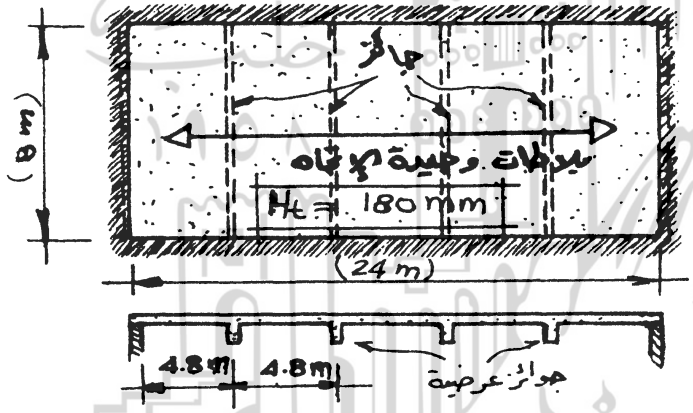
SLAB AND BEAM CONSTRUCTIONS

إن الكلفة الاقتصادية هي العامل الرئيسي الذي يجب أخذه بعين الاعتبار عند تصميم الأشكال المختلفة للمنشآت. ويمكن الوصول إلى حل إقتصادي في التصميم الإنشائي وذلك باختيار الشكل المناسب لعناصر وأعضاء هذا المنشأ. وكمثال بسيط، لنفترض أننا نرغب بتغطية مساحة أبعادها (24.0 m x 8.0m). إن هناك عدداً كبيراً من الحلول الإنشائية الممكنة. وأبسط هذه الحلول دراسة السقف كبلاطة واحدة وستكون بلاطة وحيدة الاتجاه ذات مجاز يساوي (8.0m) وتستند على الجدارين (AB) و (CD)، الشكل (٨ ـ ١٤). ونظراً لكبر مجاز البلاطة (8.0m) فإن سماكتها ستكون بحدود (1 / 25) من طول المجازأي حوالي (32 cm).



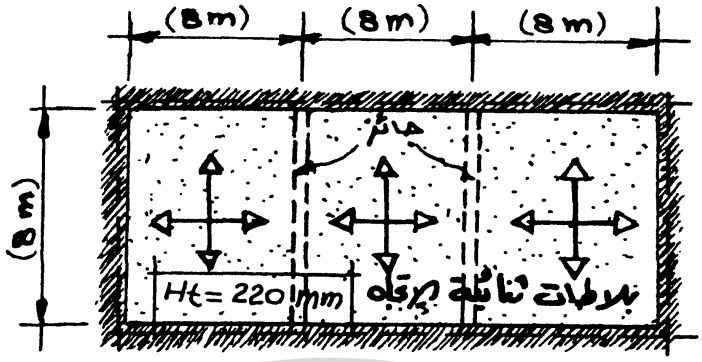
شكل رقم (٨ ـ ١٤) الحل الأول: بلاطة وحيدة الإتجاه.

إن هذا الحل مكلف جداً، ومن الممكن أن نجد حلاً أكثر اقتصادية وذلك بتنفيذ أربعة جوائزإضافية بالاتجاه العرضي، كما هو مبين بالشكل (٨-١٥)، وبحيث تصبح أبعاد البلاطات (8.0 m x 4.8 m) . وبالرغم من أننا سنستخدم كمية إضافية من البيتون وفولاذ التسليح في الجوائز إلا أن الاختصار من سماكة البلاطات وتسليمها سيكون أكبر بكثير. ونظراً لأن البلاطات قد أصبحت بلاطات مستمرة وحيدة الاتجاه وذات مجازات (4.8 m) فإن سماكتها ستكون بحدود (1 / 27) من طول المجاز أي حوالي (18 cm) فقط. كما أن فولاذ التسليح سيخف بشكل كبير نظراً لأن عزوم الانعطاف ستكون أصغر بكثير نتيجة لصغر المجازات من جهة وللاستمرارية بين البلاطات من جهة أخرى.



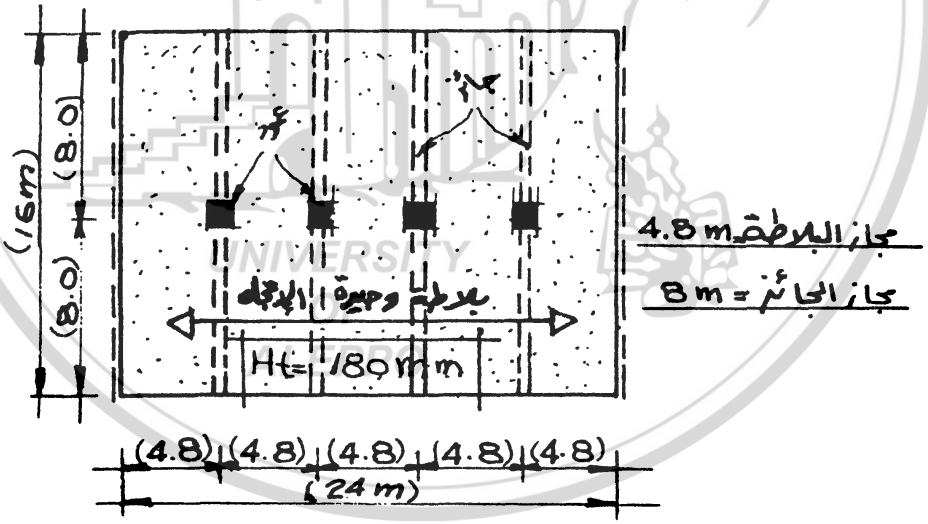
شكل رقم (٨-١٥) الحل الثاني: جوائز عرضية وبلاطات وحيدة الاتجاه.

وكحل ثالث، يمكن جعل البلاطات مربعة وثنائية الإتجاه، وذلك بتنفيذ جائزين عرضيين فقط بدلاً من أربعة في الحل الثاني، الشكل (٨-١٦). وبذلك تكون كمية البيتون وفولاذ التسليح المستخدم في الجوائز أقل، أما البلاطات فستكون ذات أبعاد أكبر (8.0 x 8.0 m) إلا أنها ومن جهة أخرى ستكون ثنائية الاتجاه وستكون سماكتها بحدود (140 / Ω) ، حيث (Ω) يعبر عن محيط البلاطة، أي حوالي (22 cm) . كما أن فولاذ التسليح سيكون ضمن الحدود المقبولة نظراً لأن الحمولات ستنتقل باتجاهين. ويمكن أن يكون هذا الحل متقارباً من حيث الكلفة الإقتصادية مع الحل الثاني حيث أن الوفر في المواد والناتج عن اختصار عدد الجوائز سيقابله زيادة في المواد المستخدمة في البلاطات.



شكل رقم (٨-١٦) الحل الثالث: جائزان عرضيان وبلاطات ثنائية الإتجاه.

وكمثال آخر ، لنفترض أن المسافة التي نرغب بتغطيتها قد أصبحت بأبعاد (24.0 m x 16.0 m) ، عندئذ يكون هناك إمكانيات كثيرة ومختلفة لشكل ولتوزيع وأبعاد البلاطات والجوائز ، فإن لم يكن هناك ضرورة ماسة لإبقاء كامل المساحة كفراغ واحد دون أعمدة فإنه من المفضل ولأسباب إقتصاديةوضع أربعة أعمدة في منتصف المجاز العرضي (16.0 m) ، الشكل (٨-١٧) ، واستخدام جوائز

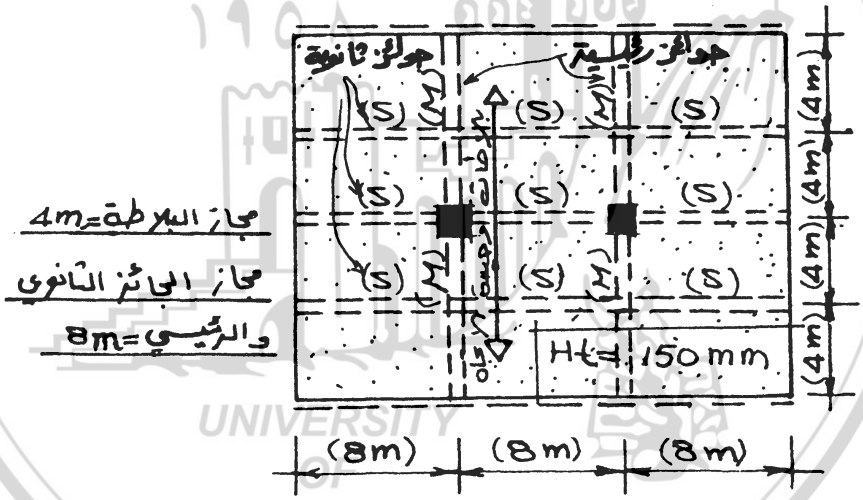


شكل رقم (٨-١٧) الحل الأول جوائز عرضية وبلاطات وحيدة لاتجاه.

عرضية مستمرة ذات مجازات (8.0 m) وبلاطات مستمرة وحيدة الاتجاه بمجازات (4.8 m) . إن هذا الحل أكثر اقتصادية من إبقاء المساحة كفراغ واحد ودون أعمدة نظراً لان البيتون وفولاذ التسليح

الإضافي والمستخدم في الأعمدة سيكون أقل وبكثير من البيتون وفولاذ التسليح المختصر في الجوائز نظراً لأن مجاز الجوائز العرضية قد صغر من (16.0 m) إلى (8.0 m) إضافة إلى الاستمرارية في هذه الجوائز مما يقلل عزوم الإنعطاف.

ويبين الشكل (٨-١٨) حلاً آخر، حيث نستخدم عمودين وسطيين فقط ولتقليل مجازات البلاطات نستخدم الجوائز الثانوية المستمرة (S) ذات المجازات (8.0 m) والمستندة على الاعمدة أوعلى الجوائز الرئيسية (M) وذات المجازات (8.0 m) أيضاً. وبهذا الحل تصبح البلاطات وحيدة الاتجاه ومستمرة وبمجازات (4.0 m) وبسماكة تقريبية تعادل (15 cm) فقط. إن هذا الحل يستخدم مواداً إنشائية أقل في البلاطات والاعمدة إلا أنه يستخدم مواداً أكثر في الجوائز ويكون في العادة أكثر اقتصاداً من الحل الأول.

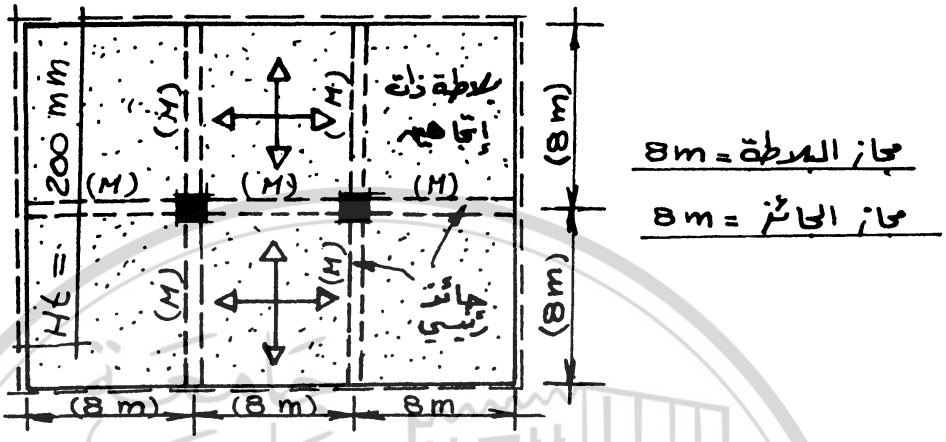


شكل رقم (٨-١٨) الحل الثاني: جوائز رئيسية وثانوية وبلاطات وحيدة الاتجاه.

وكحل ثالث، يمكن استخدام البلاطات ثنائية الإتجاه المربعة و بأبعاد (8.0 m x 8.0 m)، الشكل (٨-١٩)، وبهذا الحل نستخدم مواداً إنشائية أقل في الأعمدة والجوائز إلا أن سماكة البلاطة ستكون بحدود (20 cm).

إن اختيار أحد هذه الحلول الثلاثة أو غيرها يعتمد بصورة أساسية على الحمولات المطبقة، فكلما

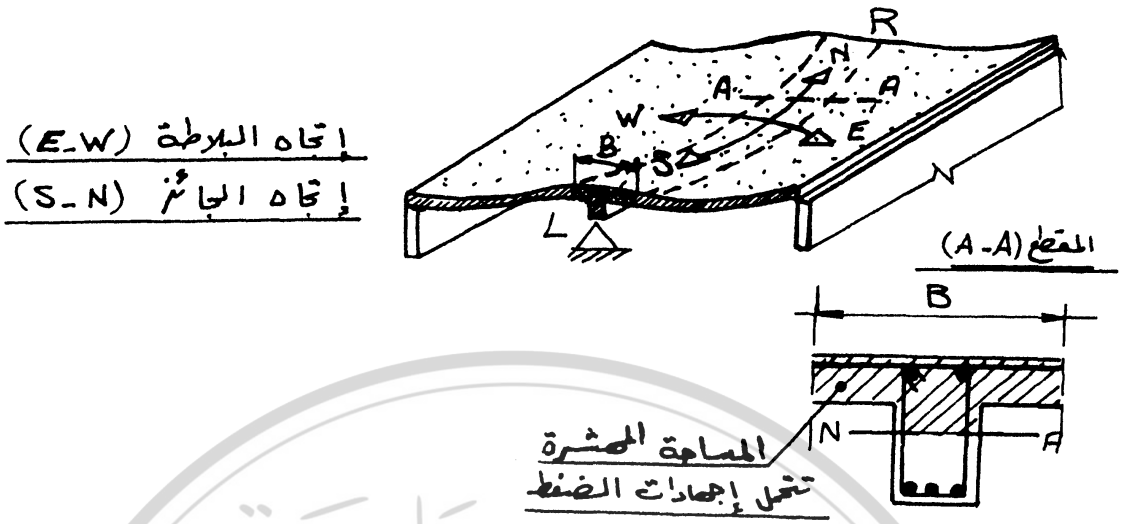
كانت هذه الحمولات كبيرة كلما كان من الأفضل والأكثر اقتصاديةاختيار مجازات أصغر . أما إذا كانت الحمولات المطبقة قليلة كالأسقف الأخيرة فيمكن اختيار مجازات أكبر.



شكل رقم (٨-١٩) الحل الثالث: جوائز طولية وعرضية وبلاطات ثنائية الاتجاه.

٨-٦-الجوائز ذات المقطع تي(T): TEE - SECTION BEAMS

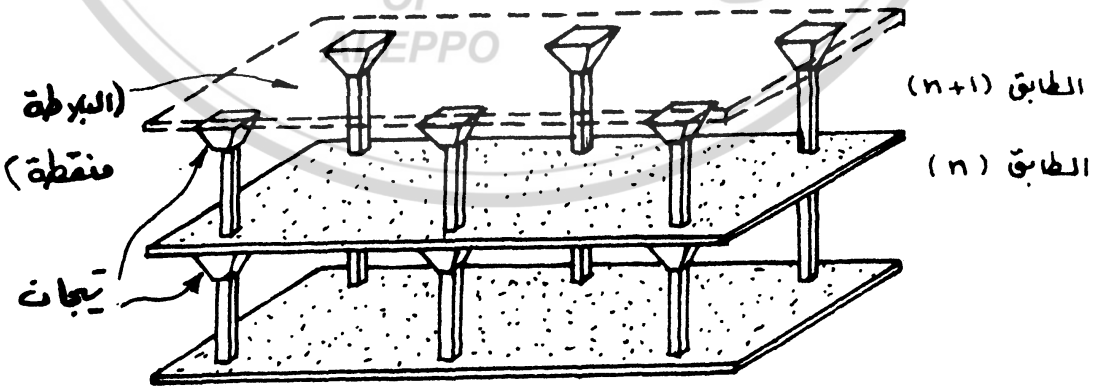
بالرجوع إلى الشكل (٨-٢٠) والذي يبين سقفاً مؤلفاً من جائز وسطي وبلاطتين تستندان عليه.وبافتراض أنها جميعاً قد نفذت بآن واحد وذلك بصبها معاً في المكان،فإنها ستكون متماسكة معاً وستعمل كعنصر واحد. ونظراً لأن الجائز يستند في النقطتين (L) و (R) فإنه سيعمل حسب الاتجاه (S - N) بينما تعمل البلاطات حسب الاتجاه (W - E) . ونظراً لارتباط البلاطتين التام مع الجائز فإنها سوف تنحني معه وستتعرض بعض أقسامها والمجاورة للجائز، كأليافه العلوية، إلى إجهادات الضغط بالاتجاه (S - N) مما يساعده على تحمل هذه الإجهادات ويقلل من الارتفاع اللازم للجائز. لذلك يفترض وأثناء التصميم الإنشائي لهذا الجائز أن جزءاً من البلاطة عرضه (B) سيعمل مع الجائز وبحيث تصبح مساحة البيتون التي ستتحمل إجهادات الضغط أكبر بكثير من مساحة منطقة الضغط في الجائز فقط.وسيتم التصميم الإنشائي للمقطع على أساس مقطع تي (T) وسيكون ارتفاعه أصغر بكثير من ارتفاع الجائز المستطيل.أما العرض (B) والمستخدم في الحسابات للمقطع فإن الأنظمة المختلفة تحدده وذلك حسب معادلات خاصة واعتماداً على أبعاد البلاطات وسماكاتها.



شكل رقم (٨-٢٠) الجوائز ذات المقطع تي (T).

٨-٧-البلاطات الفطرية : FLAT SLABS

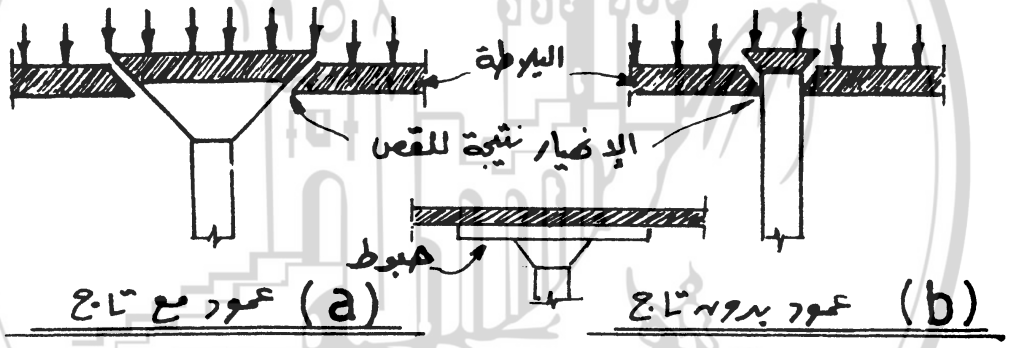
يبين الشكل (٨-٢١) شكلاً تفصيلياً للبلاطات الفطرية والتي تنفذ دون وجود جوائز. وتكون هذه البلاطات عادة ذات سماكات كبيرة، ولكن لها ميزة كبيرة وهي عدم وجود أية جوائز متدلية فيها، وبالتالي فإن الارتفاع الصافي بين الطوابق المتعددة سيكون أكبر من الارتفاع الصافي في



شكل رقم (٨-٢١) البلاطات الفطرية.

نظام البلاطات العادية والجوائز المتدلية. وتستخدم هذه البلاطات بصورة خاصة في المنشآت ذات الحمولات الكبيرة والمجازات الطويلة بالاتجاهين، كالمخازن والمستودعات ومرائب السيارات الطابقية والتي تحتاج في النظام السابق لجوائز ذات ارتفاعات كبيرة تقلل من الارتفاع الصافي وتعيق الحركة أو تقلل من العدد الكلي للطوابق.

تكون رؤوس الأعمدة في الغالب على شكل تيجان أو ذات هبوطات، الشكل (٨-٢٢)، وذلك لزيادة مقاومة البلاطة لتحمل قوى القص. فكلما كبرت مساحة هذه التيجان كانت المساحة التي تتحمل قوى القص أكبر و كان خط الانهيار أقل إضافة إلى أن وجود هذه التيجان يقلل نسبياً من مجازات هذه البلاطات ويزيد مقاومتها لعزوم الانعطاف. أما في الاعمدة التي دون تيجان ونظراً



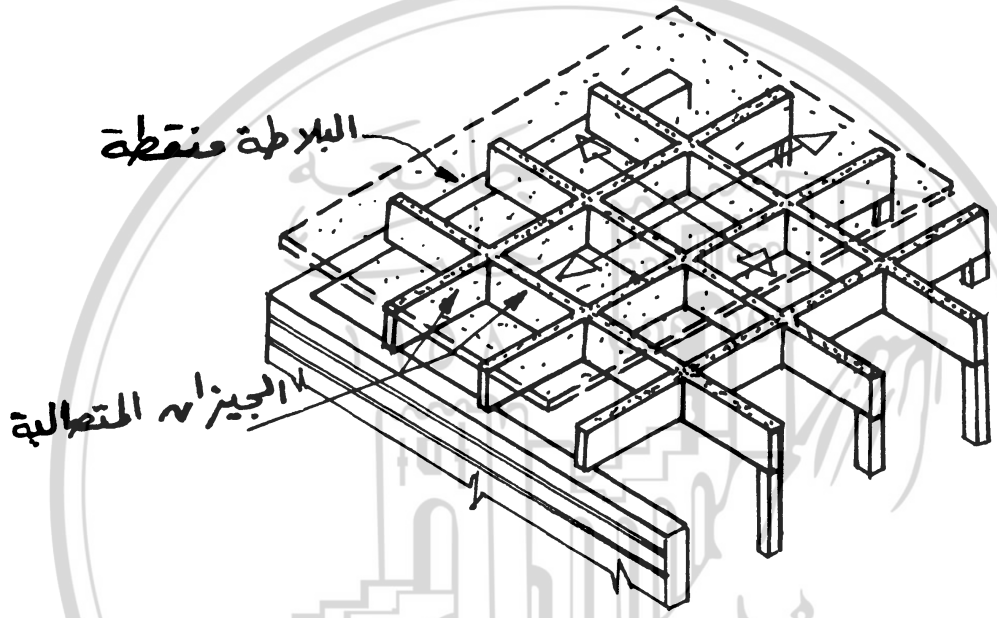
شكل رقم (٨-٢٢) تأثير وجود التيجان على مقاومة الانهيار نتيجة لقوى القص.

لأن المساحة المقاومة لإجهادات القص صغيرة جداً فإننا نحتاج لسماكة كبيرة تنفذ على كامل مساحة البلاطة أو بجوار محيط الاعمدة فقط، وتدعى عندئذ بالهبوطات (Drops). كما يمكن استخدام بعض الاشكال الأخرى لمقاومة قوى القص.

٨-٨- البلاطات المعصبة: RIBBED SLABS

يبين الشكل (٨-٢٣) بلاطة معصبة مؤلفة من بلاطة علوية وجوائز متصالبة ممتدة بالاتجاهين.

وهي تختلف بشكل أساسي عن نظام البلاطات والجوائز العادية حيث أن كلا الجوائز الطولية والعرضية تعمل كشبكة من الجوائز المرتبطة مع بعضها البعض دون أن تستند إحداها على الاخرى كحالة الجوائز الثانوية والرئيسية وبحيث تتوزع الحمولات مباشرة على كلا الاتجاهين. وتشبه هذا البلاطات من حيث توزيع الحمولات والنسب بين الابعاد البلاطات العادية ثنائية الإتجاه. حيث يجب أن تكون هذه البلاطات مربعة أو متقاربة الابعاد حتى يكون توزيع الأحمال على الإتجاهين متساوياً أو متقارباً.



شكل رقم (٨-٢٣) البلاطات المعصبة.

عند التصميم الإنشائي لهذه البلاطات سيعتبر مقطع الجوائز علي شكل مقطع تي (T) وذلك نظراً لاشتراك البلاطة العلوية في تحمل إجهادات الضغط. كما أن الحمولات ستتوزع على عدد كبير من هذه الجوائز وبالتالي سيكون ارتفاعها صغيراً نسبياً.

تستخدم هذه البلاطات عادة في تغطية المساحات الكبيرة نسبياً والقريبة من المربعة والتي لا يسمح فيها بجوائز ذات ارتفاعات كبيرة.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل التاسع

الجوائز البيتونية مسبقة الإجهاد

THE PRESTRESSED CONCRETE BEAMS

٩ ـ ١ ـ تمهيد: INTRODUCTION

كما ذكرنا في الفصل السابق، فإن البيتون في الجوائز البيتونية المسلحة العادية والواقع أسفل المحور الحيادي، أي في منطقة إجهادات الشد، غير قادر على تحمل هذه الإجهادات نظراً لطبيعة البيتون، ولذلك فإنه سوف يتشقق تاركاً لقضبان فولاذ التسليح تحمل هذه الإجهادات .

قبل بداية القرن العشرين كانت هناك محاولات عديدة لتحسين وضع البيتون المسلح وذلك بإستخدام مبدأ سبق الاجهاد (Prestressing) لازالة تأثير إجهادات الشد في المقاطع البيتونية. إلا أن هذه المحاولات باءت جميعها بالفشل نظراً لاستخدام الفولاذ العادي في سبق الاجهاد ولعدم إمكانية الحصول آنذاك على بيتون ذو مواصفات عالية. ولقد بدأ استخدام سبق الاجهاد بصورة عملية في منشآت البيتون المسلح اعتباراً من عام (1928) وذلك عندما استخدم المهندس الفرنسي يوجين فريسنيه (Eugene Freyssinet) الفولاذ عالي المقاومة كفولاذ سبق الإجهاد. ثم انتشر استخدامه انتشاراً كبيراً في السنوات اللاحقة.

وخلال الحرب العالمية الثانية استخدمت الجوائز مسبقة الإجهاد في كثير من الملاجىء الأرضية، كما أن ندرة الأخشاب خلال تلك الفترة أدت لاستخدام العوارض البيتونية مسبقة الاجهاد بدلاً من

العوارض الخشبية في خطوط السكك الحديدية. وفي عام (1946) بني أول جسر في بريطانيا من البيتون مسبق الإجهاد. ومنذ ذلك التاريخ انتشر استخدامه في كافة المجالات الهندسية والصناعية ، وأصبح ينافس وبنجاح المواد الإنشائية المختلفة الأخرى كالفولاذ، وذلك في مختلف المنشآت كالجسور والمستودعات وحتى الأرصفة البحرية.

٩ ـ ٢ ـ مبدأ سبق الإجهاد : THE PRINCIPLE OF PRESTRESSING

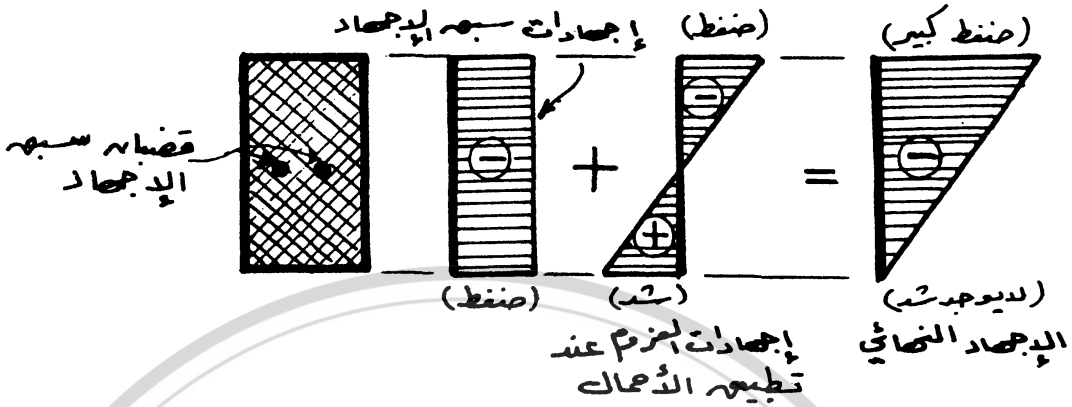
يمكن أن نعبر عن المبدأ الأساسي في سبق الاجهاد وذلك بمايلي:

أن نقوم بتطبيق قوى ضغط معينة على الجوائز البيتونية وقبل تطبيق الأحمال الخارجية، وذلك لجعل كامل المقطع البيتوني معرضاً لاجهادات الضغط. وعند تطبيق الأحمال ونتيجة لعزوم الانعطاف المتولدة ستطبق على البيتون أسفل المحور الحيادي إجهادات شد تضاف للإجهادات السابقة. وسيبقى البيتون غير معرض فعلياً لأية إجهادات شد مادامت إجهادات الشد هذه والناتجة عن عزوم الانعطاف أصغر أو مساوية على الأكثر إجهادات الضغط الناتجة عن سبق الإجهاد ، الشكل(٩ـ ١) .

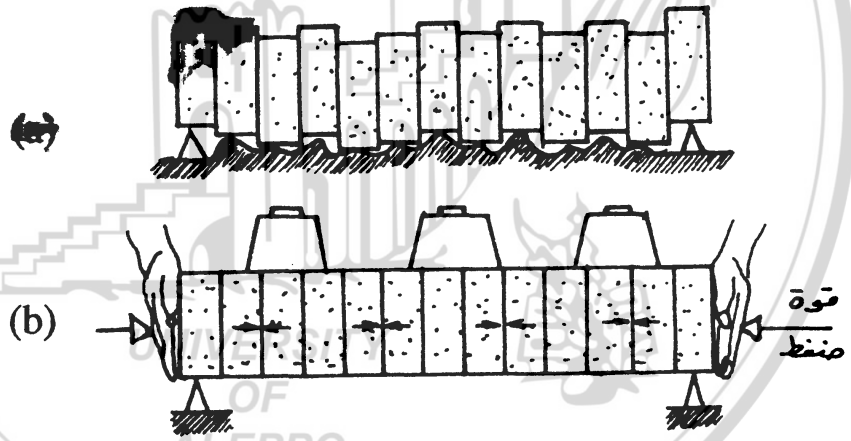
وفي الحقيقة فإننا نقوم وأثناء التصميم الإنشائي بحساب إجهادات الضغط الأولية وقوى سبق الإجهاد وبحيث لا تتولد خلال التحميل الكامل للجائز أية اجهادات شد في أية نقطة من نقاط المقاطع العرضية في أسوأ الحالات، إذا تولدت مثل هذه الاجهادات فإنها يجب أن تكون ذات قيمة صغيرة وقليلة الانتشار بحيث يمكن للبيتون أن يقاومها بأمان ودون ظهور أية تشققات فيه.

وكتطبيق أولي على مبدأ سبق الإجهاد لنتصور جائزاً مؤلفاً من عدد من الكتب غير ملصوقة أو مثبتة مع بعضها البعض، الشكل (٩ ـ ٢) . لا يمكن لهذه الكتب من حيث المبدأ أن تعمل كجائز نظراً لعدم وجود أية مقاومات لها لتحمل عزوم الإنعطاف أو قوى القص، الشكل (٩ ـ ٢ ـ a) . أما إذا قمنا بالضغط على هذه الكتب بقوة من الطرفين، الشكل (٩ ـ ٢ ـ b) فإن هذه الكتب ستبقى ثابتة بجانب بعضها البعض، ويمكن لها أن تعمل كجائز، كما يمكن لها أن تقاوم بعض الحمولات المطبقة، والتي

تعتمد قيمتها على مقدار قوة الضغط المطبقة على طرفيه.



شكل رقم (٩ - ١) مبدأ سبق الاجهاد.



شكل رقم (٩ - ٢) التطبيق الاولي لمبدأ سبق الإجهاد.

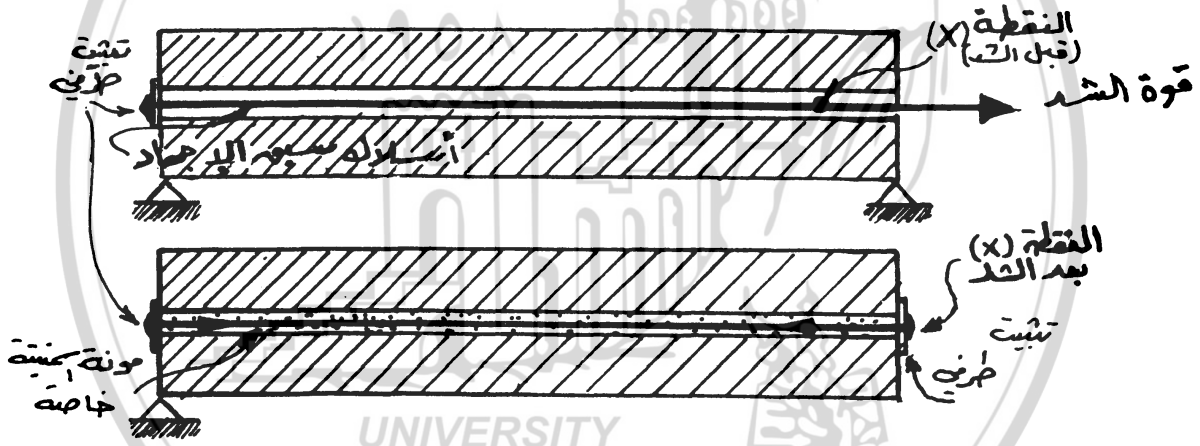
إن قوة الضغط الخارجية المطبقة على الكتب تربطها بشدة وتمنع انهيارها نتيجة لإجهادات القص الشاقولية، تمنع الكتب من الوقوع شاقولياً، كما أنها لا تسمح للمقاطع العرضية بين كل كتابين متجاورين بالإنفتاح عند أسفل المقطع بسبب إجهادات الشد الناتجة عن عزوم الانعطاف والمتولدة في المقاطع نتيجة للوزن الذاتي للكتب ولتطبيق الحمولات الخارجية.

٩ ـ ٣ ـ سبق الاجهاد في الجوائز البيتونية :

PRESTRESSING IN CONCRETE BEAMS

أما في الجوائز البيتونية فيمكن استخدام نفس المبدأ السابق لتطبيق قوى الضغط المسبق، إلا أنه من غير العملي أن يكون هذا التطبيق خارجياً. بل يتم هذا التطبيق داخلياً وذلك باستخدام أسلاك أو قضبان فولاذية عالية المقاومة. ويمكن شرح مبدأ إحدى طرق سبق الإجهاد وهي طريقة الشد اللاحق (Post tensioning method) كما يلي :

يترك أثناء صب الجائز المبين بالشكل (٩ ـ ٣) فراغ في المنتصف وعلى كامل طوله توضع فيه أسلاك سبق الإجهاد. وبعد تصلب البيتون تثبت الأسلاك من أحد طرفي الجائز وتشد بقوة من الطرف



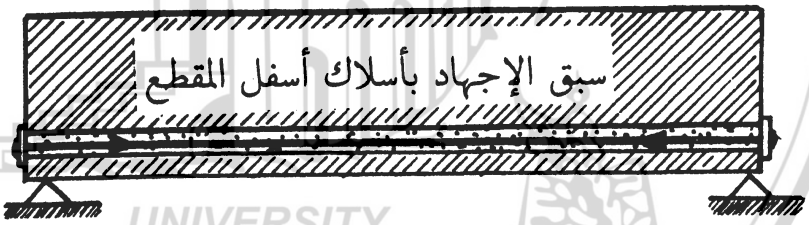
شكل رقم (٩ ـ ٣) الجائز البيتوني مسبق الإجهاد.

الآخر بواسطة آلة خاصة وحتى القوة المطلوبة ثم تثبت الأسلاك وهي ماتزال مشدودة على الطرف الآخر للجائز. وبعد إحكام التثبيت تفك أطراف الأسلاك من آلة الشد، وخلال محاولة الأسلاك العودة إلى طولها الأصلي تضغط بقوة على الجائز مسببة إجهادات ضغط قوية على المقطع البيتوني هي إجهادات سبق الإجهاد

لنلاحظ أنه إذا كانت أسلاك سبق الاجهاد متوضعة في مركز ثقل الجائز، ما يدعى سبق الاجهاد

المركزي، الشكل(٩-٣)، فإن الإجهادات المتولدة ستكون موزعة بانتظام. وعند تطبيق الحمولات المختلفة على الجائز ستتولد إجهادات ضغط أعلى الجائز وإجهادات شد أسفله ناتجة عن عزوم الانعطاف، الشكل (٩-١). وبذلك تكون إجهادات الضغط النهائية أعلى المقطع مرتفعة جداً لأنهامجموع إجهادات سبق الاجهاد وعزوم الانعطاف معاً.

لذلك فإنه من المفضل في الحالة العامة أن تكون أسلاك سبق الإجهاد متوضعة قريباً من أسفل مقطع الجائز، ما يدعى سبق الإجهاد المنحرف، الشكل (٩-٤). مما يولد نتيجة لسبق الاجهاد هذا إجهادات ضغط كبيرة أسفل المقطع وإجهادات شد صغيرة اعلاه. إن هذه الاجهادات تعاكس مباشرة الاجهادات الناتجة عن الوزن الذاتي، والتي تكون على شكل إجهادات ضغط أعلى المقطع وإجهادات شد أسفله، الشكل (٩-٥)، وستكون محصلة هذه الإجهادات وقبل تطبيق الحمولات على الجائز، إجهادات ضغط كبيرة أسفل مقطع الجائز وعدم وجود إجهادات شد أعلاه، أو إجهادات شد بقيم صغيرة فقط. عندئذ يكون الجائز جاهزاً لتحمل القوى والأحمال التي ستطبق عليه. وسيؤدي تحميل



شكل رقم (٩-٤) أسلاك سبق الإجهاد أسفل مقطع الجائز.

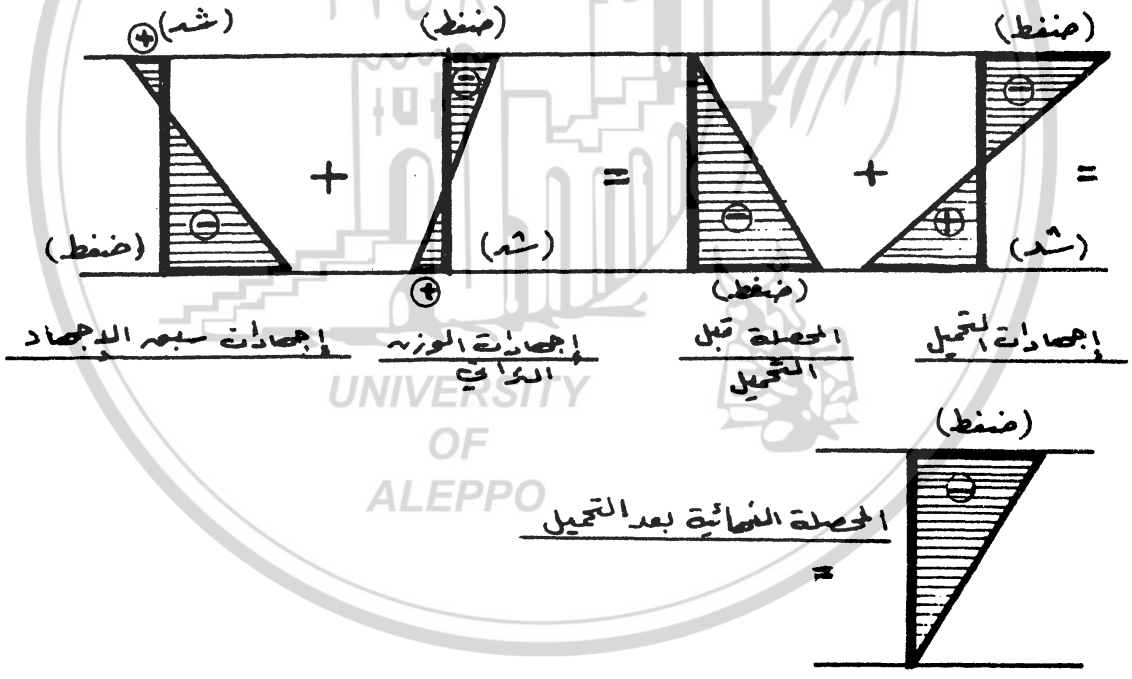
الجائز إلى تطبيق إجهادات ضغط كبيرة أعلى المقطع وإجهادات شد كبيرة أسفل المقطع، معاكسة إجهادات الضغط السابقة. وبذلك تكون المحصلة النهائية لكافة الإجهادات بعد التحميل، كما هو مبين بالشكل (٩-٥)، إجهادات ضغط أعلى المقطع وعدم وجود إجهادات شد أسفله، أو إجهادات شد بقيم صغيرة يمكن للبيتون تحملها. وبذلك يمكن تلخيص تأثير سبق الإجهاد المنحرف بملاحظة تطور وشكل الإجهادات أعلى وأسفل المقطع في الحالات المختلفة:

أ ـ الألياف العلوية للمقطع العرضي:

ستطبق عليها في المحصلة إجهادات ضغط ذات قيم مرتفعة، لكنها بالطبع أصغر أو تساوي الإجهادات المسموحة في البيتون المستخدم. وذلك كمحصلة لإجهادات الضغط الناتجة عن الوزن الذاتي مطروحاً منها إجهادات الشد الناتجة عن سبق الإجهاد المنحرف مضافاً إليها إجهادات الضغط الناتجة عن الأحمال المطبقة.

ب ـ الألياف السفلية للمقطع العرضي:

ستطبق عليها في المحصلة إجهادات شد ذات قيم صغيرة يمكن للبيتون مقاومتها أو تكون محصلة هذه الإجهادات صفراً. وذلك كمحصلة لإجهادات الشد الناتجة عن الوزن الذاتي مطروحاً منها إجهادات الضغط الناتجة عن سبق الإجهاد المنحرف مضافاً إليها إجهادات الشد الناتجة عن الأحمال المطبقة.



شكل رقم (٩ ـ ٥) توزع الإجهادات في الجوائز ذات سبق الإجهاد المنحرف، أسلاك سبق الإجهاد أسفل المقطع.

وبملاحظة المحصلة النهائية للإجهادات المطبقة نرى أن كامل ألياف المقطع العرضي في الجوائز

البيتونية ذات سبق الإجهاد المنحرف ستكون معرضة لإجهادات الضغط فقط، وبذلك يمكن القول أن المقطع بالكامل يساهم في تحمل القوى والحمولات المطبقة. ويمكن ملاحظة فائدة سبق الإجهاد هذا بمقارنة توزع الإجهادات في مقاطع الجوائز مسبقة الإجهاد مع توزعها في مقاطع الجوائز البيتونية العادية حيث يكون نصف المقطع تقريباً معرضاً لإجهادات الشد، وبذلك لا يساهم عملياً في تحمل القوى والحمولات المطبقة.

٩ ـ ٤ ـ سبق الإجهاد بطريقة الشد اللاحق:

PRESTRESSING BY POST TENSIONING METHOD

إن طريقة سبق الإجهاد المذكورة آنفاً تدعى طريقة الشد اللاحق (Post tensioning methad) أو طريقة التثبيت الطرفي (End anchorage method) ، وذلك لأن أسلاك سبق الإجهاد قد تم شدها وذلك بعد تصلب البيتون.

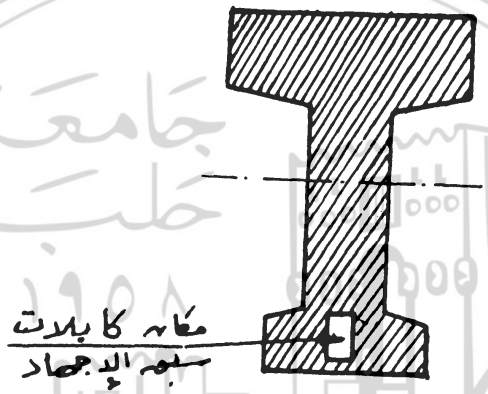
هناك طريقتان لوضع أسلاك سبق الإجهاد في مكانها داخل جسم الجائز. وتعتمد الطريقة الأولى على وضع كابلات سبق الإجهاد، والمؤلفة من أسلاك ملفوفة على بعضها البعض، في مكانها وتثبيتها داخل القالب الخشبي للجائز البيتوني وذلك قبل صب البيتون. وتحمى من خطر إلصاقها بالبيتون أثناء الصب، وذلك بلفها بصفائح رقيقة من الفولاذ أو المطاط. أما الطريقة الثانية فتعتمد على وضع أنبوب بلاستيكي أو مؤلف من صفائح فولاذية في القالب الخشبي وتثبتها في أمكنة امتداد كابلات سبق الإجهاد وذلك قبل صب البيتون. وبعد صب البيتون وتصلبه تمد كابلات سبق الإجهاد ضمن الأنابيب المذكورة، وتثبت عند أحد طرفي الجائز، وتشد من الطرف الآخر وحتى قوة الشد المطلوبة ثم تثبت على البيتون. وأخيراً تحقن داخل هذه الأنابيب مونة اسمنتية مضافاً لها مواداً خاصة لتملأ الأنبوب ولتغلف الكابلات بشكل تام . وتكون مهمة هذه المونة محصورة بحماية الكابلات من الصدأ نتيجة العوامل الجوية ولا تقوم بنقل قوى الشد من الكابلات إلى البيتون، حيث يتم تطبيق قوى سبق الإجهاد على البيتون عند طرفي الجائز فقط.

تستخدم طريقة الشد اللاحق في سبق الإجهاد للجوائز الكبيرة وفي العناصر التي تنفذ في الورشات مباشرة . وتكون مسارات كابلات سبق الإجهاد عادة بشكل منحني، الشكل (٩ ـ ٦) وذلك للسبب الرئيسي التالي:

شكل رقم (٩ ـ ٦) كابلات سبق الإجهاد المنحنية.

تكون الإجهادات الناتجة عن عزوم الانعطاف أعظمية في منتصف مجاز الجائز وذلك إذا كان الجائز مستنداً من طرفيه. وتوضع كابلات سبق الإجهاد عادة أسفل المقطع بحيث تولد إجهادات في هذا المقطع معاكسة لإجهادات عزوم الإنعطاف الأعظمية. وبحيث تكون المحصلة النهائية إجهادات ضغط كبيرة القيمة في الألياف العلوية، وإجهادات شد صغيرة القيمة أو مساوية للصفر في الألياف السفلية. ولو تركت هذه الكابلات بشكل مستقيم أسفل المقطع لبقيت الإجهادات الناتجة عنها ثابتة على جميع المقاطع بينما ستقل الاجهادات الناتجة عن عزوم الإنعطاف كلما اقتربنا من المساند. مما يؤدي لتولد إجهادات شد في الألياف العلوية للمقاطع الواقعة قرب المساند ناتجة عن إجهادات الشد الثابتة لقوى سبق الإجهاد وعدم وجود إجهادات ضغط معاكسة و مساوية لها ناتجة عن عزوم الإنعطاف المتناقصة، حيث أن إجهادات الضغط هذه تقل كلما اقتربنا من المساند وتصبح صفراً عندها. ولذلك فإنه من المفضل أن تكون الكابلات منحنية وتنتهي إلى منتصف المقطع عند المساند، وبحيث تكون الإجهادات الناتجة عنها معاكسة تماماً للإجهادات الناتجة عن عزوم الإنعطاف.

نظراً لأن إجهادات الضغط الناتجة عن قوى سبق الإجهاد وانتشارها على كامل المقطع البيتوني ستزيد من مقاومة الجائز للإجهادات الناتجة عن قوى القص بالمقارنة مع الجوائز البيتونية المسلحة العادية، فإنه من الممكن استخدام أشكال للجوائز أكثر رشاقة وذات مقاطع نحيفة لا يمكن استخدامها في الجوائز البيتونية العادية، الشكل (٩-٧). وذلك ممايساعد على اختصار كميات المواد المستخدمة وتخفيض الوزن الذاتي للجائز.



شكل رقم (٩-٧) مقطع الجائز البيتوني مسبق الإجهاد.

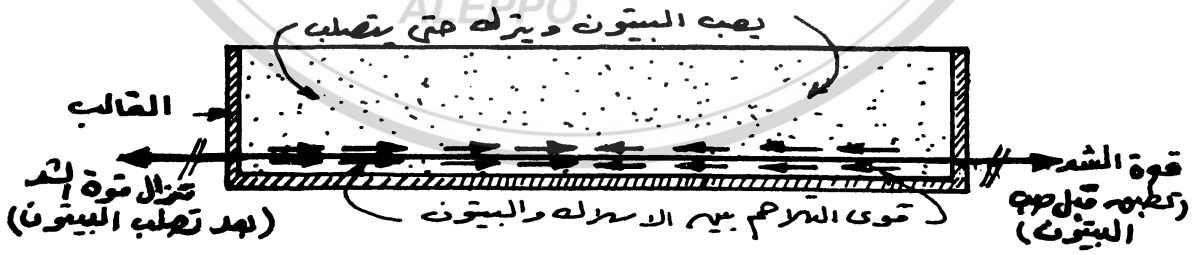
شكل رقم (٩-٨) آلات الشد والتثبيت الهيدروليكية.

يجب الانتباه جيداً، في طريقة الشد اللاحق، إلى تأمين التثبيت الصحيح والدقيق لكابلات سبق الإجهاد على طرفي الجائز لأن حدوث أية انزلاقات ، ولو كانت طفيفة قد يؤدي إلى إزالة قوى سبق الإجهاد كلياً أو تقليل مقدارها بشكل كبير. وهناك طرق فنية عديدة ومختلفة لإجراء عمليات شد الكابلات و إحكام تثبيتها على البيتون تستخدم حسب طبيعة وشكل الجوائز المنفذة، ويبين الشكل (٩ ـ ٨) إحدى هذه الطرق وباستخدام آلات الشد والتثبيت الهيدروليكية.

٩ ـ ٥ ـ سبق الإجهاد بطريقة الشد المسبق:

PRESTRESSING BY PRE TNSIONING METHOD

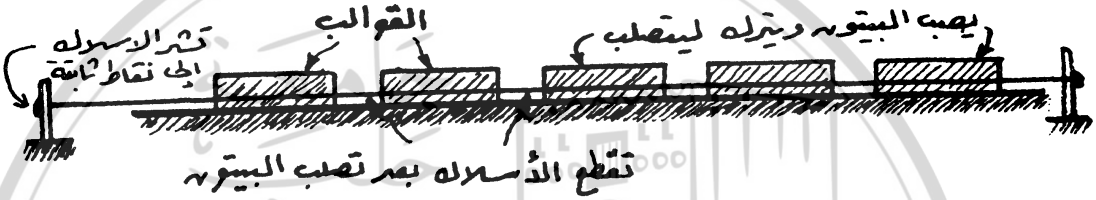
وتعتمد هذه الطريقة، والتي يطلق عليها أيضاً اسم طريقة التلاحم (Bond method)، على شد أسلاك سبق الإجهاد بقوة قبل أن يصب البيتون في القالب، و بحيث نحافظ على قوة الشد هذه خلال وبعد صب البيتون وحتى تصلبه، و بحيث يتم تأمين تماسك كامل وجيد بين هذه الأسلاك والبيتون وعلى كامل طول الجائز. عندئذ تزال قوة الشد هذه فتحاول الأسلاك المشدودة أن تتحرروأن تعود لطولهاالأصلي، إلا أن التلاحم بينها وبين البيتون يمنعها من ذلك مسبباً تولد قوى ضغط كبيرة في المقطع البيتوني هي قوى سبق الإجهاد المطلوبة، الشكل (٩ ـ ٩). وتستعمل هذه الطريقة بصورة عامة في القطع مسبقة الصنع مسبقة الإجهاد كبلاطات الأسقف أو العوارض البيتونية للسكك الحديدية، حيث تُنتج بكميات كبيرة في المصانع الخاصة.



شكل رقم (٩ ـ ٩) سبق الإجهاد بطريقة الشد المسبق.

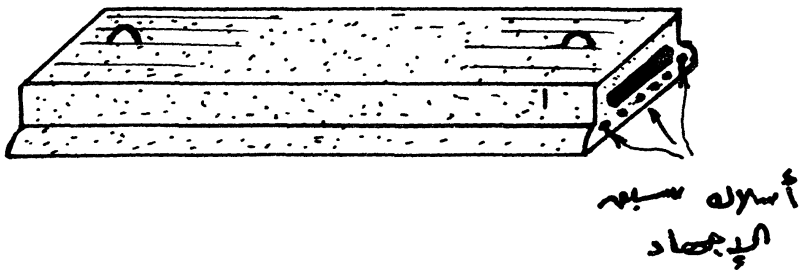
تستخدم أيضاً هذه الطريقة في إنتاج القطع مسبقة الصنع ذات الأبعاد الصغيرة وحين يكون لدينا

خطوط طويلة للإنتاج، حيث تشد أسلاك سبق الإجهاد بين نقطتين ثابتتين المسافة بينهما كبيرة، الشكل (٩ - ١٠)، ثم توضع مجموعة متتالية من القوالب بينهما وبحيث تحيط بهذه الأسلاك، ثم يصب فيها البيتون وتدخل القوالب عادة في أفران خاصة، لتسريع تصلبه. وبعد التصلب تقطع الأسلاك بين القوالب فنحصل على عدد كبير من هذه القطع مسبقة الصنع. أما إذا كانت القطع مسبقة الصنع كبيرة الأبعاد، فتصنع في قوالب خاصة منفردة. ويتم ذلك للجوائز الكبيرة والأعمدة البيتونية لنقل القدرة الكهربائية وكذلك أعمدة الإنارة والهواتف الدائرية... الخ.

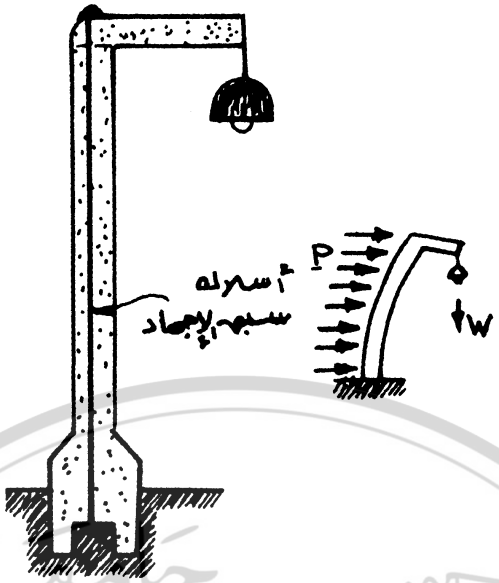


شكل رقم (٩ - ١٠) إنتاج القطع الصغيرة مسبقة الصنع والإجهاد.
بطريقة الشد المسبق.

ويبين الشكل (٩ - ١١) مثالاً مبسطاً لأشكال البلاطات مسبقة الصنع التي تنتج بهذه الطريقة، كما يبين الشكل (٩ - ١٢) شكلاً مبسطاً لأعمدة الإنارة الكهربائية مسبقة الاجهاد، حيث يمكن أن تولد قوى الرياح الأفقية وكذلك أوزان أجهزة الإنارة (W) عزوم انعطاف تؤدي إلى تولد إجهادات شد في المقطع العرضي للأعمدة . ويمكن أن تقاوم هذه الاجهادات بواسطة قوى سبق الاجهاد المناسبة. وبذلك يمكن اختصار حجم كبير من المواد المستخدمة واختيار مقاطع أصغر بكثير من مقاطع الأعمدة العادية.



شكل رقم (٩ - ١١) البلاطات مسبقة الصنع والإجهاد.



شكل رقم (٩ ـ ١٢) أعمدة الإنارة الكهربائية مسبقة الصنع والإجهاد.

٩ ـ ٦ ـ فولاذ سبق الاجهاد : PRESTRESSING STEEL

يستخدم في سبق الإجهاد أسلاك فولاذية مسحوبة على البارد عالية المقاومة. وتتراوح أقطارهذه الأسلاك من (2mm) وحتى (7 mm) . و عادة تستخدم الأقطار الصغيرة، من (2mm) وحتى (5mm)، في طريقة الشد المسبق بينما تستخدم الأقطار الكبيرة، من (5mm) وحتى (7 mm) ، عادة في طريقة الشد اللاحق . ولا تقل الإجهادات المسموحة لهذا الفولاذ عادة عن (σ_{sper} = 1000 MPa = 10000 Kg / cm^2)وتكون أكبر من ذلك عادة في الأقطار الصغيرة. ويمكن تقدير كبر هذه الإجهادات بمقارنتها مع الإجهادات المسموحة في الفولاذ الطري العادي الأملس والتي تساوي (σ_{sper} = 132 MPa = 1320 Kg / cm^2) فقط.

إن استخدام مثل هذه الأسلاك عالية المقاومة ضروري جداً وأساسي في عملية سبق الإجهاد .و لا يمكن مطلقاً استخدام الفولاذ الطري العادي نظراً لمقاومته الصغيرة نسبياً والتي تحد كثيراً من مقدار استطالة القضبان أثناء عملية الشد حيث يمكن أن يضيع قسم من هذه الاستطالة الصغيرة نتيجة لتقلص البيتون بعد الصب كما تزول الاستطالة المتبقية أو أغلبها نتيجة لظاهرة الزحف في البيتون (The

(creep تحت تأثير القوى المطبقة، نظراً لأن البيتون يقصر طوله مع الزمن نتيجة لقوى الضغط المطبقة. وبما أن قوى سبق الإجهاد في البيتون تعتمد على قوة الشد في فولاذ سبق الإجهاد وعلى مقدار الاستطالة فيه، فإنه وعند زوال هذه الاستطالة تزول قوى الشد في الفولاذ وتختفي إجهادات الضغط في البيتون مما يسبب إنهيار العنصر.

لقد لوحظت هذه الظاهرة في التجارب الأولى لسبق الإجهاد والتي استخدم فيها الفولاذ الطري العادي لتطبيق قوى سبق الإجهاد، حيث وجد أن قوى سبق الإجهاد هذه تزول عملياً وبشكل كامل خلال عدة أسابيع من التنفيذ، نتيجة لزحف البيتون.

أما في الفولاذ عالي المقاومة المسحوب على البارد فإن نسبة الضياعات نتيجة للتقلص ولظاهرة الزحف في البيتون ستكون صغيرة جداً بالمقارنة مع إجهادات الشد الكلية المطبقة، وستبقى المقاطع العرضية وبعد هذه الضياعات معرضة لإجهادات ضغط كبيرة. هذا بالإضافة إلى أن المصمم الانشائي يأخذ كل هذه الضياعات بالحسبان أثناء التصميم الإنشائي. كذلك يجب أن يكون البيتون المستخدم ذو مواصفات عالية وأكثر مقاومة من البيتون المستخدم عادة في العناصر البيتونية المسلحة العادية، وذلك لتقليل تأثير التقلص والزحف ولزيادة التلاحم مع الفولاذ، ولمقاومة إجهادات الضغط العالية نتيجة سبق الإجهاد.

٩ ـ ٧ ـ ميزات ومساوىء البيتون مسبق الإجهاد:

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF PRESTRESSED CONCRETE

نظراً لعدم وجود إجهادات الشد في عناصر البيتون مسبق الإجهاد، أو وجود قيم صغيرة فقط، فإن البيتون لن يتعرض لأية تشققات تحت تأثير الحمولات المطبقة. كما أن الفولاذ لن يتعرض للصدأ نتيجة للعوامل الجوية كما في عناصر البيتون المسلح العادي. وهذه تعتبر ميزة كبيرة وخاصة في المنشآت المائية كالخزانات حيث يكون البيتون معرضاً دوماً للماء والرطوبة.

والبيتون مسبق الإجهاد مناسب للعناصر ذات المجازات الطويلة حيث أن مقاطعه أصغر إضافة إلى

أن الوزن الذاتي للعناصر والعزوم الناتجة عنها لها تأثير صغير في حساب وتحديد مقاطع هذه العناصر. وفي الحقيقة، يمكن أن يقال أن العناصر مسبقة الصنع تحمل نفسها بنفسها نظراً لأن تأثيرات الوزن الذاتي قد ألغيت تماماً نتيجة قوى سبق الإجهاد، بينما في عناصر البيتون المسلح العادي، يكون للوزن الذاتي تأثير كبير جداً وخاصة في المجازات الطويلة. ولهذا يمكن الوصول في البيتون مسبق الإجهاد إلى مجازات أطول وإلى مقاطع أصغر.

أن التشوهات في العناصر مسبقة الصنع تكون أصغر منها في عناصر البيتون المسلح العادي، كما أن مقاومتها لقوى القص تكون أكبر. إضافة إلى أن لهذه العناصر مقاومة عالية للتعب (The fatigue).

وللبيتون مسبق الإجهاد بعض المساوئ منها كلفتها العالية وحاجتها للمراقبة المستمرة والدائمة أثناء التنفيذ، إضافة إلى بعض التعقيدات الفنية والتكنولوجية لعمليات سبق الإجهاد. كما أنها صعبة الإستخدام في العناصر المستمرة وغير المقررة.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل العاشر

الأعمدة

THE COLUMNS

١٠ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

الأعمدة هي عناصر معرضة بصورة أساسية لإجهادات الضغط، وهي التي تنقل عادة الحمولات من البلاطات والجوائز وعناصر الأسقف المختلفة إلى الأساسات. ويعتمد شكل الانهيار في الاعمدة وكذلك القيمة العظمى لحمولة الانهيار على العاملين الأساسيين الهامين التاليين:

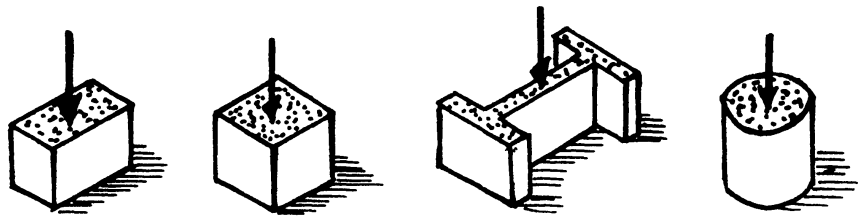
١ ـ المادة التي تتألف منها الأعمدة.

٢ ـ نحافة أو رشاقة هذه الأعمدة (The slenderness).

UNIVERSITY OF ALEPPO

١٠ ـ ٢ ـ عامل النحافة أو عامل الرشاقة: THE SLENDERNESS RATIO

لوأخذنا عدة أشكال مختلفة ومتساوية المساحة كمقاطع عرضية لأعمدة ذات ارتفاع صغير مصنوعة من نفس المادة، الشكل (١٠ ـ ١)، وطبقنا عليها الحمولات بصورة متدرجة، فإننا نلاحظ أن جميع هذه المقاطع سوف تنهار معاً، و تحت تأثير نفس الحمولة، وذلك عندما نصل إلى الإجهادات القصوى التي تتحملها مادة هذه الأعمدة.وبهذه الحالة نلاحظ أنه ليس لشكل مقطع العمود أي تأثير على مقدار الحمولة القصوى إذا طبقت هذه الحمولات في مركز ثقل المقاطع.



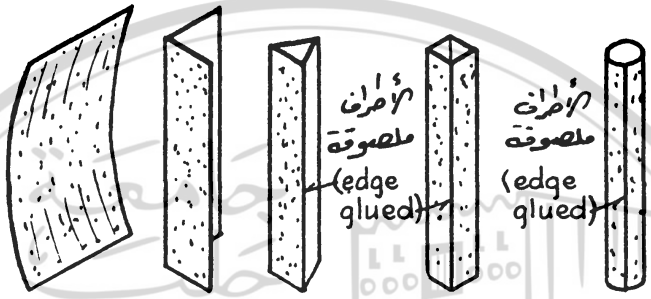
شكل رقم (١٠ ـ ١) الأعمدة القصيرة.

أما إذا كانت الأعمدة طويلة ونحيلة فإن الإنهيار سوف يحدث تحت تأثير حمولات أقل بكثير من الحمولات التي تتحملها نفس هذه المقاطع فيما إذا كانت هذه الأعمدة قصيرة، وسوف تختلف حمولات الانهيار من مقطع لآخر، وسيتم هذا الانهيار نتيجة لظاهرة أخرى تدعى "التحنيب العرضي" (Lateral buckling).

شكل رقم (١٠ ـ ٢) التحنيب في القضبان الخيزرانية النحيفة.

ويمكن توضيح هذه الظاهرة وبسهولة، وذلك بتطبيق حمولة صغيرة باليد على قضيب نحيف من الخيزران أو القصب فنراه قد انحنى بالاتجاه العرضي، الشكل (١٠ ـ ٢) ، وإذا قمنا بزيادة الحمولة قليلاً لأدى ذلك إلى انكسار هذا القضيب رغم أن الإجهادات المطبقة أصغر بكثير من الإجهادات التي تتحملها مادة الخيزران في الأعمدة القصيرة. وفي ظاهرة التحنيب، كما في عزوم الانعطاف، يكون لشكل المقطع تأثير كبير على مقدار مقاومته. ويبدو بوضوح بالمثال التالي، الشكل (١٠ ـ ٣)، إذا أخذنا قطعة من الكرتون واستعملناها على شكل عمود، فإننا نلاحظ أنه ليس لهذه القطعة أية مقاومة،

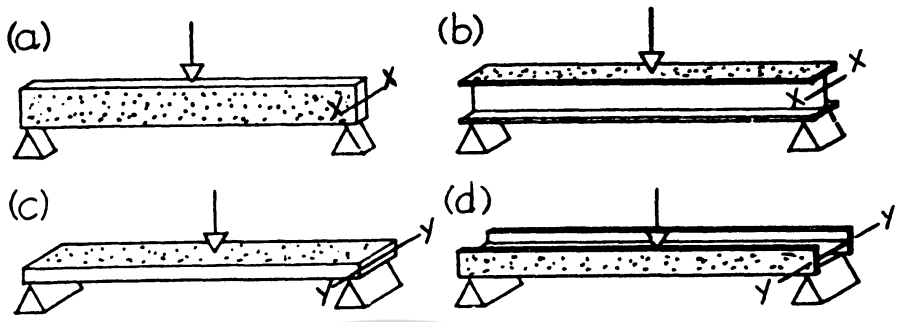
حيث لا يمكن لها أن تقاوم حتى وزنها الذاتي. ولكننا إذا طوينا هذه القطعة الكرتونية على شكل زاوية أو أية أشكال أخرى، مثلث أو مربع أو دائرة مثلاً، فإنها يمكن وبنفس مساحة المقطع العرضي أن تقاوم بصورة أكبر حسب شكل المقطع العرضي. وذلك نتيجة لأن هذه المقاطع المطوية المختلفة ستقاوم ظاهرة التحنيب بشكل أكبر ومختلف من مقطع لآخر.



شكل رقم (١٠ - ٣) زيادة مقاومة الأعمدة بتعديل شكل المقاطع العرضية.

كما شاهدنا سابقاً، فإن مقاومة الجوائز المعرضة لعزوم الانعطاف تختلف وذلك حسب شكل المقطع العرضي. كما أنه ولنفس المقطع تكون مقاومة هذه العزوم مختلفة وذلك حسب اتجاه تطبيقها بالنسبة لعزم العطالة الكبير للمقطع، فمثلاً في الشكل (١٠ - ٤) تكون مقاومة الجوائز المبينة بالشكلين (١٠ - ٤ - a و b) والتي تطبق فيها عزوم الإنعطاف حول المحور ذو عزم العطالة الأكبر (x - x) أكبر بكثير من مقاومة الجوائز المبينة بالشكل (١٠ - ٤ - c و d) والتي تطبق فيها عزوم الإنعطاف حول المحور ذو عزم العطالة الأصغر (Y - Y). ولذلك فإن المصمم الإنشائي يقوم عادة بوضع أبعاد المقطع العرضي بالاتجاهات المناسبة والتي تعطينا المقاومة الأكبر لعزوم الإنعطاف.

أما إذا استخدمنا هذه العناصر كأعمدة معرضة لقوى الضغط، فإنه ليس للمصمم الإنشائي أي خيار في تحديد اتجاهات المقطع، حيث سيتعرض العمود للتحنيب حول المحور ذو عزم العطالة الأصغر أي حول المحور (Y - Y).



شكل رقم (١٠ ـ ٤) تغير مقاومة الجوائز لعزوم الإنعطاف حسب اتجاه المقطع العرضي.

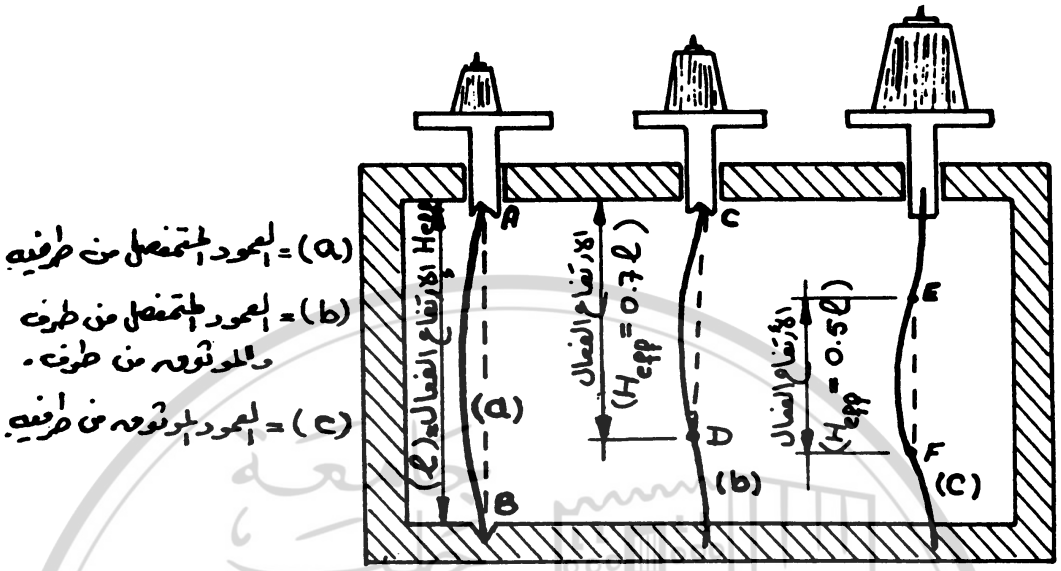
١٠ ـ ٣ ـ الإرتفاع الفعال للأعمدة:

THE EFFECTIVE HEIGHT OF COLUMNS

كما شاهدنا في الجوائز حيث تختلف مقاومتها وعزوم الإنعطاف المطبقة عليها وذلك حسب شكل استناداتها، موثوقة كانت أم بسيطة. كذلك في الأعمدة، فإن مقدار تحملها للقوى المطبقة وخطر الإنهيار نتيجة للتحنيب العرضي يتأثر وبشكل كبير بطريقة تثبيتها من الأعلى والأسفل. ويبين الشكل (١٠ ـ ٥) ثلاثة نماذج من الأعمدة ذاتأشكال مختلفة للتثبيت من طرفيها، والحمولات النسبية التي يمكن أن تتحملها هذه النماذج قبل حدوث التحنيب العرضي.

ولدواعي المقارنة ولتحديد الإجهادات المسموحة للأعمدة ذات عوامل الرشاقة المختلفة، فإن الأنظمة والكودات العالمية تحدد جميع العلاقات والثوابت للنوع الأول من الأعمدة والمتمفصل في كلا طرفيه العلوي والسفلي، النموذج (a). أما للنماذج الأخرى من الأعمدة فإنه وبالرغم من أن أشكال التحنيب ستكون مختلفة، إلا أنها ستتصرف في الحقيقة كعمود متمفصل من طرفيه، النموذج (a)، ولكن بارتفاعات أصغر من إرتفاعاتها الفعلية. فللعمود المتمفصل من أحد طرفيه والموثوق من الطرف الآخر، النموذج (b)، يكون الارتفاع الفعال (The effective height)، مساوياً للبعد (CD) بدلاً من الإرتفاع الكلي (AB)، ويكون بحدود (70 %) من هذا الارتفاع. أما في العمود الموثوق الطرفين،

النموذج (c) فيكون الارتفاع الفعال مساوياً للبعد (EF) ويكون بحدود (50%) الارتفاع الكلي.



شكل رقم (١٠ ـ ٥) تأثير طريقة تثبيت الأطراف على حمولة التحنيب العرضي.

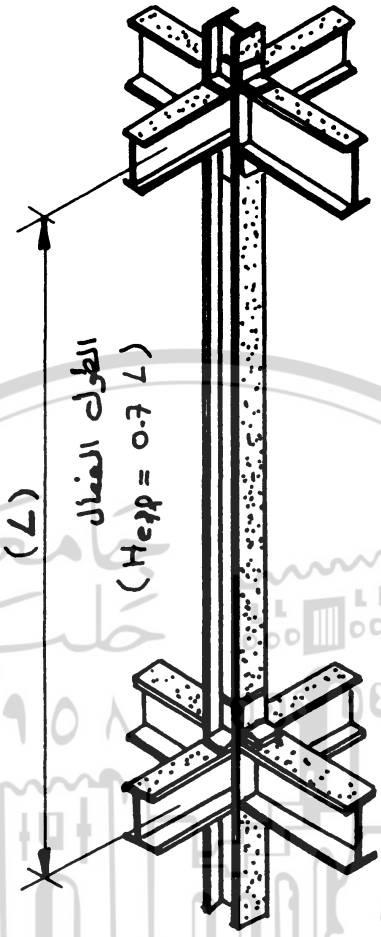
ولتحديد عامل الرشاقة (λ)، (The slenderness ratio) يؤخذ عادة ارتفاع العمود الفعال، ولجميع أنواع الأعمدة، بدلاً من ارتفاعه الفعلي. ويعرف عامل الرشاقة بأنه حاصل قسمة الارتفاع الفعال على نصف قطر التأرجح الأصغر للمقطع(The least radius of gyration) أي:

$$\text{عامل الرشاقة} = \frac{\text{الارتفاع الفعال للعمود}}{\text{نصف قطر التأرجح الأصغر}} \quad ، \quad \lambda = \frac{H_{eff}}{r_{min}}$$

حيث أن نصف قطر التأرجح (r_{min}) صفة من صفات المقطع العرضي تعبر عن مدى مقاومته للتحنيب، ويساوي جذر حاصل قسمة عزم العطالة الصغير للمقطع (I_{min}) على مساحته (A)أي:

$$r_{min} = \sqrt{I_{min} / A}$$

لنلاحظ أنه كلما تم وثق الأعمدة من طرفيها كلما زادت الحمولات الأعظمية التي يمكن أن يتحملها دون حدوث خطر التحنيب العرضي. إلا أنه وفي الحياة العملية والمنشآت الفعلية لا يمكن تأمين وجود الشروط النظامية لتثبيت الأطراف والمبينة بالشكل (١٠ ـ ٥)، وبصورة دقيقة، ويجب



شكل رقم (١٠ ـ ٦) الطول الفعال للأعمدة المعدنية الفعلية .

UNIVERSITY OF ALEPPO

على المصمم الإنشائي أن يحدد الطول الفعال للأعمدة وذلك حسب شروط التثبيت الفعلية المطبقة. كما تعطي الأنظمة والكودات العالمية أسس حساب هذه الأطوال ، فمثلاًيكون الطول الفعال للعمود الوسطي المبين بالشكل (١٠ ـ ٦) مساوياً تقريباً إلى نسبة (0.7) من الطول الكلي : $H_{eff}= 0.7L$.

١٠ ـ ٤ ـ الأعمدة الخشبية : TIMBER COLUMNS

في الأعمدة الخشبية ، الشكل (١٠ ـ ٧) ،والتي تكون في الغالب ذات مقطع مستطيل ، يعبر عن عامل الرشاقة عادة بالنسبة التالية :

عامل الرشاقة= الإرتفاع الفعال / عرض المقطع ، $\lambda = \frac{H_{eff}}{b}$

حيث يكون في المقاطع المستطيلة نصف قطر التأرجح متناسباً مع عرض المقطع.

ولضرورات التصميم الإنشائي للأعمدة تعطي الأنظمة والكودات العالمية المختلفة جداول تحدد فيها قيم الإجهادات المسموحة بالنسبة لعوامل الرشاقة المختلفة. وكمثال على ذلك لنأخذ عموداً خشبياً ذو ارتفاع فعال يساوي: $H_{eff} = 2.0$ m ، ومقطعه العرضي بأبعاد (100 X 225mm). وبذلك يكون عامل الرشاقة مساوياً:

$$\lambda = \frac{H_{eff}}{b} = \frac{2000}{100} = 20$$

ومن الجداول المحددة في الأنظمة تكون الإجهادات المسموحة المقابلة لعامل الرشاقة هذا ولخشب الصنوبر مثلاً مساوياً: $\sigma_{per} = 4.35$ MPa $= 43.5$ kg / cm^2 وبذلك تكون الحمولة الكلية المسموحة التي يتحملها العمود، الإجهاد مضروباً بمساحة المقطع:

$$N_{per} = \sigma_{per} \times A = 4.35 \times 22500 = 97.88 \text{ KN} = 9788 \text{ kgs}$$

شكل رقم (١٠ ـ ٧) الأعمدة الخشبية.

أما إذا قمنابزيادة الإرتفاع الفعال لهذا العمود بحيث يصبح $H_{eff} = 4.0$ m وأبقينا على نفس

مقطعه العرضي، لأصبح عامل الرشاقة مساوياً :

$$\lambda = \frac{H_{eff}}{b} = \frac{4000}{100} = 40$$

ولهذه الحالة تصبح الإجهادات المسموحة من الجداول مساوية فقط :

$\sigma_{per} = 1.75\ MPa = 17.5\ kg / cm^2$ ، وتكون الحمولة الكلية المسموحة التي يتحملها العمود :

$$N_{per} = \sigma_{per} \times A = 1.75 \times 22500 = 39.38\ KN = 3938\ kgs$$

أي بحدود 40% من الحمولة الكلية للعمود السابق .

لقد أصبح من الواضح الآن أن المقاطع المربعة، التي لها أبعاد متساوية للمقطع العرضي ، هي المقاطع الأكثر مناسبة للأعمدة الخشبية، حيث أنها تستخدم المادة أحسن استخدام ممكن وذلك لأن مقاومة المقطع لخطر التحنيب متساوٍ بالإتجاهين. فمثلاً إذا قمنا في المثال السابق بتعديل أبعاد المقطع العرضي إلى (150x 150) mm وبحيث نحافظ على نفس مساحة المقطع السابق ، لرأينا أن عامل الرشاقة للإرتفاع الفعال $H_{eff} = 2.0m$ قد أصبح :

$$\lambda = \frac{H_{eff}}{b} = \frac{2000}{150} = 13.33$$

وبذلك تكون الإجهادات المسموحة مساوية إلى :

$\sigma_{per} = 4.85\ MPa = 48.5\ kg / cm^2$ وتصبح الحمولة الكلية المسموحة التي يتحملها العمود :

$N_{per} = \sigma_{per} \times A = 4.85 \times 2250 = 109.13\ KN = 10913\ kgs$ ، وبنفس الطريقة وللارتفاع الفعال $H_{eff} = 4.0m$ يكون :

$$\lambda = \frac{H_{eff}}{b} = \frac{4000}{150} = 26.67$$

وتكون الإجهادات المسموحة مساوية $\sigma_{per} = 3.30\ MPa = 33\ kg / cm^2$ وتكون الحمولة

الكلية المسموحة التي يتحملها العمود مساوية إلى:

$$N_{per} = \sigma_{per} \times A = 3.3 \times 22500 = 74.25KN = 7425\ kgs$$

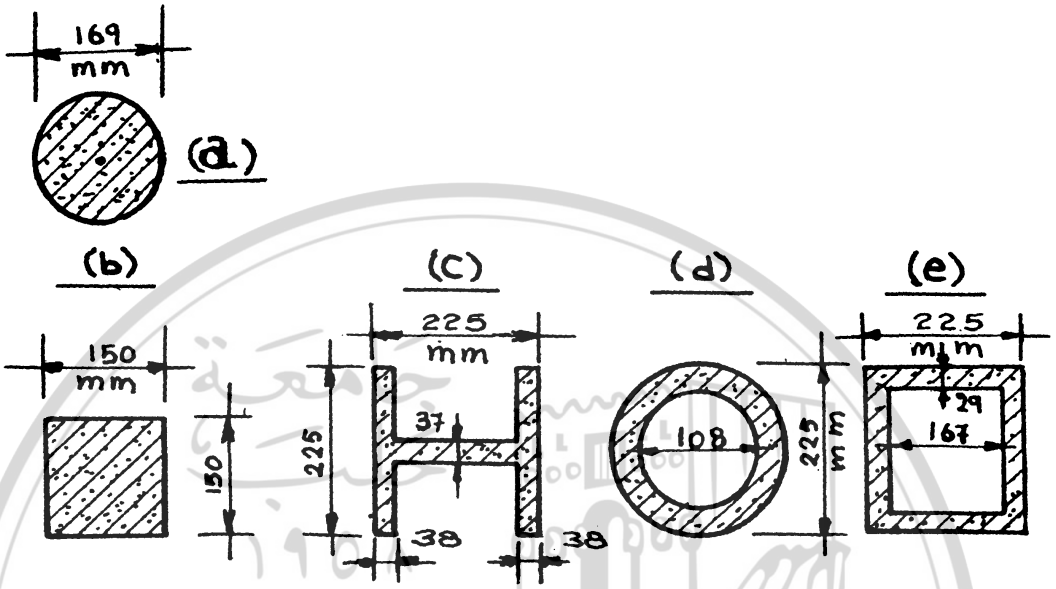
ويمكن ملاحظة الزيادة في مقاومة المقطع بمقارنة الحمولتين 109.13KN و 74.25KN للمقطع العرضي العرضي (150 x 150) mm مع الحمولتين 97.88KN و 39.38 KN للمقطع العرضي (225 x 100mm) على التوالي.

١٠ ـ ٥ ـ الأعمدة الفولاذية: THE STEEL COLUMNS

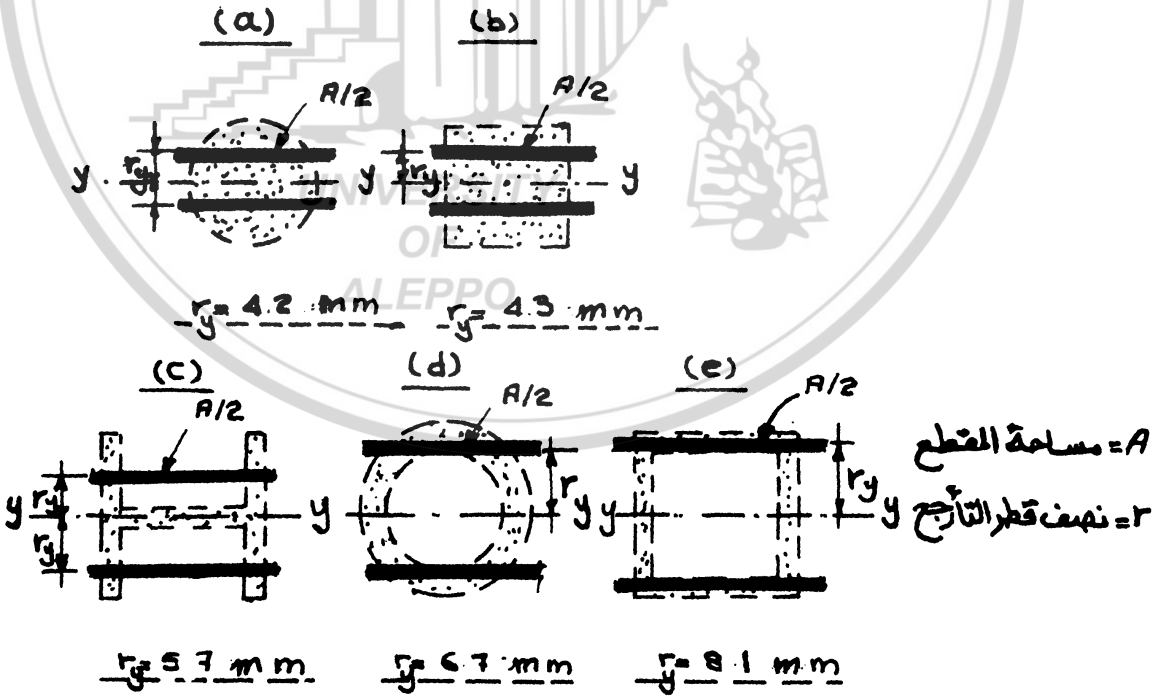
يمكن تطبيق نفس المناقشات السابقة أيضاً على الأعمدة الفولاذية بمقاطعها المختلفة . ويفضل عند استخدام المقاطع العرضية على شكل (I) في الأعمدة اختيار المقاطع ذات الاجنحة العريضة (Wide flange sections) ، والتي يكون فيها عرض المقطع مساوياً لارتفاعه لأنها فعالة وذات مقاومة للتحنيب أكبر من المقاطع (I) النظامية التي يكون فيها ارتفاع المقطع أكبر بكثير من عرضه. وذلك معاكس تماماً للجوائز المعرضة لعزوم الإنعطاف حيث يجب اختيار المقاطع (I) النظامية ذات الإرتفاعات الأكبر.

ومن الواضح أن المقطع المربع هو الحل الأمثل للأعمدة الفولاذية، كما أنه وكلما كانت المواد المستخدمة أكبر بعداً عن المحور الحيادي وعزوم العطالة أكبر، كما في حالة عزوم الإنعطاف، كلما كانت مقاومة الأعمدة لخطر التحنيب أكبر، فمثلاً يبين الشكل (١٠ ـ ٨) عدة أشكال للمقاطع العرضية لها نفس المساحة ($A = 22500mm^2$). ولكن مقاومتها لخطر التحنيب مختلفة. حيث يتحمل العمود ذو المقطع (e) أكبر حمولة مسموحة، ثم تتناقص الحمولات المسموحة وبالتتالي حسب الترتيب التالي: (b), (c), (d) وأخيراً (a) . وكما شاهدنا فإن المقاطع المجوفة أكثر فاعلية من الأعمدة ذات المقاطع المصمتة، مع الأخذ بعين الاعتبار أن لا تكون الجدران لهذه المقاطع رفيعة جداً وبحيث تتعرض لانحناء وتحنيب موضعي (Local buckling) . وعند حساب عامل الرشاقة (λ) للمقاطع الفولاذية يكون :

$$\lambda = \frac{H_{eff}}{r_{min}} \quad ، \quad \text{عامل الرشاقة} = \frac{\text{الطول الفعال}}{\text{نصف قطر التأرجح الأصغر}}$$



شكل رقم (١٠ ـ ٨) المثال الأول: مقاومة المقاطع الفولاذية المختلفة ذات المساحة الواحدة لخطر التحنيب العرضي.



شكل (١٠ ـ ٩) المثال الأول: أنصاف أقطار التأرجح لأشكال المقاطع الفولاذية المختلفة.

ويعرف نصف قطر التأرجح، بأنه المسافة التخيلية عن محور التحنيب (y - y) وبحيث إذا توضعت كامل مواد المقطع عندها لكان لهذا المقطع التخيلي نفس المقاومة لخطر التحنيب والتي للمقطع الأصلي.

ويبين الشكل (١٠-٩) أنصاف أقطار التأرجح لأشكال المقاطع المختلفة المبينة بالشكل (١٠ - ٨). حيث أن المحور (y - y) هو المحور الذي سيتم التحنيب حوله.

وبافتراض أن هذه المقاطع مصنوعة من الفولاذ الطري العادي وطولها الفعال يساوي (H_{eff} = 3.0 m) ، فإن الحمولة الكلية المسموحة التي يمكن أن تتحملها هذه الأعمدة بأمان وذلك حسب النظام البريطاني، وكذلك الإجهادات المسموحة، تعطي بالجدول(١٠-١) التالي:

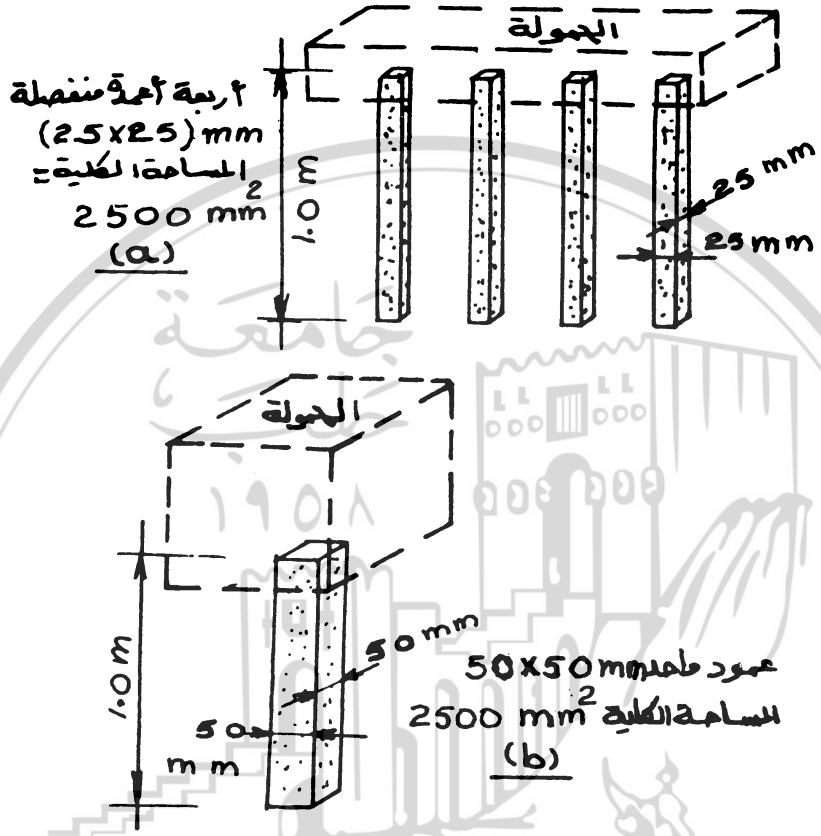
شكل مقطع العمود	نصف قطر التآرجح $r_{min(mm)}$	عامل الرشاقة $\lambda = \frac{H_{eff}}{r_{miin}}$	الإجهادات المسموحة MPa= 10 kg / cm² ميغا باسكال	الحمولة القصوى المسموحة	
				كيلونيوتن KN	طن (T)
a	42	71	114	2565	256.5
b	43	70	115	2588	258.8
c	57	53	131	2948	294.8
d	67	45	136	3060	306.0
e	81	37	140	3150	315.0

الجدول (١٠ - ١) المثال الأول: الحمولة القصوى المسموحة لمقاطع الأعمدة المختلفة .

وكمثال آخر لتأثير عامل الرشاقة على الحمولة القصوى للأعمدة لنأخذ أربعة أعمدة ذات مقطع مربع بأبعاد: (25 X 25) mm ، وارتفاع فعال: (1.0m) مصنوعة من الفولاذ الطري العادي، الشكل (١٠-١٠)، إن نصف قطر التأرجح للمقطع المربع يعادل (0.29) من طول الضلع، وبذلك يكون: نصف قطر التأرجح لهذه الأعمدة مساوياً: r = 0.29 x 25 = 7.25mm ، ويكون عامل الرشاقة مساوياً: λ = 1000 / 7.25 = 138 ، و الإجهادات المسموحة وذلك حسب الأنظمة والكودات العالمية:

$\sigma_{per} = 47\ MPa = 470\ kg / cm^2$ ، وتكون الحمولة القصوى المسموحة لعمود واحد :

$N_{per} = 47 \times 625 = 29.375\ KN$.



شكل رقم (١٠ - ١٠) المثال الثاني : تأثير أبعاد المقاطع على الحمولات القصوى المسموحة .

وتكون الحمولة الكلية المسموحة : $N_{per} = 4 \times 29.375 = 117.5KN = 11750\ kgs$

ولوافترضنا الآن أننا قد استبدلنا الأعمدة الأربعة بعمود واحد مساوٍ لها في مساحة المقطع وبأبعاد (50 x 50) mm عندئذ يكون :

- نصف قطر التأرجح : $r = 0.29 \times 50 = 14.5\ mm$
- عامل الرشاقة : $\lambda = 1000 / 14.5 = 69$
- الإجهادات المسموحة : $\sigma\ per = 177\ MPa = 1170\ kg / cm^2$

وتكون الحمولة القصوى المسموحة : $N_{per} = 177 \times 2500 = 292.5\ KN = 29250\ kgs$ ،

وتكون الحمولة القصوى المسموحة قد زادت بنسبة (2.49) مرة .

وإذا كررنا هذا المثال لستة عشر عموداً وكذلك لستة وثلاثين عموداً فإننا نحصل على النتائج التالية المبينة بالجدول (١٠ ـ ٢) ، والتي تبين الحمولات القصوى الأمينة لهذه الأعمدة وكذلك نسبة زيادة الحمولة .

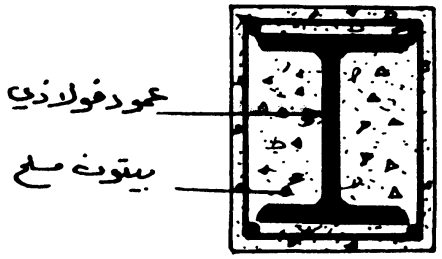
عدد الأعمدة ذات المقطع العرضي (25 x 25)mm	الحمولة القصوى المسموحة كيلو نيوتن KN (KN=100kgs)	العمود المكافئ أبعاد المقطع العرضي (mm^2)	الحمولة القصوى المسموحة كيلو نيوتن (KN=100kgs)	نسبة زيادة الحمولة
4	117.5	50x 50	292.5	249%
16	470.0	100 x 100	1410.0	300%
36	1057.5	150 x 150	3285.0	311%

الجدول (١٠ ـ ٢) المثال الثاني : نسبة زيادة الحمولة للأعمدة المختلفة .

١٠ ـ ٦ ـ الأعمدة الفولاذية المحاطة بالبيتون ، الأعمدة المركبة :

STEEL COLUMNS CASED IN CONCRETE, COMPOSITE COLUMNS

إن أغلب الأعمدة الفولاذية والمنفذة في الأبنية ، تكون عادة محاطة بالبيتون المسلح وذلك لحمايتها من أخطار الحريق ، الشكل (١٠ ـ ١١) ، نظراً لأن الأعمدة غير المحمية يمكن أن تتأثر بشدة بالحرارة العالية الناتجة عن الحريق مما يؤدي لتلدنها وفقدانها مقاومتها وبالتالي انهيارها . وبهذه الحالة ، يسمح لمقاطع هذ الاعمدة أن تتحمل حمولات أكبر نتيجة للتقوية الناتجة عن الإحاطة بالبيتون ونظراً



شكل رقم (١٠ ـ ١١) الأعمدة الفولاذية المحاطة بالبيتون، الأعمدة المركبة .

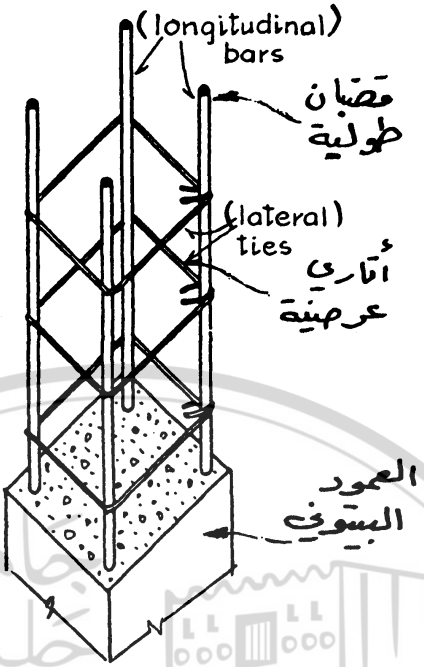
لتقليل خطر التحنيب وكبر نصف قطر التأرجح لمقطع العمود. كما أن البيتون يمكن أن يحمل بإجهادات إضافية تعادل (1/10) إلى (15 / 1) من الإجهادات المسموحة في الفولاذ. لذلك، ونتيجة لجميع هذه العوامل، فإنه يمكن للأعمدة الفولاذية المحاطة بالبيتون أن تتحمل حمولات قد تصل إلى ضعف الحمولات التي يتحملها العمود الفولاذي بمفرده.

١٠ ـ ٧ ـ الأعمدة البيتونية المسلحة:

THE REINFORCED CONCRETE COLUMNS

تتألف الأعمدة البيتونية المسلحة من مقطع من البيتر ، بداخله قضبان فولاذية طولية مربوطة بأتاري عرضية (Stirrups)، الشكل (١٠ ـ ١٢) ، وتكون الحمولة القصوى المسموحة والتي يتحملها العمود هي مجموع الحمولتين المسموحتين لكلا المقطع البيتوني وقضبان التسليح.

يكون خطر التحنيب في الأعمدة البيتونية المسلحة أقل منه في الأعمدة الفولاذية نظراً لكبر مقاطع الأعمدة البيتونية عادة ولصغر عامل الرشاقة . وتحدد أغلب الأنظمة والكودات العالمية عامل الرشاقة الأعظمي للأعمدة التي لا تتعرض لخطر التحنيب بالقيمة (40) وبذلك لا يكون هناك داع في الأعمدة ذات عامل الرشاقة الأصغر من هذه القيمة تخفيض الإجهادات المسموحة. أما إذا زادت قيم عامل الرشاقة عن هذه القيمة (40) ، فعندئذ يجب تخفيض الإجهادات المسموحة للأخذ بعين الاعتبار خطر التحنيب .وفي المقاطع المربعة أو المستطيلة فإن عامل الرشاقة هذا (40) يعادل نسبة الارتفاع إلى

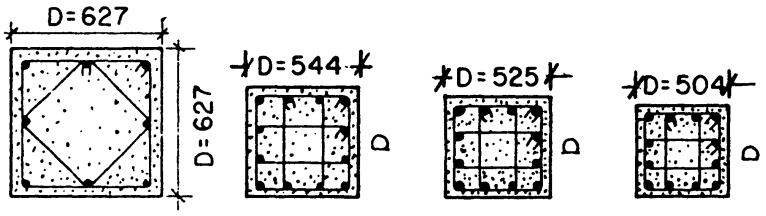


شكل رقم (١٠-١٢) الأعمدة البيتونية المسلحة.

العرض تساوي (12) ، (H_{eff} /b = 12) ، وبالتالي فإنه لن يكون هناك أي خطر من التحنيب للأعمدة ذات العرض (300mm) إذا كان إرتفاعها يقل عن (3.6m) . ولذلك تعتبر أغلب الأعمدة في المباني أعمدة قصيرة ولا تتعرض لخطر التخنيب.

تحدد المساحة الدنيا لفولاذ التسليح بنسبة لا تقل عن (0.5%) من مساحة المقطع العرضي الفعلي للبيتون على أن لا تقل نسبته عن (0.8%) من المساحة المطلوبة للبيتون، كما تحدد المساحة العظمى بنسبة (5%) من مساحة هذا المقطع، ولكنه تفادياً لازدحام التسليح الطولي فإنه يفضل في معظم الحالات العملية أن لا تزيد نسبة هذا التسليح عن (3%) .

نظراً لأن الفولاذ ذو مقاومة أكبر بكثير من البيتون، لذلك فإنه كلما زادت نسبة التسليح في مقطع ما، كلما زادت مقاومته للأحمال. وكمثال على ذلك، يبين الشكل (١٠-١٣) عدة مقاطع بيتونية قصيرة ذات مقاومة واحدة . فكلما صغر المقطع البيتوني كلما زادت نسبة التسليح وزادت مقاومة البيتون المطلوبة، مما يستدعي زيادة عيار الاسمنت في الخلطة البيتونية.



نسب المواد	mix: 1-2-4	1-2-4.	1-1½-3.	1-1-2
إجهاد البيتون	concrete stress : 7·0 N/mm²	7·0	7·77	8·75
إجهاد الفولاذ	steel stress : 70 N/mm²	70	70	70
مساحة التسليح	steel area : 1% D^2 = 3932 mm²	5% D^2 = 13775 mm²		
		5% D^2 = 14778 mm²	5% D^2 = 12698 mm²	

شكل رقم (١٠ ـ ١٣) المقاطع البيتونية المسلحة ذات المقاومة الواحدة.

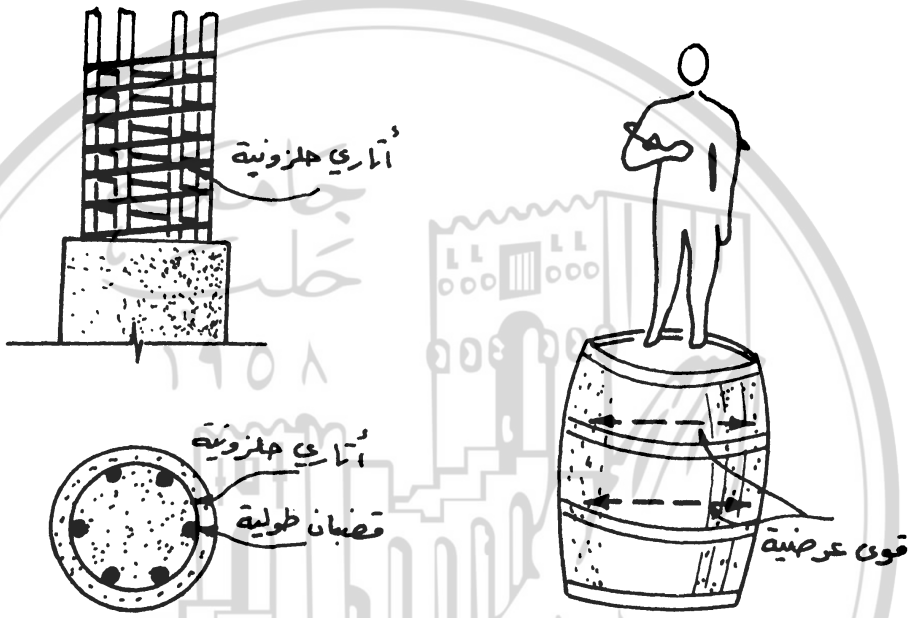
إن الأتاري العرضية المبينة بالشكل (١٠ ـ ١٢) لا تزيد من مقاومة المقطع البيتوني على تحمل القوى المطبقة، إلا أن وجودها ضروري وأساسي للأسباب التالية، الشكل (١٠ ـ ١٤):

شكل رقم (١٠ ـ ١٤) ضرورة وجود الأتاري العرضية.

١ ـ لكي تمنع القضبان الفولاذية الطولية من التحنيب ممزقة طبقة التغطية البيتونية الرقيقة المحيطة بها.

٢ ـ لكي تمنع انهيار المقطع البيتوني نتيجة لإجهادات القص المستوية والمطبقة بشكل قطري.

يمكن أن تكون المقاطع العرضية للأعمدة بأي شكل مطلوب، سواء كانت مربعة أو مستطيلة، دائرية أو مضلعة، أو أي شكل آخر . وفي حالة الأعمدة الدائرية والمضلعة تستخدم عادة الأتاري الحلزونية (The helical stirrups) ، الشكل (١٠-١٥)، وهي بالإضافة إلى استخداماتها السابقة كاتاري منفصلة فإنها تساعد قليلاً على زيادة مقاومة العمود نظراً لأن لها مسقطاً شاقولياً يتحمل جزءاً من الحمولات المطبقة، إضافة إلى أنها تعمل بنفس مبدأ الحلقات الفولاذية في البراميل الخشبية



شكل رقم (١٠-١٥) الأتاري الحلزونية.

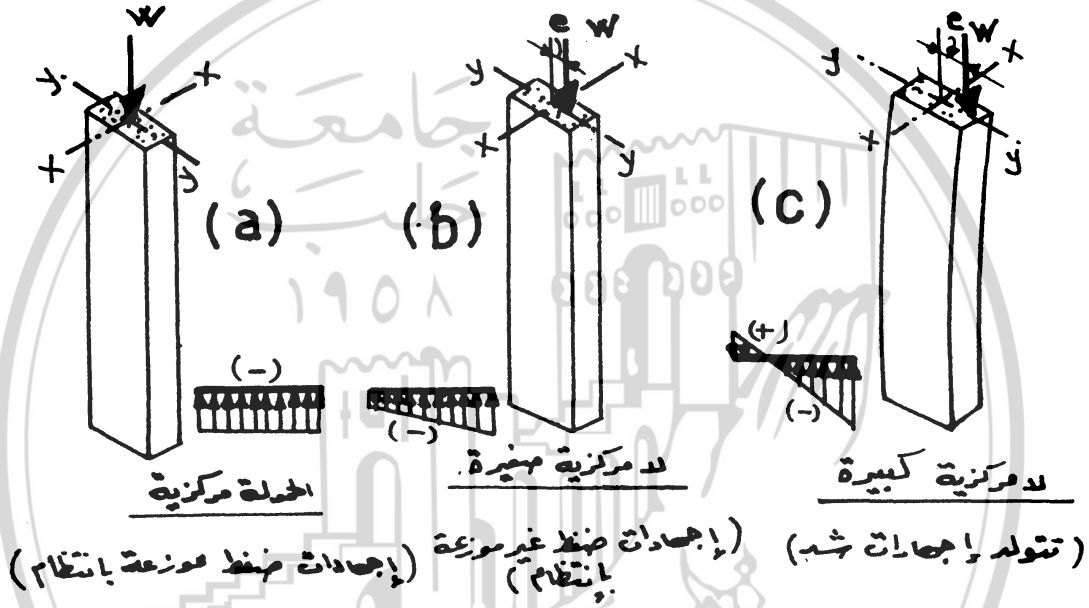
الدائرية، حيث تتعرض هذه البراميل وتحت تأثير الحمولات المطبقة إلى تقاصر في الطول وتفلطح عرضي، بينما تقوم الحلقات الفولاذية بحزم هذه البراميل وتقاوم انفتاحها . ولذلك فإن المقاومة الكلية للعمود الدائري ذو الأتاري الحلزونية تعادل مقاومة المقطع البيتوني بالإضافة إلى القضبان التسليح الشاقولية مضافاً إليها مقاومة الأتاري الحلزونية . وبذلك تكون مقاومة هذه الأعمدة أكبر من الأعمدة ذات الأتاري الأفقية المساوية لها في المساحة وفولاذ التسليح .

لاتقل التباعدات بين الأتاري عادة عن (100 mm) ولا تزيد عن (200mm) ، أو (15) مرة أصغر قطر للقضبان، أو عرض العمود، أيهما أقل.

١٠ ـ٨ ـ الحمولات اللامركزية على الأعمدة الطويلة:

ECCENTRIC LOADS ON LONG COLUMNS

تعرف الحمولة المركزية (The concentric load) بأنها الحمولة التي تكون نقطة تطبيقها منطبقة على مركز ثقل المقطع، الشكل (١٠ ـ ١٦ ـ a)، وبذلك تكون الإجهادات المتولدة موزعة بانتظام على كامل مساحة المقطع.



شكل رقم (١٠ ـ ١٦) الحمولات المركزية واللامركزية على الأعمدة.

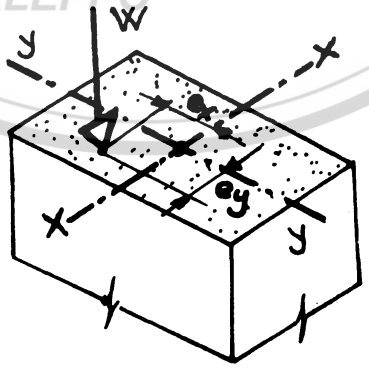
أما الحمولة اللامركزية (The eccentric load) فتعرف بأنها الحمولة التي لا تنطبق نقطة تأثيرها على مركز ثقل المقطع بل تبتعد عنه بمسافة تدعى باللامركزية (The eccentricity) ، (e) ، وبذلك يتكون وبالإضافة إلى الإجهادات الموزعة بانتظام والناتجة عن الحمولة المركزية، إجهادات إضافية أخرى ناتجة عن عزوم هذه القوه بالنسبة لمركز الثقل. ويتصرف المقطع العرضي عندئذ كتصرف عمود وجائز معاً.

إن الشكل (١٠ ـ ١٦ ـ b) يوضح أن الحمولة اللامركزية (W) يزداد عزمها كلما زاد بعدها عن مركز الثقل، أي كلما كبرت المسافة (e) . وبالتالي تزداد إجهادات الضغط في أحد أطراف العمود و

القريب من القوة، وتقل في الطرف الآخر البعيد عنها . فإذا بقيت جميع إجهادات المطبقة على المقطع إجهادات ضغط، تدعى (e) باللامركزية الصغيرة (Small eccentricity) .أما إذا كبرت المسافة (e) وبحيث كانت إجهادات الشد الناتجة عن العزم أكبر من إجهادات الضغط الناتجة عن الحمولة المركزية، الشكل (١٠ ـ ١٦ ـ c) ، وبحيث أصبحت الإجهادات النهائية إجهادات شد عند أحد أطراف العمود والبعيد عن القوة. عندئذ تدعى (e) باللامركزية الكبيرة (Big eccentricity) .

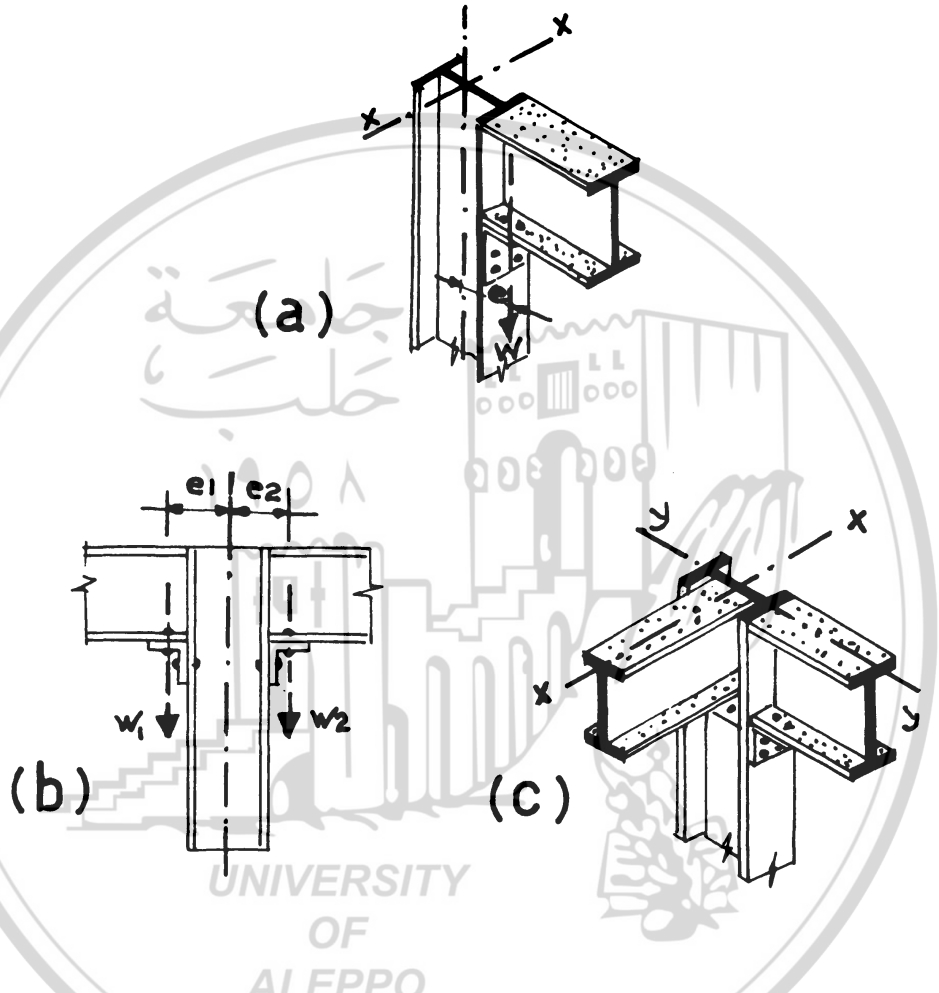
يمكن أن تكون القوة المطبقة على المقطع منحرفة عن مركز الثقل بالاتجاهين وتكون عندئذ اللامركزية بالاتجاهين : (ex) و (ey) ،أي أن الحمولة غير منطبقة على كلا المحورين (x - x) و (y - y) ، الشكل (١٠ ـ ١٧) . وبذلك تتولد لدينا إجهادات ضغط ناتجة عن الحمولة المركزية بالإضافة إلى الإجهادات الناتجة عن العزمين المطبقين حول المحورين (x - x) و (y - y) . ويكون المحور الحيادي بهذه الحالة مائلاً عن المحورين المذكورين .

ويبين الشكل (١٠ ـ ١٨) عدة نماذج لاتصال الجوائز المعدنية مع الأعمدة وإمكانية تطبيق القوى اللامركزية، حيث يبين الشكل (١٠ ـ ١٨ـa) عموداً فولاذياً متصلاً بظفر صغير، أو حالة عمود طرفي، مما يولد عزماً حول المحور (x - x) . كما يبين الشكل (١٠ ـ ١٨ ـ b) عموداً وسطياً يحمل جائزين من كلا طرفيه وبحيث تعاكس العزوم الناتجة عن لا مركزية الجائز الأول العزوم الناتجة عن لا مركزية الجائز الثاني، وبحيث تكون محصلة القوتين (W_1) و (W_2) قوة وحيدة منطبقة على مركز



شكل رقم (١٠ ـ ١٧) الحمولة اللامركزية بالاتجاهين .

ثقل العمود ويكون لدينا قوة مركزية فقط. أما الشكل (١٠-١٨-c) فيبين حالة عمود ركني حيث يتصل العمود بجائزين متعامدي الاتجاه، حيث يتولد لدينا لا مركزية بالاتجاهين أي حول المحورين (x - x) و (y - y).



شكل (١٠-١٨) اللامركزية في الأعمدة الفولاذية.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الحادي عشر

الجوائز الشبكية والأقواس والإطارات

THE TRUSSES, ARCHES AND FRAMES

١١ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

في كثير من المنشآت الهامة وذات المجازات الكبيرة يكون من العسير استخدام أسلوب الجوائز والبلاطات لتغطية الأسقف نظراً لأن هذه الجوائز ستكون ذات ارتفاعات كبيرة وغير عملية تعيق الفراغ الداخلي، ولذلك لابد من استخدام أشكال أخرى من الهياكل الإنشائية تكون مناسبة لهذه المجازات الكبيرة، و تبقى أبعاد مقاطعها صغيرة نسبياً وبحيث لا يولد وزنها الذاتي عزوم انعطاف إضافية كبيرة.

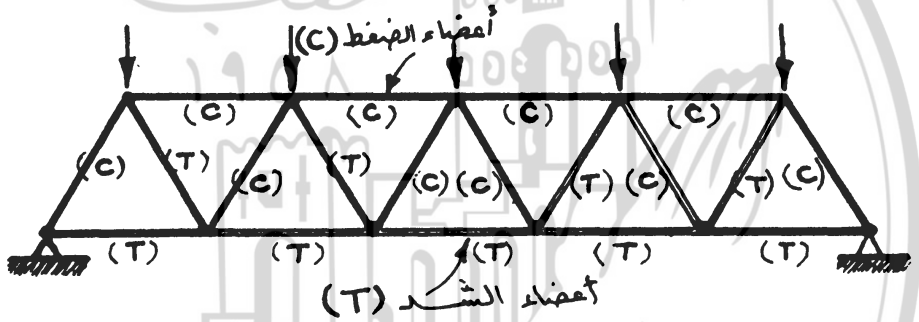
ويمكن أن نذكر من هذه الهياكل الإنشائية والمستخدمة بكثرة في المنشآت الكبيرة :الجوائز الشبكية (Trusses) والأقواس (Arches) والإطارات (Frames) .

١١ ـ ٢ ـ الجوائز الشبكية : THE TRUSSES

كما رأينا في الجوائز ذات الاستناد البسيط ، تتعرض الألياف العلوية للمقطع إلى إجهادات الضغط الأعظمية، كما تتعرض الألياف السفلية إلى إجهادات الشد الأعظمية لذلك فإنه من المفضل أن نضع أغلب كتلة المادة المستخدمة أعلى وأسفل المقطع العرضي، هذا بالإضافة إلى وجود إجهاد القص

الأفقي والشاقولي والتي تكون محصلتها إجهاد شد وضغط قطريين.

فبدلاً من استخدام جائز مصمت ذو مقطع ثابت على كامل المجاز، يمكن أن نشكل جائزاً يتألف من عناصر منفصلة تتصل ببعضها البعض بواسطة مفاصل، كما هو مبين بالشكل (١١ ـ ١). وبحيث تتوضع بعض هذه العناصر أعلى وأسفل المقطع لتحمل إجهادات الضغط والشد، ويتوضع الباقي بشكل مائل ليربط بين هذه العناصر وليتحمل قوى القص. وكما نرى فإن هذا الشكل يمكن أن يقاوم الإجهادات الداخلية مع الإبقاء على وزن ذاتي صغير. ولذلك فإنه مناسب عملياً للمجازات الكبيرة والتي لايمكن فيها استخدام الجوائز العادية، وبأبعاد معقولة للمقطع العرضي من حيث العرض والإرتفاع.



شكل رقم (١١ ـ ١) الجوائز الشبكية.

تعمل الأعضاء العلوية والتي تؤلف محور الضغط بنفس الطريقة التي يعمل بها الجناح العلوي في الجوائز الفولاذية ذات المقطع بشكل (I)، بينما تقاوم الأعضاء السفلية إجهادات الشد كما في الجناح السفلي لهذه الجوائز. أما إجهادات الشد والضغط القطرية فتقاوم بواسطة الأعضاء المائلة. مع ملاحظة أن الأعضاء المتعرضة لإجهادات الشد تكون بنفس اتجاه القضبان المكسحة المائلة في الجوائز البيتونية المسلحة.

إذا افترضنا أن جميع الأعضاء متمفصلة فيما بينها وأن الأحمال الخارجية مطبقة في العقد فقط، فإنه لن يتولد في هذه الأعضاء أية عزوم إنعطاف، باستثناء العزوم الصغيرة الناتجة عن الوزن الذاتي،

ويدعى عندئذ هذا الهيكل الإنشائي بالجائز الشبكي. وعندما تتوزع الأعضاء بشكل مناسب وبحيث يكون هذا الجائز الشبكي مقرراً توازنياً فإن القوى في الأعضاء يمكن أن تحسب قيمتها وذلك باستخدام قوانين التوازن العامة الثلاثة، أو أن تحدد تخطيطياً بواسطة طريقة مخطط القوى مثلاً.

ولكي يكون الجائز الشبكي مقرراً توازنياً يجب أن يكون هناك عدد كاف من الأعضاء، وكاف فقط، وذلك لمنع هذا الجائز من الانهيار نتيجة لعدم التوازن. وفي هذه الجوائز المقررة هناك علاقة ثابتة بين عدد الأعضاء والعقد، حيث يكون عدد الأعضاء (M) مساوياً ضعف عدد العقد (J) ناقصاً ثلاثة أي:

$$M = 2\ (J) - 3 .$$

فمثلاً الجائز الشبكي المبين بالشكل (١١ ـ ١)، مقرر توازنياً لأن:

عدد الأعضاء : $M = 19$

عدد العقد : $J = 11$

ويكون: $M = 2\ (J) - 3$، أي:

$$19 = 2\ (11) - 3 = 19$$

أي أن الجائز مقرر توازنياً.

وكذلك الجائز الشبكي المبين بالشكل (١١ ـ ٢) لأنه:

عدد الأعضاء : $M = 27$

عدد العقد : $J = 15$، ويكون:

$$27 = 15\ (2) - 3 = 27$$

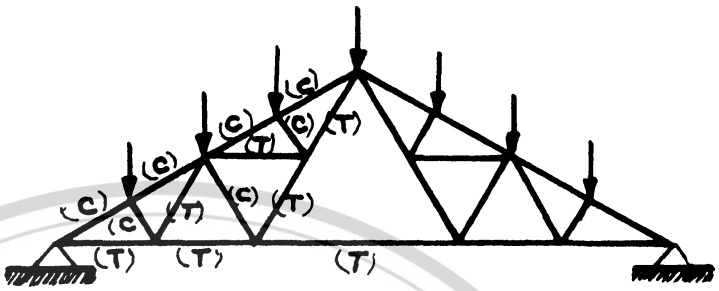
أي أن الجائز الشبكي مقرر توازنياً.

ويمكن لنا أن نشكل جوائز شبكية بعدد أعضاء أقل أو أكثر من العدد الضروري للجائز الشبكي المقرر توازنياً والمحدد بالعلاقة السابقة. إلا أنه إذا كان عدد الأعضاء أقل من العدد المطلوب كان الجائز الشبكي غير متوازن أو غير مستقر (Deficient or unstable)، الشكل (١١ ـ ٣). ومع وجود المفاصل بين الأعضاء فإن هذا الجائز الشبكي لن يكون مستقراً وسوف ينهار تحت تأثير الحمولات المطبقة. وعند

اضطرارنا لاستخدام مثل هذه الجوائز الشبكية، يجب أن تكون العقد صلبة لمنع دورانها، وستكون

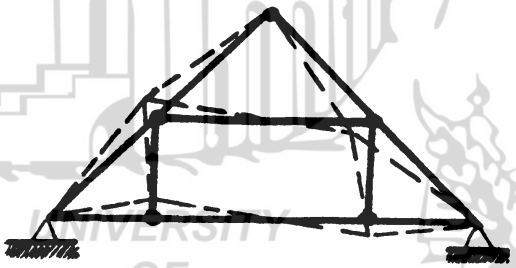
عدد الأعضاء = 27

عدد العقد = 15



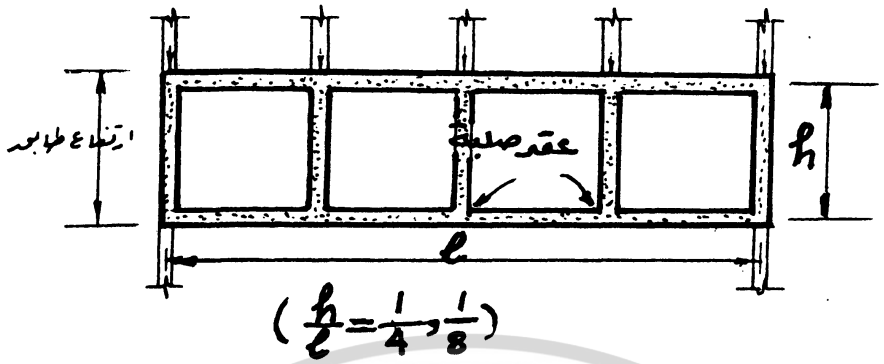
شكل رقم (١١ ـ ٢) الجائز الشبكي المقرر توازنياً.

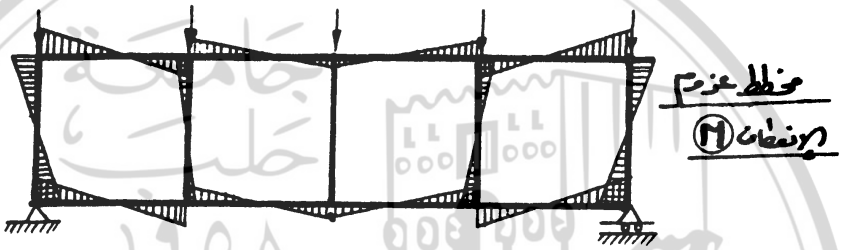
شكلاً من أشكال الإطارات ذات العقد الصلبة، ويدعى عندئذ بالجائز الفيرندیل (The vierendeel girder)، الشكل (١١ ـ ٤).



شكل رقم (١١ ـ ٣) الجائز الشبكي غير المتوازن أو غير المستقر.

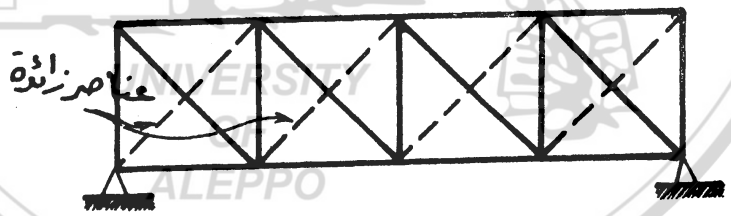
أما إذا كان عدد الأعضاء في الجائز الشبكي أكبر من العدد المطلوب، كان هذا الجائز الشبكي غير مقرر توازنياً (Statically indeterminate)، الشكل (١١ ـ ٥). ولا يعني ذلك أن هذه الأعضاء الإضافية دون فائدة، بل يعني ذلك أنها أكثر من العدد اللازم للتوازن. وهذه الجوائز الشبكية في العادة أقوى وأكثر صلابة من الجوائز الشبكية المقررة، ولكن ايجاد القوى في أعضائها أكثر صعوبة نتيجة لعدم التقرير، ولعدم كفاية معادلات التوازن الثلاثة لحساب هذه القوى.





شكل رقم (١١ - ٤) الجائز الفيرندييل مع مخطط عزوم الإنعطاف له .

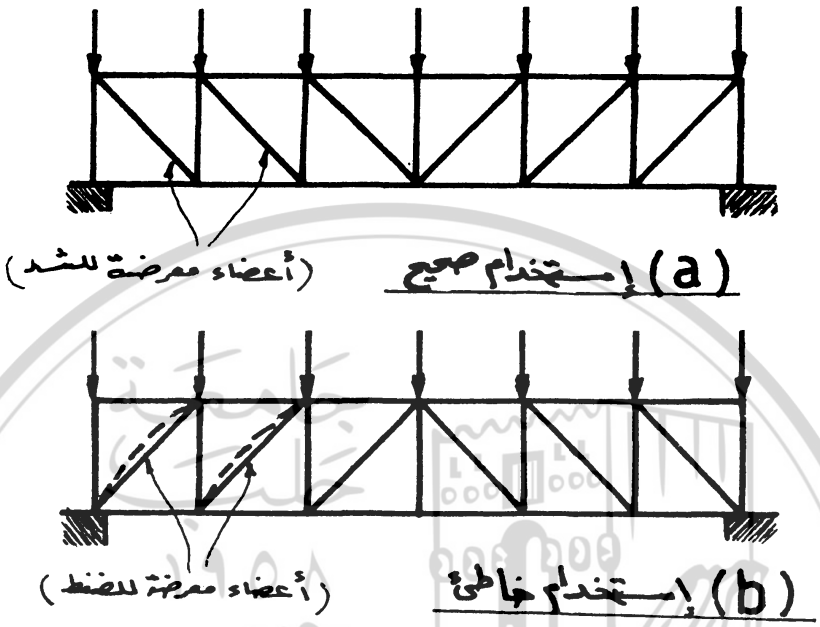
إن أصلح المواد للاستخدام في الجوائز الشبكية هي الفولاذ وخلائط الألومنيوم ثم الأخشاب و



شكل رقم (١١ - ٥) الجائز الشبكي غير المقرر توازنياً.

البيتون المسلح. وتتألف أغلب الجوائز الشبكية المستخدمة حالياً في تغطية المجازات الكبيرة من مقاطع فولاذية نظامية على شكل زوايا منفردة أو مزدوجة، إلا أنه يمكن أحياناً استخدام الأعضاء ذات المقاطع المستطيلة كالقضبان المبسطة وذلك في العناصر المعرضة لقوى الشد. إلا أن هذه المقاطع وبالرغم من قاومتها لقوى الشد، فإنها ضعيفة المقاومة جداً لقوى الضغط نظراً لرشاقتها العالية ويمكن أن تنهار نتيجة

للتحنيب العرضي إذا استخدمت في الأعضاء المعرضة لقوى الضغط ، الشكل (١١ ـ ٦ ـb) .



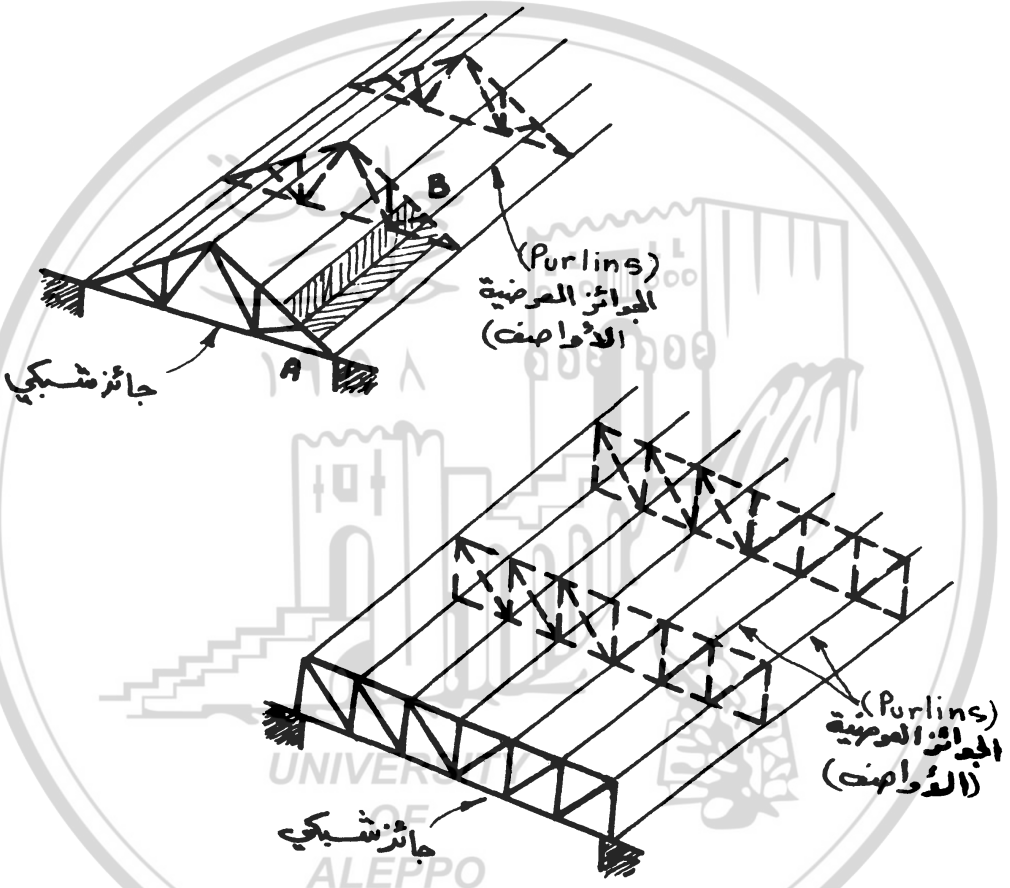
شكل رقم (١١ ـ ٦) الاستخدام الصحيح والخاطئ للأعضاء المائلة الفولاذية.

يمكن بالطبع تصميم الجوائز الشبكية حسب الشكل (١١ ـ ٦ ـb) وعندئذ يجب استخدام مقاطع عرضية أكبر للأعضاء المائلة ، وبحيث يمكنها مقاومة خطر التحنيب العرضي ، مما يؤدي إلى زيادة وزن المواد المستخدمة . إلا أنه في الحقيقة ، يبقى الشكل (١١ ـ ٦ ـa) أفضل من الناحية الإنشائية ، حيث تكون الأعضاء المعرضة لقوى الضغط في العناصر العلوية قصيرة ، والأعضاء القطرية الأطوال معرضة لقوى الشد فقط وبحيث لا يؤثر طولها على مقاومتها .

١١ ـ ٢ ـ ١ ـ الأسقف الشبكية : THE TRUSS ROOFS

تتألف الأسقف التي تستخدم الجوائز الشبكية المعدنية كهيكل إنشائي أساسي عادة من جوائز شبكية معدنية متتالية ، الشكل (١١ ـ ٧) ، تربط بينها وتستند عليها عند العقد جوائز عرضية

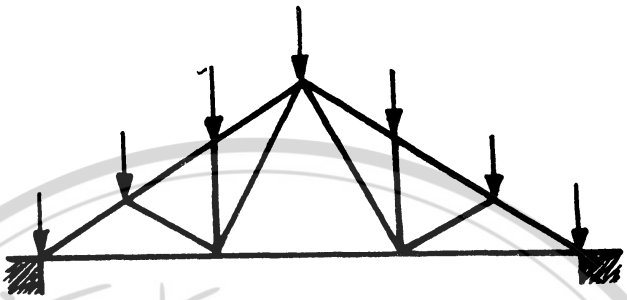
معدنية تدعى الأواصف (Purlins) ، وتكون عادة ذات مقاطع نظامية، كالزوايا (Angels) (L) ، والمجاري (Channels) ([) ، والجوائز ذات المقطع (I) . وهي تحمل بدورها عناصر تغطية السقف، وتكون عادة إما صفائح مموجة من الفولاذ أو التوتياء أو البلاستيك أو الاترنيت، أو صفائح من المقاطع المركبة والمؤلفة من صحيفتين معدنيتين من الأعلى والأسفل يحقن بينهما مواد عازلة خفيفة الوزن لتأمين العزل الحراري والمائي. ويتم تثبيت عناصر التغطية مع الأواصف بواسطة قطع معدنية على شكل براغي أو شناكل .



شكل رقم (١١ ـ ٧) الأسقف ذات الجوائز الشبكية المعدنية.

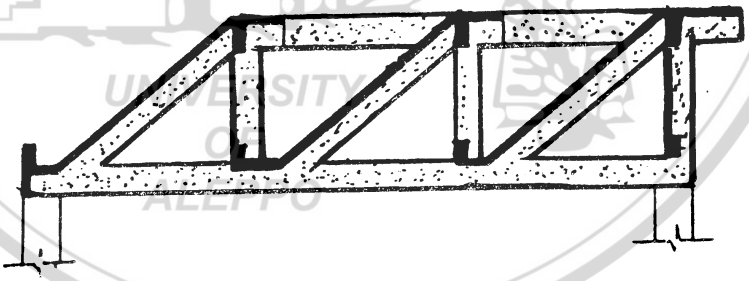
عند التصميم الإنشائي لهذه الأسقف تعتبر كمنشآت مستوية وليست فراغية، حيث يتم التصميم الإنشائي للجوائز العرضية أو الأواصف الحاملة لعناصر التغطية باعتبارها جوائز معدنية مستمرة أو بسيطة تستند على الجوائز الشبكية ، الشكل (١١ ـ ٧)، وبحيث تقاوم الحمولات المنقولة لها من عناصر تغطية السقف، وبعرض المساحة المهشرة المبينة بالشكل (١١ ـ ٧ـ a) . ثم تنقل ردود

أفعال هذه الأواصف كحمولات مركزة على الجائز الشبكي مطبقة في العقد ، الشكل (١١ ـ ٨) . ونحسب القوى الداخلية الناتجة عن هذه الحمولات . وبناء عليها يتم تصميم مقاطع الأعضاء المختلفة .



شكل رقم (١١ ـ ٨) الحمولات المنقولة إلى الجائز الشبكي .

تستخدم الجوائز الشبكية البيتونية المسلحة عادة في الأسقف ذات التغطية ببلاطات من البيتون المسلح ، سواء كانت مسبقة الصنع أم مصبوبة في المكان . وفي هذه الحالة يجب وضع الأعضاء المائلة بحيث تتعرض لقوى ضغط بدلاً من الشد ، حيث أن البيتون جيد المقاومة لقوى الضغط وضعيف



شكل رقم (١١ ـ ٩) الجوائز الشبكية البيتونية المسلحة .

المقاومة لقوى الشد ، الشكل (١١ ـ ٦ ـ b) . ونظراً لصعوبة تنفيذ هذه الجوائز في الموقع فإنها عادة تكون مسبقة الصنع . ويبين الشكل (١١ ـ ٩) مثالاً على هذه الجوائز الشبكية البيتونية ، والتي تحمل بلاطات مائلة لتأمين الإنارة العلوية . ويدعى هذا السقف بسقف أسنان المنشار(Saw tooth roofs) .

١١ ـ ٣ ـ الأقواس: THE ARCHES

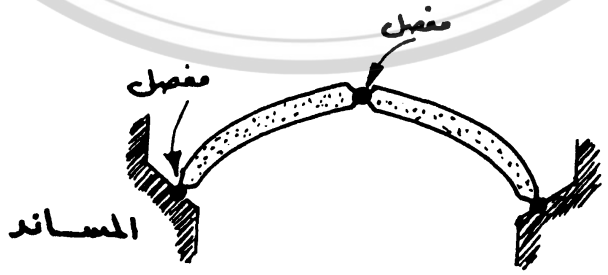
في الأقواس المبنية من الأحجار والآجر ، وكما رأينا ، تكون السماكة كبيرة جداً بحيث لا يتولد في مقاطعها سوى إجهادات الضغط . وتختلف سماكة هذه الأقواس المبنية وذلك حسب مجازاتها والأحمال المطبقة عليها . وفي كثير من الجسور المبنية قديماً على شكل أقواس كانت السماكة في قمة هذه الأقواس تعادل نسبة [$\frac{1}{15}$]من طول المجاز وتزداد هذه السماكة كلما اقتربنا نحو المساند .

أما في الأقواس الحديثة والمبنية من الفولاذ أو البيتون المسلح ، أو حتى الأخشاب ، وحيث يمكن للمادة الإنشائية تحمل إجهادات الشد ، فإنه يمكن أن تكون المجازات أكبر بكثير ، وأبعاد المقاطع أقل . ففي الأقواس البيتونية المسلحة تتراوح نسبة ارتفاع المقطع إلى طول المجازين بين (60 / 1) و (120 / 1) . أما في الأقواس الفولاذية فتتراوح هذه النسبة بين (90 / 1) و (180 / 1) .

يمكن أن تقسم الأقواس الحديثة ، والتي تتعرض لعزوم إنعطاف ، إلى ثلاثة أنواع :
الأقواس ذات المفاصل الثلاثة ، الأقواس ذات المفصلين ، والأقواس الموثوقة الأطراف .

١١ ـ ٣ ـ ١ ـ الأقواس ذات المفاصل الثلاثة: THE THREE HINGESARCHES

تكون هذه الأقواس مقررة توازنياً وتحتوي ثلاثة مفاصل : إحداها في قمة القوس والآخران عند نقطتي الاستناد ، الشكل (١١ ـ ١٠) . ولهذه الأقواس ميزات عدة منها :



شكل رقم (١١ ـ ١٠) القوس ذو المفاصل الثلاثة .

١ ـ نظراً لأنها مقررة توازنياً فإن طرق حساب القوى الداخلية والإجهادات فيها أسهل بكثير من الأنواع الأخرى.

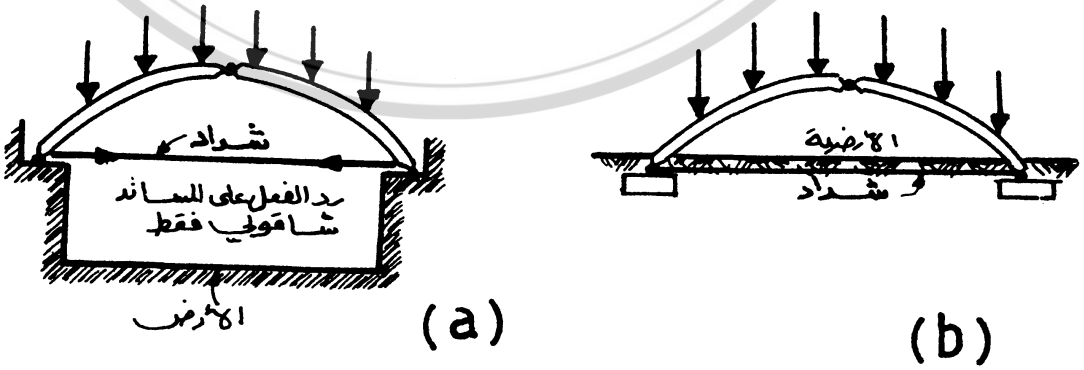
٢ ـ لا يتولد فيها عزوم انعطاف عند قمة القوس أو في نقاط الإستناد نظراً لوجود المفاصل في هذه النقاط، وستكون قيم هذه العزوم أعظمية في منتصف المجازات.

٣ ـ نظراً لأنها مقررة توازنياً فإنها لا تتأثر بالهبوطات المتوقعة في المساند، حيث يمكن لهذه المفاصل أن تدور قليلاً عند حدوث مثل هذه الهبوطات وتمنع تولد إجهادات إضافية في المقاطع. ولذلك فهي تستخدم في حالة الترب الضعيفة وغير المقاومة.

٤ ـ وكذلك فإنها لا تتأثر بتغير درجة الحرارة، حيث يمكن أن تكيف المفاصل شكلها وبحيث تمتص تأثير الاستطالات والتقلصات الناتجة دون تغيير في القوى والإجهادات الداخلية.

ومن أهم مساوئ هذه الأقواس أن عزوم الإنعطاف المطبقة بعيداً عن المفاصل وفي منتصف المجازات تكون كبيرة، وأكبر بكثير منها في الأنواع الأخرى.

وكما في الأقواس المبنية فإنه سيتولد عند المساند قوى ضغط أفقية كبيرة، وكلما كان القوس ضحلاً (Shalow)، أي ذو ارتفاع أصغر، كلما زادت هذه القوى. ويمكن إلغاء تأثيرها على المساند وذلك بربط طرفي القوس عند نقاط الاستناد بواسطة عنصر يتحمل قوى الشد الناتجة ويدعى بالشداد (The tie). إلا أن وجود مثل هذا الشداد قد يكون غير مناسب في بعض الأحيان، نظراً لأنه يقطع الفراغ الداخلي للمنشأ، الشكل (١١ ـ ١١ـa). أما في الأقواس التي تستند على الأرض مباشرة فإنه



شكل رقم (١١ ـ ١١) الأقواس ذات الشدادات.

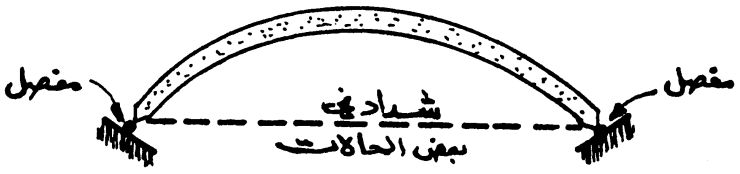
يمكن إخفاء مثل هذا الشداد تحت الأرضية وبحيث يكون غير ظاهر للعيان، الشكل (١١-١١b)، ولا يؤدي لقطع الفراغ الداخلي للمنشأ.

يمكن أن تكون هذه الأقواس من البيتون المسلح، أو ذات مقطع فولاذي مصمت، كما يمكن أن تتشكل من هيكل فولاذي على شكل جائز شبكي قوسي، الشكل (١١ - ١٢).

شكل رقم (١١ - ١٢) الأقواس الشبكية.

١١ - ٣ - ٢ - الأقواس ذات المفصلين: THE TWO HINGES ARCHES

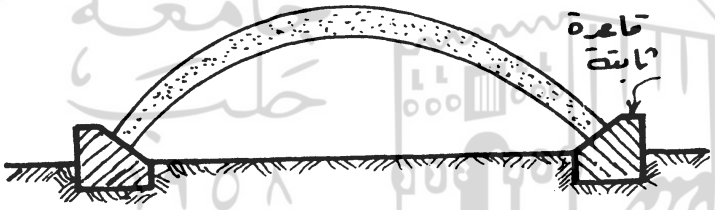
يحتوي هذا النوع من الأقواس على مفصلين اثنين فقط عند نقطتي الاستناد، الشكل (١١ - ١٣). وهذا النوع أكثر استخداماً من النوع الأول. وتكون عزوم الانعطاف فيه موزعة بشكل أكثر انتظاماً وقيمها أصغر من النوع الأول، ولذلك فهي أكثر اقتصادية في المواد المستخدمة. إلا أن هذه الأقواس غير مقررة توازنياً، لذلك فإن الهبوطات في المساند وكذلك التغيرات في درجة الحرارة تؤثران على القوى والإجهادات الداخلية.



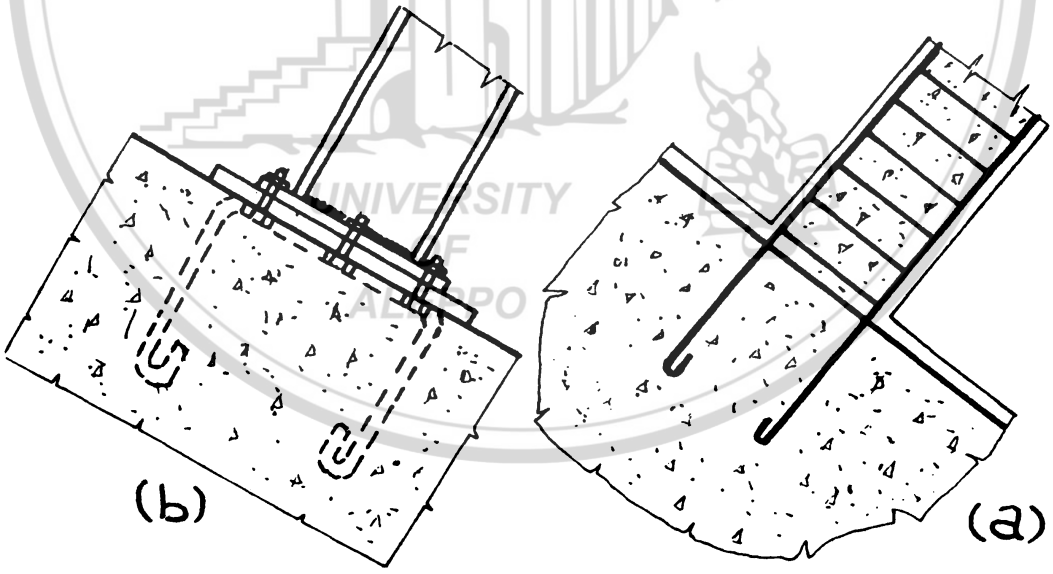
شكل رقم (١١ - ١٣) الأقواس ذات المفصلين.

١١ ـ ٣ ـ ٣ ـ الأقواس الموثوقة الأطراف : THE FIXED OR RIGID ARCHES

لا يحتوي هذا النوع من الأقواس على أية مفاصل، ويكون القوس موثوق الطرفين مع القواعد، الشكل (١١ ـ ١٤). وتكون عزوم الإنعطاف في هذا النوع أصغر منها في الأنواع السابقة، إلا أنها تتميز بوجود هذه العزوم عند المساند مما يؤدي إلى تعرض القواعد والأساسات لعزوم انعطاف كبيرة نتيجة للوثاقة التامة مع القوس، ولذلك فإن هذه الأقواس لا تستخدم إلا إذا كانت التربة صخرية وقاسية وقادرة على تحمل القوى والعزوم المطبقة.



شكل رقم (١١ ـ ١٤) الأقواس الموثوقة.



شكل رقم (١١ ـ ١٥) الوثاقة في الأقواس :

a ـ الوثاقة في الأقواس البيتونية المسلحة.

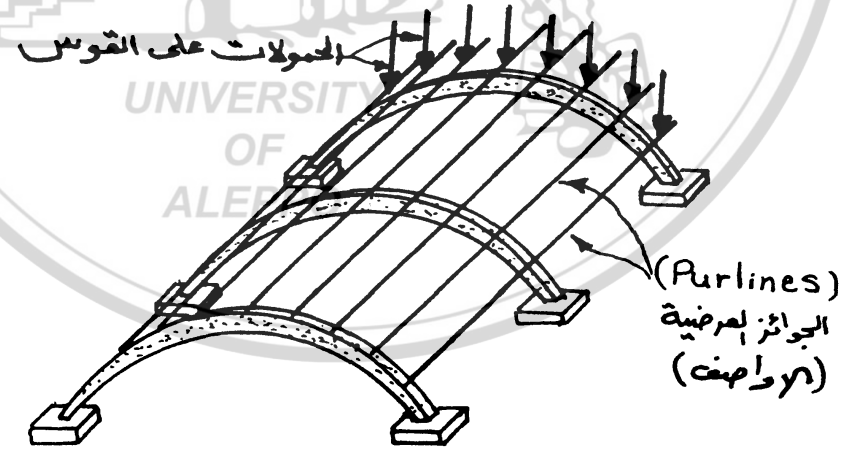
b ـ الوثاقة في الأقواس الفولاذية.

ولضرورة تأمين الوثاقة التامة بين القواعد البيتونية والأقواس، وفي حالة الأقواس البيتونية المسلحة يتم تثبيت فولاذ تسليح الأقواس بشكل مناسب ضمن القواعد، ويتم صبهما معاً وبشكل مستمر ومتجانس. الشكل (١١-١٥-a) .أما في حالة الأقواس الفولاذية فتوثق أطراف الأقواس بواسطة الصفائح المعدنية الطرفية مع صفائح الأساسات بواسطة البراغي واللحام ، الشكل (١١-١٥-b) .

١١-٣-٤-المنشآت القوسية: THE ARCH STRUCTURES

يبين الشكل (١١-١٦) شكلاً من المنشآت التي تستخدم الأقواس المتتالية كهياكل إنشائية أساسية، وكما في الجوائز الشبكية، إذا كانت التغطية معدنية ، كان هناك جوائز عرضية معدنية (أواصف)، تستند عليها التغطية العلوية، وتنقل الحمولات الناتجة عن هذه التغطية وعن حمولة الرياح إلى الأقواس الرئيسية .

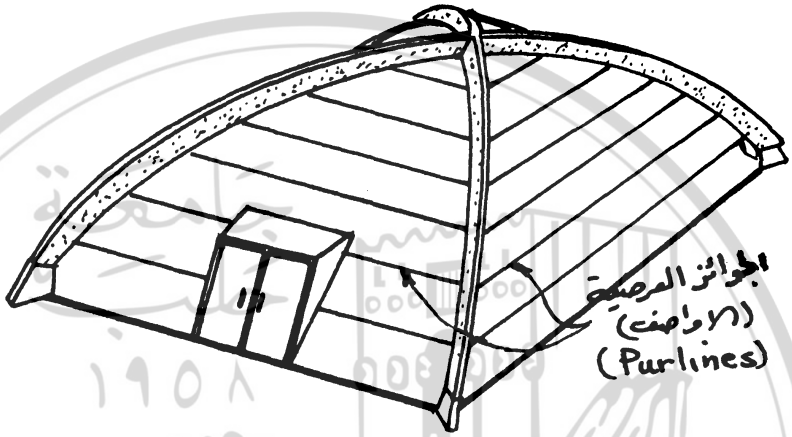
أما في حالة الأسقف البيتونية المسلحة فيمكن تنفيذ بلاطات بأشكال مختلفة تستند على الجوائز العرضية البيتونية المسلحة والتي تنقل الحمولات بدورها إلى الأقواس.



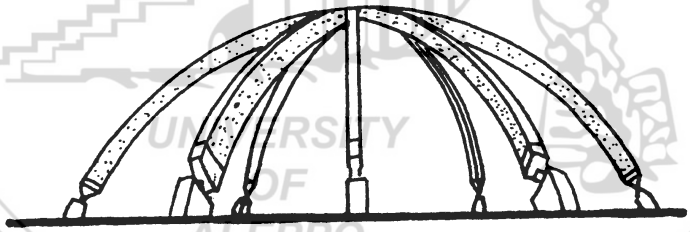
شكل رقم (١١-١٦) المنشآت ذات الأقواس المتتالية.

كما يبين الشكل (١١-١٧) شكلاً آخر من المنشآت القوسية التي تستخدم الأقواس

القطرية المتقاطعة، حيث يتألف المنشأ من قوسين متقاطعين، يتشكل تحتهما فراغ مستطيل الأبعاد يمكن استخدامه كمخزن أو مستودع. وتمتد بهذه الحالة الجوائز العرضية (الأواصف) على المحيط وبالاتجاهين. كما يبين الشكل (١١-١٨) شكلاً آخر من الأقواس القطرية المحيطية المتقاطعة والتي تشكل مساحة نصف كروية.

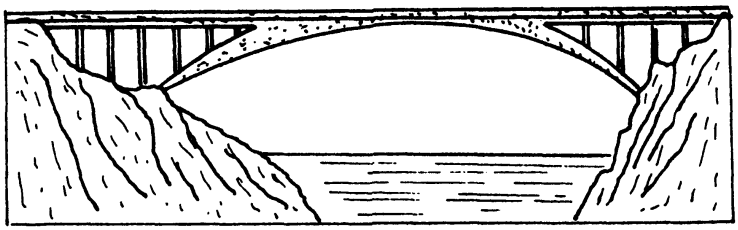


شكل رقم (١١-١٧) المنشآت القوسية المستطيلة ذات القوسين القطريين المتقاطعين.



شكل رقم (١١-١٨) المنشآت القوسية الدائرية ذات الأقواس المحيطية المتقاطعة.

كما تستخدم الأقواس عادة في جسور الطرق أو السكك الحديدية المختلفة ولعبور الوديان السحيقة وذات الطبيعة الصخرية، الشكل (١١-١٩)، حيث لا يمكن عملياً بناء مساند أو دعامات عالية ممتدة لقعر الوادي، وإنما يمكن نظراً لطبيعة التربة الصخرية القاسية تحمل قوى الضغط وعزوم الانعطاف الكبيرة المتولدة عند مساند هذه الأقواس.



شكل رقم (١١ ـ ١٩) الجسور القوسية.

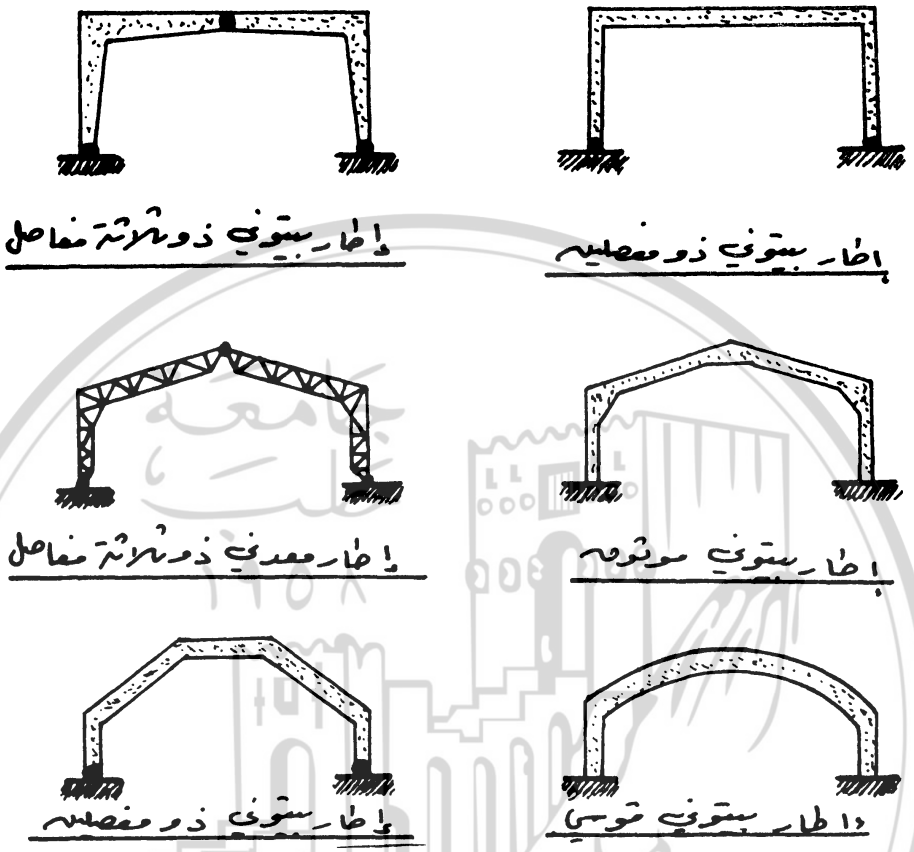
١١ ـ ٤ ـ الإطارات : THE FRAMES

تعتبر الإطارات من حيث المقاومة والتأثير كالأقواس، إلا أنها مكونة من عناصر مستقيمة وعقد صلبة بدلاً من العناصر المنحنية . وهي تختلف اختلافاً جذرياً عن الجوائز المستندة استناداً بسيطاً على الأعمدة، والتي تقاوم فيها الأحمال بواسطة عزوم الانعطاف المتولدة في الجوائز فقط، ومن ثم تنتقل الحمولات إلى الأعمدة كقوى ناظمية فقط دون عزوم انعطاف. أما في الإطارات ونظراً لوجود العقد الصلبة بين الجوائز والأعمدة فإن كلاهما سيشترك في مقاومة الأحمال المطبقة .

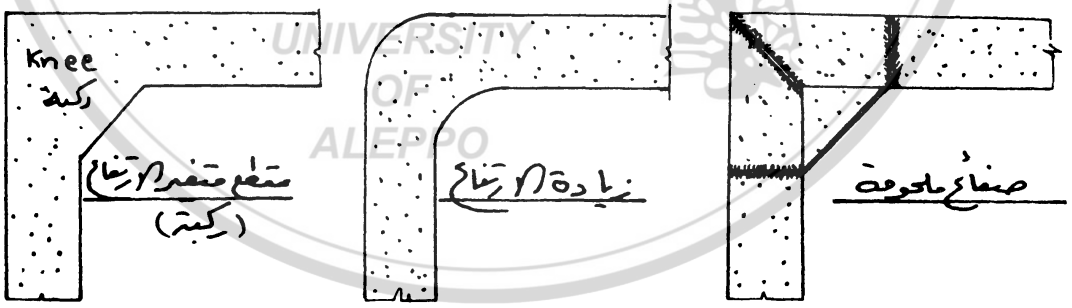
يبين الشكل (١١ ـ ٢٠) بعض الأشكال المألوفة للإطارات ذات المجاز والطابق الواحد وكما في الأقواس يمكن أن تكون هذه الإطارات ذات ثلاثة مفاصل، أو مفصلين ، أو إطارات موثوقة الأطراف. ويجب التنويه إلى أن الإطارات يمكن أن تكون متعددة المجازات أو متعددة الطوابق أو كلاهما معاً.

يعتمد توزيع عزوم الانعطاف في الإطارات وبصورة كبيرة على صلابة عناصره ، فإذا كانت الأعمدة قصيرة ومقاطعها ذات أبعاد كبيرة بالمقارنة مع الجوائز ذات المجازات الطويلة والمقاطع صغيرة الأبعاد، صلابة الأعمدة أكبر من صلابة الجائز، كانت عزوم الانعطاف كبيرة في العقد وصغيرة عند منتصف الجائز. وعلى العكس، إذا كان الجائز قصيراً وكبير المقطع والأعمدة طويلة ونحيلة ، صلابة الجائز أكبر من صلابة الأعمدة ، كانت عزوم الانعطاف صغيرة في العقد وكبيرة عند منتصف الجائز، وفي الحالات العملية وللإطارات ثابتة المقطع تكون قيم عزوم الإنعطاف في العقد أكبر منها عند منتصف الجائز، لذلك تقوى هذه العقد بإضافة مواد أكبر لها كالصفائح الملحومة، أو بزيادة الارتفاع، أو بجعلها

على شكل مقطع متغير الارتفاع، ركبة (Knee) ، الشكل (١١-٢١).



شكل رقم (١١ - ٢٠) بعض الأشكال المألوفة للإطارات .

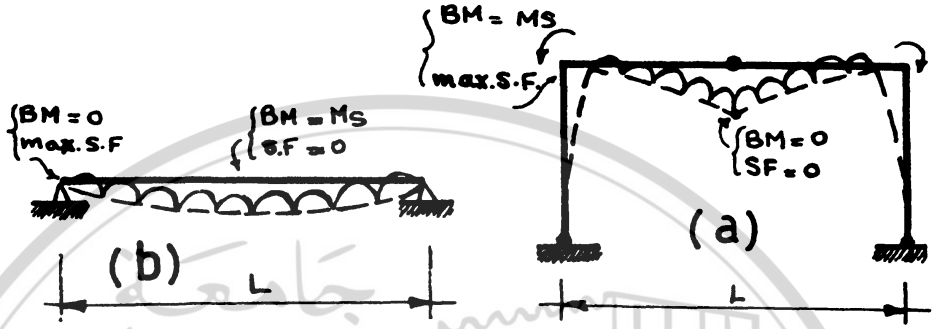


شكل رقم (١١ - ٢١) تقوية العقد في الإطارات.

١١ - ٤ - ١ - الإطارات ذات المفاصل الثلاثة: THE THREE HINGES FRAMES

تكون هذه الإطارات مقررة توازنياً ، وتحتوي ثلاثة مفاصل أحدها في منتصف الجائز والآخران

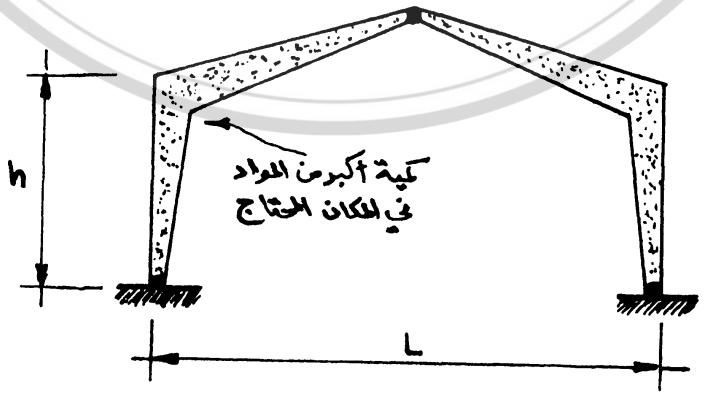
عند نقاط الاستناد، الشكل (١١ ـ ٢٢) . وإذا حملت هذه الإطارات بحمولات موزعة بانتظام كما هو مبين بالشكل (١١ ـ ٢٢ ـ a)، فإن الجائز سيتصرف كظفرين، ولن تتولد في منتصف الجائز أية عزوم انعطاف نتيجة لوجود المفصل. وتكون عزوم الانعطاف الأعظمية عند طرفي الجائز مساوية في القيمة، في حالة التحميل هذه ، لعزوم الإنعطاف في منتصف الجائز البسيط، ذي نفس المجاز.



شكل رقم (١١ ـ ٢٢) الإطار ذو المفاصل الثلاثة.

للوهلة الأولى يبدو لنا أنه ليس هناك أية فائدة من تنفيذ الإطار ذو المفاصل الثلاثة بدلاً من الجائز البسيط المستند على عمودين، حيث أن لكليهما نفس قيم عزوم الإنعطاف. إلا أنه وبالملاحظة الدقيقة نرى أن كلا عزوم الإنعطاف وقوى القص الأعظمية في الإطار تتركز في العقد مما يساعد على مقاومتهما معاً بوضع كمية إضافية من المواد عند هذه العقد ودون أن تؤثر هذه الكمية الإضافية على عزوم الإنعطاف المطبقة، الشكل (١١ـ ٢٣).

UNIVERSITY OF ALEPPO



شكل رقم (١١ ـ ٢٣) توزع المواد في الإطارات ذي المفاصل الثلاثة.

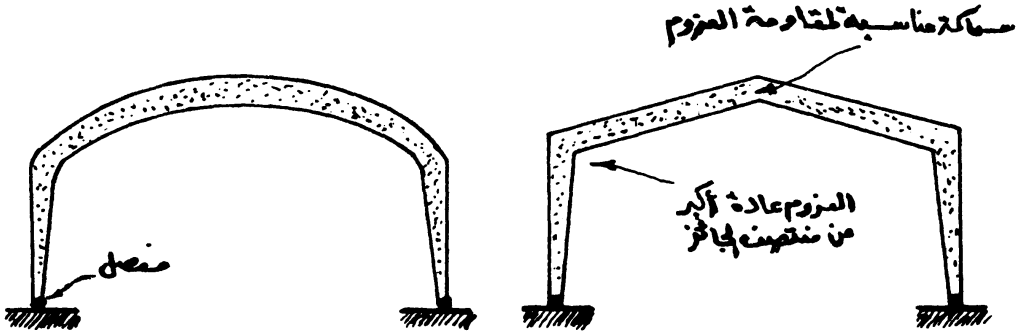
في الإطارات، وكما في الأقواس، ستتولد قوى أفقية كبيرة عند المساند، وخاصة إذا كان الاطار منخفض الارتفاع. وكلما زادت نسبة المجاز إلى الارتفاع(l / h) كلما زادت هذه القوى. ويمكن في بعض الإطارات كما في الأقواس استخدام الشدادات بين المساند لمقاومة هذه القوى. الشكل، (١١ ـ ١٠ـb) ، إذا كان ذلك لا يعيق استخدام المنشأ. كما يمكن أخذ هذه القوى بعين الاعتبار عند تصميم الأساسات.

١١ ـ ٤ ـ ٢ ـ الإطارات ذات المفصلين: THE TWO HINGES FRAMES

يحتوي هذا النوع من الإطارات على مفصلين اثنين فقط عند نقطتي الاستناد، الشكل (١١ ـ ٢٤)، وهذا النوع أكثر استخداماً من النوع الأول. وتكون عزوم الانعطاف فيها أكثر توزعاً على كامل

شكل رقم (١١ ـ ٢٤) الاطار ذو المفصلين.

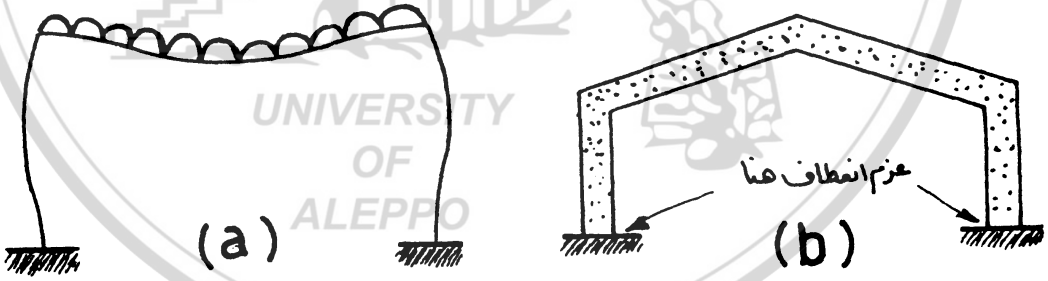
العناصر منها في الإطارات ذات المفاصل الثلاثة، وبالتالي فهي أكثر اقتصادية في استخدام المواد. ونظراً لتوزع عزوم الإنعطاف ولتولدها في منتصف مجاز الجائز فإننا نستخدم عادة مقاطع ذات أبعاد ثابتة في هذه الإطارات. ويبين الشكل (١١ ـ ٢٥) بعض الأشكال المألوفة لهذه الاطارات حيث يمكن أن يكون الجائز مستقيماً أو مائلاً أو على شكل قوس منحن.



شكل رقم (١١ ـ ٢٥) بعض الأشكال المألوفة للإطارات ذات المفصلين.

١١ ـ ٤ ـ ٣ ـ الإطارات الموثوقة الأطراف: THE FIXED OR RIGID FRAMES

لا يحتوي هذا النوع من الإطارات على أية مفاصل، ونظراً لأن طرفا الإطار موثقين بشكل تام مع القواعد والأساسات فإن هذه الإطارات ستنحني كما هو مبين بالشكل (١١ ـ ٢٦ ـ a) . لذلك أن تكون مقاطع الاطار عند نقاط الاستناد ذات سماكة كافية لمقاومة عزوم الإنعطاف هذه، الشكل(١١ـ٢٦ـb) .

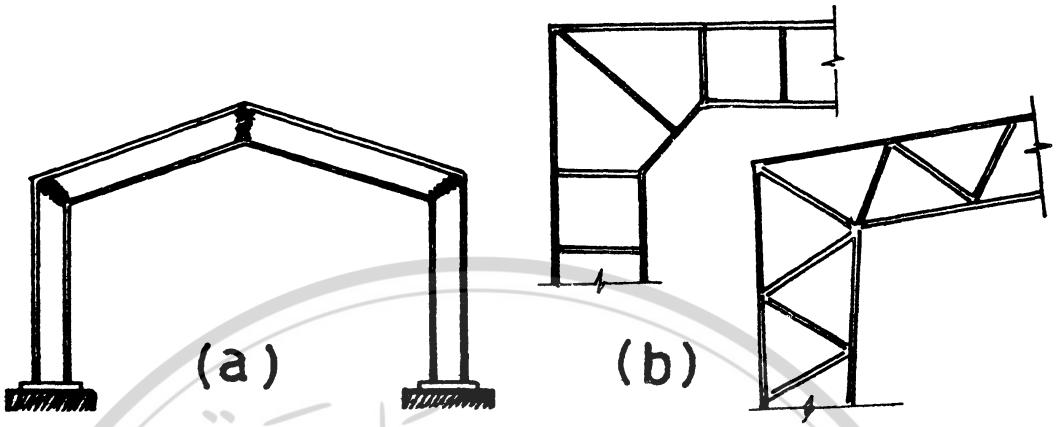


شكل رقم (١١ ـ ٢٦) الاطارات الموثوقة الأطراف.

١١ ـ ٤ ـ ٤ ـ المنشآت الإطارية: THE FRAME STRUDURES

يمكن في الإطارات الفولاذية ذات المجازات الصغيرة استخدام مقاطع فولاذية على شكل مقطع (I) ، ملحومة مع بعضها البعض، الشكل (١١ ـ ٢٧ ـ a) . بينما يستخدم في المجازات الطويلة المقاطع

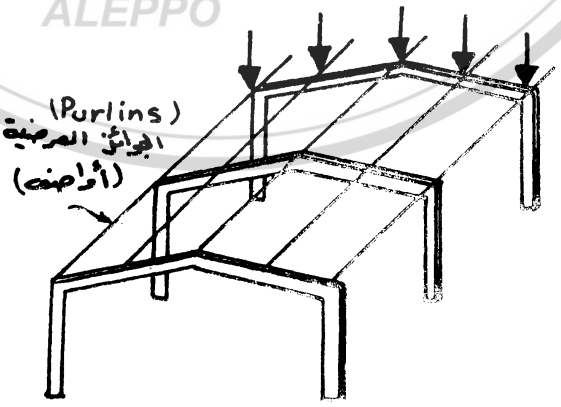
المركبة من الصفائح والزوايا والمقواه بالاتجاه العرضي بشكل عمودي مثلثي، الشكل (١١ ـ ٢٧ ـ b).



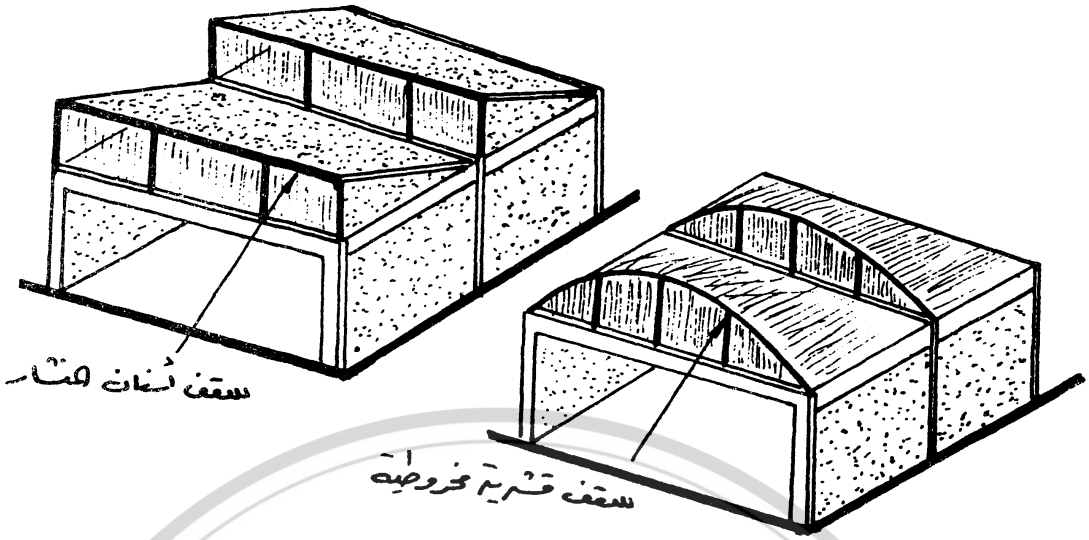
شكل رقم (١١ ـ ٢٧) الإطارات الفولاذية.

في المنشآت الإطارية الفولاذية ذات التغطية المعدنية يكون هناك عادة وكما في الجوائز الشبكية والأقواس جوائز عرضية (أواصف) تقاوم الحمولات المطبقة من تغطية الأسقف وتنقلها إلى الإطارات، الشكل (١١ ـ ٢٨) .أما في الإطارات البيتونية المسلحة فيمكن أن تكون التغطية مؤلفة من بلاطات وجوائز عرضية، أو بلاطات مائلة كأسقف أسنان المنشار، أو منشآت قشرية مستندة على الإطارات كالقشريات المخروطية مثلاً. الشكل (١١ ـ ٢٩).

UNIVERSITY OF ALEPPO



شكل رقم (١١ ـ ٢٨) المنشآت الإطارية ذات التغطية المعدنية.



شكل رقم (١١ ـ ٢٩) المنشآت الإطارية البيتونية المسلحة .

كما يمكن في بعض الحالات الخاصة والمجازات الصغيرة استعمال الإطارات الخشبية وفي هذه الحالة تكون التغطية خفيفة الوزن ومؤلفة من الجوائز العرضية الخشبية الحاملة لألواح التغطية الخشبية أو الآجر، الشكل (١١ ـ ٣٠) .

شكل رقم (١١ ـ ٣٠) المنشآت الإطارية الخشبية .

وأخيراً يجب التنويه إلى أن بعض المصممين الإنشائيين، يفضلون استخدام الإطارات، بصورة

عامة ، أكثر من الأقواس نظراً لإمكانية تنفيذها بالشكل المطلوب، ولعدم ضرورة وجود الشدادات الداخلية بها كالأقواس والتي يمكن أن تقطع الفراغ الداخلي.

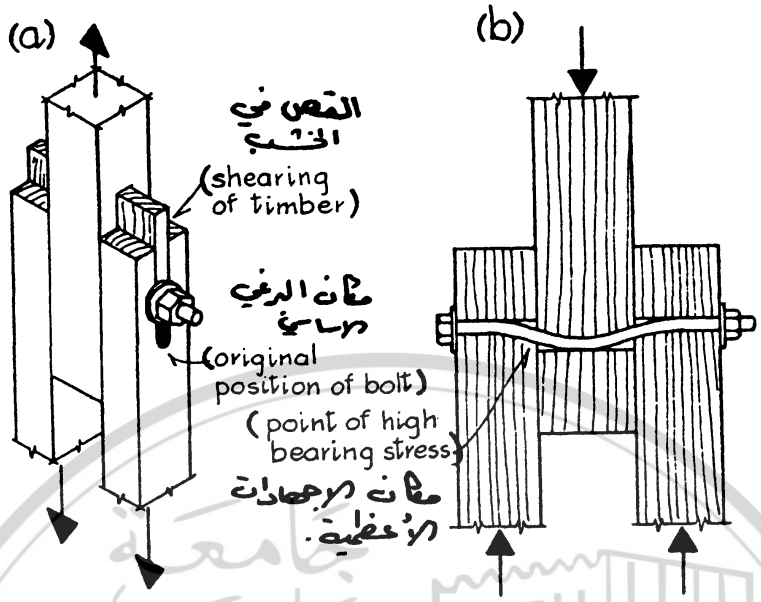
١١ ـ ٥ ـ الوصلات والمفاصل: THE CONNECTIONS AND HINGES

إن جميع العناصر الإنشائية كالجوائز والأعمدة والشدادات في الأسقف والجوائز الشبكية وبقية المنشآت يجب أن تكون متصلة مع بعضها البعض، وبشكل ثابت، وبحيث تتمكن من نقل القوى والحمولات المطبقة على العناصر المختلفة وبأمان تام إلى القواعد والأساسات، وقد تم تطور أشكال وطرق كثيرة للوصلات في المواد الإنشائية المختلفة وبحيث تحقق الشروط الإنشائية المطلوبة في مثل هذه الوصلات.

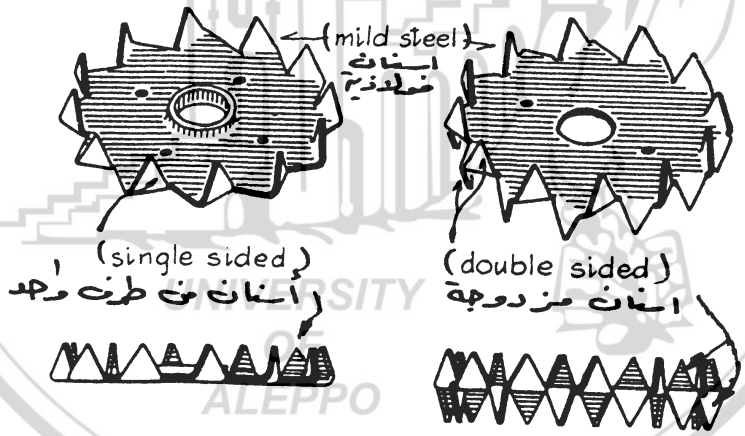
١١ ـ ٥ ـ ١ ـ الوصلات الخشبية: THE TIMBER CONNECTIONS

تنفذ الوصلات الخشبية وبسهولة بواسطة المسامير (Nails) والبراغي (Screws) والبراشيم (Bolts). ويتم ذلك بحفر ثقوب ذات قطر أصغر قليلاً من قطر البراغي والمسامير المستخدمة ثم إدخالها في هذه الثقوب مما يعطي قوة أكبر لهذه الوصلات. وعادة تكون مقاومة هذه الوصلات ضعيفة ولا تتعدى نسبة 15% من مقاومة الأخشاب الموصولة بها. وإن ذلك عائد لضعف مقاومة الأخشاب لقوى القص الناتجة، وخاصة باتجاه الألياف الطولية، الشكل (١١ ـ ٣١ـa)، وكذلك نتيجة لانسحاق الأخشاب عند أطراف البراغي والمسامير، الشكل (١١ ـ ٣١ـb).

ولزيادة مقاومة وصلات الأخشاب يستخدم حالياً قطع وصل فولاذية (Connector) لزيادة مقاومتها، وذلك بزيادة مساحة المنطقة المقاومة، وهناك أشكال كثيرة ومختلفة لقطع الوصل هذه، ولكن من أشهرها القطع التي تدعى بوصلات بولدج (Buldog connector)، الشكل (١١ ـ ٣٢). ولوصل عدة قطع من الأخشاب يتم حفر ثقب في هذه القطع، ثم توضع قطع الوصل ذات الأسنان بينها كما في الشكل (١١ ـ ٣٣ ـ a)، ثم تشد البراغي بقوة مما يؤدي إلى انغراس الأسنان المعدنية

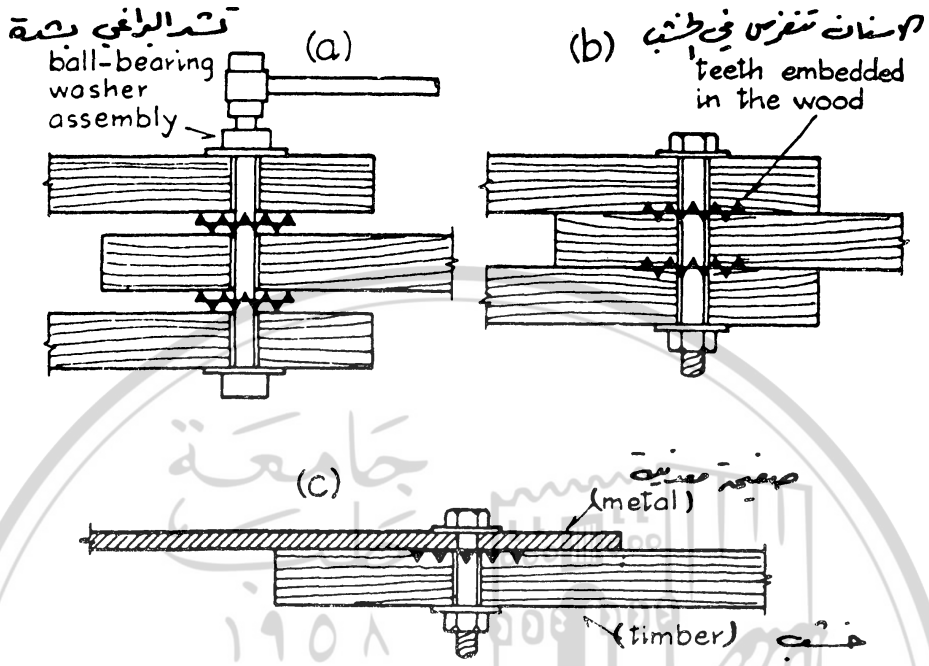


شكل رقم (١١ ـ ٣١)أسباب إنهيار الوصلات الخشبية .



شكل رقم (١١ ـ ٣٢) قطع الوصل الفولاذية (Buldog) .

لقطع الوصل في الأخشاب، الشكل (١١ ـ ٣٣ ـ b)مثبتة إياها مع بعضها البعض وبشكل تام. ولوصل قطعة معدنية مع قطعة خشبية يمكن استخدام قطع الوصل ذات الأسنان من طرف واحد كما في الشكل (١١ ـ ٣٣ ـ c) .



شكل رقم (١١ - ٣٣) الوصلات الخشبية باستخدام قطع الوصل الفولاذية .

١١ - ٥ - ٢ - الوصلات الفولاذية: THE STEEL CONNECTIONS

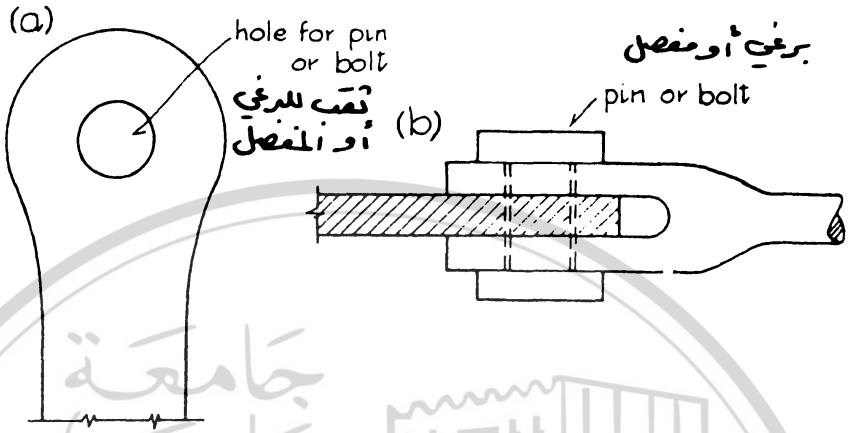
تكون الوصلات الفولاذية عادة إما وصلات مفصلية أو موثوقة بالبراغي والبراشيم أو باستخدام اللحام.

١١ - ٥ - ٢ - ١ - الوصلات الفولاذية المفصلية :

THE STEEL HINGED CONNECTIONS

يبين الشكل (١١ - ٣٤) وصلة مفصلية بين قضيب ذو نهاية دائرية موسعةومثقوب في الوسط ، الشكل (١١-٣٤-a) وقضيب ثان له نهاية على شكل شوكة . وعند وصلهما بواسطة برغي معدني أو برشيم ، وباهمال قوى الاحتكاك ، نرى أن هذه الوصلة لا تتحمل أية عزوم انعطاف . استخدمت هذه

الوصلات المفصلية بكثرة في عناصر الجوائز الشبكية المعدنية، إلا أن استخدامها قد قل حالياً وبشكل كبير نظراً لصعوبة تصنيعها.

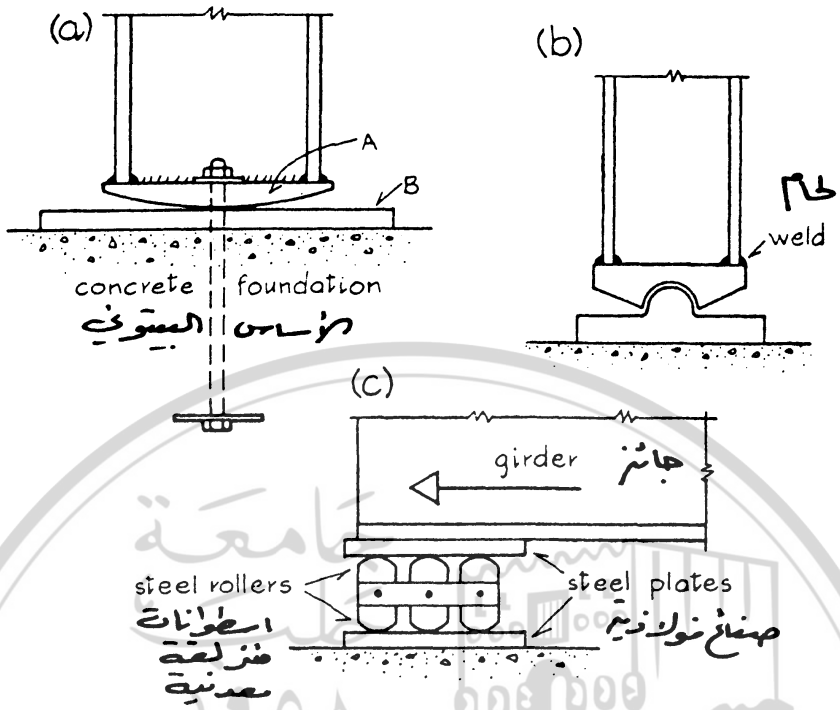


شكل رقم (١١ ـ ٣٤) الوصلات الفولاذية المفصلية.

١١ ـ ٥ ـ ٢ ـ ٢ـ المساند الفولاذية المفصلية :

THE STEEL HINGED SUPPORTS

يبين الشكل (١١ ـ ٣٥ـa) شكلاً من أشكال المساند الفصلية الثابتة (The hinges) المستخدمة في نقاط استناد الأقواس والإطارات الفولاذية على الأساسات البيتونية. حيث تنفذ الصفيحة المعدنية (A) والمثبتة مع طرف الإطار باللحام بشكل منحن يسمح بدورانها على الصفيحة (B) التي تستند عليها بحرية. كما تثبت الصفيحة (B) بشكل جيد على الأساس البيتوني. ولمنع الانزلقات الأفقية ولمنع حركة الإطار تربط الصفيحتان معاً ببراغي فولاذية قوية. كما يبين الشكل (١١ ـ ٣٥ـb) شكلاً آخر في المساند المفصلية حيث يكون لصفيحة القاعدة نتوءاً اسطوانياً يدخل ضمن صفيحة الإطار العلوية، وبحيث يسمح بالدوران ويمنع الحركة الأفقية. كما يبين الشكل (١١ ـ ٣٥ ـ c) شكلاً مبسطاً للمسند المفصلي المنزلق (The roller) والذي يسمح بالحركة الأفقية وبحدود معينة إضافة إلى عدم مقاومته عزوم الانعطاف.



شكل رقم (١١ ـ ٣٥) أشكال المساند الفولاذية المفصلية الثابتة والمنزلقة.

١١ ـ ٥ ـ ٢ ـ ٣ ـ الوصلات الفولاذية الموثوقة:

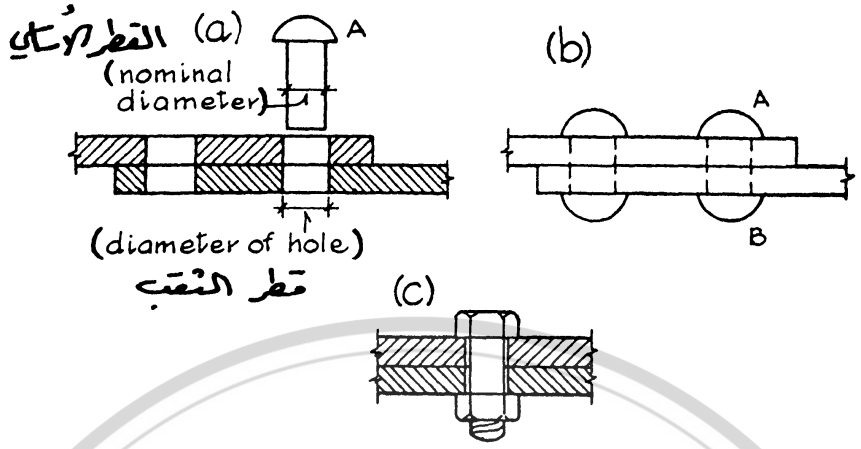
THE STEEL FIXED CONNECTIONS

تستخدم البراشيم (Rivets) والبراغي (Bolts) واللحام (Welding) في تنفيذ الوصلات الفولاذية الثابتة أو الموثوقة في المنشآت والهياكل الفولاذية . وتستخدم البراشيم بصورة أساسية في الوصلات التي يتم تنفيذها في ورشات التصنيع ، بينما تستخدم البراغي في الوصلات التي تنفذ في موقع العمل .

تكون البراشيم عادة من الفولاذ الأسود وذات رأس دائري كمافي الشكل (١١ـ٣٦ـa) ، وتنفذ ثقوبها في الصفائح بقطر أكبر قليلاً من قطر البرشيم الأساسي. ثم تسخن هذه البراشيم حتى درجة الإحمرار والتلدن ، وتدخل في مكانها ثم تطرق بشدة ، ليتشكل رأس البرشيم الآخر وبحيث يضغط بشدة على الصفائح ، وكذلك ليمتلىء الفراغ بين البرشيم والثقب بالمعدن .

أما البراغي فيمكن أن تكون من الفولاذ الأسود أو من الفولاذ عالي المقاومةوتثبت وتشد يدوياً أو

بواسطة آلات خاصة.



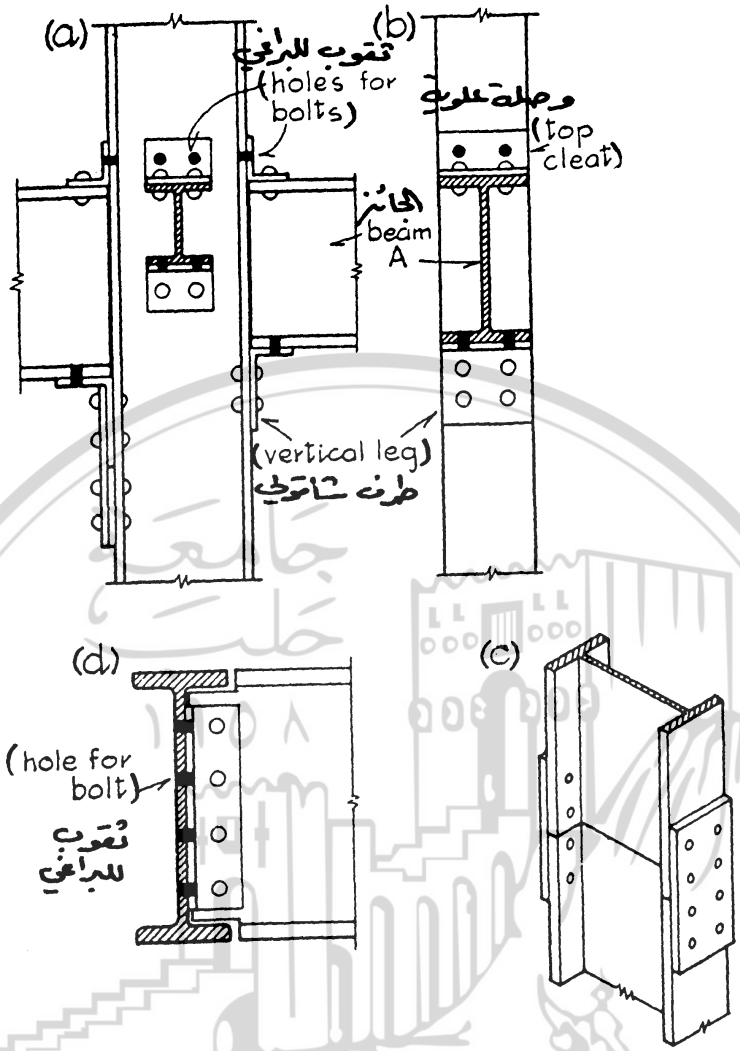
شكل رقم(١١ ـ ٣٦) وصلة الصفائح الفولاذية بالبراشيم والبراغي.

يتم نقل القوى في الوصلات الفولاذية الثابتة بواسطة قوى الاحتكاك بين الصفائح نتيجة لقوى الضغط الناتجة عن شد الباشيم والبراغي إضافة إلى قوى القص في جسدها.

يبين الشكل (١١ ـ ٣٧ ـ a وb) وصلة فولاذية بسيطة بين عمود معدني تستند عليه عدة جوائز وباتجاهات مختلفة، وبحيث تثبت مع كلا الأجنحة والجسد. ويمكن ملاحظة وجود زوايا معدنية لاستناد الجوائز في مكانها قبل التثبيت وهي متصلة مع العناصر المختلفة بواسطة البراشيم المنفذة مسبقاً في ورشات التصنيع إضافة إلى وجود ثقوب في هذه العناصر يتم شد البراغي فيها أثناء التركيب والتثبيت في الورشة . كما يبين الشكل (١١ ـ ٣٧ـc) طريقة وصل الأعمدةالفولاذية بواسطة صفائح إضافية، ويبين الشكل(١١ ـ ٣٧ـd) طريقة أخرى لوصل جائزين معدنيين متقاطعين متساوي الارتفاع.

أما اللحام فيمكن أن يتم بطرقتين أساسيتين: هما طريقة اللحام بالأوكسي ـ أسيتيلين (Oxy - acetylene) ، وطريقة اللحام الكهربائي (Electric - arc) . إلا أن طريقة القوس الكهربائي هي الأكثر استخداماً في المنشآت المعدنية الهندسية.

إن غاز الاسيتيلين (Acetylene) مركب مؤلف من عنصري الهيدروجين (Hydrogen) والكربون ، الفحم (Carbon) ، وعند مزجه بالأوكسجين (Oxygen) وإشعاله يعطينا لهباً ذا حرارة مرتفعة ، حوالي

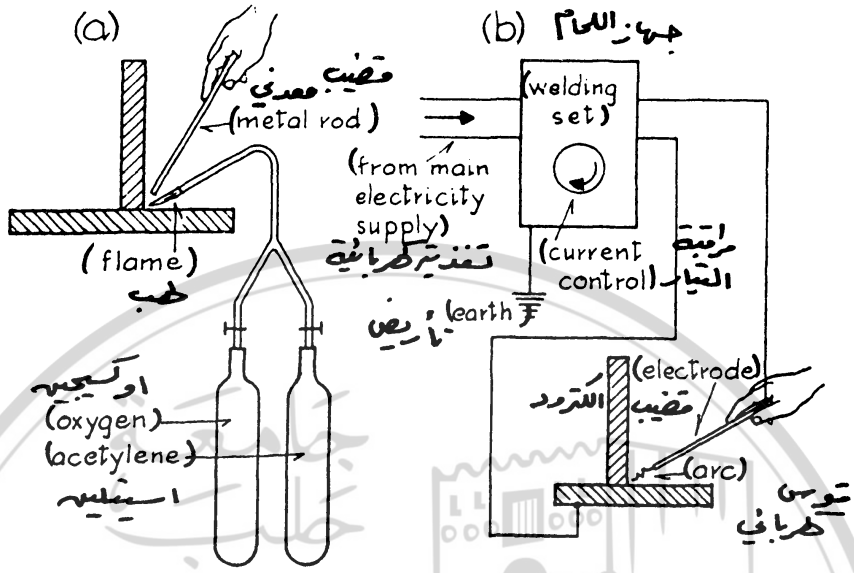


شكل رقم (١١ ـ ٣٧) الوصلات الفولاذية الثابتة بالبراغي والبراشيم .

(2000°C - 3000°C) .ويستخدم هذا اللهب لإذابة قضيب معدني، عادة مايكون نحاسياً أو فولاذيا، إضافة لأطراف الصفائح الملحومة وبحيث يندمج المعدنان السائلان معاً، الشكل(١١ـ٣٨a) . وبعد التبريد تصبح الصفائح الملحومة قطعة واحدة. وتستخدم هذه الطريقة عادة وبصورة أساسية للحام الصفائح ذات السماكات الصغيرة، كما يستخدم عادة في قطع الصفائح والمقاطع المعدنية المختلفة.

أما في اللحام بالقوس الكهربائي فيتم توليد الحرارة اللازمة لإذابة قضيب اللحام بواسطة قوس

كهربائي ناتج عن تيار تولده آلة لحام خاصة ، الشكل (١١ ـ ٣٨ ـb) . ويدعى قضيب اللحام



شكل رقم (١١ ـ ٣٨) ـ طريقتي اللحام للمقاطع المعدنية :

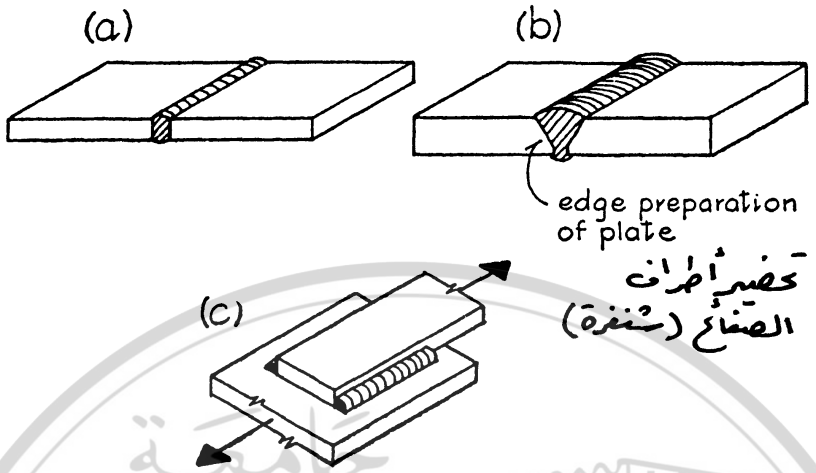
a ـ اللحام بالأوكسي ـ اسيتيلين.

b ـ اللحام بالقوس الكهربائي.

بالألكترود (Electrode) . ويكون عادة من نفس نوع الفولاذ الملحوم مغلفاً بمادة تمنع التفاعل الكيميائي بين الفولاذ المذاب وأكسجين الهواء . ويتم اللحام وذلك بتقريب قضيب الألكترود من منطقة اللحام مما يؤدي إلى إغلاق الدارة الكهربائية وتشكل قوس كهربائي ذو حرارة مرتفعة جداً تذيب الألكترود و أطراف الصفائح المعدنية ، ويحيث يندمج المعدنان السائلان مشكلين قطعة واحدة. وتستخدم هذه الطريقة للحام الصفائح والقطع ذات السماكات الكبيرة.

يمكن لحام الصفائح ذات السماكات الصغيرة والتي لا تزيد عن (5mm) مباشرة دون تحضير أطرافها ، الشكل (١١ ـ ٣٩ـa) ، أما إذا كانت السماكات كبيرة فإنه يجب تحضير الأطراف لتأمين اللحام الجيد وملء جميع الفراغات ، ويتم ذلك بتسوية أطراف الصفائح بشكل مائل ، وتدعى هذه العملية بالشنفرة ، (Bevelling) ، الشكل (١١ ـ ٣٩ ـb) . كما يمكن أن تكون بأشكال مختلفة عديدة . وإذا تم اللحام بالشكل المطلوب وبصورة نظامية وصحيحة فإن مقاومة منطقة اللحام تساوي ،

على الأقل، أو تفوق مقاومة الصفائح الملحومة .



شكل رقم (١١ ـ ٣٩) طرق اللحام المختلفة.

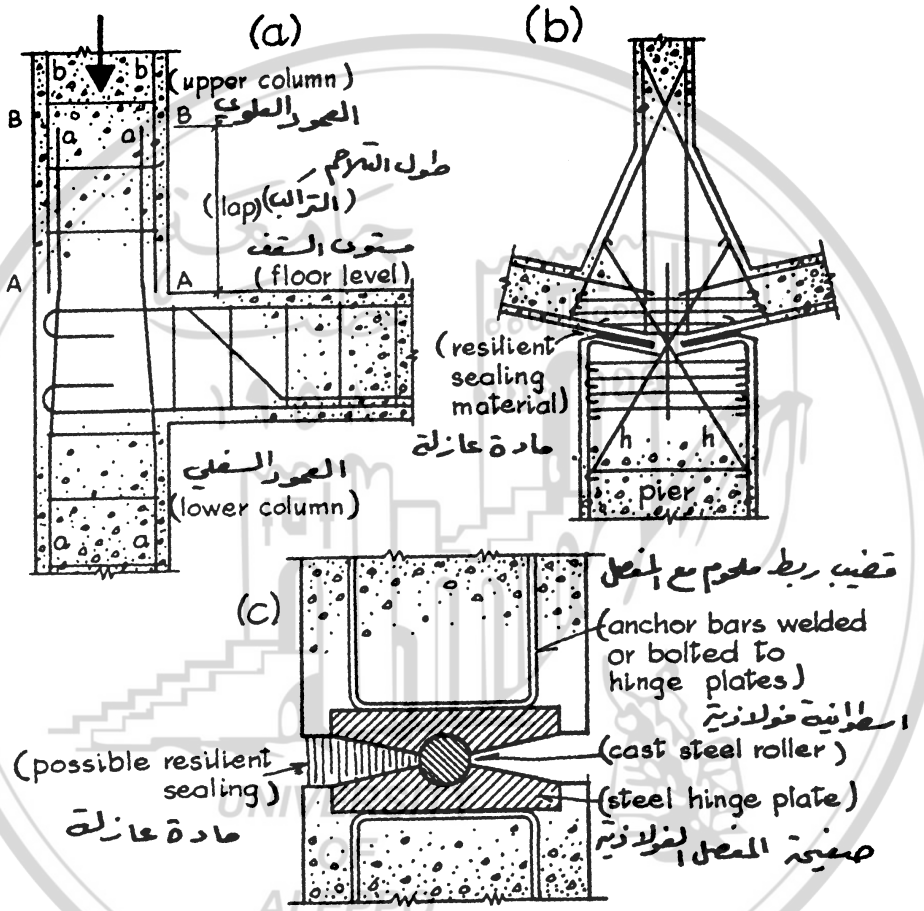
كما يمكن أن يتم اللحام بأسلوب تراكب الصفائح (Fillet welding) ، الشكل (١١ ـ ٣٩ ـc) ، حيث لا نحتاج لتحضير أطرافها، وتعتمد مقاومة هذا اللحام على سماكته وطوله.

١١ ـ ٥ ـ ٣ ـ الوصلات البيتونية المسلحة:

THE REINFORCED CONCRETE CONNECTIONS

عندما يكون البيتون المسلح مصبوباً في المكان ، كما في الأبنية والمنشآت العادية، فإن أماكن الوصل بين العناصر تتشكل بصورة آلية وذلك أثناء صب البيتون وتصلبه. ويبين الشكل (١١ ـ ٤٠ ـa) وصلة نموذجية بين عمودين وجائز ، حيث يتم صب البيتون في العمود السفلي وحتى منسوب أسفل الجائز وتترك قضبان فولاذ التسليح ، القضبان (a) ، ممتدة لمسافة معينة أعلى منسوب السقف، المسافة (AB) . ثم يتم صب الجوائز والبلاطات للمنسوب المطلوب، وبعد تصلبه توضع قضبان فولاذ التسليح العائدة للعمود العلوي، القضبان (b) ويتم صب العمود العلوي . إن وجود هذا التراكب بين قضبان فولاذ التسليح ضروري لنقل الحمولات بصورة متدرجة

وبانتظـام من القـضبـان العلوية إلى السـفلية إضافـة إلى عـزوم الإنعطاف التـي يمكـن أن تـكون مطبـقة على هذه الأعـمـدة. ويقدرطول التـراكب بحـوالي (50) مـرة قطر القـضبـان المسـتـخدمـة. إن نفس المبـدأ المذكور يطبق على أماكن الوصل في الجوائز والبلاطات المعرضة لعزوم الإنعطاف، حيث توصل القضبان وبطول تراكب كافٍ لنقل قوى الشد الناتجة عن هذه العزوم .



شكل رقم (١١ ـ ٤٠) الوصلات البيتونية المسلحة.

ويبين الشكل (١١ ـ ٤٠ ـb) مسنداً مفصلياً من البيتون المسلح غير قادر على مقاومة عزوم الإنعطاف مع تفاصيل التسليح الأساسية. حيث يظهر أن قضبان فولاذ التسليح الأساس لكل عنصر لا تمتد داخل العنصر الآخر، وبذلك لا يكون هناك أية استمرارية في قضبان التسليح بين العنصرين. إضافة

إلى ذلك فإن عرض المقطع سيتم تصغيره إلى الحدود الدنيا ، وبالتالي لن يكون للمقطع أية مقاومة لتحمل عزوم الانعطاف. أما القضبان المائلة (h) والتي تخترق المفصل وتربط بين العنصرين فهي تقاوم قوى القص والقوى الأفقية، وليس لها أية مقاومة لعزوم الانعطاف نظراً لأنها تتركز في منتصف المقطع.

كما يبين الشكل (١١ ـ ٤٠ ـc) نموذجاً آخراً من المساند المفصلية مشابهاً للمساند المفصلية الفولاذية المبينة بالشكل (١١ ـ ٣٥) حيث يتم تثبيت الصفائح المعدنية ضمن المقاطع البيتونية المسلحة بواسطة قضبان التثبيت الملحومة معها.

جامعة حلب ١٩٥٨
UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الثاني عشر

الأساسات

THE FOUNDATIONS

١٢ ـ ١ ـ تمهيد: INTRODUCTION

إن هناك حقيقة رئيسية يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء التصميم الإنشائي. فمهما كان شكل البناء أو المنشأ ومهما كانت طبيعة وعدد المساند والأساسات فإن الوزن الكلي للمنشأ يجب أن ينتقل إلى التربة بأمان. لذلك فإن من الأساسيات، ولأي منشأ مقترح، معرفة طبيعة تربة التأسيس ومدى تحملها للقوى المطبقة.

وبما أن الهدف الرئيسي من وجود الأساسات هو نقل الحمولات الكلية من المبنى إلى تربة التأسيس بشكل أمين، فإنها يجب تحقيق الشروط التالية:

١ ـ أن لا يحدث في التربة هبوطات (Settlement) كبيرة ومتزايدة.

٢ ـ أن لا يحدث بين الأساسات هبوطات تفاضلية (Differential settlement) كبيرة وبحيث تؤدي إلى حدوث التشققات في المنشأ.

٣ ـ أن لا تنهار التربة تحت تأثير الحمولات مسببة إنهيار المنشأ.

إن التحليل العملي للتربة صعب من الناحية العملية، كما أن تحديد مواصفاتها أصعب بكثير من مواد الإنشاء المختلفة، نظراً لأنها يمكن أن تختلف في الموقع الواحد وبشدة في كلا الاتجاهين الشاقولي

والأفقي.

إن دراسة مقاومة التربة يعتمد بشكل أساسي على التجارب والاختبارات الحقلية حيث تؤخذ العينات من تربة التأسيس أسفل مستوى الأساسات ويتم تحديد مقاومتها. كما أنه في المنشآت الهامة يمكن إجراء تجارب تحميل معينة على مساحات صغيرة من التربة في الموقع وذلك لتحديد المقاومة المسموحة لها.

١٢ ـ ٢ ـ علم ميكانيك التربة: SOIL MECHANICS

بدأ علم ميكانيك التربة من الناحية العلمية بالظهور ابتداءً من عام 1920 ، حيث أجريت وماتزال تجرى دراسات عديدة ومعمقة لخواص الترب ومقاوماتها، كما تم ابتكار معدات عديدة للحفر وإجراء السبور وأخذ العينات وتحديد المقاومات.. الخ.

يمكن تقسيم الطبقة السطحية للأرض والتي تتأثر بالحمولات المطبقة من المنشآت إلى قسمين أساسين: الصخور (Rocks) ، والترب (Soils) .ويطلق اسم الصخور على المواد القاسية الصلبة والمتماسكة وشديدة المقاومة، بينما يطلق اسم الترب على تلك المواد الطرية المتفككة وغير المتماسكة.

كما يمكن تقسيم الترب إلى مجموعتين أساسيتين: الترب المتماسكة (Cohesive soils) ، والترب غير المتماسكة (Non - cohesive soils) ، وتعتبر أنواع الغضار (Clay) ، والسيلت (Silt) ، من الترب المتماسكة بينما تعتبر أنواع الرمل (Sand) ، والحصى (Gravel) ، من الترب غير المتماسكة.

نتيجة للحمولات المطبقة من المنشأ وكأي مادة أخرى ستتعرض الترب إلى هبوطات وتشوهات معينة ، ويكون الهبوط الكلي مجموع هبوطين اثنين:

١ ـ الهبوطات الآنية (Immediate settlement) والناتجة عن الحمولات المطبقة وحسب عوامل المرونة واللدونة للتربة.

٢ ـ هبوطات التشديد أو الترصيص (Consolidation settlement) والناتجة عن خروج الماء من

التربة نتيجة للضغط الطويل الأمد، مما يسبب انضغاطاً في حجم التربة.

ومن ناحية الهبوطات، فإن الترب غير المتماسكة كالرمل والبحص لا تسبب أية مشاكل نظراً لمقاومتها النسبية للإنضغاط، ولأنها ترب نفوذة، (Permeable) ، أي تسمح بمرور المياه بسهولة ، ولذلك فإن هبوطات التشديد فيها تحدث بسرعة ومباشرة بعد تطبيق الحمولات، كما أن قيمها تكون صغيرة. إلا أن بعض أنواع الرمل الناعم وغير المتماسك قد يسبب بعض المشاكل نتيجة للهبوطات الممكنة إذا تعرضت للاهتزاز.

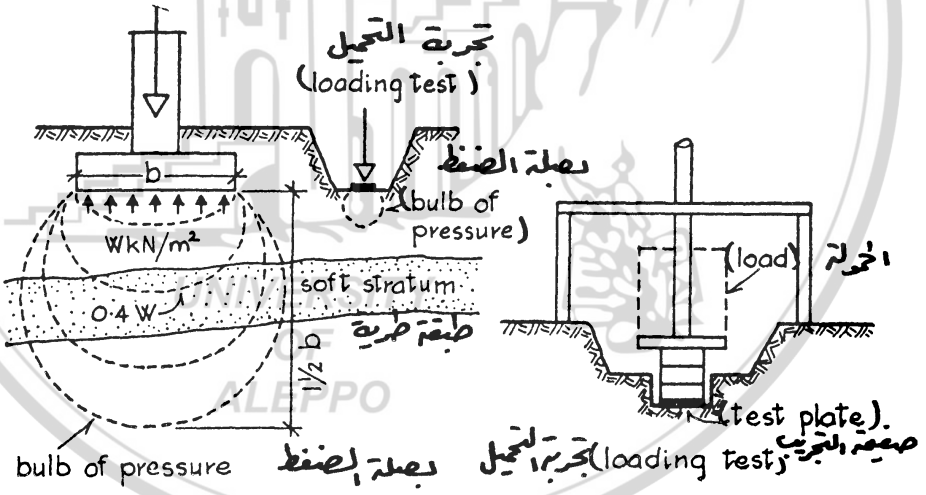
أما الترب المتماسكة كالغضار فإن نفوذيتها ضعيفة جداً، مما يعني أن عملية خروج المياه نتيجة للتشديد ستكون بطيئة جداً وتأخذ وقتاً طويلاً، بالإضافة إلى أن نسبة الإنضغاط لها ستكون كبيرة. لذلك فإن هبوط المنشأ المؤسس على الغضار نتيجة للتشديد سيستمر ولفترة طويلة ولن يحدث الهبوط الكلي إلا بعد عدة سنوات من تنفيذه.

كما أن الغضار قد يسبب بعض المشاكل في المنشآت ذات الأساسات السطحية كالأبنيةالعادية حيث يمكن أن ينتفخ الغضار في الشتاء نتيجة لمياه الأمطار والرطوبة ، ثم يتقلص ويتشقق في الصيف نتيجة للجفاف، مما يؤدي لهبوطات كبيرة ولظهور الشقوق في هذه المنشآت . وكل ذلك ناتج عن أن الأساسات لم تكن منفذة بالعمق المطلوب.

١٢ ـ ٣ ـ بصلة الضغط: BULB OF PRESSURE

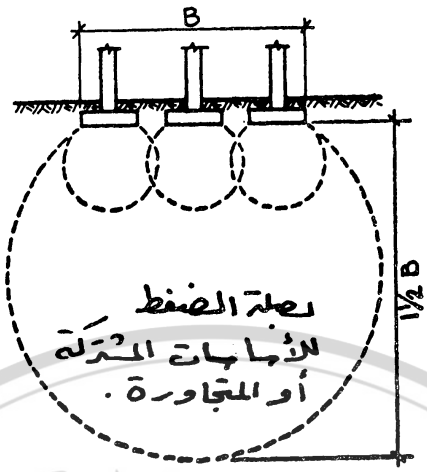
يمكن وبسهولة القول أن أساسات الأعمدة والجدران ستطبق ضغطاً علي التربة الموجودة أسفلها، ولكنه ليس من السهل تحديد عمق التربة التي ستتأثر بهذا الضغط . إن أبحاث العلماء الطويلة قد أعطتنا مفهوماً جديداً هو مايدعى بصلة الضغط (Bulb of pressure) ، حيث يمكن القول أن التربة تحت الأساس ستتأثر بالضغط بكلا الاتجاهين : الشاقولي والأفقي، كما هو مبين بالشكل (١٢ ـ ١)، وبحيث يكون محسوساً، ولعمق لا يتجاوز مرة ونصف عرض الأساس (b) .

ولذلك فإن أعماق السبور يجب أن تكون على الأقل ذات عمق وتحت منسوب التأسيس يساوي مرة ونصف عرض الأساس، وذلك لتحديد أنواع الترب التي ستتأثر بالضغط الناتج عنها. و يظهر الشكل (١٢ ـ ١) أيضاً، كيف أن تجربة التحميل يمكن أن تعطينا نتائج غيردقيقة لتحمل التربة . حيث أنه ونتيجة لصغر عرض صفيحة تجربة التحميل ستكون بصلة الضغط صغيرة، ولن تصل وتؤثر على الطبقة الضعيفة المفترضة والمبينة بالشكل . وفي الأساس المبين وبالرغم من أن الضغط المطبق مباشرة تحت الأساس يعادل ($W\ KN/m^2$) مثلاً، إلا أن الطبقة العلوية ، إذا كانت قاسية بشكل كافٍ، ستتمكن من تحمل هذا الضغط. وقد يحدث الانهيار نتيجة لعدم قدرة الطبقة الضعيفة السفلية على تحمل الضغط المطبق والذي يعادل ($0.4\ W\ KN/m^2$) تقريباً. وتكون تجربة التحميل مفيدة عندما تظهر نتائج السبور وجود طبقة واحدة متجانسة وعميقة مؤلفة من تربة بحصية أو صخور طرية. أما إذا كانت التربة من الغضار أو السيليت الطري والقابل للإنضغاط فإنه يجب تحديد مقاومة التربة بواسطة التجارب المخبرية على العينات المأخوذة منها.



شكل رقم (١٢ ـ ١) بصلة الضغط تحت الأساسات.

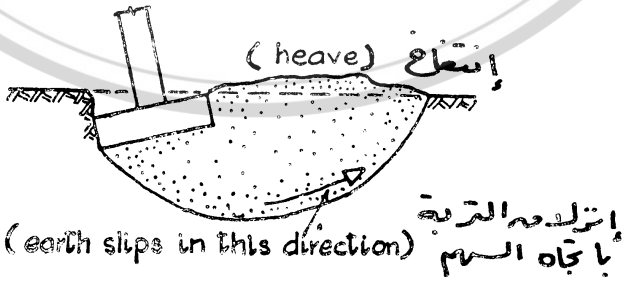
عندما تكون الأساسات قريبة من بعضها البعض، الشكل (١٢ ـ ٢) ، يمكن أن تتداخل بصلات الضغط للأساسات المتجاورة مشكلة بصلة ضغط مركبة ذات حجم كبير وتمتد لمسافة مرة ونصف العرض الكلي للأساسات (B) . ولذلك يجب أن تكون أعماق السبور كبيرة وعلى الأقل لهذه المسافة.



شكل رقم (١٢ ـ ٢) بصلة الضغط للأساسات المتجاورة.

وبالإضافة إلى خواص التربة المذكورة سابقاً، هناك خاصية مهمة أخرى وهي مقاومتها لقوى وإجهادات القص. ويجب إجراء تجارب إضافية لتحديد هذه المقاومة ولكلا التربة المتماسكة وغير المتماسكة، حيث يمكن أحياناً تحديد مقاومة التربة المسموحة بالاعتماد على مقاومتها لإجهادات القص. ويبين الشكل (١٢ ـ ٣) إمكانية انهيار التربة تحت تأثير إجهادات القص. حيث بسبب الضغط الناتج عن الأساس انزلاق كتلة من التربة تحته وعلى طول قوس دائري مع انتفاخ مرافق في التربة المجاورة للأساس.

UNIVERSITY
OF
ALEPPO

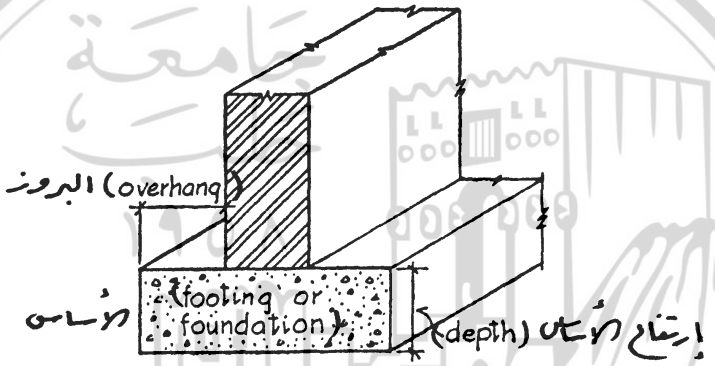


شكل رقم (١٢ ـ ٣) انهيار التربة نتيجة لإجهادات القص.

١٢ ـ ٤ ـ أساسات الجدران الحجرية والبيتونية المسلحة:

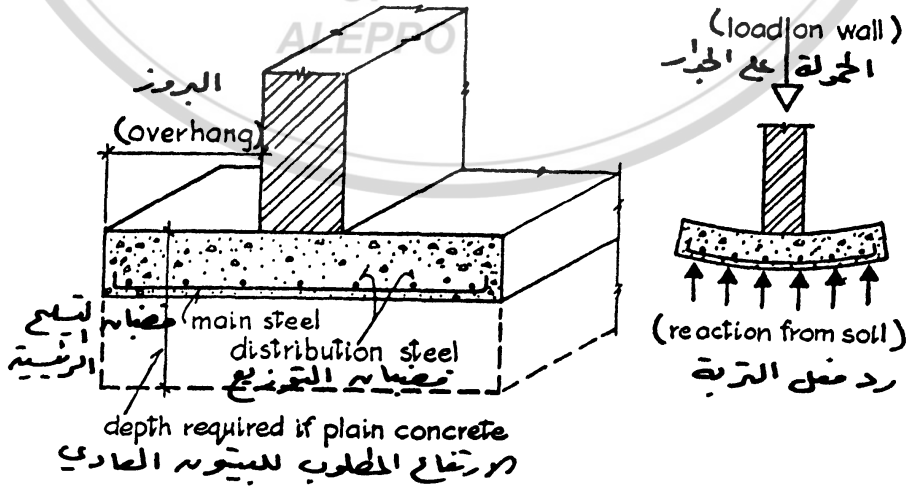
THE STONE AND REINFORCED CONCRETE WALL FOUNDATIONS

نظراً لأن الحمولة المطبقة على التربة في مثل هذه الأساسات ستكون عادة صغيرة نسبياً، فإن أساسات الجدران الحجرية يمكن أن تكون من البيتون العادي أو المغموس، كما هو مبين بالشكل (١٢ـ ٤). ويجب أن يكون عمق أو ارتفاع الأساس بهذه الحالة مساوياً مرة ونصف بروزه وبحيث يحقق زاوية إنتشار لقوى الضغط لا تقل عن (60) درجة.



شكل رقم (١٢ ـ ٤) أساسات الجدران الحجرية من البيتون العادي أو المغموس.

أما في الجدران البيتونية المسلحة أو عندما تكون الحمولات كبيرة فإننا نستخدم الأساسات البيتونية المسلحة ذات السماكات الأصغر وبقضبان تسليح كما هو مبين بالشكل (١٢ ـ ٥).

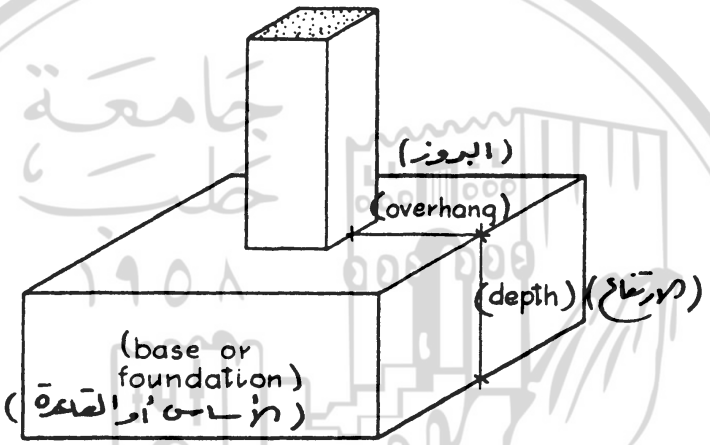


شكل رقم (١٢ ـ ٥) أساسات الجدران البيتونية المسلحة

١٢ ـ ٥ ـ أساسات الأعمدة البيتونية المسلحة:

REINFORCED CONCRETE COLUMN FOUNDATIONS

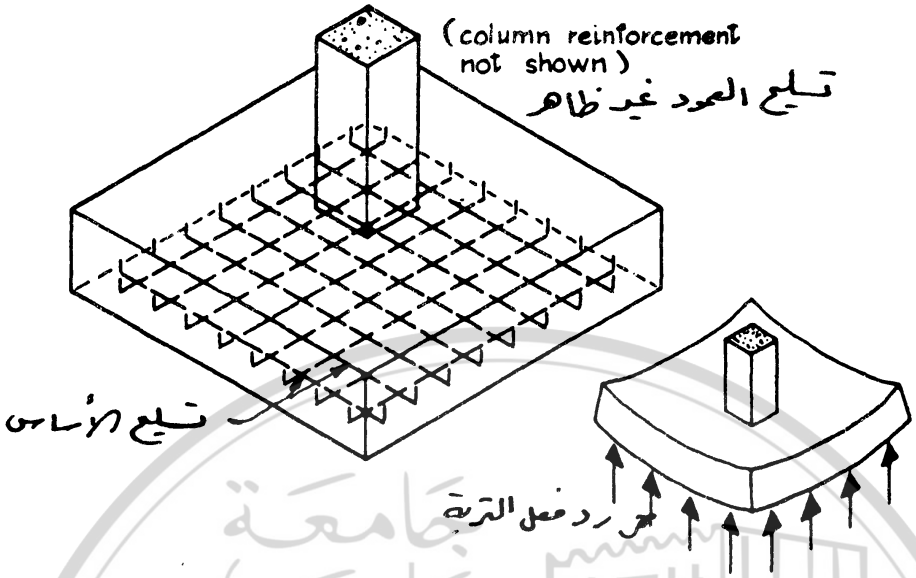
إن الحل الأسهل والأكثر اقتصادية لأساسات الأعمدة البيتونية المسلحة هو تنفيذ أساس منعزل لكل عمود على حدة. الشكل (١٢ ـ ٦) . ولتجنب اللامركزية للقوى وتولد إجهادات غير متساوية على التربة فإن العمود يجب أن يكون في مركز ثقل الأساس. وتكون الأساسات عادة من البيتون



شكل رقم (١٢ ـ ٦) الأساس المنعزل للأعمدة البيتونية المسلحة.

المسلح. ونظراً لأن عزوم الإنعطاف في الأساسات ستطبق بكلا الاتجاهين: الطولي والعرضي. فإن فولاذ التسليح يجب أن يمتد أيضاً بكلا هذين الاتجاهين، كما في البلاطات ثنائية الاتجاه. وإذا كانت بروزات الأساسات متساوية، وهو الحل الأفضل، فإن قضبان شبكة التسليح ستكون واحدة لهذين الاتجاهين. ويبين الشكل (١٢ ـ ٧) ، شكلاً مبسطاً لهذا التسليح. علماً أنه يجب رفع بعض قضبان التسليح أسفل العمود وبالاتجاهين لربطه مع قضبان تسليح العمود لتأمين ارتباط جيد بينهما.

نظراً لأنه ليس هناك فولاذ تسليح لمقاومة قوى وإجهادات القص في هذه الأساسات، فإن سماكاتها يجب أن تكون كافية لتحمل هذه الإجهادات ولمنع انهيارها بشكل قطري على كامل محيط العمود.



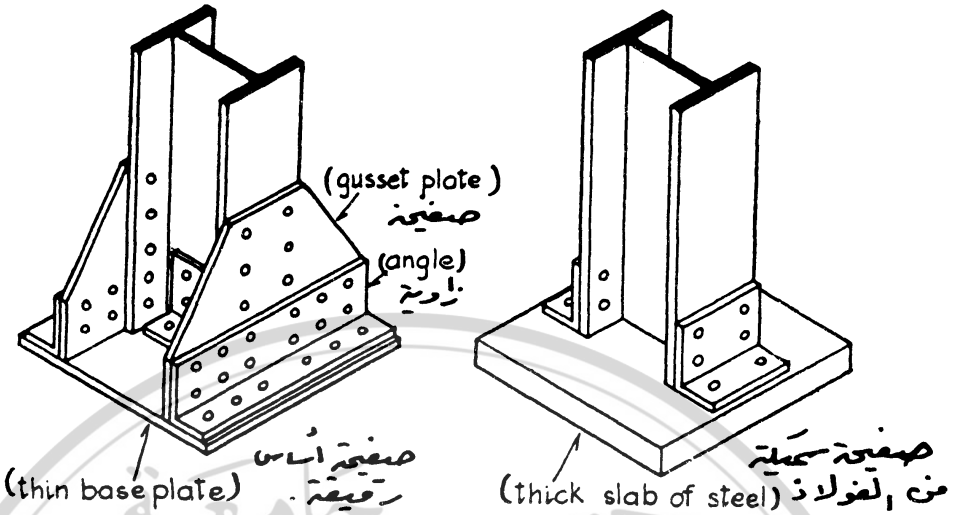
شكل رقم (١٢ ـ ٧) شكل مبسط لتسليح الأساسات المنعزلة.

١٢ ـ ٦ ـ أساسات الأعمدة الفولاذية: STEEL COLUMN FOUNDATIONS

يمكن استخدام نفس الأساسات البيتونية المسلحة المذكورة آنفاً كأساسات للأعمدة الفولاذية، ولكن في هذه الحالة يجب وضع صحيفة سفلية في قاعدة العمود لوصله مع الأساس ولتوزيع الحمولات على مساحة كافية من البيتون، حيث أن مساحة مقطع العمود الفولاذي تكون عادة صغيرة جداً، وإذا وضعت مباشرة فوق سطح الأساس البيتوني فإن ذلك قد يؤدي إلى سحق البيتون تحته.

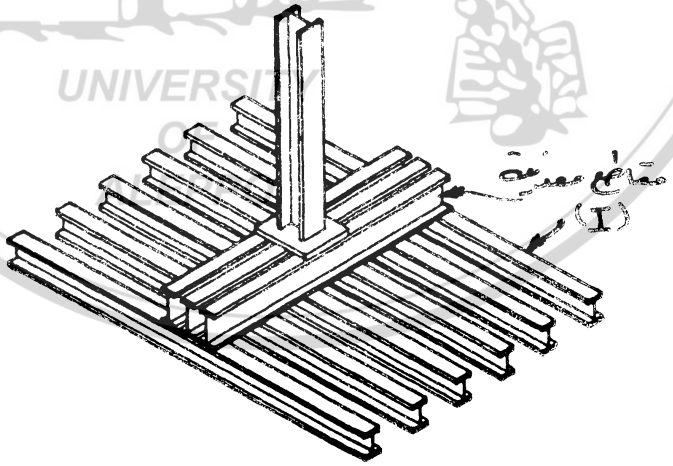
يمكن أن تكون صفائح قواعد الأعمدة الفولاذية ذات سماكة صغيرة (20 mm - 10 mm) مع تقويتها بزوايا وصفائح شاقولية، أو ذات سماكة كبيرة موصولة مباشرة مع العمود الفولاذي بواسطة الزوايا، الشكل (١٢ ـ ٨). وتعتمد أبعاد هذه الصفائح على الحمولة الكلية للعمود وعلى مقاومة بيتون الأساسات.

وعندما تكون حمولات الأعمدة كبيرة جداً ومقاومة التربة صغيرة نسبياً، وكذلك في المنشآت المؤقتة، يمكن استخدام الأساسات الفولاذية والمؤلفة من الجوائز المعدنية ذات المقطع (I) والممتدة بجانب



شكل رقم (١٢ ـ ٨) صفائح قواعد الأعمدة الفولاذية.

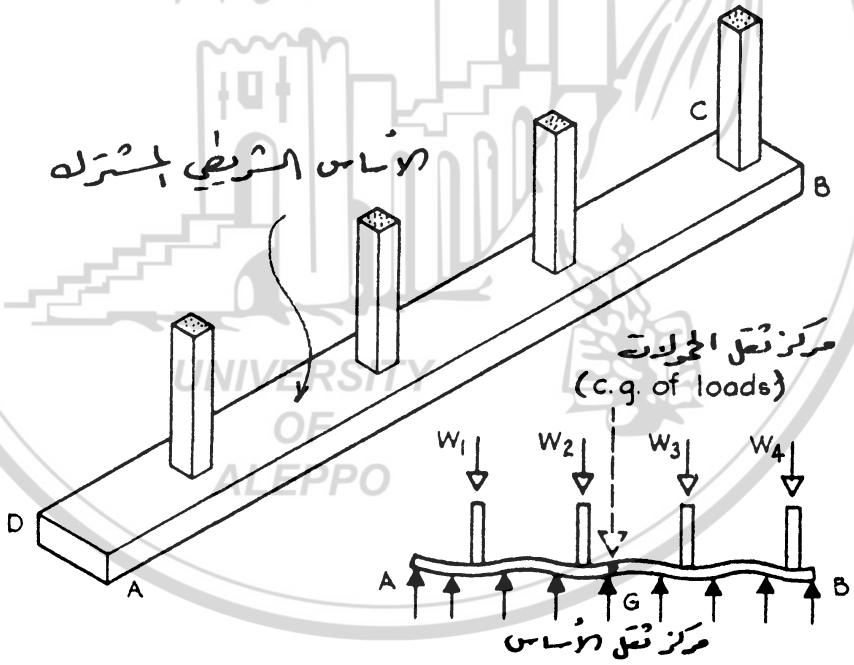
بعضها البعض ، الشكل (١٢ ـ ٩) . وفي هذه الحالة يجب حساب مقاطع هذه الجوائز العلوية منها والسفلية لمقاومة عزوم الإنعطاف وقوى القص المطبقة ، كما أنه يجب إحاطة كافة هذه العناصر بالبيتون العادي لمنع تآكلها ولحمايتها من الرطوبة داخل التربة.



شكل (١٢ ـ ٩) الأساسات الفولاذية.

١٢ ـ ٧ ـ الأساسات الشريطية المشتركة : THE STRIP FOUNDATIONS

يمكن أن يكون لعدة أعمدة متجاورة أساس مشترك واحد من البيتون المسلح على شكل جائز أو بلاطة شريطية، الشكل (١٢ ـ ١٠) . أو من الجوائز المعدنية المتجاورة المحاطة بالبيتون. ومن المفضل أن يكون مركز ثقل الأساس منطبقاً مع مركز محصلة القوى المطبقة، أي تكون المسافة (AG) مساوية للمسافة (GB) ، وبذلك يكون الضغط على التربة موزعاً بانتظام. وتحسب مساحة الأساس بحيث تكون الإجهادات الفعلية المطبقة على التربة والناتجة عن كامل الحمولات المطبقة وعن وزن الأساس مساوية أو أقل قليلاً من الإجهادات المسموحة . كما يبين الشكل (١٢ ـ ١٠) شكل إنحناء هذا الأساس وبالتالي اتجاه عزوم الانعطاف المطبقة. ويجب أن تكون سماكة الأساس كافية لتحمل عزوم الإنعطاف المطبقة بالإضافة إلى قوى القص .وتكون قضبان فولاذ التسليح أعلى المقطع في بعض المقاطع وأسفله في



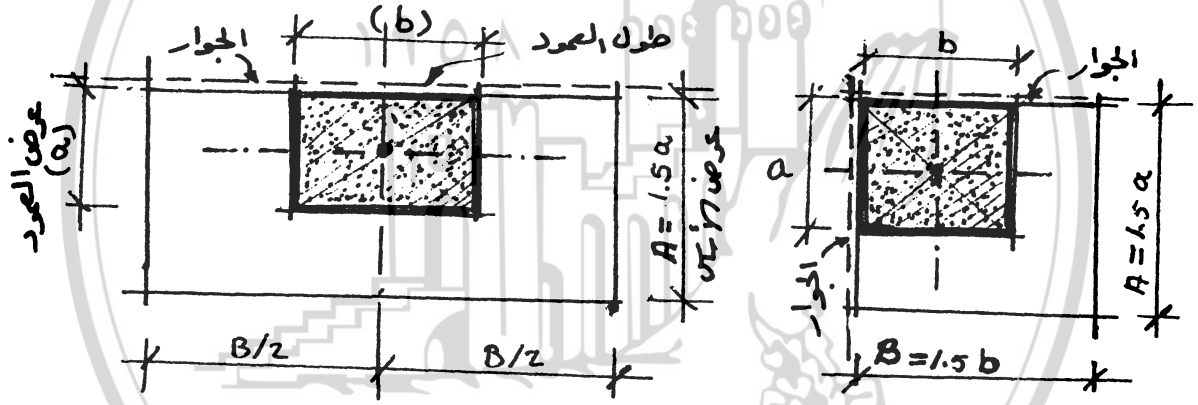
شكل رقم (١٢ ـ ١٠) الأساس الشريطي المشترك .

بعض المقاطع الأخرى. أو على شكل مجموعتين من القضبان المستمرة العلوية والسفلية.

١٢ ـ ٨ ـ أساسات الأعمدة الطرفية والركنية :

THE BOUNDAY COLAMN FOUNDATIONS

في بعض الأحيان ونتيجة لوجود مباني مجاورة ملاصقة للمبنى المدورس ، فإنه من غير الممكن أن تبرزأساسات الأعمدة الطرفية خارج مسقط هذا المبنى . ولذلك فإن البروز سيكون من طرف واحد فقط ، الطرف الداخلي ، مما يجعل هذه الأساسات غير متناظرة ، الشكل (١٢ ـ ١١) ، وستكون الإجهادات على التربة غير موزعة بانتظام .ولكي نتأكد من عدم تولد إجهادات شد بين الأساسات والتربة ، والتي لا يمكن في الحقيقة مقاومتها من قبل التربة ، فإن بروز هذه الأساسات بالاتجاه الداخلي أي باتجاه عدم التناظر يجب أن لا يزيد عن نصف عرض العمود فقط .

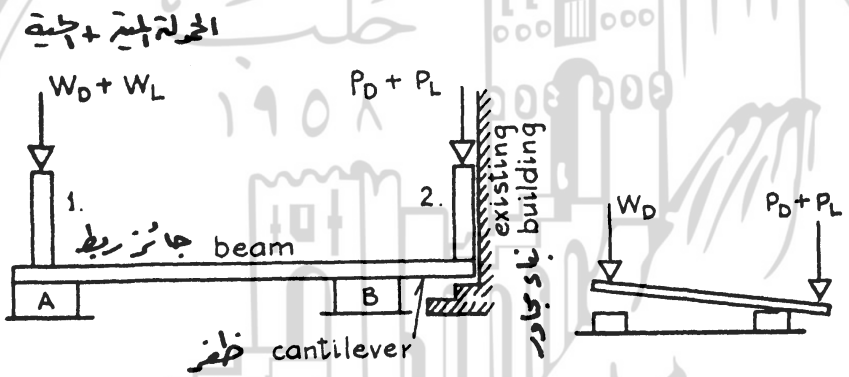


الأساسات الطرفية . الأساسات الركنية .

شكل رقم (١٢ ـ ١١) الأساسات الطرفية والركنية .

أما في الأعمدة الركنية فإن عدم التناظر سيكون باتجاهين ، وستكون أبعاد الأساس محصورة بالاتجاهين بما لا يزيد عن (1.5) مرة ونصف أبعاد العمود . ونتيجة لذلك فإنه ولكثير من الحالات لا يمكن تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة ، وبحيث تكون أصغر من الإجهادات المسموحة ، ولا بد عندئذ من ايجاد طريقة أخرى للتأسيس كربط هذا العمود مع الأعمدة المجاورة في أساس شريطي واحد أو استخدام الأساسات الظفرية (The cantilever foundations) .

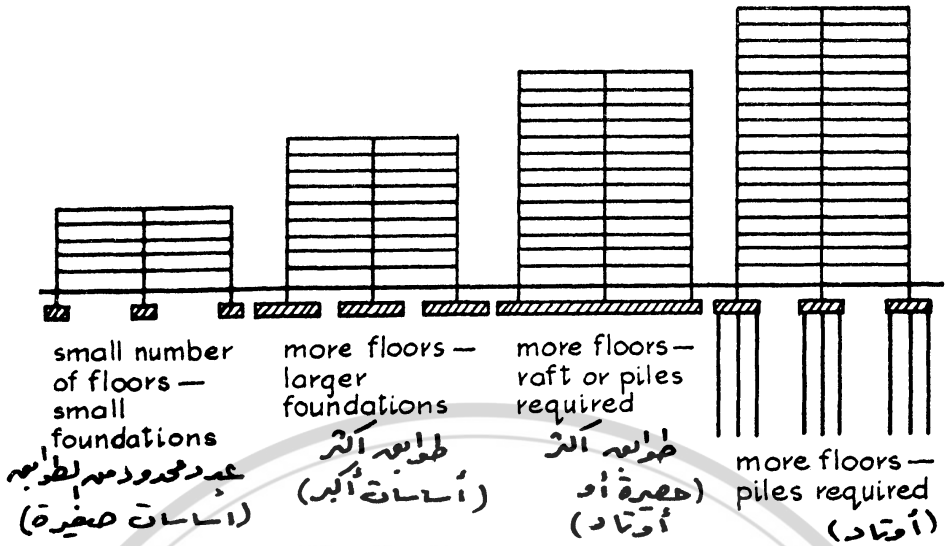
عندما يكون من المستحيل وضع الأساس مباشرة تحت العمود الطرفي نتيجة لوجود أساسات مجاورة مثلاً ، فإن أحد الحلول الممكنة هو تنفيذ أساس لهذا العمود يبعد قليلاً عنه ، وربطه مع أساس عمود مجاور بواسطة جائز ظفري يحمل هذا العمود ، الشكل (١٢ ـ ١٢) . ويجب الانتباه بشدة أثناء دراسة هذه الأساسات إلى توازن هذا الجائز وعدم حدوث رفع أو شخوص في العمود (1) نتيجة لتأثير حمولة العمود (2) على طرف الظفر . فإذا كانت (WD) و (WL) هما الحمولتان الكليتان ، الميتة والحية على العمود (1) فإن أسوأ حالة للرفع أو للشخوص تحدث عندما يكون العمود (2) محملاً بكامل الحمولة بينما العمود (1) محمل بالحمولات الميتة فقط . كما يجب أن تكون مساحة الأساسين (A) و (B) كافية لتحمل القوى الكلية المنقولة لها من هذه الأعمدة .



شكل رقم (١٢ ـ ١٢) الأساسات الظفرية .

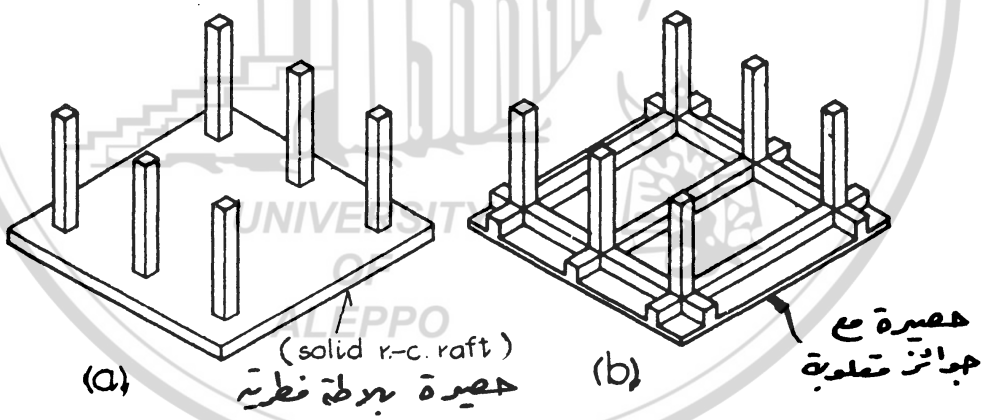
١٢ ـ ٩ ـ الحصائر : RAFT FOUNDATIONS

يبين الشكل (١٢ ـ ١٣) ، مدى تأثير عدد الطوابق في الأبنية على حجم ومساحة الأساسات ، فكلما زاد عدد الطوابق كبرت مساحة الأساسات واقتربت من بعضها البعض وحتى تشغل أخيراً وبشكل عملي كامل مساحة مسقط البناء . وبهذه الحالة يمكن تنفيذ الأساسات كبلاطة صلبة واحدة من البيتون المسلح تدعى بالحصيرة ، (Raft) . ويمكن أن تكون هذه الحصائر دون جوائز ، بلاطة فطرية ، الشكل (١٢ ـ ١٤ ـa) ، أو مع وجود جوائز ، الشكل (١٢ ـ ١٤ ـb) . وفي هذه الحالة تكون سماكة البلاطة أقل من سماكتها في البلاطة الفطرية . وتستخدم الحصائر عادة عندما تكون الحمولات كبيرة



شكل رقم (١٢ ـ ١٣) تأثير عدد الطوابق على شكل وأبعاد الأساسات.

وتربة التأسيس ضعيفة المقاومة، وعندما تشغل مساحة الأساسات المنعزلة على الأقل (75 %) من مساحة مسقط البناء. الشكل (١٢ ـ ١٤).



شكل رقم (١٢ ـ ١٤) الحصائر القطرية وذات الجوائز.

١٢ ـ ١٠ ـ الأساسات الوتدية: PILE FOUNDATIONS

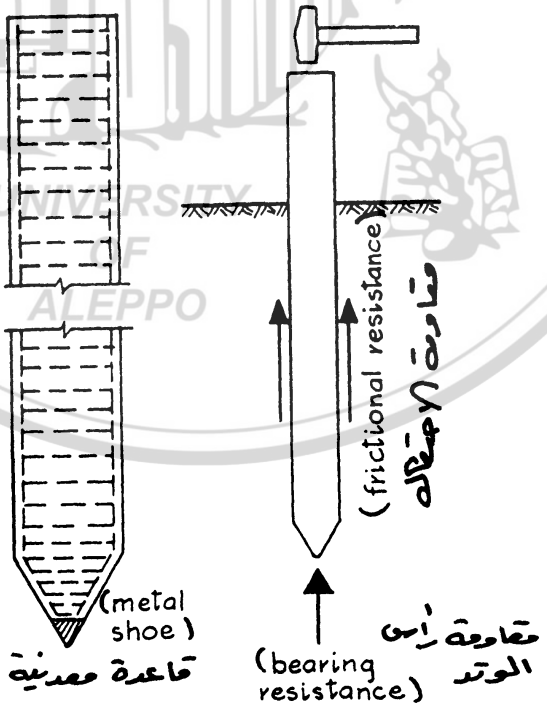
إذا زادت طوابق البناء و زادت الحمولات المطبقة بشكل كبير، وعندما تصبح الإجهادات المطبقة

على التربة، تحت الحصائر المنفذة على كامل مساحة البناء، أكبر من الإجهادات المسموحة لها. عندئذ لا تعود الحصيرة حلاً مجدياً، و يجب استخدام الأساسات الوتدية . وهي تعتمد على مبدأ نقل الحمولات من الأعمدة إلى الطبقات السفلية الأكثر مقاومة.

إن أغلب الاوتاد المنفذة حالياً هي من البيتون المسلح سواء كانت مسبقة الصنع (Pre cast) ، أو مصبوبة بالمكان (Cast in situ) . إلا أن الأوتاد الخشبية، والتي استخدمت منذ العهد الروماني، ماتزال تستخدم حتى الآن في بعض البلدان التي تتوفر فيها الأخشاب وخاصة في المنشآت الساحلية البحرية وعلى ضفاف الأنهار.

١٢ ـ ١٠ ـ ١ ـ الأوتاد مسبقة الصنع: PRE CAST PILES

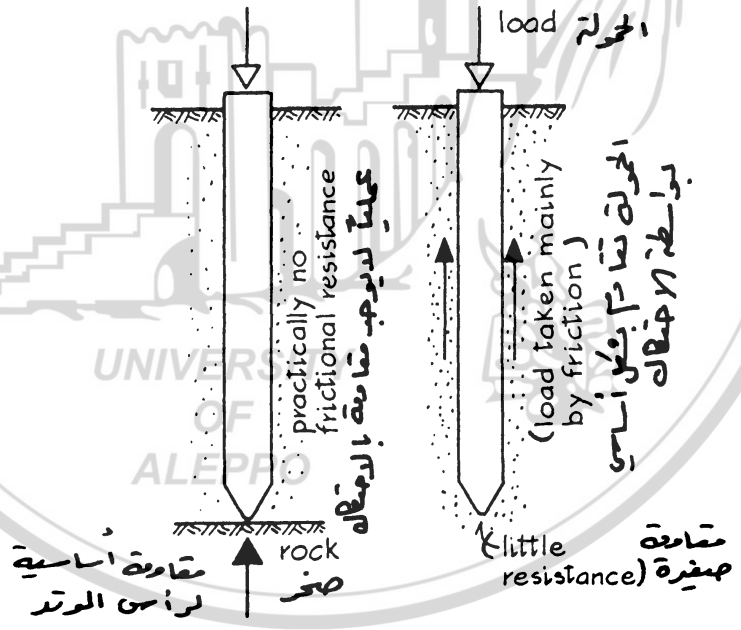
تكون الأوتاد مسبقة الصنع عادة ذات مقطع مربع ، أو مضلع، الشكل (١٢ ـ ١٥). وتصب مسبقاً في قوالب، وبعد التصلب تدق في التربة في المكان المحدد وبواسطة آلة خاصة تعتمد على



شكل رقم (١٢ ـ ١٥) الأوتاد مسبقة الصنع.

مبدأ هبوط وزن معين فوق رأس الوتد هبوطاً حراً، أو على مبدأ المطرقة البخارية . ويستمر الدق حتى يصبح الاختراق بعد كل دقة صغيراً جدا وبالقيم التي تحددها الحسابات الخاصة بهذه الأوتاد وحسب حمولتها الفعلية .أو حتى الوصول إلى الطبقات الصخرية القاسية . ونلاحظ أنه كلما زاد طول الاختراق كلما زادت مقاومة الاحتكاك وزادت القوى اللازمة لدخول هذا الوتد . وتعتمد مقاومة الوتد الكلية على قوى الاحتكاك بين أطرافه والتربة المجاورة وعلى مقاومة التربة عند رأسه السفلي .

إذا كانت التربة من النوع ذي المقاومة الضعيفة للإحتكاك ، فإن الأوتاد يجب أن تدق حتى تصل إلى طبقة أخرى قاسية وقادرة على مقاومة كامل الحمولة المطبقة على الوتد ، الشكل (١٢ ـ ١٦) . أما إذا كانت التربة من النوع ذي المقاومة الجيدة لاحتكاك وكانت الطبقات الصخرية عميقة ، فإننا نعتمد على هذا الاحتكاك لمقاومة كامل الحمولة المطبقة .

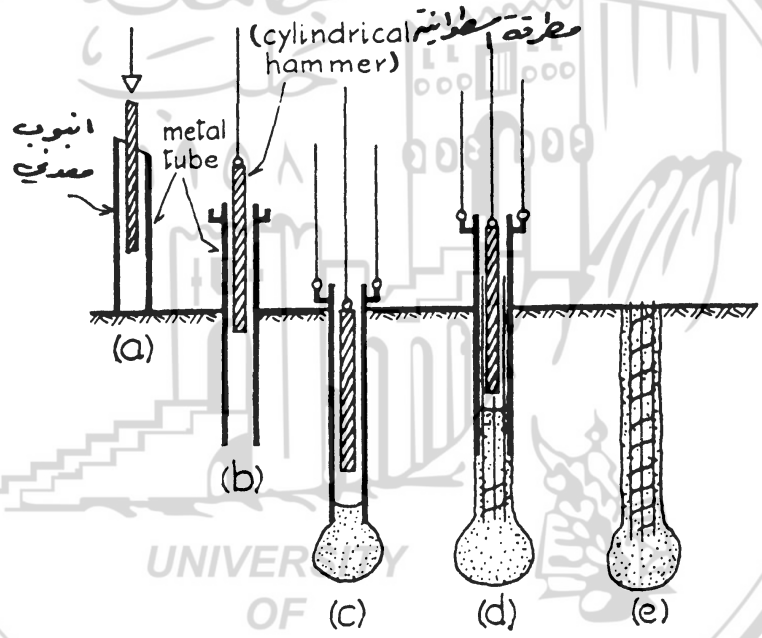


شكل رقم (١٢ ـ ١٦)مقاومة الأوتاد مسبقة الصنع .

وتعتبر الأوتاد من حيث مقاومة قوى الضغط المطبقة كالأعمدة باستثناء عدم تعرضها لخطر التحنيب العرضي ، نظراً لأن وجود التربة حولها يعطيها مقاومة كبيرة لهذا الخطر .

١٢ ـ ١٠ ـ ٢ ـ الأوتاد المصبوبة في المكان : CAST IN SITU PILES

ويتم في هذه الأوتاد حفر التربة على شكل مقطع دائري وبنفس قطر الوتد المطلوب ، وذلك بآلات خاصة للحفر مع تدعيم أطراف هذه الحفرة في بعض الأحيان بقميص معدني على شكل أنبوب لمنعها من الانهيار، الشكل (١٢ ـ ١٧) .وعند الوصول إلى العمق المطلوب يصب قليل من البيتون ويدق بشدة حتى يتكون رأس كبير للوتد لزيادة مقاومته ، الشكل (١٢ ـ ١٧ـc) ، ثم ينزل فولاذ التسليح في الحفرة ويتم صب البيتون بالتتالي ويرفع القميص المعدني وبحيث يلتحم البيتون بشكل جيد مع التربة المحيطة ، الشكل (١٢ ـ ٧ـe) .

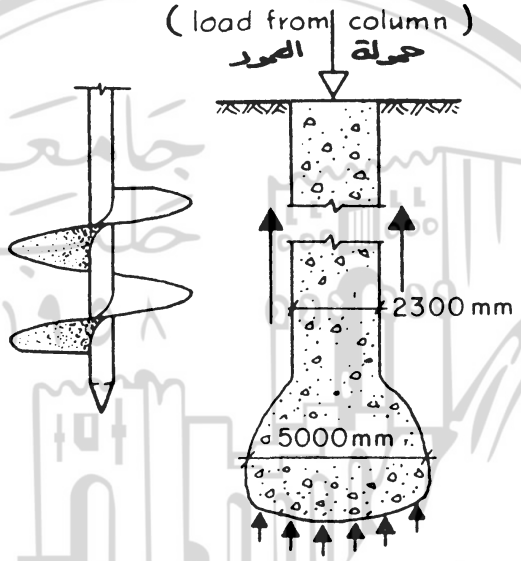


شكل رقم (١٢ ـ ١٧) الأوتاد المصبوبة في المكان .

١٢ ـ ١٠ ـ ٣ ـ الأوتاد الأسطوانية ، الآبار الوتدية : CYLINDER PILES

تستخدم الأوتاد الاسطوانية أو الآبار الوتدية في حالة الحمولات الكبيرة وعندما يكون عمق الطبقة الصخرية الحاملة صغيراً . وتكون عادة على شكل حفرة اسطوانية بقطر (2.0m) أو أكبر ويتم حفر هذه الآبار يدوياً أو بآلات خاصة. كما تم حالياً تطوير أساليب حديثة لهذا الحفر تعتمد على

الحفارات الحلزونية ، الشكل (١٢ ـ ١٨) ، والتي يمكن أن تحفر بأقطار تتراوح بين (1.0m) وحتى (2.5m) ، وبأعماق قد تصل حتى (25m) أو أكثر . ويتم في العادة زيادة قطر الوتد عند أسفل الحفرة لتأمين مساحة استناد أكبر وبالتالي مقاومة أكبر لرأس الوتد. وتنفذ الأوتاد الاسطوانية عادة من البيتون العادي أو المغموس، وبعد تصلب هذه الأوتاد تنفذ الأساسات مباشرة فوقها ، ولا ضرورة لوجود مايدعى غطاء الأوتاد (Pile caps) ، نظراً لكبر مساحتها ، ويكون هناك عادة وتد واحد تحت كل أساس.



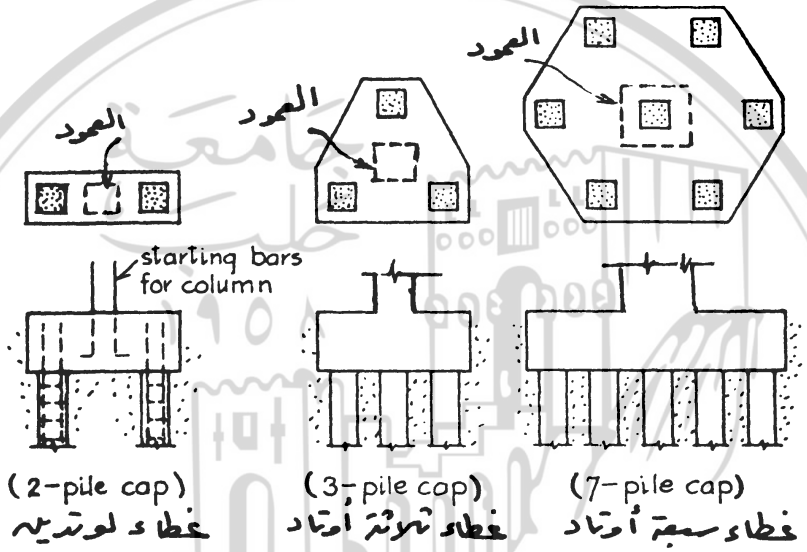
شكل رقم (١٢ ـ ١٨) الأوتاد الأسطوانية.

وقد ظهر حديثاً أسلوب جديد وسريع لتنفيذ الأوتاد ويتم بإدخال أوتاد معدنية حلزونية بواسطة آلة برامة خاصة تطبق عزوم دورانية دون حفر أو إخراج للتربة. وعند الوصول إلى الطبقة الحاملة أو تأمين الإحتكاك الكافي لها تستخدم هي مباشرة كأوتاد معدنية لمقاومة الحمولات .

١٢ ـ ١١ ـ غطاء الأوتاد : PILE CAPS

عند تنفيذ الأوتاد مسبقة الصنع أو المصبوبة في المكان ذات الأقطار الصغيرة ، يتم تحديد العدد اللازم منها تحت تأثير كل عمود وذلك حسب الحمولة الكلية المطبقة ومقاومة الوتد المسموحة. ويتم

نقل الحمولة من العمود إلى هذه الأوتاد بواسطة أساس معين يدعى غطاء الأوتاد. ويبين الشكل (١٢-١٩) بعض أشكال هذه الأغطية، وذلك حسب عدد الأوتاد المتصلة معها، وينفذ غطاء الأوتاد من البيتون المسلح وتتوضع شبكات التسليح بحيث تقاوم عزوم الإنعطاف. وقوى القص الناتجة عن حمولة العمود والقوى في الأوتاد.



شكل رقم (١٢-١٩) غطاء الأوتاد.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الثالث عشر

القشريات والمنشآت الفراغية

SHELLS AND SPACE STRUCTURS

١٣ ـ ١ ـ تمهيد: INTRODUCTION

كما وضحنا في الفصول السابقة ، فإن شكل الأعضاء والعناصر المختلفة في المنشآت كالجوائز والأعمدة يؤثر تأثيراً كبيراً على القوى الداخلية المتولدة فيها وبالتالي طرق دراستها الإنشائية . إلا أنه ، ولعهد قريب جداً ، لم يتم التركيز على تأثير وعلاقة شكل المنشأ ككل على القوى الداخلية المتولدة فيه ، نظراً لأن عناصر هذه المنشآت كانت تدرس منفصلة وكعناصر مستوية ولم تكن تدرس هذه المنشآت بجميع عناصرها كهياكل فراغية . ولم يكن هنالك إلا أفكار بسيطة وبدائية فقط تربط بين شكل هذه المنشآت وطرق دراستها الإنشائية . واعتباراً من عام (1920) وبتقدم بطيء بدأ تطوير أشكال جديدة ومهمة جداً من الهياكل الإنشائية كان لشكلها تأثيراً كبيراً ورئيسياً على طريقة عملها والإجهادات المطبقة عليها . ويمكن أن تصنف هذه المنشآت بصورة عامة تحت عنوان المنشآت الفراغية ، (Space structures) ، أو المنشآت ذات الأبعاد الثلاثة (Three - dimensional structures) .

إن أغلب المنشآت والعناصر الإنشائية المذكورة في الفصول السابقة تتم دراستها الإنشائية كعناصر مستوية (In - plane) ، أو عناصر ذات بعدين (Two - dimensional) فقط دون الأخذ بعين الاعتبار شكلها الفراغي . فكما شاهدنا في المنشآت الإطارية مثلاً ، الشكلين (١١ ـ ٢٨ و ٢٩) ، تدرس الجوائز العرضية ، الأواصف ، والتي تحمل عناصر الأسقف أولاً كجوائز طولية مستوية ثم تأخذ ردود أفعالها

كحمولات تطبق على الإطارات الحاملة وتدرس بدورها باعتبارها إطارات مستوية فقط. ولا يؤخذ بعين الأعتبار في الدراسة تأثير هذه الأواصف على المقاومة الكلية لجملة الإطارات مجتمعة . أما في المنشآت الفراغية فإن الدراسة الإنشائية تعتمد وبشكل أساسي على تصرف المنشأ بالكامل كعنصر واحد وباعتباره وحدة متكاملة وليس باعتباره مؤلفاً من عناصر منفصلة محمولة على بعضها البعض .

لقد أوحت الطبيعة للمصممين ببعض الأشكال الجديدة للهياكل الإنشائية وخاصة في المنشآت المنحنية . فمثلاً قشرة البيضة، ونتيجة لشكلها المنحني ، ذات مقاومة كبيرة إذا أخذنا بعين الاعتبار سماكتها الصغيرة وطبيعة مادتها الهشة سريعة الإنكسار. وكذلك فإن أصداف الحيوانات البحرية ونتيجة لشكلها المنحني ولتموجات سطحها تكون ذات مقاومة كبيرة جداً بالنسبة لسماكتها أو وزنها .

إن هناك أشكالاً عديدة ومختلفة للمنشآت الفراغية، ولتسهيل دراستها يمكن تقسيمها وبشكل عام إلى الأقسام الرئيسية التالية :

١ ـ الصفائح المطوية أو البلاطات المنكسرة . (Folded Plates)

٢ ـ القشريات الأسطوانية (Cylindrical Shells) ، والقباب (Domes) ، القشريات ثنائية الإنحناء. (Double Curvture Shells)

٣ ـ القشريات المخروطية (Conoid Shells) ، والقشريات الملتوية أو القشريات المكافئية الزائدية. (Hyperbolic Paraboloid Shells)

٤ ـ القباب المقواة (Braced Domes) ، والقباب الجيوديزية. (Geodesic Domes)

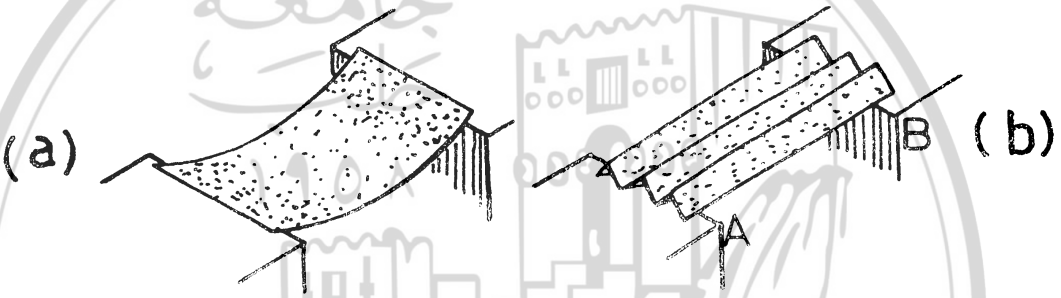
٥ ـ المنشآت المعصبة. (Grid Structures)

٦ ـ المنشآت المعلقة. (Suspended Cable Structures)

١٣ ـ ٢ ـ الصفائح المطوية : THE FOLDED PLATES

لمعرفة تأثير شكل الصفائح المطوية على مقاومتها ، يمكن إجراء تجربة أساسية بسيطة بواسطة قطعة من الورق. فإذا تم استخدامها كجائز بين مسندين، الشكل (١٣ ـ ١ ـ a) فإن هذه القطعة سوف تنحني انحناءاً كبيراً وقد تنهار دون أية حمولات إضافية ونتيجة لوزنها الذاتي فقط . أما إذا طويت القطعة

بالاتجاه الطولي عدة طيات ، كما هو مبين بالشكل (١٣ - ١ -b) فإنها ستصبح ذات صلابة كبيرة وستستطيع عندئذ مقاومة تأثيرات الوزن الذاتي إضافة إلى قليل من الحمولات الإضافية. وكما نلاحظ فإن القطعة ستحاول ، بطبيعة الحال ، أن تنفتح وتتفلطح تحت تأثير الحمولات ونتيجة لما يدعى التصرف القوسي (Arch action) ، إلا أنه يمكن مقاومة هذا التصرف بالتقوية الجانبية لطرفي القطعة الأمامي والخلفي وذلك بلصق قطعتين من الكرتون عليهما ، الشكل (١٣ - ٢) ، وعندئذ يصبح الشكل قادراً على مقاومة مزيد من الحمولات الحية. ويمكن تصور تصرفه كجائز ممتد بين المسندين (A) و (B) وذو مقطع عرضي منكسر وبارتفاع كبير نسبياً.

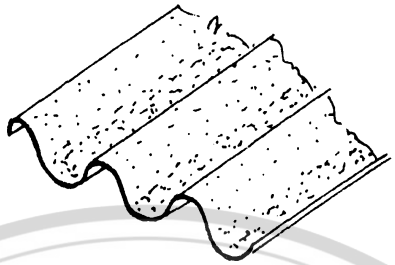


شكل رقم (١٣ - ١) مبدأ الصفائح المطوية.

ولقد استخدم نفس هذا المبدأ في الحقيقة باستثناء وجود التقوية الجانبية ، منذ سنوات عديدة في

شكل رقم (١٣ - ٢) التقوية الجانبية في الصفائح المطوية.

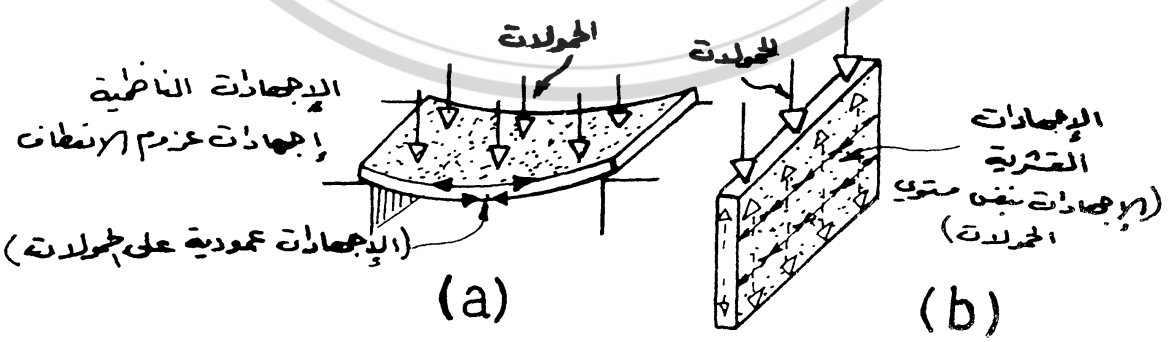
إنتاج ألواح التوتياء والإترنيت، الشكل (١٣ ـ ٣) ، إلا أنه لم يتبين إلا حديثاً إمكانية الاستفادة من مزايا هذا الشكل في تغطية الأسقف ذات المجازات الطويلة وبحيث يصمم كمنشأ فراغي ذي أبعاد ثلاثة.



شكل رقم (١٣ ـ ٣) ألواح التوتياء والاترنيت الممّوجة.

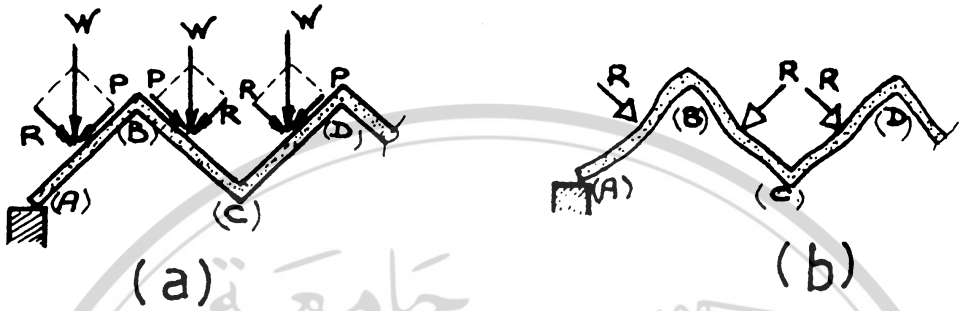
إن الصفائح المطوية مثال للمنشآت القشرية أي المنشآت قليلة السماكة ذات القشرة المعرضة للإجهادات الداخلية (Stressed skin structure) والتي تعتمد على المبدأ التالي:

تكون البلاطة الأفقية المبينة بالشكل (١٣ ـ ٤ ـa) ذات صلابة ومقاومة صغيرتين للإجهاد الناتجة عن عزوم الانعطاف المطبقة نتيجة للحمولات الميتة والحية. أما إذا وضعت البلاطة بالاتجاه الشاقولي وحملت نفس الحمولات، الشكل (١٣ ـ ٤ ـb) ، فإنها ستكون ذات صلابة ومقاومة كبيرتين، نظراً لأن الأحمال المطبقة بهذه الحالة ستقاوم بواسطة الإجهادات القشرية (Skin stresses) . ويمكن بسهولة ملاحظة الفرق بين مقاومة هاتين الحالتين وذلك بتحميل قطعتين متشابهتين من الورق المقوى بنفس الطريقتين السابقتين وملاحظة مدى مقاومتهما للأحمال المطبقة.



شكل رقم (١٣ ـ ٤) إجهادات عزوم الانعطاف والإجهادات القشرية.

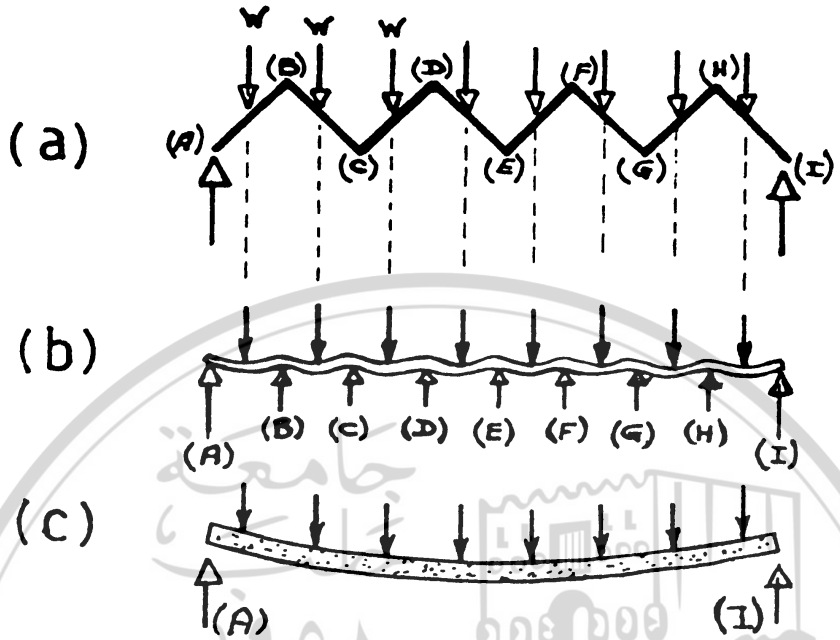
يبين الشكل (١٣ ـ ٥) مقطعاً عرضياً للصفائح المطوية حيث تمثل القوة (W) الحمولات الشاقولية الناتجة عن الوزن الذاتي والحمولات الإضافية، كحمولة الثلج مثلاً . ونظراً لميل اتجاه القوة (W) بالنسبة لمستوى الصفائح فإنه يمكن تحليلها إلى مركبتين اثنتين : الأولى المركبة (P) وتعمل باتجاه مستوي



شكل رقم (١٣ ـ ٥) تحليل القوى الشاقولية في الصفائح المطوية.

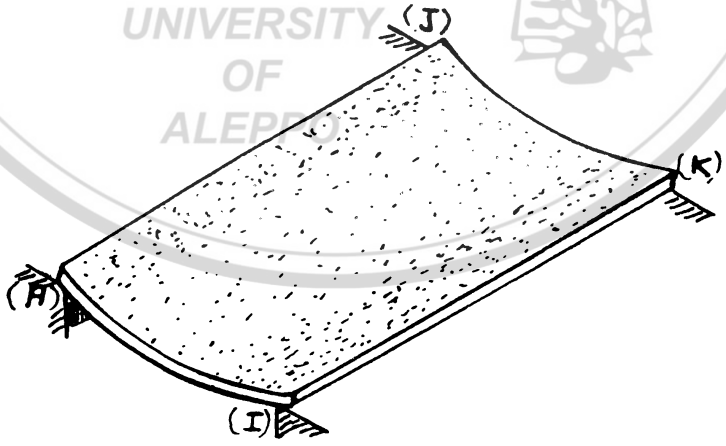
الصفائح، والثانية المركبة(R) وتعمل عمودية عليها ، الشكل (١٣ـ٥ ـa) . وتقاوم المركبة (P) بواسطة مبدأ الإجهادات القشرية المبين بالشكل (١٣ ـ ٤ ـb)، أما المركبة (R) فإنها ستسبب تولد عزوم انعطاف في البلاطات وذات المجازات العرضية (AB) و (BC) . .الخ، الشكل (١٣ ـ ٥ ـb) . ويجب ملاحظة أن كل طية، النقاط (B) و (C) و(D) . . . ، ستعمل كمسند أو جائز عرضي للبلاطتين المجاورتين، الشكل (١٣ ـ ٦ ـa) ، وبحيث يمكن مقارنة هذه الصفائح المطوية بالجائز المستمر المبين بالشكل(١٢ـ٦ـb) .

وبمقارنة طريقة الإنشاء هذه مع البلاطة المستوية ذات المجاز (AI) والمبينة بالشكل (١٣ ـ ٦ ـc) ، نرى أننا سنحتاج في البلاطة الأفقية الأخيرة إلى سماكة أكبر بكثير نتيجة لطول المجاز بالمقارنة مع المجازات الصغيرة للصفائح المطوية، الشكل (١٣ ـ ٦ ـb) . كما أن هناك اختلافاً أساسياً آخر بينهما، حيث تعمل البلاطة المستوية بالاتجاه العرضي وبمجاز (A I) ولذلك يجب أن تكون مستندة على كامل طول طرفيها (A J) و (I K) ، الشكل (١٣ ـ ٧) ، بينما في الصفائح المطوية، فإن كامل السقف سيعمل كجائز ضخم ممتد بين المسندين النهائيين (The end diaphrams) ، (A I) و (J K) ، أي بالاتجاه الطولي وبمجاز (AI) كما في الشكل (١٣ ـ ٨) ، أما البلاطات فستعمل بالاتجاه العرضي وبمجاز صغير

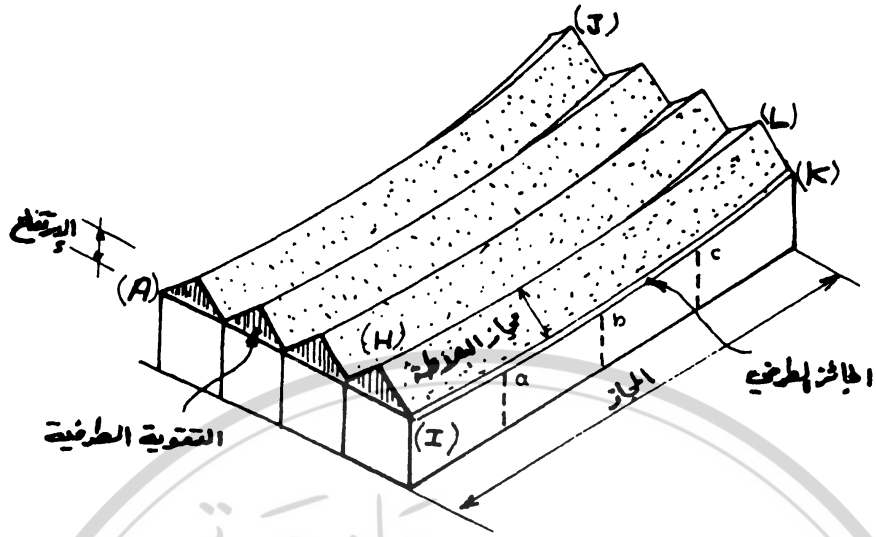


شكل رقم (١٣ ـ ٦) العزوم العرضية في الصفائح المطوية .

(HI) . وكما نلاحظ فإن وجود الجائز الطرفي (The edge beam) ومسانده (a) و (b) و (c) فهو ضروري فقط لكي يجعل البلاطة العرضية الأولى مستندة على كلا طرفيها (HL) و (IK) .



شكل رقم (١٣ ـ ٧) البلاطة المليئة المستندة من طرفيها .



شكل رقم (١٣ ـ ٨) التحليل الانشائي المبسط للصفائح المطوية.

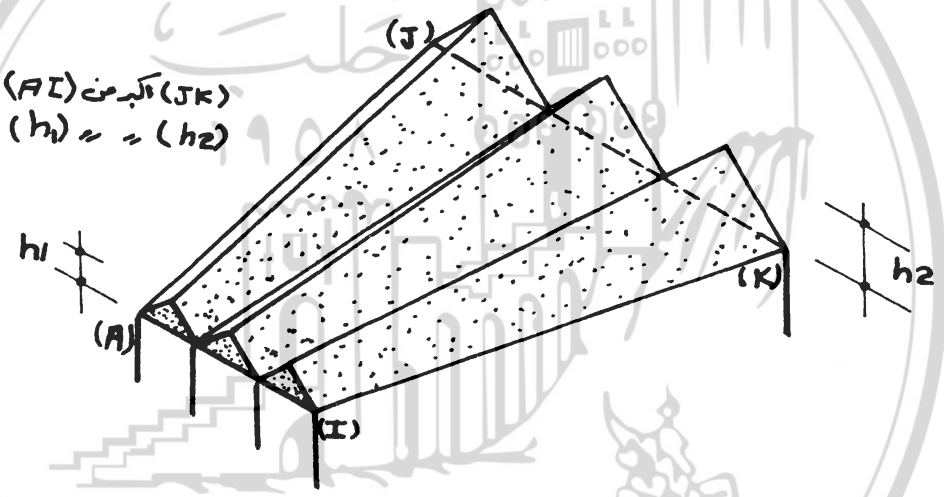
إن التحليل الإنشائي الدقيق للصفائح المطوية أو المنشآت ذات الإجهادات القشرية معقد جداً وصعب للغاية. إ لا أنه ولسهولة الحل يمكن وببساطة اعتبارها كجائز كبير ذو مجاز (AJ) . ويكسب هذا الجائز مقاومته نتيجة لشكل مقطعه العرضي ذي الارتفاع الكبير. أما البلاطات التي تعمل بالاتجاه العرضي فهي ذات مجازات قصيرة ولذلك فإن سماكتها ستكون صغيرة، ووظيفتها مقاومة تأثير مركبة الأحمال الكلية (R) العمودية على مستويها وعزوم الإنعطاف العرضية الناتجة عنها بواسطة الاجهادات الناظمية، إضافة لمقاومة تأثير مركبة الأحمال الكلية (P) والتي تعمل بنفس مستويها وذلك بواسطة الإجهادات القشرية.

تعمل المركبة (P) كقوى الضغط في الأقواس حيث تحاول فتح الطيات وتفلطح السطح . ويمكن مقاومة هذه القوى بربط الطرفين النهائيين (AI) و (JK) بواسطة تقوية طرفيه صلبة تقاوم قوى الضغط الناتجة عند هذين الطرفين. وعندما تكون الصفائح المطوية منفذة من البيتون المسلح ، تكون التقوية الطرفية عبارة عن جائز صلب من البيتون المسلح تحمل كامل قوى الضغط وبحيث لا ينتقل إلى الجوائز الطرفية أي جزء منها.

وكمثال على الصفائح المطوية فقد تم تنفيذ أسقف من النموذج المبين بالشكل (١٣ـ٨) وذلك

من بلاطات مسبقة الإجهاد ذات سماكة (50 mm) وبارتفاع (1220 mm) ومجاز طولي يبلغ (20 m) . ويقدر أن السماكة (60 mm) يمكن أن تكون كافية للمجاز الطولي (30 m) والسماكة (100 mm) ، كافية للمجاز (40 m) .

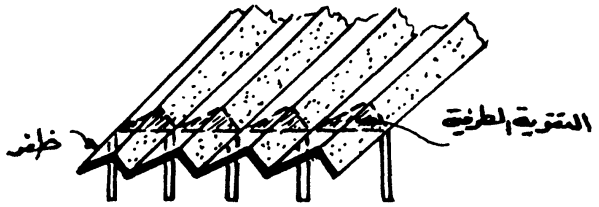
ليس من الضروري أن تكون الصفائح المطوية ذات شكل نظامي وأبعاد ثابتة كما هو مبين بالشكل (١٣ ـ ٨) . بل يمكن أن تكون لها ارتفاعات مختلفة عند الطرفين وأبعاد غير منتظمة ، الشكل (١٣ ـ ٩) . كما يمكن أن تكون أطرافها على شكل أظفار تمتد بعد التقوية الطرفية ، الشكل (١٣ ـ ١٠) .



شكل رقم (١٣ ـ ٩) الصفائح المطوية ذات الأبعاد غير المنتظمة.

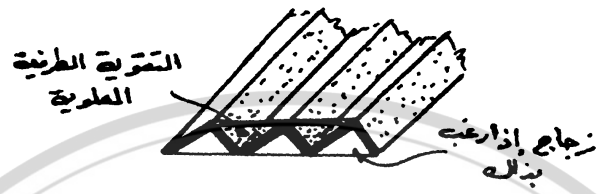
UNIVERSITY OF ALEPPO

يجب أن نتذكر أن أطراف البلاطات فقط ، وأحياناً منتصف المجاز إذا كان طويلاً جداً ، هي التي



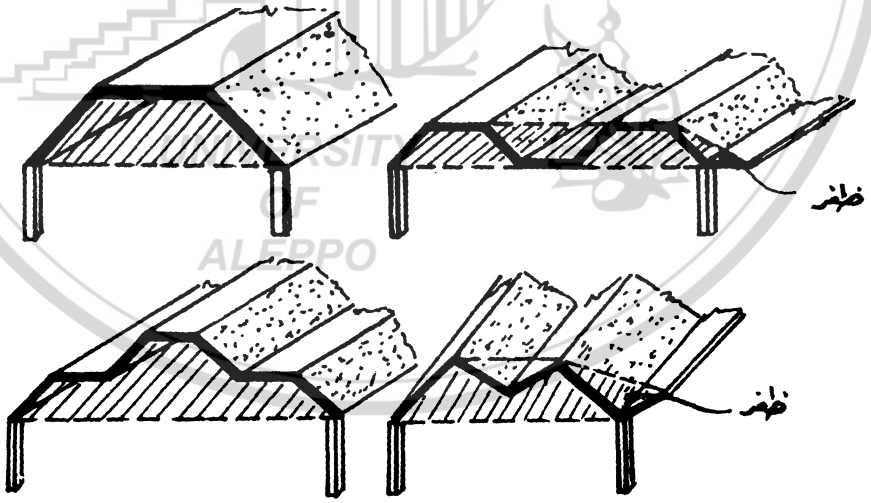
شكل رقم (١٣ ـ ١٠) الصفائح المطوية ذات الأظفار الطرفية.

يجب أن تغلق بالتقوية الطرفية، بينما يبقى كامل السقف مفرغاً وغير مقطوع بأية أعضاء أو عناصر عرضية أو شدادات . وحتى هذه التقوية الطرفية يمكن أن تكون مفرغة أو أعلى البلاطات فقط وبحيث تبقى المنطقة السفلية مفرغة أو مغطاة بالزجاج ، الشكل (١٣ ـ ١١) . شريطة أن تبقى ذات صلابة كافية.



شكل رقم (١٣ ـ ١١) التقوية الطرفية العلوية والمفرغة.

يمكن أن يكون للصفائح المطوية أشكالاً مختلفة كثيرة للطيات إضافة إلى ما هو مبين بالشكل (١٣ ـ ٨). ويبين الشكل (١٣ ـ ١٢) بعضاً من هذه الأشكال.

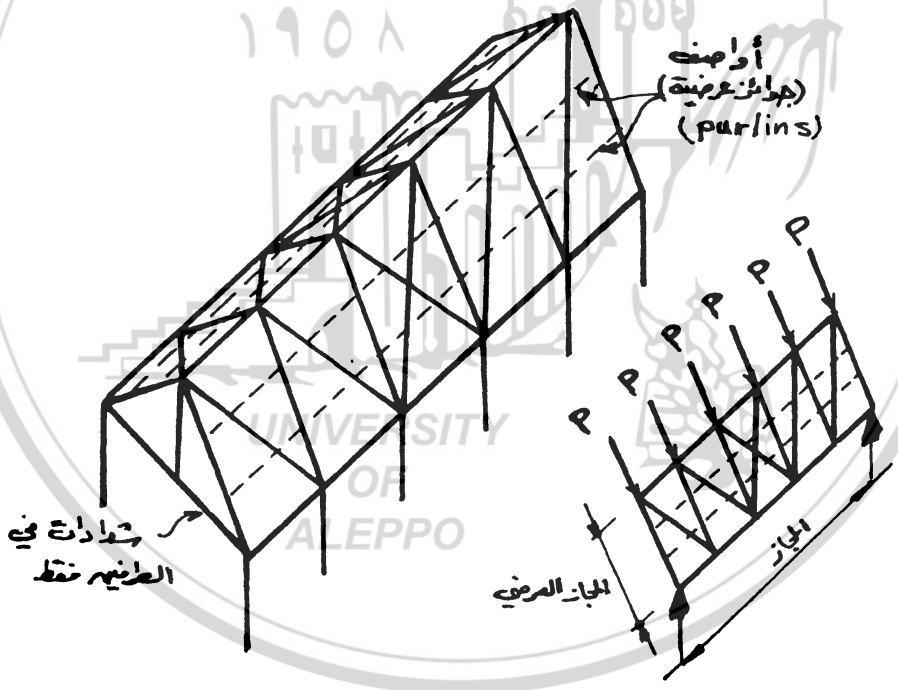


شكل رقم(١٣ ـ ١٢) بعض أشكال الصفائح المطوية.

١٣ ـ ٣ ـ الصفائح المطوية الشبكية:

TRUSS TYPE FOLDED PLATE STRUCTARES

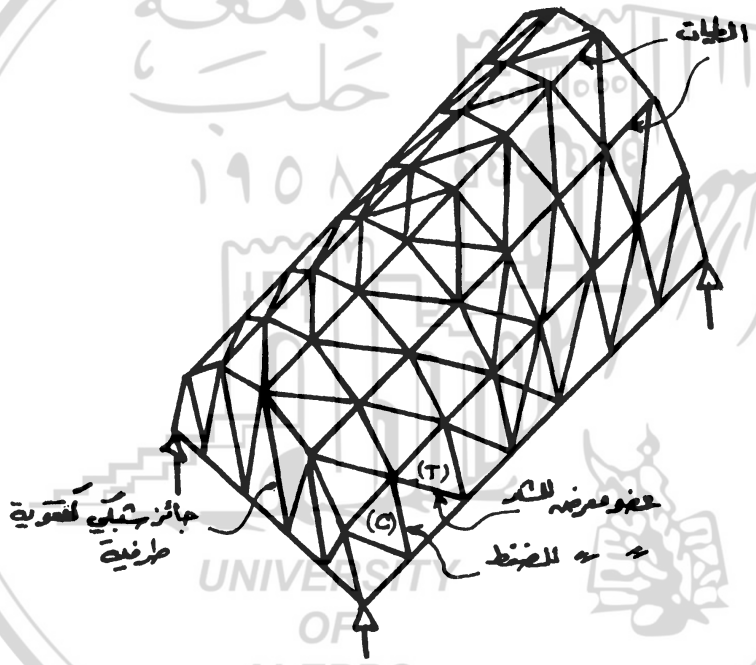
تنفذ الصفائح المطوية المذكورة سابقاً عادة من البلاطات المصممة من البيتون المسلح أو مسبق الإجهاد . كما يمكن أن تكون هذه الصفائح منفذة من الهياكل الفولاذية وبحيث يطبق عليها نفس المبادىء والأسس السابقة. ففي السقف المبين بالشكل (١٣ ـ ١٣) تعمل كل صفيحة من الصفائح باعتبارها جائزاً شبكياً معدنياً لمقاومة مركبات القوى الخارجية (P) التي تعمل في نفس مستوي هذا الجائز الشبكي. وبالإضافة إلى ذلك فإن عناصر هذا الجائز الشبكي يجب أن تقاوم عزوم الانعطاف العرضية الناتجة عن مركبة القوى الخارجة (R) والعمودية على مستو يه.



شكل رقم (١٣ ـ ١٣) الصفائح المطوية الشبكية.

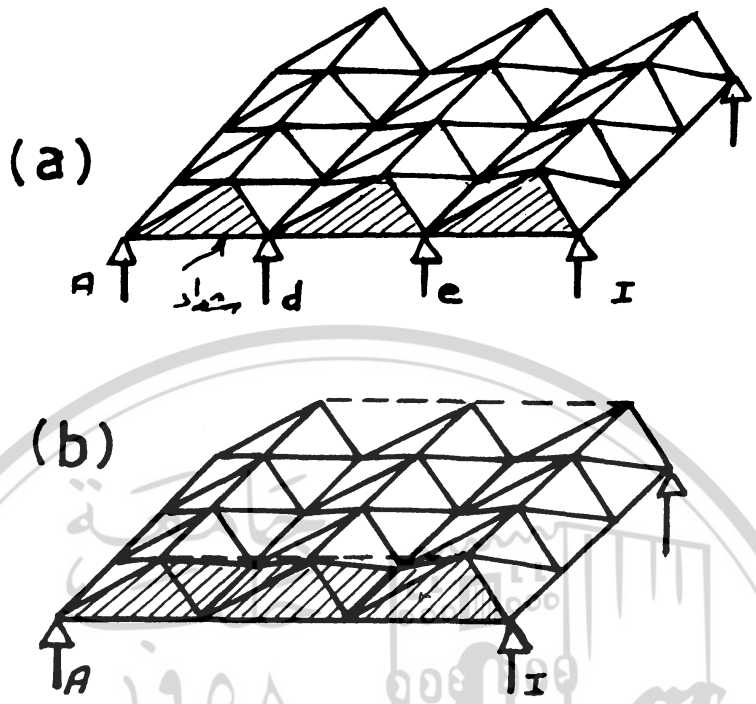
يجب التنويه وكما في البلاطات إلى أنه كلما صغر المجاز العرضي كلما صغرت عزوم الانعطاف

العرضية وكلما كان التصميم أكثر اقتصادية. وتحدد المسافة العرضية بين الطيات عادة بما يتناسب مع أبعاد مواد تغطية الأسقف فمثلاً تكون ألواح الاترنيت أو التوتياء عادة بأطوال (1400 mm) ، ولذلك نختار المسافة بين الطيات مساوية لهذا البعد وبحيث تستند هذه الألواح مباشرة على أطراف هذه الطيات وبذلك نتجنب وجود العزوم العرضية. كما يجب ملاحظة أنه ولكي يكون السقف ذو فائدة تامة يجب أن تكون كل طية من طياته مستندة عند طرفيها الأمامي والخلفي على عنصرمن عناصر التقوية الطرفية والتي يمكن أن تكون على شكل جائز شبكي ضخم ، الشكل (١٣ ـ ١٤).



شكل رقم (١٣ ـ ١٤) الجوائز الشبكية كتقوية طرفية.

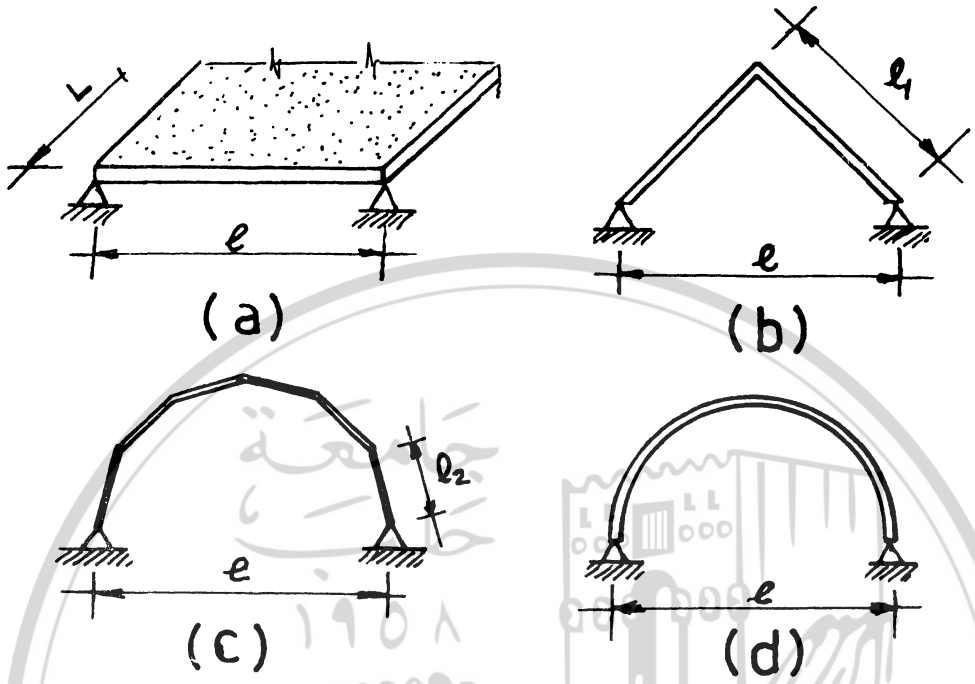
يمكن أن تنفذ جميع أشكال الصفائح المطوية المبينة بالشكل (١٣ ـ ١٢) كصفائح مطوية شبكية كما في الشكل (١٣ ـ ١٥ـa) ، ذات تقوية طرفية (A d e I). وإذا رغب في إزالة العمودين (d) و (e) للحصول على مجاز كبير كفتحة أمامية، في ورشات تصليح الطائرات مثلاً، فإنه يمكن استخدام جائز شبكي كبير كتقوية طرفيه يمتد من النقطة (A) وحتى (I) ، الشكل (١٣ ـ ١٥ـb).



شكل رقم (١٣ ـ ١٥) التقوية الطرفية ذات المجازات الكبيرة.

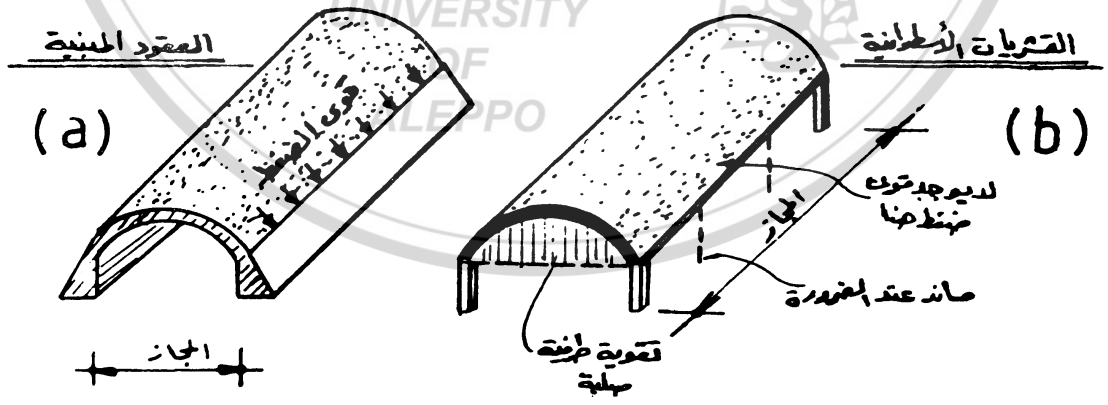
١٣ ـ ٤ ـ القشريات الأسطوانية : CYLINDRICAL SHELLS

إذا افترضنا أننا نريد تغطية مساحة مستطيلة طولها (A) وعرضها (l) ببلاطة بيتونية مستوية، فإن تحديد سماكة هذه البلاطة سيعتمد على طول المجاز العرضي (l) ، وستصبح كبيرة جداً عندما تتجاوز (l) طولاً معيناً، الشكل (١٣ ـ ١٦ـ a) .أما إذا اخترنا حلاً آخر للتغطية، على شكل صفائح مطوية ذات طية واحدة فقطالشكل (١٣ ـ ١٦ ـb) فإن المجاز العرضي سيصغر إلى (l_1) وبذلك تقل سماكة البلاطات .وكلما زدنا عدد الطيات صغر المجاز العرضي (l_2) وبالتالي قلت السماكة، الشكل(١٣ ـ ١٦ ـ c) .حتى إذا زاد عدد الطيات بشكل لا نهائي وأصبحت على شكل قوس منحني، الشكل (١٣ ـ ١٦ـ d) فإننا نحصل على الحل الأكثر اقتصادية . وتدعى هذه الأسقف عندئذ بالقشريات الاسطوانية (Cylindrical shells) . وتتراوح السماكة لهذه القشريات بين (50mm) و (100 mm) فقط.



شكل رقم (١٣ ـ ١٦) مبدأ القشريات الأسطوانية.

إن القشريات الأسطوانية تشبه من حيث الشكل العقود المبنية، إلا أنها تختلف اختلافاً جذرياً

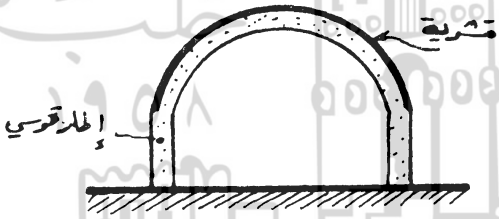


شكل رقم (١٣ ـ ١٧) الفرق بين العقود المبنية والقشريات الاسطوانية.

عنها. فعند دراسة هذه العقود تبين لنا أنها تتعرض لقوى ضغط عرضي على كامل طولها، حيث تعمل

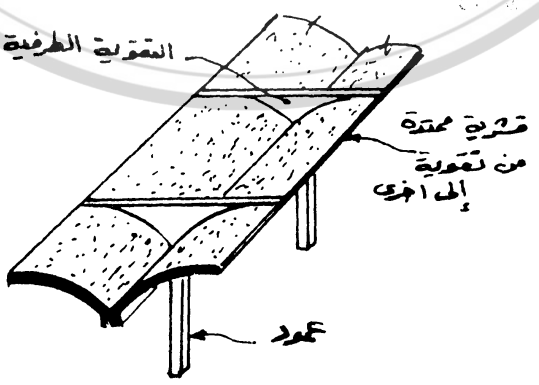
كسلسلة من الأقواس المتتالية ، الشكل (١٣ ـ ١٧ـa) . ولذلك فهي تحتاج إلي قواعد ومساند جانبية كبيرة ومتينة . أما القشريات الأسطوانية فهي تتصرف بالاتجاه الطولي كالصفائح المطوية وتحتاج فقط إلى تقوية طرفية صلبة عند طرفيها الأمامي والخلفي تقاوم تأثيرات كامل القوى المطبقة على المنشأ . وتتصرف القشرية كجائز ضخم ممتد على كامل المجاز الطولي ، الشكل (١٣ ـ ١٧ ـb) . ويمكن في بعض الأحيان وضع مساند إضافية جانبية عند الضرورة إذا كان طول القشرية كبيراً جداً .

يمكن في بعض الأحيان وإذا كانت المتطلبات المعمارية لا تسمح بوجود تقوية طرفية صلبة مصمتة ، أن تكون هذه التقوية على شكل إطار قوسي يرتبط بالقشرية ويقاوم القوى المتولدة ، الشكل (١٣ ـ ١٨) .



شكل رقم (١٣ ـ ١٨) التقوية الطرفية على شكل إطار قوسي.

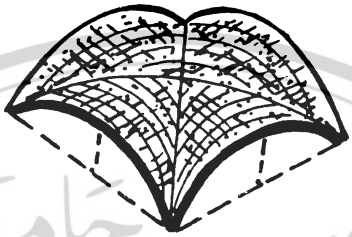
إن هناك أشكالاً كثيرة ومتعددة لأسقف القشريات الأسطوانية. ويبين الشكل (١٣ ـ ١٩) واحداً منها يدعى الأسقف الفراشية (The butterfly roofs) وهو مناسب لأرصفة محطات السكك الحديدية ومواقف ومرائب الباصات العامة. كما يبين الشكل (١٣ ـ ٢٠) سقفاً قشرياً مؤلفاً من تقاطع



شكل رقم (١٣ ـ ١٩) الأسقف الفراشية.

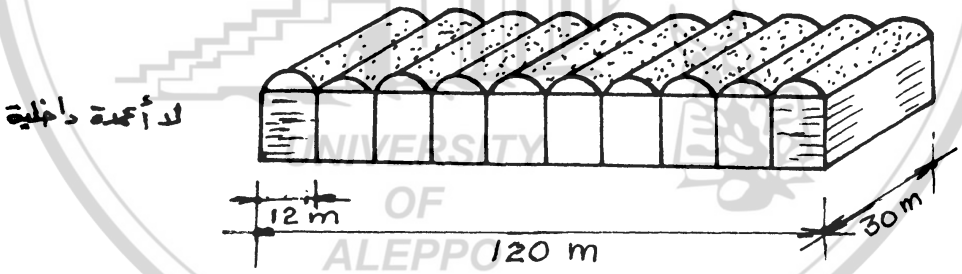
قشريتين اسطوانيتين متعامدتين ويستند على أربعة أقواس طرفية ، ويشبه من حيث الشكل العقود البرميلية المتقاطعة.

ولتغطية مساحات مستطيلة ذات أبعاد كبيرة جداً ودون وجود أعمدة داخلية، يمكن استخدام القشريات الأسطوانية ، أو أي شكل من أشكال الصفائح المطوية ، بشكل متتالي وبالاتجاه العرضي .



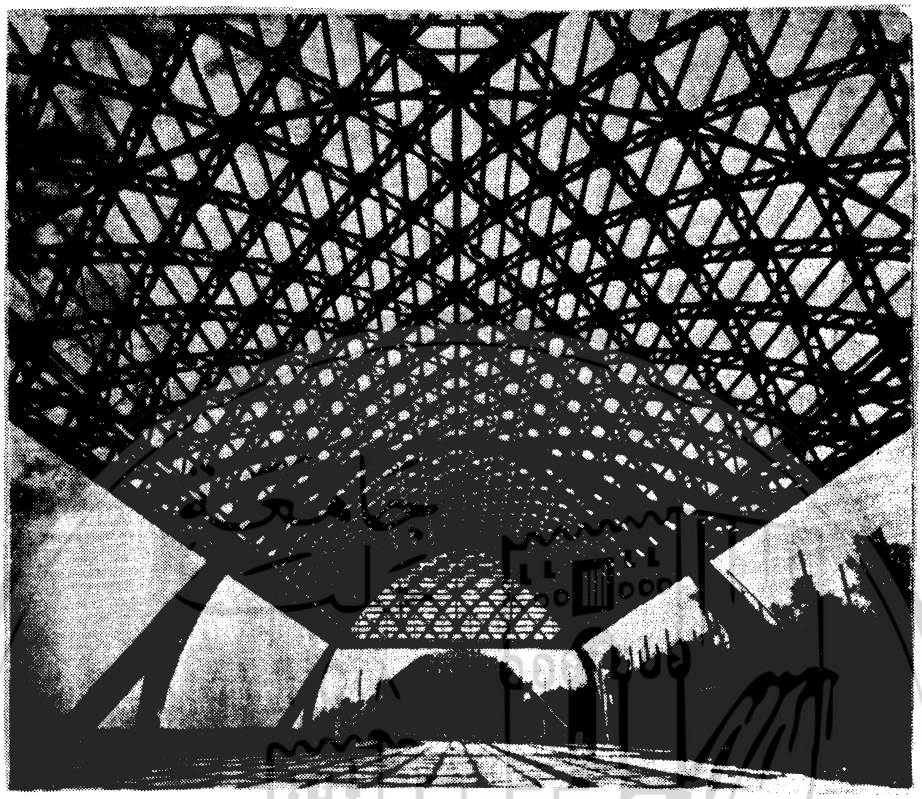
شكل رقم (١٣ ـ ٢٠) القشريات الاسطوانية المتقاطعة.

ويبين الشكل (١٣ ـ ٢١) مثالاً على ذلك حيث تمت تغطية مساحة مستطيلة طولها (120 m) وعرضها (30m) بعشرة قشريات اسطوانية متتالية ذات مجاز طولي (30 m) وبفتحات عرضية (12 m) .



شكل رقم (١٣ ـ ٢١) تغطية الأسقف ذات الأبعاد الكبيرة بالقشريات الاسطوانية المتتالية.

وأخيراً يجدر بنا التنويه إلى أنه يمكن تنفيذ قشريات اسطوانية شبكية من الهياكل الفولاذية بدلاً من البيتون المسلح وبنفس مبدأ الصفائح المطوية الشبكية وبحيث تكون العناصر المعدنية على شكل منحن وبالاتجاه العرضي أو القطري. ويبين الشكل (١٣ ـ ٢٢) مثالاً لهذه القشريات الاسطوانية الشبكية منفذ كسقف لورشة صيانة طائرات في مدينة أور بيتيلو في إيطاليا (Orbetello , Italy) .

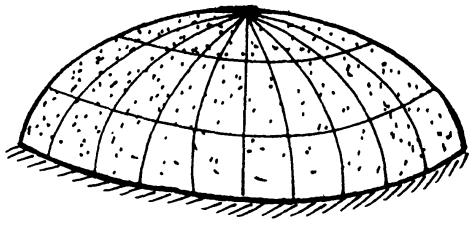


شكل رقم (١٣ ـ ٢٢) الأسقف من القشريات الاسطوانية الشبكية.

١٣ ـ ٥ ـ القباب والقشريات ثنائية الانحناء:

DOMES AND DOUBLE CURVETURE SHELLS

تعتبر الصفائح المطوية والقشريات الأسطوانية المذكورة سابقاً مثالاً للقشريات وحيدة الانحناء. وفي الحقيقة يمكن الاستفادة من نفس مبدأ الإجهادات القشرية في المنشآت ثنائية الانحناء أيضاً. وتعتبر القباب مثالاً على هذه القشريات ، الشكل (١٣ ـ ٢٣) ، وهي من أكثر القشريات استخداماً في الوقت



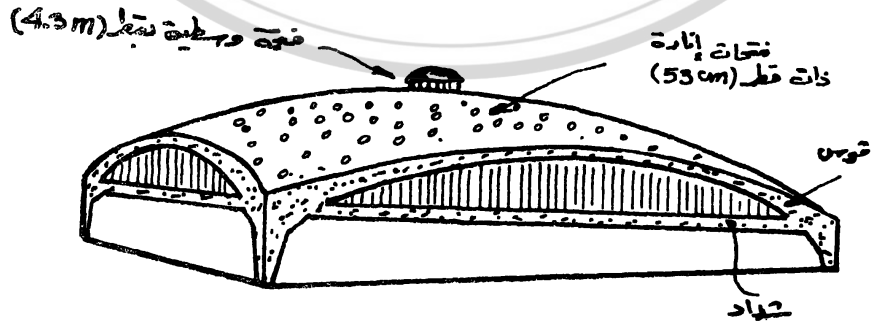
شكل رقم (١٣ ـ ٢٣) القشريات ثنائية الانحناء ـ القباب.

الحاضر .ونظراً لإنحنائها بالاتجاهين فإن الإجهادات القشرية ستكون صغيرة ، وستتوزع كقوى ضغط أو شد في كلا هذين الاتجاهين.

لقد بدأت دراسة القشريات ثنائية الانحناء بشكل علمي في عام (1922) حيث صمم المهندس الألماني فالتر بورسفليد (Walter Bauersfeld) قبة على شكل نصف كرة كانت ضرورية لفحص [redacted] الأدوات البصرية. ولقد تم تنفيذ هذه القبة أولاً من شبكة ملحومة من القضبان الفولاذية ، ثم تمت تغطية هذه الشبكة بطبقة من المونة الاسمنتية سماكتها (30 mm) فقط تعمل كتغطية للسقف ولحماية الشبكة الفولاذية. وقد تبين بعد إجراء التجارب على هذه القبة أنها صلبة جداً وقادرة على مقاومة حمولات كبيرة. ثم تتابعت الدراسات والابحاث على المنشآت المنحنية آخذة بعين الاعتبار التصرف المشترك لكلا البيتون والفولاذ ، وأدت إلى التوسع الكبير في استخدام هذه القشريات و ابتكارطرق حديثة لحسابها.

تعتبر القبة القشرية المنفذة في سقف قاعة السوق بمدينة لايبزغ بألمانيا (Leipzig market hall) واحدة من أوائل القباب القشرية المنفذة حديثاً. وهي مؤلفة من مجموعة من القشريات الاسطوانية المتقاطعة والتي تغطي مساحة مضلعة شبه دائرية ، كما تمت إضافة بعض أعصاب التقوية عند نقاط التقاطع. ويبلغ قطر هذه القبة (75.6 m) وسماكتها (89 mm) فقط.

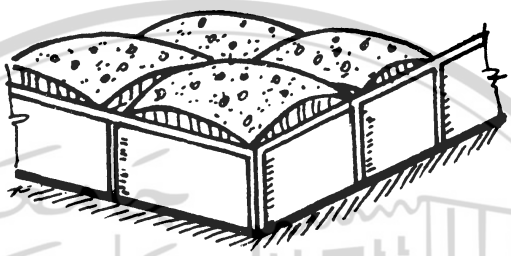
يبين الشكل (١٣ ـ ٢٤) شكلاً مبسطاً لصالة التنس المغلقة في ويمبلدن إحدى ضواحي لندن (Wimbeldon , London) ، حيث تبلغ المساحة المغطاة ($1415\ m^2$) وسماكة القشرية المؤلفة من البيتون المسلح (76 mm) فقط ومجازاتها (53.4 m). وبحيث تستند هذه القشرية على أربعة أعمدة



شكل رقم (١٣ ـ ٢٤) القشريات ثنائية الانحناء، صالة التنس المغلقة في ويمبلدن.

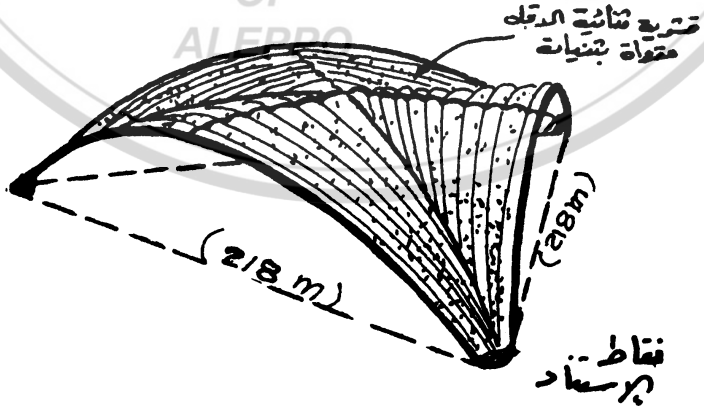
ركنية فقط.

وقد استخدمت نفس طريقة الإنشاء هذه في تغطية بعض المصانع. حيث يبين الشكل (١٣ ـ ٢٥) رسماً مبسطاً لصالة الإنتاج في أحد المصانع المغطاة بتسع من القباب كل منها بأبعاد (19.4 m x 25.3m) وذات سماكة (76 mm) . وتستند كل قبة على أربع إطارات طرفية ذات أعمدة في أركانها الأربعة فقط.



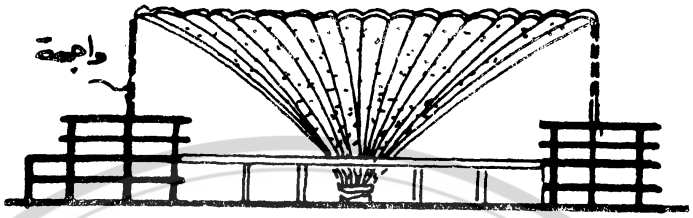
شكل رقم (١٣ ـ ٢٥) تغطية المصانع بالقشريات المتكررة ثنائية الانحناء.

يمكن للقشريات الكبيرة أن تستند مباشرة إلى الأرض كما في الشكل (١٣ ـ ٢٦)، ويمكن أن تحتوي على تموجات وثنيات لإعطائها مقاومة وصلابة أكبر. وبهذه المبادئ تم تنفيذ قشرية قاعة المعارض في باريس (Exhibition Hall in Paris) والتي تغطي مساحة كلية تبلغ ($20600\ m^2$) وهي عبارة عن مثلث متساوي الأضلاع يبلغ طول ضلعه (218 m) (ما يعادل أكثر من ضعف طول ملعب كرة القدم) والقشرية على شكل مروحة ثلاثية الأطراف مؤلفة من تقاطع ثلاث قشريات اسطوانية دون وجود أعصاب تقوية بينها، وتستند على ثلاث نقاط ركنية فقط.



شكل رقم (١٣ ـ ٢٦) القشريات ثنائية الانحناء المستندة مباشرة إلى الأرض،
قشرية قاعة المعارض في باريس.

كما يبين الشكل (١٣ ـ ٢٧) قشرية على شكل زنبقة تستند على نقطة واحدة في منتصفها وترتفع نحو الأعلى وتغطي مساحة دائرية حرة من جميع أطرافها. وهي تحتوي تموجات في سطحها لاعطائها صلابة أكبر. ويمكن بناء منشآت محيطية حولها وتغطية أطرافها بواجهات زجاجية.



شكل رقم (١٣ ـ ٢٧) القشريات ثنائية الانحناء والمستندة على نقطة واحدة وبشكل زنبقة.

ويبين الشكل (١٣ ـ ٢٨) سقف مبنى دار الأوبرا في مدينة سيدني باستراليا، والتي تشبه سلسلة من الأصداف البحرية المفتوحة فوق بعضها البعض. وهي رغم شكلها الغريب والمعقد عبارة عن قشريات ثنائية الانحناء على شكل مثلثات كروية، تستند عند أطرافها السفلية وترتفع نحو الأعلى

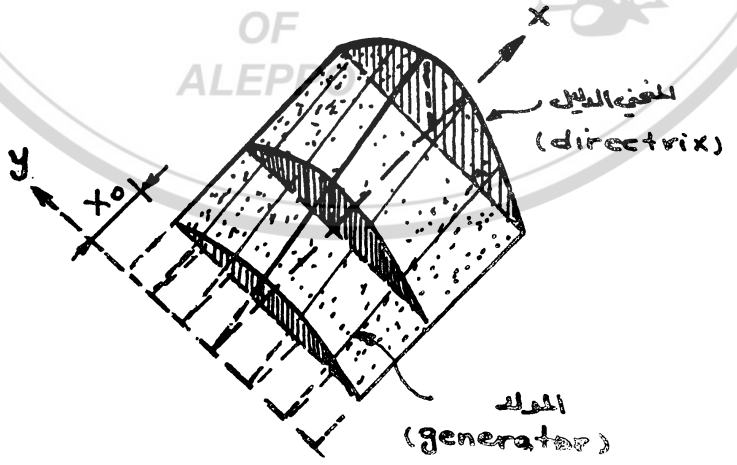
شكل رقم (١٣ ـ ٢٨) مبنى دار الأوبرا في مدينة سيدني.

منحنية على القشريات المجاورة . وتتألف كل قشرية من مجموعة من الأعصاب الخرسانية الدائرية المستندة عند الأضلاع السفلية وترتفع (55 m) فوق منسوب الأرض في أعلى نقطة. ويبلغ المجاز العرضي الأعظمي (57 m) والطول الكلي للقاعة الرئيسية من الأمام للخلف (121 m) دون انقطاع، أما القشريات فيبلغ قطرها (75 m) وتختلف سماكتها من نقطة لأخرى وذلك حسب بعدها عن الأعصاب وارتفاعها عن القاعدة.

١٣ ـ ٦ ـ القشريات المخروطية: THE CONOID SHELLS

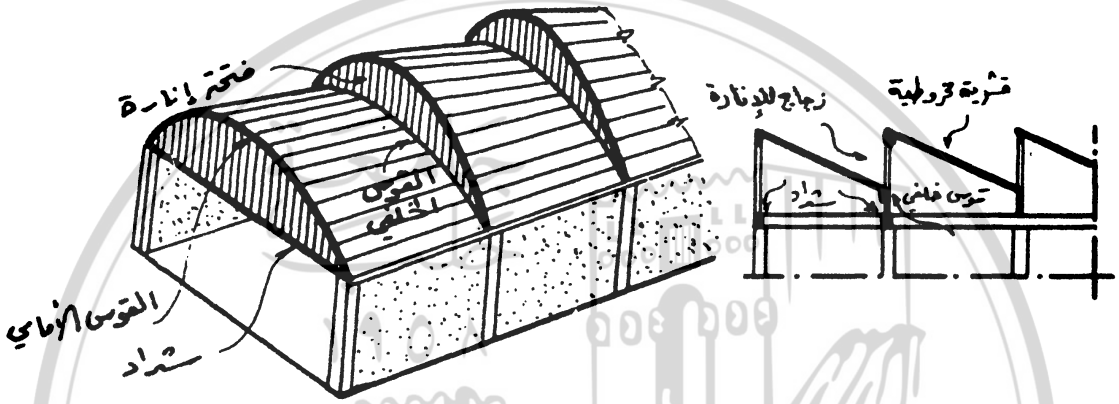
القشريات المخروطية نوع خاص من القشريات ثنائية الانحناء. ويتشكل سطحها من حركة مستقيم يدعى المولد (p) ، (Generator) ، موازٍ للمحور (x) ومستند من الأمام على منحني شاقولي مايدعى بالدليل (Directrix) ، ومن الخلف على خط مستقيم، المحور y. ويختلف شكل هذه القشرية حسب المنحني الدليل، الشكل (١٣ ـ ٢٩) . وفي العادة يؤخذ القسم الأمامي من هذه القشرية فقط نظراً لأن الإجهادات في القسم الخلفي تكون عالية جداً نتيجة لتفلطحه وبحيث تستند من الأمام والخلف على قوسين مختلفي الارتفاع.

تستخدم هذه القشريات بكثرة لتغطية المصانع التي تحتاج إلى الإنارة الطبيعية الجيدة كمصانع



شكل رقم (١٣ ـ ٢٩) القشريات المخروطية.

الالكترونيات والأدوات الكهربائية ، الشكل (١٣ ـ ٣٠) . حيث يتم تنفيذ السقف من عدة قشريات متتالية ، ويستخدم الفراغ بين القوسين الخلفي للقشرية الأمامية والأمامي للقشرية الخلفية كفتحة إنارة زجاجية علوية توجه عادة نحو الشمال لتأمين الإنارة دون دخول أشعة الشمس. وتستند هذه القشريات عادة من الأمام والخلف على قوسين مختلفي الارتفاع مع شداد يربط بين طرفيهما لمقاومة قوى الضغط الأفقية، وبحيث تتحمل الأعمدة قوى شاقولية فقط.



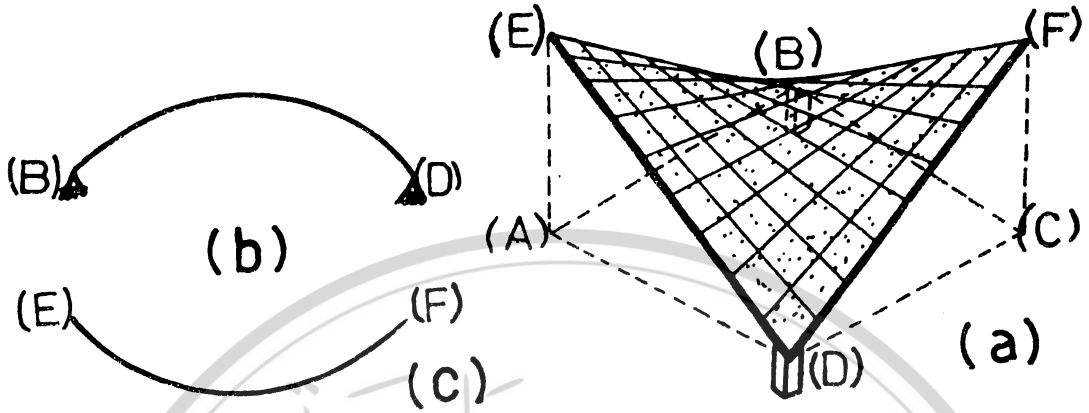
شكل رقم (١٣ ـ ٣٠) استخدام القشريات المخروطية في المصانع ذات الإنارة العلوية.

١٣ ـ ٧ ـ القشريات الملتوية، القشريات المكافئية الزائدية:

SKEW SHELLS , HYPERBOLIC PARABOLOID SHELLS.

تتبع أغلب المنشآت البيتونية المسلحة الأسلوب التقليدي في الإنشاء وهي عادة تتألف من بلاطات أفقية وجوائز محمولة على الأعمدة مع أن البيتون بطبيعته ونظراً لقوامه اللدن عند الصب يمكن أن يأخذ شكل أي قالب يصب فيه. وتعتبر القشريات وشكلها الفراغي المنحني خروجاً عن هذا الأسلوب التقليدي. إلا أن انحناء شكل القالب وصعوبة تشكيله من الألواح الخشبية المستقيمة يعيق أحياناً تنفيذها ويقلل من استخداماتها. وتعتبر القشريات الملتوية، أو القشريات المكافئية الزائدية ، من أحدث الأشكال القشرية المستخدمة والتي أثبتت فعاليتها نظراً لأن سطح هذه القشريات يمكن تشكيله من خطوط أو ألواح خشبية مستقيمة، إضافة إلى استخدامها خواص المواد المستعملة بصورة فعالة لمقاومة

الإجهادات الداخلية وذلك بالاعتماد على شكلها الملتوي. كما أن هذا النوع من القشريات يمكن تنفيذه من الأخشاب أو المواد البلاستيكية والمركبة إضافة إلى البيتون المسلح.



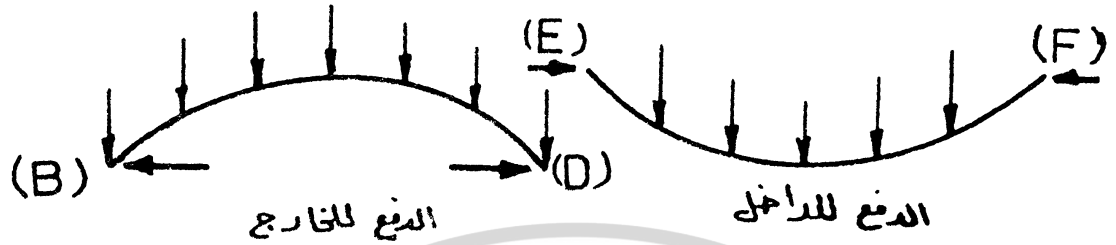
شكل رقم (١٣-٣١) مبدأ القشريات المكافئية الزائدية.

إن المبدأ الأساسي لهذا النوع من القشريات مبين بالشكل (١٣-٣١)، حيث (ABCD) مربع. فإذا رفعنا النقطتين (A) و(C) شاقولياً إلى النقطتين (E) و (F) حصلنا على السطح ثنائي الانحناء (EBFD) الناتج عن لي المربع الأصلي (ABCD). فإذا قسمنا جميع الأطراف إلى عدد من الأقسام المتساوية، ووصلنا بينها بمستقيمات بين الضلعين (ED) و (BF) وكذلك بين الضلعين (EB) و(DF) لرأينا أن هذا السطح الملتوي والمشكل من خطوط مستقيمة بالاتجاهين فقط ما هو إلا سطح ثنائي الانحناء، حيث يكون القطر (BD) مثلاً خطاً منحنياً يبدأ من نقطة منخفضة (B) ثم يرتفع إلى الأعلى ليعود إلى نقطة منخفضة أخرى (D) مشكلاً قطعاً مكافئاً (Parabola) منحنياً نحو الأسفل، الشكل (١٣-٣١-b). ومن ناحية أخرى فإن القطر الآخر (EF) يشكل قطعاً مكافئاً آخر منحنياً نحو الأعلى، الشكل (١٣-٣١-c). كما أن جميع المقاطع الشاقولية الموازية لهذين القطرين تكون على شكل قطوع مكافئة.

وكما رأينا وبالرغم من أن سطح القشرية ثنائي الانحناء، فإن القالب الخشبي اللازم لصبها يمكن تشكيله وبسهولة، حيث يمكن بناؤه من ألواح خشبية مستقيمة ممتدة بشكل موازٍ للأضلاع.

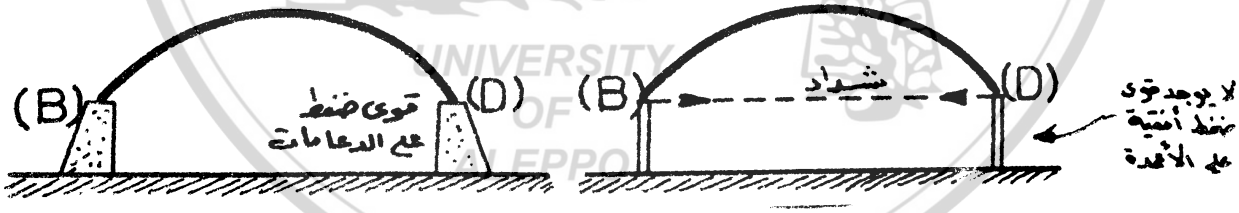
يوضع في العادة جوائز طرفية (Edge beams) على أطراف القشرية الأربعة المستقيمة (DE)، (EB), (BF), (FD) وذلك لتأمين استناد القشرية وإعطائها صلابة كافية. ونتيجة للوزن الذاتي للقشرية

وللحمولات المطبقة، فإن القشرية تحاول الانحناء نحو الأسفل دافعة النقطتين (B) و(D) نحو الخارج والنقطتين (E) و (F) نحو الداخل ، الشكل (١٣ ـ ٣٢) . وتتصرف جميع المقاطع القطرية المنحنية نحو



شكل رقم (١٣ ـ ٣٢) القوى الداخلية في مقاطع القشرية.

الأسفل كالمقطع (BD) كأقواس تتعرض لقوى ضغط ، بينما تتصرف المقاطع القطرية المتعامدة معها والمنحنية نحو الأعلى كالمقطع (EF) ككابلات معلقة تتعرض لقوى شد . وبحيث تتوزع الحمولات الكلية المطبقة على جميع هذه الأقواس المضغوطة والكابلات المشدودة. ولذلك فإن المساند عند النقطتين (B) و(D) يجب أن تتحمل قوى الضغط الكبيرة المطبقة وذلك إما باستخدام دعامات كبيرة أو بربطها معاً بواسطة شداد يتحمل محصلة القوى الأفقية، وبحيث تبقى الأعمدة معرضة لمحصلة القوى الشاقولية فقط، الشكل (١٣ ـ ٣٣) .وعند مقاومة قوى الضغط هذه بإحدى هاتين الطريقتين فإن

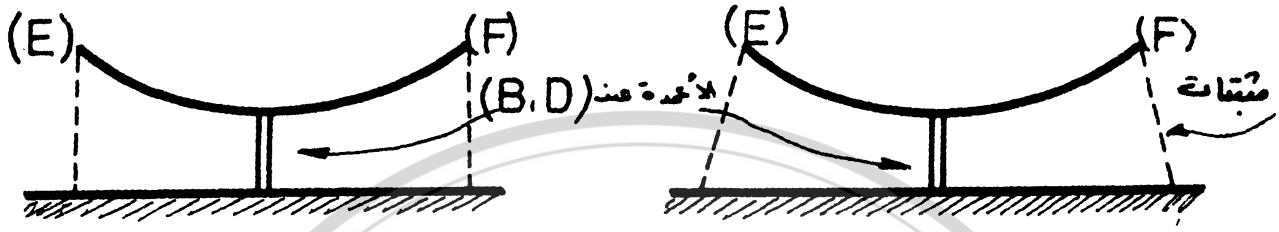


شكل رقم(١٣ ـ ٣٣) مقاومة قوى الضغط في القشرية المكافئية الزائدية.

المقطع المتعامد معه (EF) والذي يتعرض لقوى شد سيبقى ثابتاً في مكانه ولن يتحرك، وذلك نتيجة لمقاومة القوس (BD) لهذه الحركة .

ويمكن مقاومة القوى الداخلية بطريقة أخرى، حيث يمكن تثبيت النقطتين (E) و(F) في

مكانيهما تثبيتاً محكماً، الشكل (١٣ ـ ٣٤)، وبحيث نمنعهما بتاتاً من الحركة وبذلك لن يتمكن القوس (BD) من الحركة نحو الداخل، ولن يطبق في هذه الحالة أية قوى أفقية على الأعمدة (B) و (D) وستتعرض فقط لمركبة القوى الشاقولية وبالتالي ستكون صغيرة المقطع.

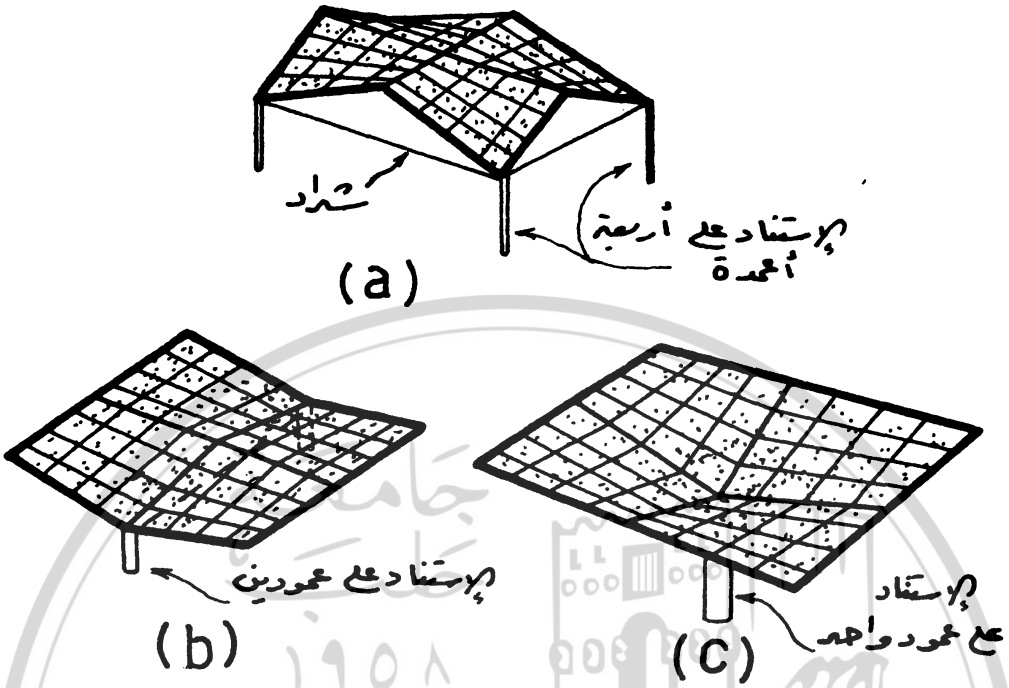


شكل رقم (١٣ ـ ٣٤) مقاومة قوى الشد في القشرية المكافئية الزائدية.

تكون الإجهادات الداخلية في مقاطع هذه القشرية صغيرة جداً وسماكتها قليلة سواءً نفذت من البيتون المسلح أو من المواد الأخرى كالأخشاب. وكمثال على ذلك فإن القشرية المشكلة لسقف مركز دراسة الأشعة الكونية في جامعة ميكسيكو (The cosmic ray pavilion at theUniversity of Mexico) تبلغ سماكتها (16 mm) فقط كي لا تمنع الأشعة من إختراقها. أما في الحالات العادية فإن سماكة هذه القشريات تتراوح بين (60 mm) و (100 mm) وذلك لإعطائها صلابة كافية ولتأمين تغطية جيدة لقضبان فولاذ التسليح.

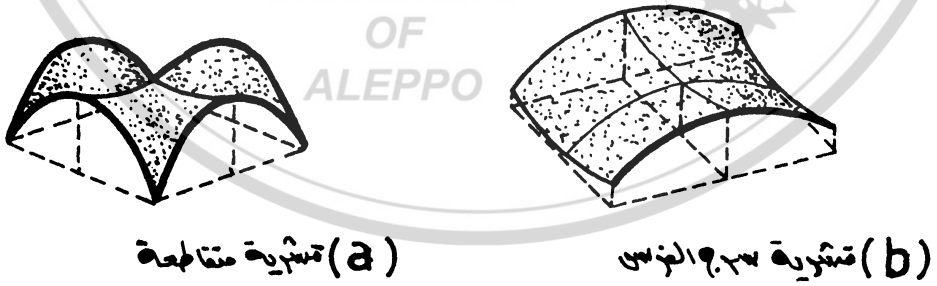
يمكن تنفيذ أشكال مختلفة كثيرة من الأسقف وذلك بجمع عدة قشريات مكافئية زائدية مع بعضها البعض وبطرق متعددة. ويمكن أن تكون هذه الأسقف مستندة على أربعة أعمدة أو عمودين فقط أو حتى على عمود واحد، الشكل (١٣ ـ ٣٥).

وكمثال على منشأ مشابه للسقف المبين بالشكل (١٣ ـ ٣٥ـa)، فقد نفذت قاعة (Ponce coliseum) في مدينة بورتو ريكو (Puerto Rico) وبحيث تتسع لعشرة آلاف مقعد وتحيط بساحة مساحتها ($6000\ m^2$) ومغطاة بأربع قشريات مكافئية زائدية سماكتها (100 mm) فقط ومستندة على أربع دعامات ركنية ضخمة. وكامل السقف مسبق الإجهاد، حيث نفذت بطريقة سبق الإجهاد اللاحق بعد تصلب البيتون وقبل إزالة القالب الخشبي.



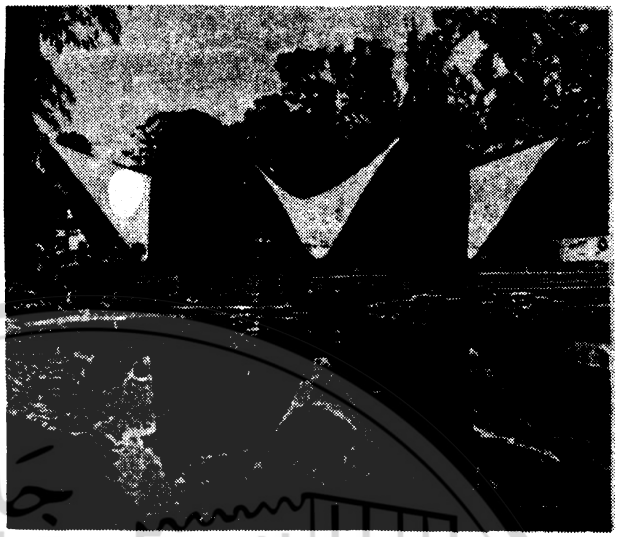
شكل رقم (١٣ ـ ٣٥) بعض أشكال الأسقف المكونة من القشريات المكافئية الزائدية.

ويبين الشكل (١٣ـ٣٦) بعض الأشكال الأخرى للأسقف المشكلة من هذه القشريات كالقشريات المكافئية الزائدية المتقاطعة ، الشكل (١٣ ـ ٣٦ـa) وقشرية سرج الفرس (The horse saddle shell) ، الشكل (١٣ ـ ٣٦ـb).



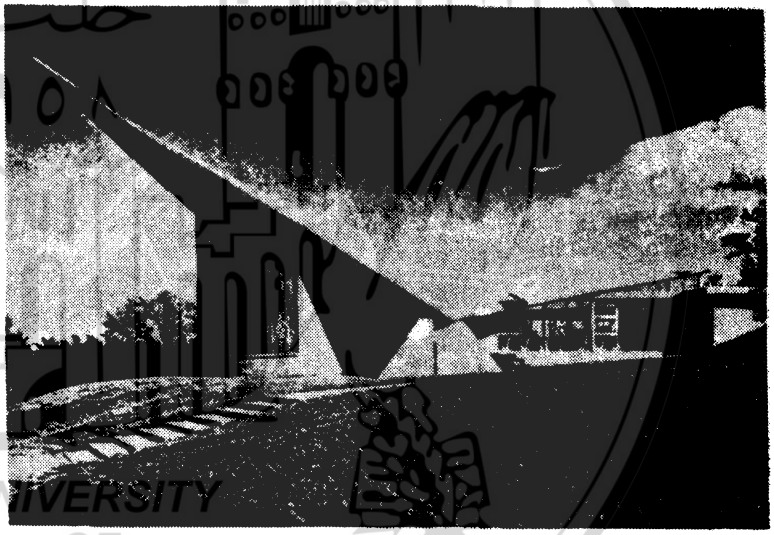
شكل رقم (١٣ ـ ٣٦) بعض الأشكال للأسقف المكافئية الزائدية.

كما يبين الشكل (١٣ ـ ٣٧) بعض المنشآت الفعلية المنفذة والتي تستخدم القشريات المكافئية الزائدية.



مطعم في المكسيك

Candela's Restaurant, Mexico (*Cement & Concrete Association*)



كنيسة في الولايات المتحدة

Elm Grove Church, Wisconsin, USA (*Cement & Concrete Association*)

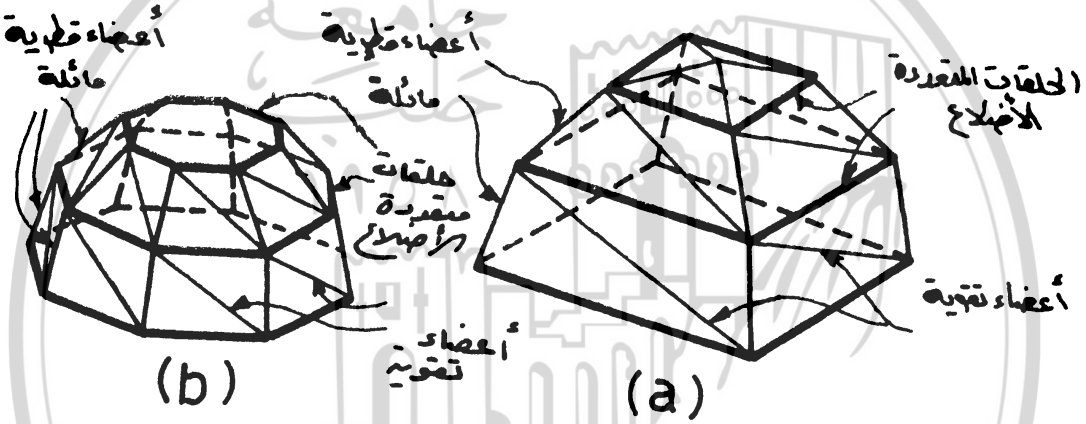
مدرسة في بريطانيا

School at Southwark, London (*Cement & Concrete Association*)

شكل رقم (١٣ ـ ٣٧) بعض المنشآت الفعلية المنفذة بالقشريات المكافئية الزائدية .

١٣ ـ ٨ ـ القباب المقواة: THE BRACED DOMES

إن من أبسط أشكال القباب المقواة هي تلك المؤلفة من عدة حلقات مضلعة مصنوعة من عناصر فولاذية، ومرتبطة مع بعضها بعناصر قطرية مائلة، وبعناصر تقوية محيطية مشكلة مثلثات غير قابلة للحركة أو للانزياحات العرضية الأفقية، الشكل (١٣ ـ ٣٨). ولتوضيح هذا المبدأ، يبين الشكل (١٣ ـ ٣٨ـa) قبة مقواة مؤلفة من مضلع أفقي رباعي فقط، كما يبين الشكل (١٣ ـ ٣٨ ـb) قبة مقواة مؤلفة من مضلع ثماني. وعادة تكون القباب المقواة الفعلية ذات أضلاع أكثر من ذلك بكثير ويعتمد عددها على قطر هذه القباب.



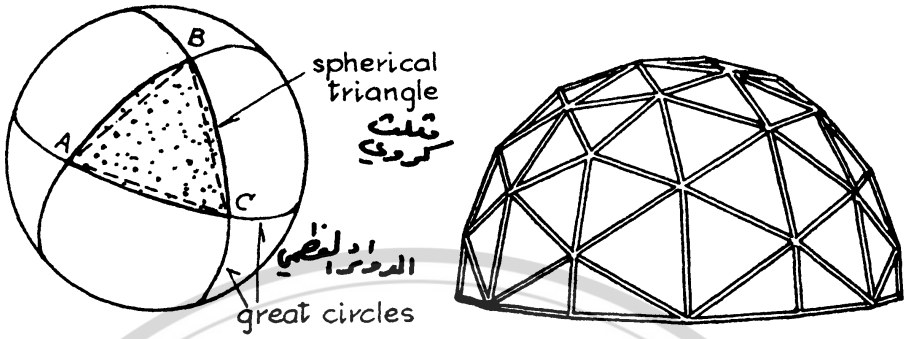
شكل رقم (١٣ ـ ٣٨) القباب المقواة ذات الحلقات المضلعة.

١٣ ـ ٨ ـ ١ ـ القباب الجيوديزية: THE GEODESIC DOMES

وهناك نوع آخر من هذه القباب يدعى القباب الجيوديزية (The geodesic domes) وهي مؤلفة من شبكة من المثلثات المتساوية الأضلاع والمتصلة مع بعضها البعض مشكلة قبة كاملة غير قابلة للتشويه، وبحيث نحصل على أكبر مقاومة وصلابة بأقل كمية من المواد المستخدمة، الشكل(١٣ـ٢٩)، وكلما زاد عدد المثلثات المستخدمة كلما زادت مقاومة القبة للانهيار.

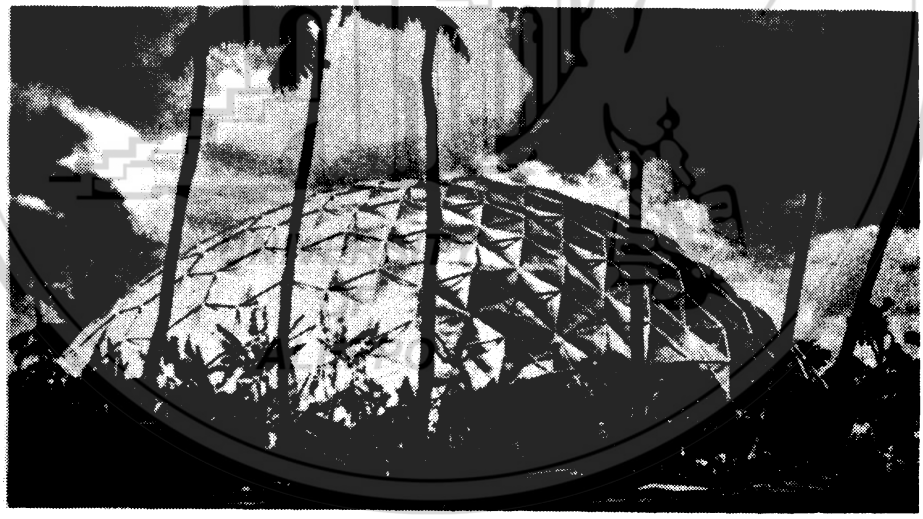
وكمثال لهذه القباب فقط أنشئت قبة جيوديزية لقاعة احتفالات موسيقية في جزيرة هونولولو (Honolulu) دائرية الشكل قطرها (44.2 m) ومؤلفة من عناصر من خلائط الألومنيوم وذلك خلال (22)

ساعة فقط. الشكل (١٣ ـ ٤٠) .



شكل رقم (١٣ ـ ٣٩) القباب الجيوديزية.

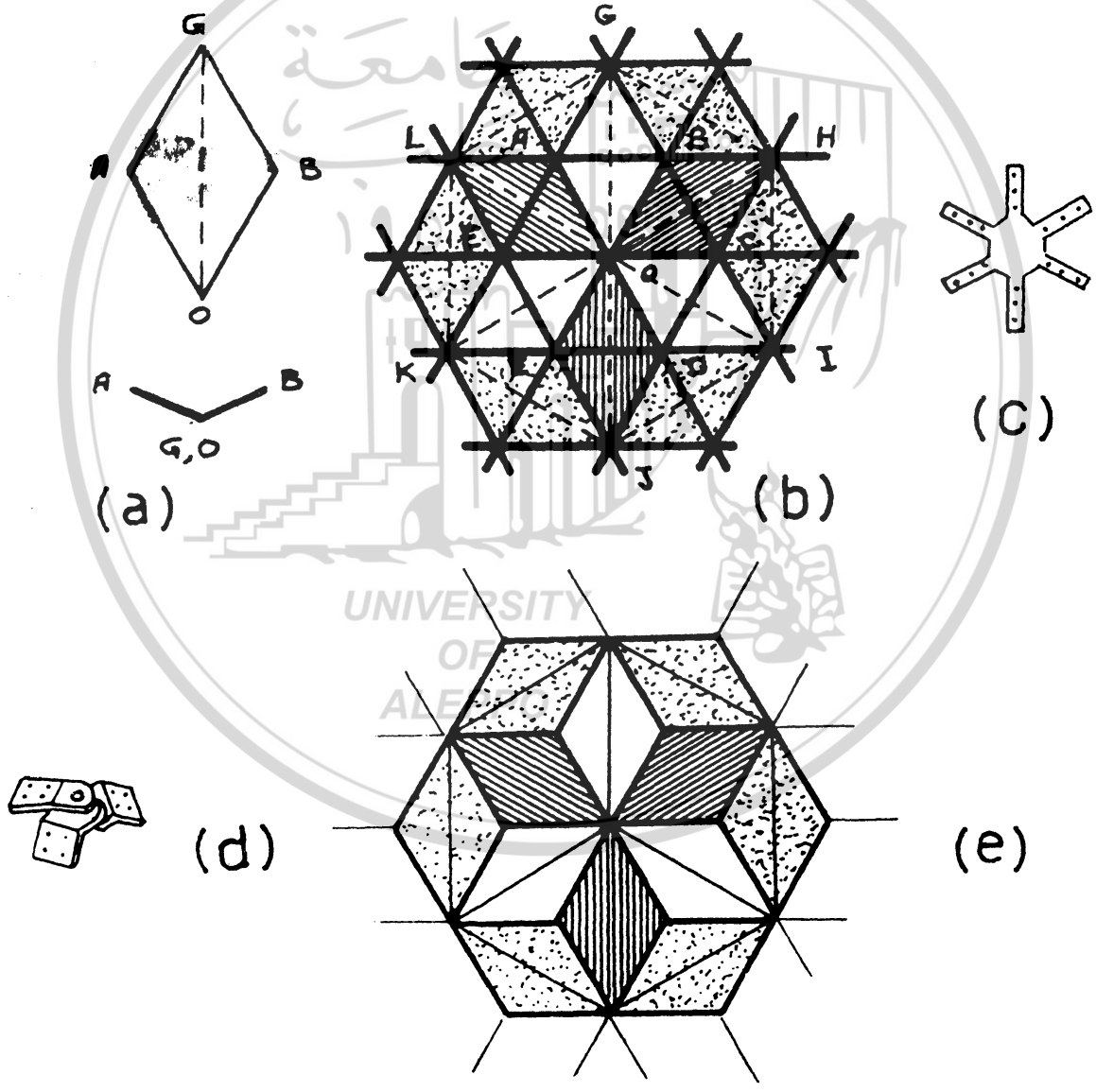
في القباب الجيوديزية تكون مقاومة القبة ناتجة كلياً عن الأشكال المثلثية المشكلة لها. أما التغطية الرقيقة والمؤلفة من رقائق الألومنيوم أو البلاستيك فإنها لا تدخل في حساب مقاومة هذه القباب وتكون وظيفتها محصورة في التغطية فقط.



شكل رقم (١٣ ـ ٤٠) القبة الجيوديزية في جزيرة هونولولو.

يكون للتغطية أشكال مختلفة عديدة، كما أنها يمكن أن تصنع من مواد مختلفة. ولقد استخدمت في تغطية القبة الجيوديزية، المذكورة سابقاً، صفائح من الألومنيوم على شكل معين مطوي

قليلاً حول القطر الكبير (OG) ، الشكل (١٣-٤١ -a) وبحيث يصبح الرأسان (A) و (B) أعلى قليلاً من الرأسين (O) و (G) . تركب هذه الصفائح على القبة بحيث تغطي مثلثين متجاورين وذلك حسب الشكل (١٣ - ٤١ -b) والذي يظهر جزءاً صغيراً منها من الخارج، ويبدو على شكل نجوم سداسية. وبهذه الطريقة تتصل ستة معينات مع بعضها في النقاط المنخفضة (O, G, H, I, J, K, L) وذلك بواسطة القطع السداسية النموذجية المبينة بالشكل (١٣ - ٤١ -c) . أما في النقاط المرتفعة كالنقاط (A, B,C, D,E, F) فيتصل عندها ثلاثة معينات فقط وذلك بواسطة القطع الثلاثية النموذجية المبينة



شكل رقم (١٣ - ٤١) طريقة تركيب صفائح التغطية على القبة الجيوديزية.

بالشكل(١٣ ـ ٤١ـd). وبعد التركيب يصبح شكل صفائح الألومنيوم من الداخل بشكل نجمي، الشكل(١٣ـ٤١ ـe).

يجب ملاحظة أن هذه القباب وبالرغم من مقاطعها الصغيرة ووزنها الخفيف فإنها ذات مقاومة كبيرة وصلابة عالية. وذلك بالإضافة إلى أن التشوهات لا تسبب أية مشكلة في مثل هذه المنشآت كما في الجوائز والإطارات الشبكية، وذلك نظراً لأنها مؤلفة من مثلثات غير قابلة للتشوه. لذلك يمكن في هذه القباب استخدام مواد ذات إنشائية ذات عامل مرونة منخفض كالألومنيوم، حيث أنه مناسب جداً لمثل هذه القباب على عكس استخدامه في الجوائز، كما يمكن استخدام المواد البلاستيكية أوالألياف الزجاجية أيضاً. فلقد نفذت قباب جيوديزية في آلاسكا وكندا وبأقطار تبلغ (16.8 m) من صفائح الألياف الزجاجية (Fiber - glass) وذلك لاستخدامها في تغطية منشآت الرادار العائدة لشبكة الإنذار المبكر والتابعة للقوى الجوية الأمريكية، حيث لا يمكن استخدام المواد المعدنية لأنها تؤثر على موجات شبكات الرادار .و كانت مدة التنفيذ في الموقع لكل قبة لا تتجاوز (14) ساعة فقط .ولقد قاومت أثناء العواصف سرعة رياح بلغت (350) كم / سا.

كما يمكن القول، أنه إذا تم تغطية القباب الجيوديزية بقشرة من المواد البلاستيكية الشفافة، بدلاً من المواد غير النفوذة، فإن القبة تميل لأن تكون غير مرئية وذلك لأن سماكة العناصر التي تتشكل منها صغيرة جداً بالمقارنة مع الحجم الكبير للقبة، مما يجعلها صعبة الرؤية.

إن القباب الجيوديزية ذات إمكانيات كبيرة وغير محددودة ، ومن الناحية النظرية يمكن تصنيع قباب تتجاوز أقطارها عدة كيلومترات. ويمكن في المستقبل رؤية أبنية متعددة مع حدائقها أو حتى مدناً كاملة مغطاة بمثل هذه القباب وتكون ذات تغطية شفافة تسمح لأشعة الشمس بالنفوذ.

الفصل الرابع عشر

المنشآت المعصبة

THE GRID STRUCTURES

١٤ ـ ١ ـ الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع:

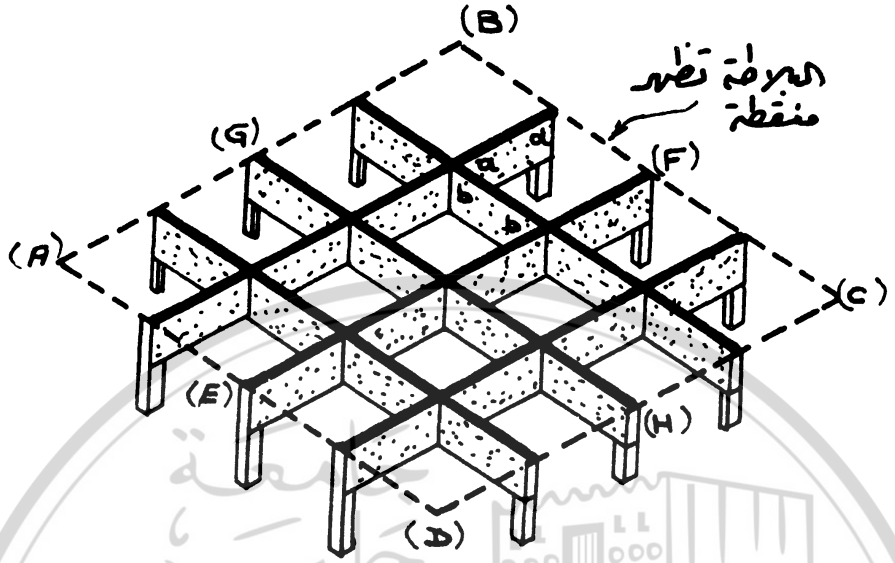
RECTANGULAR GRID ROOFS

كما رأينا سابقاً وعند دراسة البلاطات المعصبة، الشكل (٨ ـ ٢٣) ، فإن جميع الأعصاب المتصالبة الموازية للأضلاع والممتدة بكلا الاتجاهين، والتي تتألف منها الأسقف، تشارك في مقاومة الحمولات والقوى المطبقة . ولذلك فإن هذه الأسقف مناسبة للمساحات الكبيرة المربعة ، أو القريبة من المربعة. ويبين الشكل (١٤ ـ ١) مثالاً مبسطاً لسقف منفذ بهذه الطريقة لتغطية مساحة أبعادها (24.0m x 24.0 m) ، وذات أعصاب متصالبة ، التباعد بينها (6.0 m) ، وبحيث تغطى كل مساحة بينها ببلاطات ثنائية الاتجاه بأبعاد (6.0 m x 6.0 m) . وكما ذكرنا فإن الأعصاب يمكن أن تصمم على شكل مقطع (T) ، وبالتالي تكون مقاطع الأعصاب صغيرة نسبياً.

ويمكن أن تنفذ مثل هذه الأسقف من البيتون مسبق الصنع والإجهاد، وذلك باستخدام قطع مسبقة الصنع ، كالقطع (a a) و (b b) ، لها تجاويف معينة تدخل فيها كابلات سبق الإجهاد، وتشد بالاتجاهين لربط هذه القطع، ولجعلها تعمل كقطعة واحدة متماسكة.

كما يجب ملاحظة أن الأعصاب الوسطية وبالاتجاهين (EF) و (GH) هي الأعصاب الأكثر تعرضاً

لعزوم الانعطاف نظراً لأنها في منتصف المجاز ولأن الانحناء فيها سيكون أعظمياً.



شكل رقم (١٤ ـ ١) الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع.

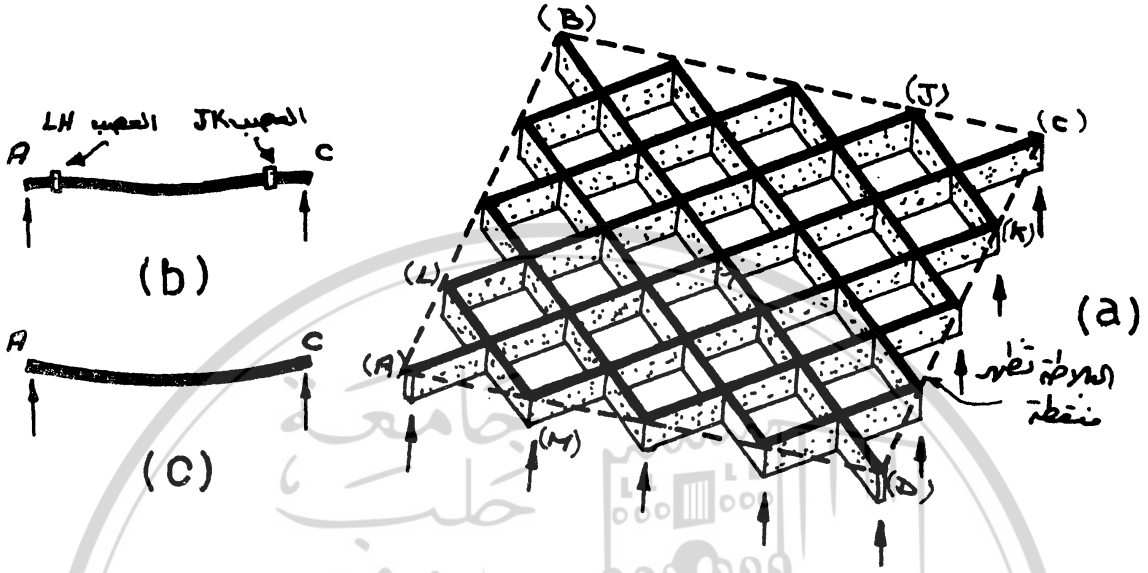
في هذه الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع تكون أطوال الأعصاب متساوية في كل إتجاه، ولذلك فهي أسهل للتنفيذ من الأنواع الأخرى . ويطلق عليها أحياناً أسقف سبت البيض (Egg - crate roofs) .

١٤ ـ ٢ ـ الأسقف ذات الأعصاب القطرية: DIAGONAL GRID ROOFS

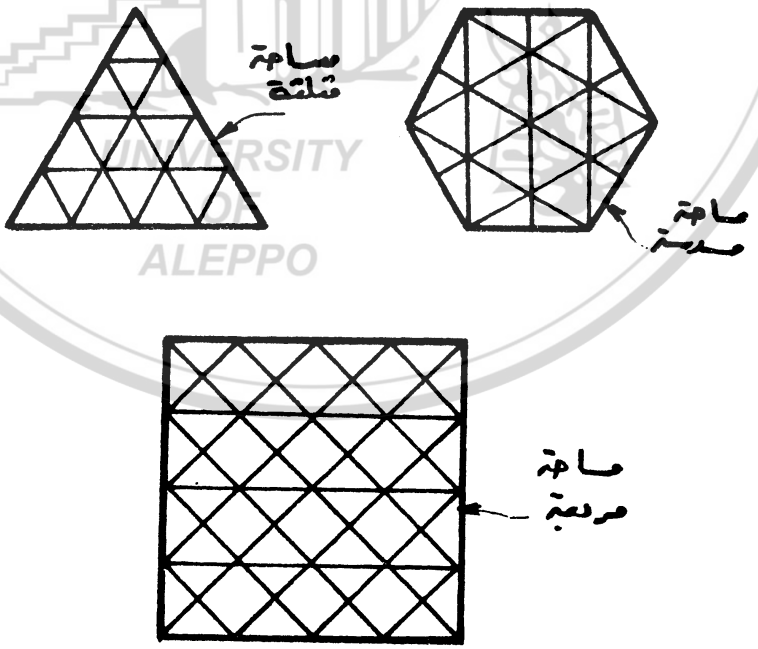
لتغطية المساحات المستطيلة تكون الأسقف ذات الأعصاب القطرية، الشكل (١٤ ـ ٢) أكثر فاعلية من الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع، وذلك نظراً لأنها ذات صلابة أكبر للفتل.

قد يبدو من الوهلة الاولى أن شكل هذه الأسقف، أسوأ من الناحية الإنشائية، من السقف المبين بالشكل(١٤ـ١) . وذلك نظراً لأن الأعصاب القطرية (AC) و (BD) ذات مجازات أكبر من الأعصاب (GH) و (EF) في الشكل الأول . ولكننا إذا دققنا في الأمر، ونظراً لأن جميع الأعصاب ذات مقطع واحد، فإننا نرى أن الأعصاب الطرفية القصيرة المجاز تكون ذات صلابة كبيرة، بحيث تعمل على

مساعدة وحمل الأعصاب القطرية الطويلة. وفي الحقيقة فإن الأعصاب (JK) و (ML) سوف تعمل



شكل رقم (١٤ ـ ٢) الأسقف ذات الأعصاب القطرية.



شكل رقم (١٤ ـ ٣) الأسقف ذات الأعصاب ثلاثية الإتجاه.

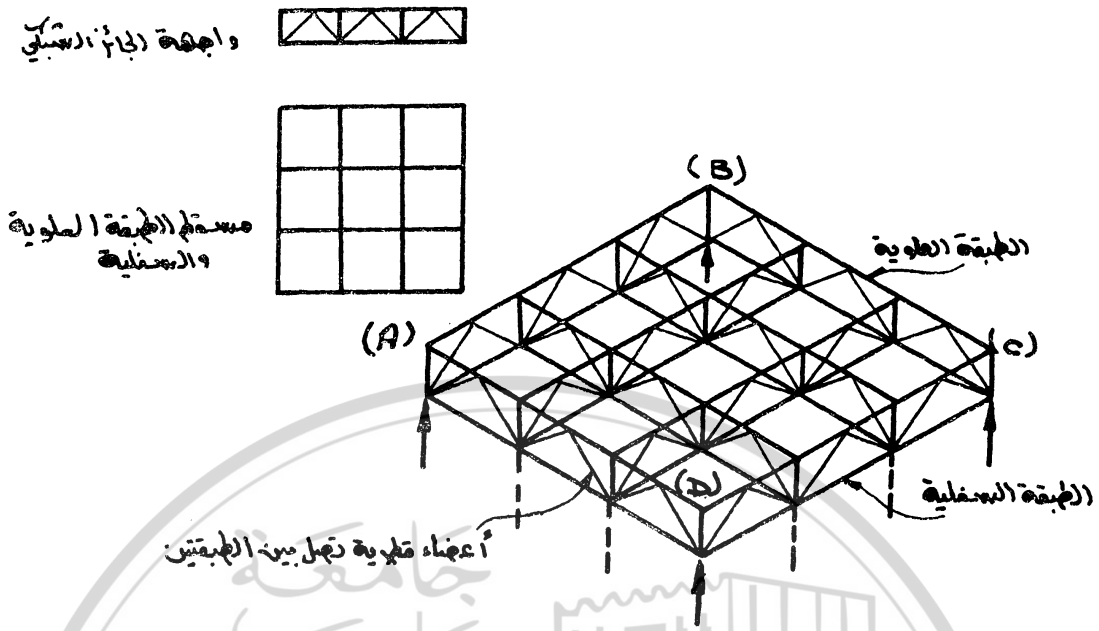
كوثاقة تقريباً للعصب القطري (AC) ، وبحيث تتشوه كما في الشكل (١٤ ـ ٢ ـb) بدلاً من التشوه كجائز بسيط كما المبين بالشكل (١٤ ـ ٢ ـc) .وبذلك تكون عزوم الأنعطاف المطبقة أصغر بكثير من عزوم الانعطاف في الأعصاب ذات الاستناد البسيط في الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع .

يمكن أن تكون الأعصاب ممتدة بثلاث اتجاهات كما هو مبين بالشكل (١٤ ـ٣) . وتدعى بالأسقف ذات الأعصاب ثلاثية الاتجاه (Three - ways grids) وتكون هذه الأسقف أكثر صلابة وتوزيعاً للحمولات ، إلا أنها أصعب تنفيذاً . وتستخدم هذه الأسقف عادة لتغطية المساحات المثلثية والمسدسة وغير المنتظمة .

١٤ ـ ٣ ـ الأسقف المعصبة ذات الطبقة المزدوجة DOUBLE LAYER GRIDS

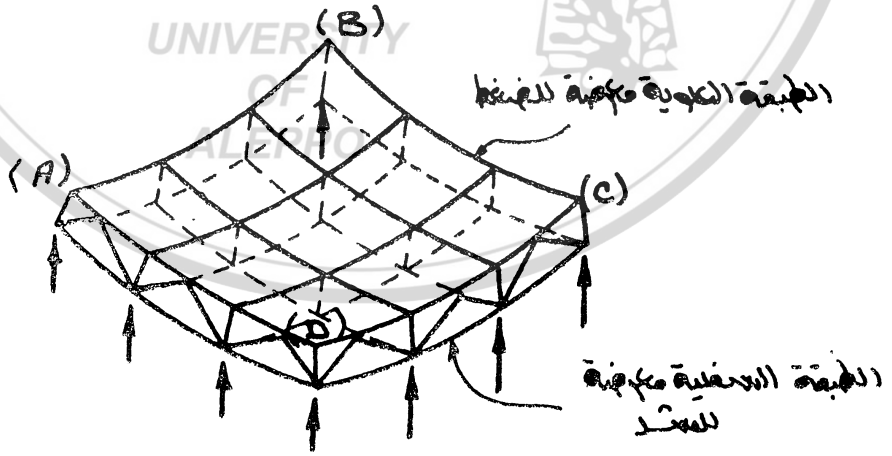
حوالي عام (1945) تم ابتكار شكل جديد من أشكال الأسقف المعصبة ، وخاصة في المنشآت المعدنية ، وذلك تحت أسماء مختلفة كالإطارات الفراغية (Space frames) أو الأسقف الفراغية (Space roofs) ، أو الأسقف المعصبة ذات الطبقة المزدوجة (Double layer grads) . وهناك أشكال مختلفة عديدة لهذه الأسقف من ابسطها المنشأ المبين بالشكل (١٤ ـ ٤) ، والذي يتكون من هيكل شبكي ذي اتجاهين . وهو يتألف من عدد من الجوائز الشبكية المتقاطعة والممتدة بالاتجاهين ، والمتصلة مع بعضها بعقد ثابتة . ويمكن أن نتصور هذا المنشأ كطبقتين متشابكتين إحداهما علوية والأخرى سفلية ، ومتصلتين مع بعضهما البعض بأعضاء شاقولية ومائلة وبالاتجاهين .

وبمقارنة هذه الأسقف مع الأسقف المعصبة ذات الجوائز الصلبة ، الشكل (١٤ ـ ١) ، نرى أن هذه الجوائز الصلبة قد استبدلت بجوائز شبكية مفرغة خفيفة الوزن . ويبين الشكل (١٤ ـ ٥) شكل الانحناء لهذه الأسقف ، مع ملاحظة أننا لم نرسم الأعضاء القطرية لزيادة التوضيح ، حيث تكون الطبقة العلوية ، كما في البلاطات المليئة ، معرضة لقوى ضغط ، والطبقة السفلية معرضة لقوى شد . وتكون الاجهادات الأعظمية مطبقة في الأعضاء والعناصر الوسطية وبالاتجاهين ، أما في الأعضاء القطرية الرابطة بين هاتين الطبقتين فتكون الإجهادات الأعظمية في العناصر قرب نقاط الاستناد .



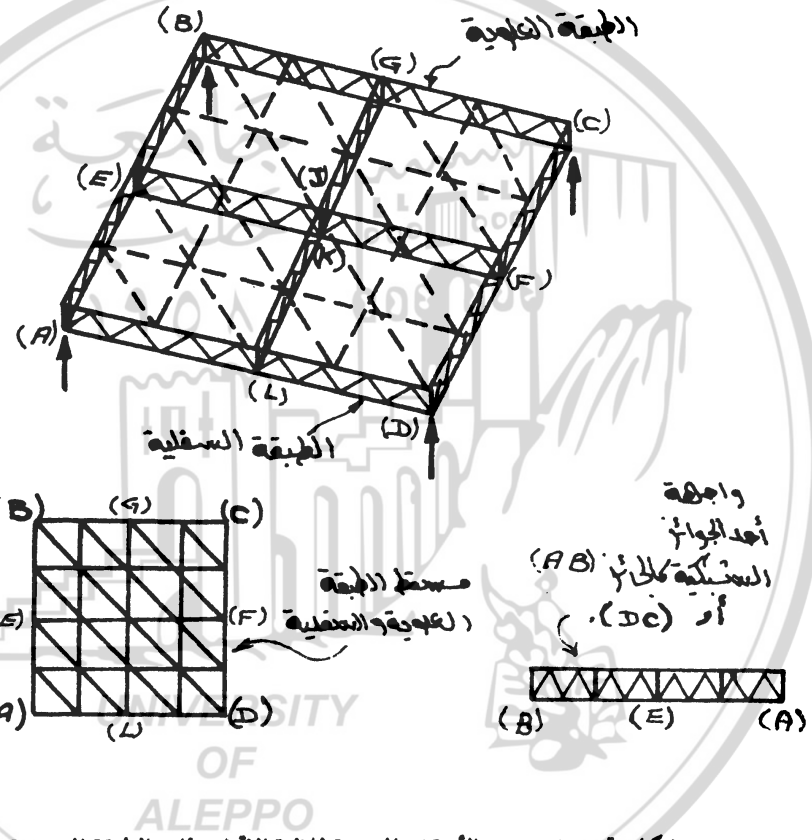
شكل رقم (١٤ - ٤) الأسقف المعصبة ذات الطبقة المزدوجة.

وبالرغم من اختلاف الإجهادات في عناصر وأعضاء هذه الأسقف إلا أنها ولسهولة التنفيذ تصنع من مقاطع فولاذية واحدة ثابتة ولجميع العناصر. أما إذا استخدمت المقاطع الفولاذية الانبوبية فيمكن عندئذ اختيار مقاطع عرضية ذات أقطار خارجية واحدة ولكنها تختلف من حيث السماكة وحسب الإجهادات المطبقة.



شكل رقم (١٤ ـ ٥) شكل الحناء الأسقف ذات الطبقة المزدوجة.

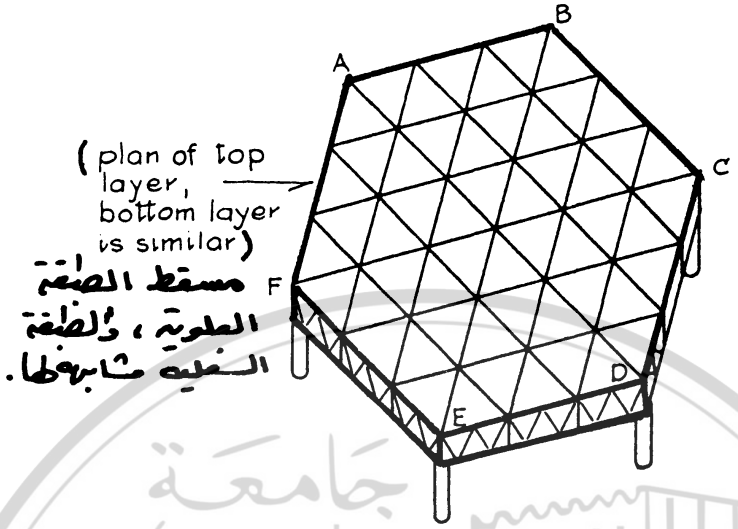
يمكن أن تكون هذه الأسقف ذات أعصاب قطرية أو أعصاب ممتدة بثلاث اتجاهات، الشكل(١٤-٦)، حيث يبين الشكل ست جوائز شبكية فقط، وأشير إلى الباقي بخطوط منقطة، لعدم امكانية رسم جميع الجوائز وعناصرها بشكل واضح. كما يبين الشكل (١٤ -٧) تغطية مساحة سداسية بمثل هذه الاسقف حيث رسمت أعضاء الطبقة العلوية فقط مع ثلاثة جوائز شبكية جانبية (EF) ، (ED) ، (CD) ، أما باقي الجوائز الشبكية الأخرى فيكون لها نفس الشكل.



شكل رقم (١٤ -٦) الأسقف المعصبة ثلاثية الاتجاه وذات الطبقة المزدوجة.

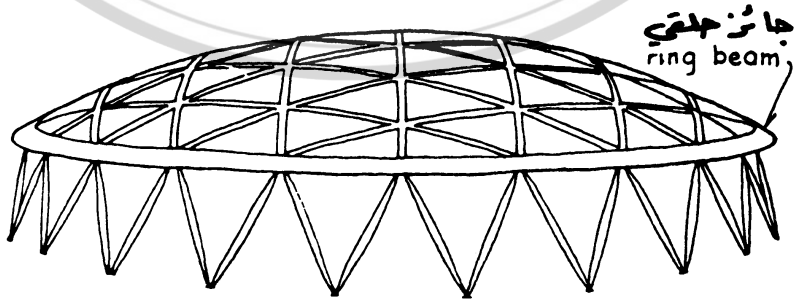
يمكن أن تنفذ هذه الأسقف من البيتون المسلح أو حتى من الأخشاب، ولكنها وفي أغلب الأحيان تنفذ من المقاطع الفولاذية، سواء المقاطع النظامية أم المقاطع الأنبوبية. كما يمكن أن تنفذ من خلائط الالمنيوم، وذلك نظراً لأن التشوهات في مثل هذه الأسقف صغيرة.

من غير الضروري أن تكون الأسقف ذات الطبقة المزدوجة مستوية، بل يمكن تنفيذها بشكل



شكل رقم (١٤ ـ ٧) الأسقف السداسية ثلاثية الاتجاه.

منحن لتشكل قبة فراغية ذات جوائز شبكية منحنية باتجاهين أو أكثر، وفي الحقيقة فإن لهذا الشكل مقاومة وصلابة أكبر من الأسقف المستوية. إلا أنه، وكما في القباب العادية، ستتولد عند أطراف القبة قوى شد كبيرة، تحتاج إلى مساند ضخمة أو جائز حلقي دائري يحيط بالقبة، ويقاوم قوى الشد هذه، وبحيث لا ينقل إلى المساند سوى ردود الافعال الشاقولية. ولقد استخدم هذا المبدأ في تنفيذ قبة المكتشفات (Dome of discovery) في مهرجان بريطانيا عام (1951)، حيث نفذت من عناصر خلائط الألومنيوم وبشكل قبة دائرية ثلاثية الاتجاه ذات طبقة مزدوجة، الشكل (١٤ ـ ٨). ويبلغ قطرها (111.3 m) ولقد كانت، وحتى ذلك التاريخ، ذات القطر الأكبر لأي منشأ هندسي.

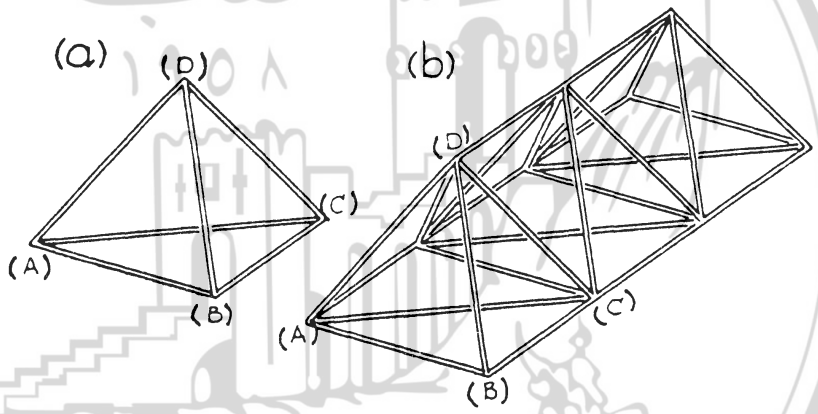


شكل رقم (١٤ - ٨) الأسقف المعصبة المنحنية ثلاثية الاتجاه ذات الطبقة المزدوجة.

١٤ ـ ٤ ـ الأسقف المعصبة الفراغية: SPACE GRID ROOFS

وهي منشآت أكثر صلابة ومقاومة من الأسقف المعصبة، وتعتمد على المبدأ التالي :

إذا قمنا بوصل ستة عناصر مع بعضها البعض مشكلين اطاراً فراغياً على شكل هرم مثلثي، الشكل (١٤ـ٩ـ a) ، فإن هذا الاطار سيكون صلباً ومقاوماً بشكل كبير. وباضافة عناصر أخرى يمكن تشكيل إطار طولي مثلثي، الشكل (١٤ ـ ٩ ـ b) . وبتقاطع مثل هذه االإطارات وبالاتجاهين يمكن تشكيل هيكل فراغي مثلثي مؤلف من أهرامات متجاورة. ونظراً للصلابة الكبيرة لهذه الأشكال الفراغية فإنها مناسبة جداً لأسقف المساحات الكبيرة كالمصانع والمعارض والمسابح المغطاة. وقد تم مؤخراً تنفيذ أسقف معصبة فراغية بأبعاد (100 m x 100 m) ودون أية أعمدة داخلية.

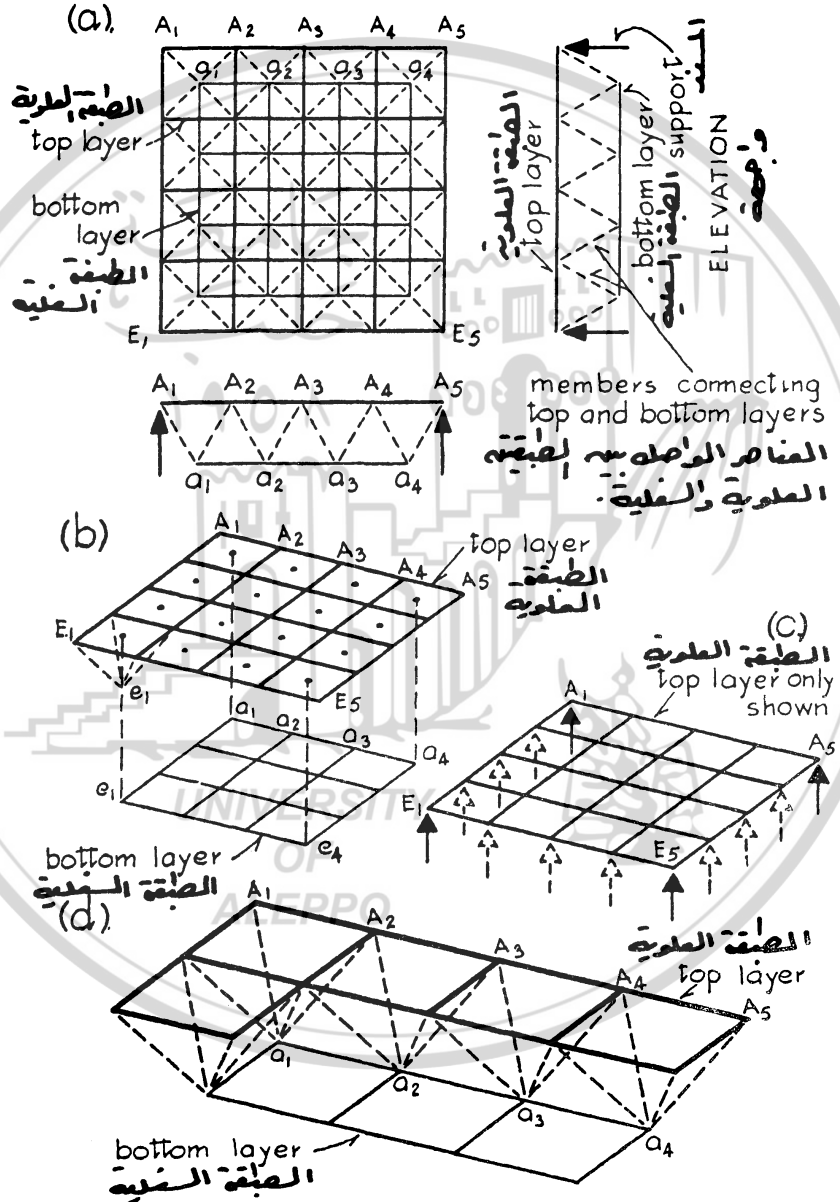


بشكل رقم (١٤ - ٩) الهياكل المعصبة الفراغية .

يبين الشكل (١٤ ـ ١٠) واحداً من أسهل أشكال الأسقف المعصبة الفراغية، وحيث تتألف كلتا الطبقتين العلوية والسفلية من مساحات معصبة مربعة، الشكل (١٤ ـ ١٠ـa) .وتكون هذه المساحات المعصبة في الطبقة العلوية والمبينة بخطوط مستمرة وغامقة مشكلة من قواعد اهرامات مقلوبة، رأسها في الطبقة السفلية. كما أن رؤوس هذه الأهرامات جميعاً (a_1) ، (a_2) ..... الخ، قد جمعت في عناصر أخرى لتشكل مساحات معصبة مربعة أخرى ، والمبينة بخطوط مستمرة رفيعة بالشكل (١٤ ـ ١٠ـa) . أما الأعضاء المائلة، والتي تظهر منقطة، فهي تربط بين قواعد الأهرامات في الطبقة

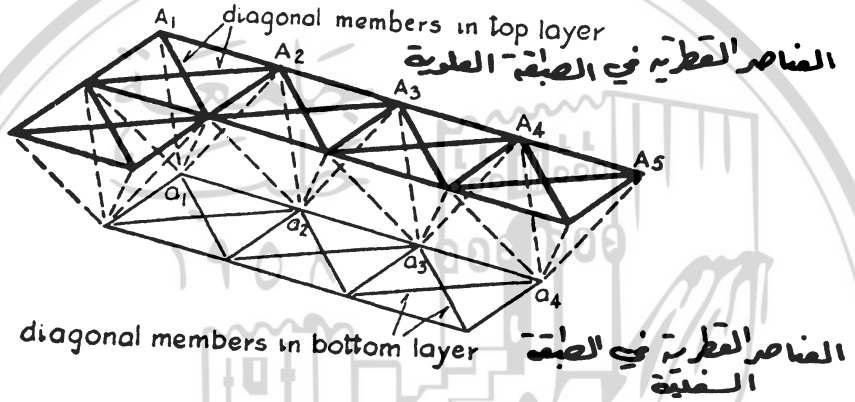
العلوية مع رؤوسها في الطبقة السفلية، ويبين الشكل (١٤ ـ ١٠ ـd) شكلاً فراغياً مبسطاً لهذه الأسقف.

في هذه الأسقف تكون جميع العناصر ذات طول متساوٍ، مما يجعلها سهلة التنفيذ والتركيب.



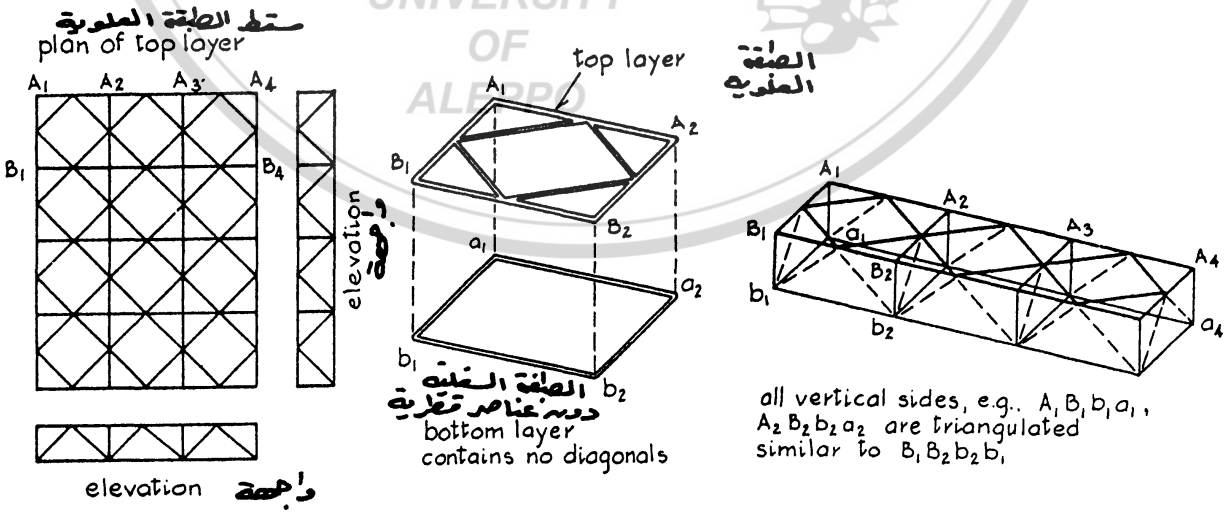
شكل رقم (١٤ - ١٠) الأسقف المعصبة الهرمية.

وتتم تغطية الطبقة العلوية من هذه الأسقف بالتغطية المناسبة ، كما يفضل زيادة عدد نقاط الاستناد على المحيط ما أمكن مما يقلل من الإجهادات في العناصر ، الشكل (١٤ ـ ١٠ـc) . كما يجب التنويه إلى أن السقف المبين بالشكل (١٤ ـ ١٠ـd) وفي الطبقة العلوية والسفلية مؤلف من مساحات مربعة مما يسمح ببعض التشوهات ولجعله أكثر صلابة ومقاومة يمكن وضع عناصر قطرية أفقية لكلا الطبقتين العلوية والسفلية باتجاه واحد أو باتجاهين لجعلها على شكل مثلثي غير قابل للتشوه، الشكل (١٤ ـ ١١).



شكل رقم (١٤ - ١١) العناصر القطرية في الطبقتين العلوية والسفلية.

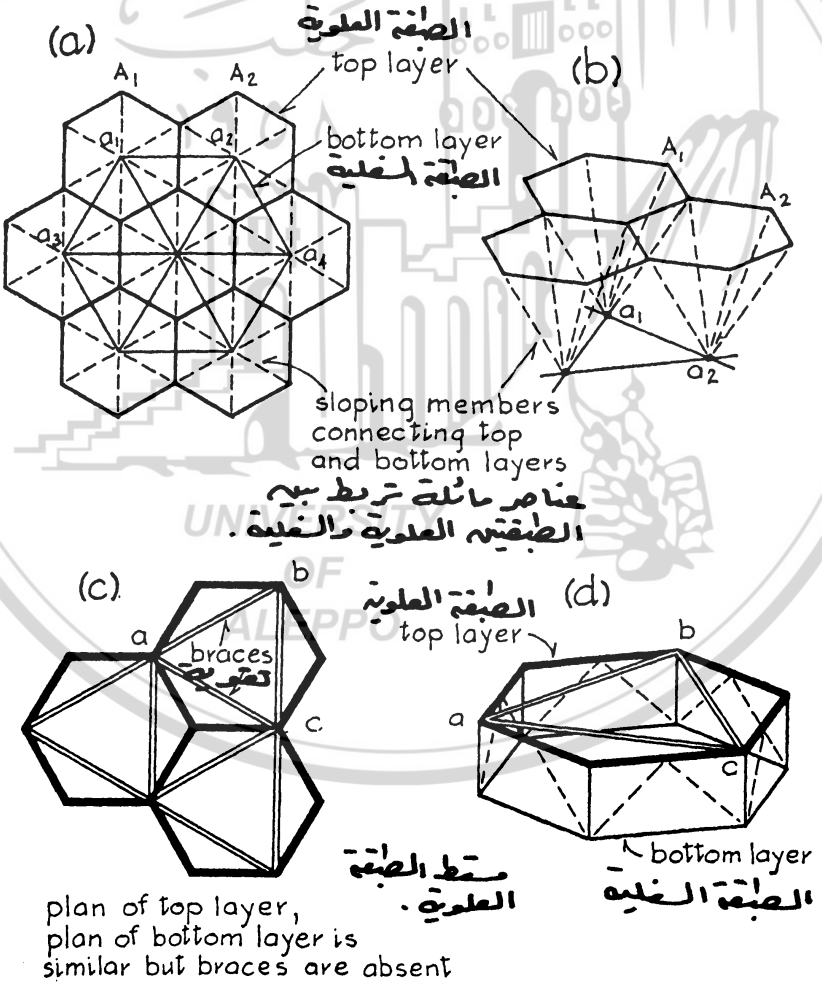
كما يبين الشكل (١٤ ـ ١٢) نموذجاً آخر من الأسقف المعصبة الفراغية المكعبية ، حيث يمكن



شكل رقم (١٤ - ١٢) الأسقف المعصبة المكعبية.

تصوره كطبقتين من العناصر الفراغية المتقاطعة، حيث قويت عناصر الطبقة العلوية المعرضة لإجهادات الضغط بعناصر قطرية أفقية، بينما بقيت عناصر الطبقة السفلية والمشابهة للطبقة العلوية دون تقوية نظراً لأنها تتعرض لإجهادات الشد.

وفي السنوات الأخيرة تم تنفيذ بعض الأسقف المعصبة الفراغية ذات العناصر المضلعة السداسية في أحد أو كلا الطبقتين العلوية والسفلية، وتدعى أحياناً أسقف خلايا النحل، الشكل (١٤-١٣)، حيث يظهر الشكلان (١٤-١٣-a و b) سقفاً مؤلفاً من أهرامات سداسية مقلوبة قواعدها في الطبقة العلوية، ورؤوسها في الطبقة السفلية، وبحيث تربط عناصر مائلة بين زوايا قواعد الأهرامات المسدسية ورؤوسها في الطبقة السفلية. كما تربط رؤوس هذه الأهرامات بعناصر إضافية لتشكل الطبقة



شكل رقم (١٤ - ١٣) الأسقف المعصبة السداسية، أسقف خلايا النحل.

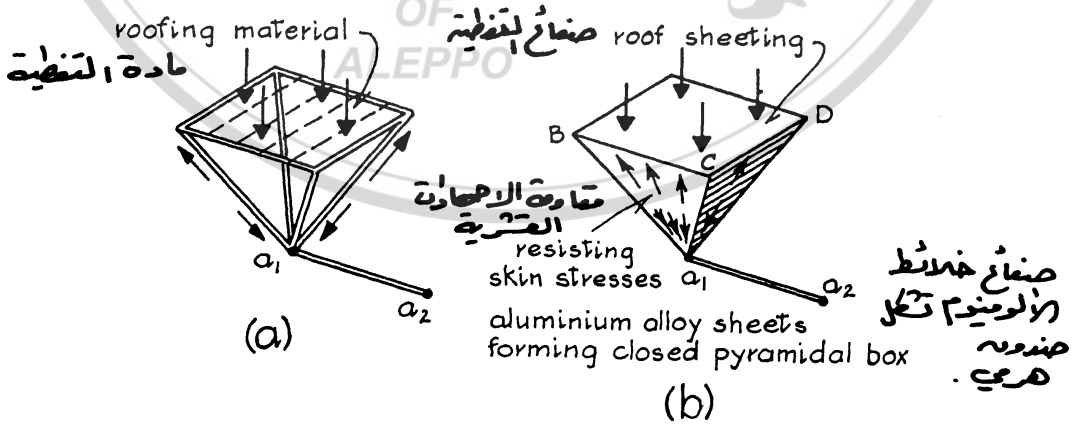
السفلية على شكل مثلثات متساوية الأضلاع. ويظهر الشكل عناصر الطبقة العلوية بخطوط مستمرة غامقة وعناصر الطبقة السفلية بخطوط مستمرة رفيعة، والعناصر المائلة القطرية بخطوط منقطة .

كما يظهر الشكلان (١٤ ـ ١٣ ـc و d) نموذجاً لسقف معصب فراغي آخر، حيث تتألف الطبقتان : العلوية والسفلية من عناصر مضلعة سداسية، وحيث تقوى الطبقة العلوية فقط والمعرضة لإجهادات الضغط بعناصر إضافية قطرية كالعناصر (ab) و (ac) و (bc) ، كما تتوضع العناصر المائلة والتي تربط بين الطبقتين العلوية والسفلية على محيط المضلعات العلوية والسفلية، الشكل (١٤ ـ ١٣ ـ d).

إن جميع أشكال الأسقف المعصبة الفراغية تستخدم قضباناً أو عناصر انبوبية من الفولاذ أو خلائط الألومنيوم متصلة مع بعضها البعض في العقد بواسطة قطع تثبيت خاصة.

١٤ ـ ٥ ـ الأسقف المعصبة الصفائحية STRESSED SKIN GRID ROOFS

بالعودة إلى الشكل (١٤ ـ ١٠) والذي يبين الأسقف المعصبة الهرمية، نرى أن هذا السقف قد تم تشكيله من عناصر أنبوبية، أو قضبان مرتبطة مع بعضها البعض عند العقد مشكلة أهرامات مقلوبة متصلة، كما أن رؤوس هذه الأهرامات (a_1) ، (a_2) ..الخ، تتصل مع بعضها البعض مشكلة الطبقة



شكل رقم (١٤ - ١٤) الأهرامات الصفائحية المغلقة .

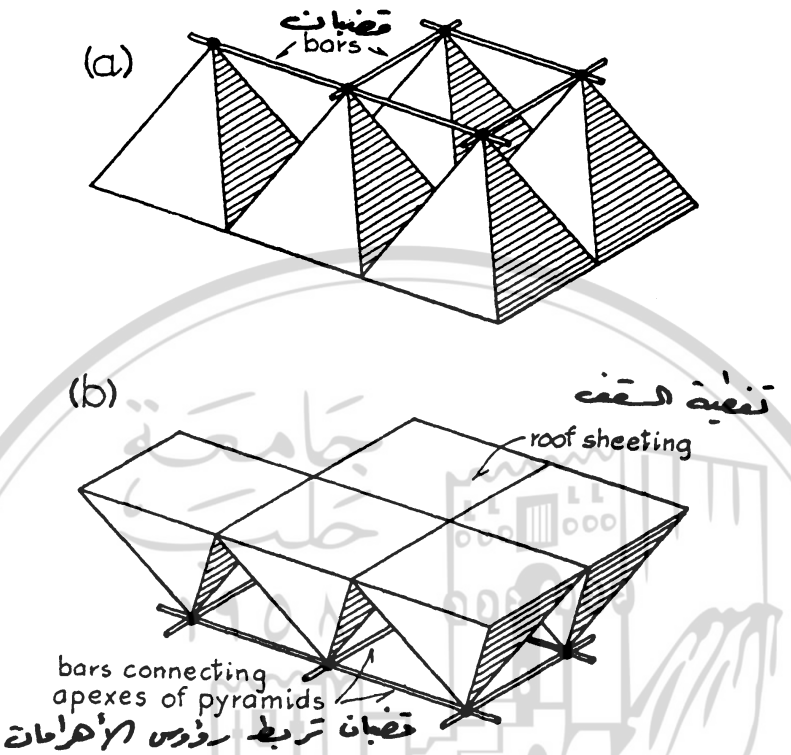
السفلية، الشكل (١٤ ـ ١٤ ـ a) . وكما نرى فإن القضبان المائلة والتي تربط بين الطبقتين العلوية والسفلية تتعرض لقوى ضغط، ولذلك يجب أن تكون مقاطعها كبيرة نسبياً لمقاومة خطر التحنيب العرضي .

ولقد تم حديثاً تطوير أشكال جديد ة من هذه الأسقف تدعى منشآت الأسقف الهرمية (Pyradex roof construction) والتي تعتمد على مبدأ القوى الصفائحية والقشرية. فبدلاً من استخدام القضبان أو العناصر الأنبوبية تم استخدام صفائح رقيقة من خلائط الألومنيوم ملحومة مع بعضها البعض عند الحروف (a_1 b)و (a_1 c) لتشكل الأهرامات المطلوبة ، الشكل (١٤ ـ ١٤ ـb) ، وحيث تعمل كامل مساحة أوجهها ، (a_1BC) أو (a_1CD) ، على تحمل قوى الضغط . وبالرغم من أن هذه الصفائح رقيقة إلا أنها لا تتعرض لخطر التحنيب لأنها ملحومة مع الصفائح المجاورة مما يعطيها مقاومة كبيرة وثباتاً تاماً.

إن هذا القطع ذات الأشكال الهرمية صلبة ومقاومة جداً ، وبحيث يمكن تنفيذها من الصفائح الخشبية الملساء (Plywood) ، أو الصفائح البلاستيكية، بالإضافة إلى صفائح الفولاذ أو خلائط الألومنيوم. كما أن ربط عدد منها وبالإتجاهين مع ربط رؤوسها بقضبان فولاذية يمكن أن يعطينا أسقفاً فراغية صفائحية معصبة، ويمكن أن تكون هذه الرؤوس موجهة للأعلى أو للأسفل ، الشكل (١٤ـ١٥).

ففي النموذج المبين بالشكل (١٤ ـ ١٥ ـa) ، وحيث تكون رؤوس الأهرامات موجهة للأعلى، يمكن أن نستفيد من الصفائح الطرفية لهذه الأهرامات كصفائح تغطية للأسقف، ويمكن في هذه الحالة الابقاء على القاعدة السفلية مفتوحة. أما في النموذج المبين بالشكل (١٤ ـ ١٥ ـb) ، والتي تكون رؤوس الأهرامات فيها موجهة للأسفل، فإن للصفائح العلوية أهمية كبيرة. فبالإضافة إلى أنها ستستخدم كتغطية للأسقف فهي تعطي لهامقاومة وصلابة كبيرتين. كما و تنفذ القضبان الرابطة لرؤوس الأهرامات بحيث تشكل شبكة باتجاهين أو ثلاث اتجاهات . ولهذا النموذج ميزات جيدة من حيث توزيع الصوت ومنع الضجيج، ولذلك فهي تستخدم عادة في المطاعم ومحطات السكك

الحديدية والمسابح المغلقة.



شكل رقم (١٤-١٥) منشآت الأسقف الهرمية.

وأخيراً يجب التنويه إلى أنه يمكن أيضاً في منشآت الأسقف الهرمية استخدام القطع الهرمية السداسية والثمانية وغيرها و بالشكل المرغوب.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل الخامس عشر

المنشآت المعلقة

THE CABLE SUSPENDED STRUCTURES

١٥ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

لقد استخدمت الكابلات الفولاذية في الجسور المعلقة منذ حوالي المائة عام كما استخدمت الحبال من المواد الأخرى منذ مئات السنين ، إلا أن مبدأ المنشآت المعلقة لم يستخدم إلا حديثاً في حمل الأسقف والعناصر الأخرى في المباني .

إن الكابلات الفولاذية لاتقاوم بالطبع سوى الشد ، وهي بالتالي تستخدم المادة الانشائية أحسن استخدام ، كما أنها لاتتعرض لخطر التحنيب العرضي لذلك فإن طول الكابلات الكبير لايؤثر على مقدار مقاومتها .

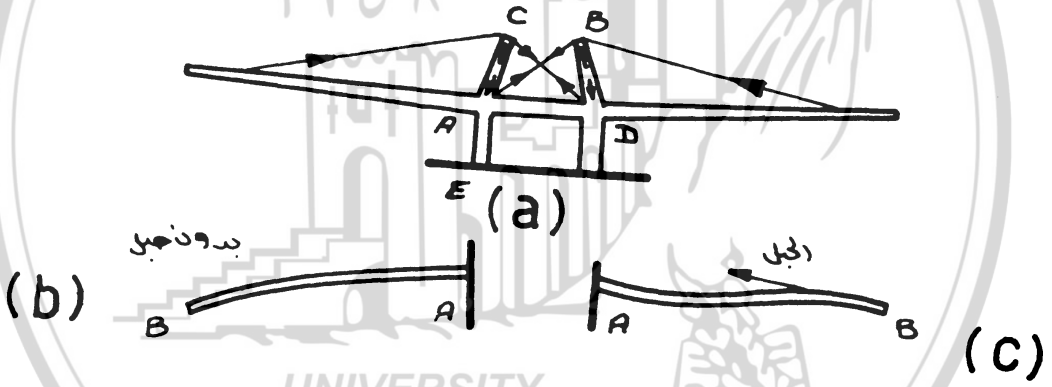
تصنع الكابلات الفولاذية من أسلاك رفيعة مجدولة مسحوبة علي البارد ذات مقاومة عالية جداً تصل إلى :(σ_{su}= 2300 MPa = 13000 kg / cm^2) بالمقارنة مع الفولاذ العادي الطري ذي المقاومة :

(σ_{su} = 360 MPa = 3600 kg / cm^2)

١٥ ـ ٢ ـ المنشآت المعلقة : CABLE SUSPENDED STRUCTURES

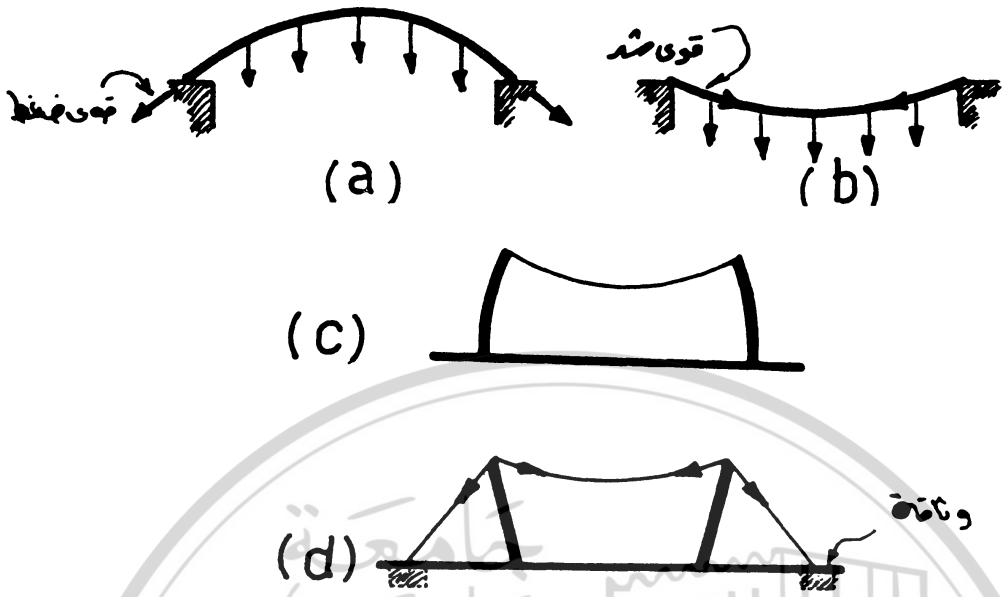
يبين الشكل (١٥ ـ ١) أحد المبادىء البسيطة والأولية لاستخدام الكابلات الفولاذية في المنشآت

المعلقة ، وهو المبدأ الذي استخدم في بناء إحدى رحبات إصلاح الطائرات في مدينة كنساس (Kansas city) بالولايات المتحدة . حيث نلاحظ أن الظفر (AB) ، إن لم يكن معلقاً بكابل فولاذي ، سوف ينحني بشكل كبير وكما هو مبين بالشكل (١٥ ـ ١ ـb) . وستكون قيم عزوم الانعطاف كبيرة جداً . أما إذا ربطنا طرف هذا الظفر بكابل أو بشداد فولاذي ، لأصبح شكل الانحناء كما هو مبين بالشكل (١٥ ـ ١ ـc) . وكما نلاحظ فإن قيم الانحناء وكذلك عزوم الانعطاف المطبقةستنخفض بشكل كبير وبالتالي ستكون أبعاد المقاطع أصغر بكثير . إلا أنه يجب التفكير في طريقة تثبيت هذه الكابلات ومقاومة قوى الشد فيها ، فلو أنها ثبتت في النقطة (C) لتعرض العنصر (AC)لعزوم انعطاف كبيرة جداً . إلا أننا إذا ثبتنا طرف هذه الكابلات عند النقطة (D) ، وباختيار ميل مناسب للعنصر (AC) فإن القوى المطبقة عليه ستكون قوى ضغط محوري فقط . وكذلك ستكون القوى المطبقة على الأعمدة (AE) .



شكل رقم (١٥ - ١) أحد المبادىء المستخدمة في المنشآت المعلقة .

وكما في الأقواس التي تطبق ضغط على المساند ، الشكل (١٥ ـ ٢ ـa) فإن الكابلات الفولاذية ، والتي يمكن اعتبارها أقواساً مقلوبة ، ستطبق قوى شد كبيرة تحاول سحب هذه المساند ، الشكل (١٥ ـ ٢ ـb) . ولذلك يجب الانتباه إلى ثبات هذه المساند وبحيث لايحصل فيها أية حركة أو إنزلاقات . ففي الشكل (١٥ ـ ٢ ـc) ، حيث ثبتت الكابلات الفولاذية مباشرة على الأعمدة ، تسبب قوى الشد الناتجة عنها إلى تولد عزوم انعطاف كبيرة في الأعمدة تؤدي لانحنائها . أما إذا مددنا الكابل الفولاذي بحيث تم تثبيته على الأرض ، وباختيار ميل مناسب لهذه الأعمدة ، فإنها لن تتعرض إلا لقوى



شكل رقم (١٥ ـ ٢) قوى الشد في الكابلات الفولاذية .

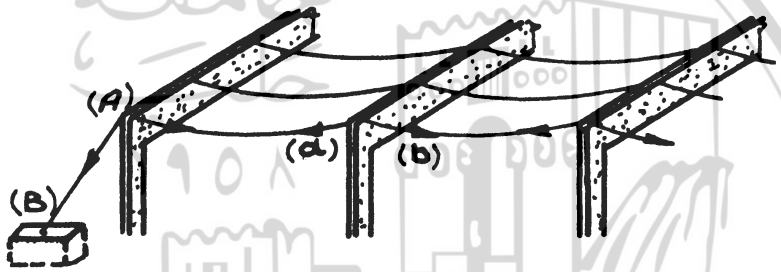
ضغط محورية .

إن الشكل (١٥ ـ ١) يوضح لنا طريقة استخدام الكابلات الفولاذية في تحميل الأسقف وتقليل عزوم الانعطاف والاجهادات المطبقة على عناصرها ، وبالتالي الوصول إلى مجازات كبيرة . إلا أنه وفي السنوات القليلة الماضية ، تم تنفيذ بعض المنشآت بحيث كانت الكابلات الفولاذية فيها تشكل جزءاً رئيسياً من الهيكل الانشائي الحامل .

وكمثال على طريقة تغطية مساحة مستطيلة بسقف معلق وباستخدام الكابلات الفولاذية الممتدة باتجاه واحد ، تم تنفيذ سقف قاعة الركاب الكبرى في مطار واشنطن ، والتي يبلغ مجازها (49.0 m) وذلك بمد الكابلات الفولاذية ذات الأقطار (25 mm) وبتباعدات (3.0 m) لتحمل قطع البيتون المسبقة الصنع والتي تشكل تغطية السقف . ولقد ثبتت أطراف هذه الكابلات إلى جائزين طرفين كبيرين محمولين على أعمدة تحيط بالمبنى من طرفيه . ولتقليل عزوم الانعطاف المتولدة في الأعمدة نتيجة لقوى الشد في الكابلات تم إعطاء هذه الأعمدة ميلاً مناسباً نحو الخارج .

يبين الشكل (١٥ ـ ٣) تحليلاً إنشائياً مبسطاً لاستخدام الكابلات الفولاذية الممتدة باتجاه واحد

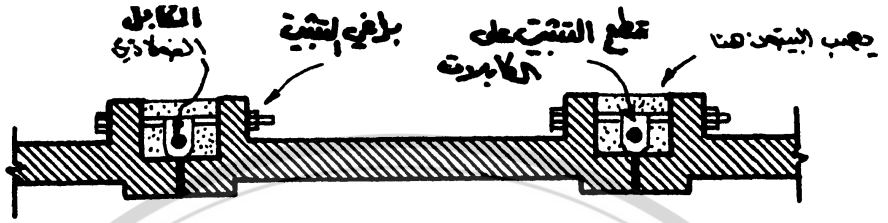
في الأسقف المعلقة . وكما نرى فإن المركبات الأفقية لقوى الشد عند المساند الداخلية (F_a) و (F_b) تلغي بعضها بعضاً ، وتكون محصلة هذه القوى مركبة شاقولية فقط تطبق على الجوائز الداخلية . أما في المساند الطرفية فيجب أن تكون الجوائز والأعمدة قادرة على تحمل تأثيرات قوى الشد في هذه الكابلات. كما يمكن وكحل آخر ، مد الكابلات وتثبيتها مع الأساسات إلى الأرض ، المسافة (AB), وكما هو مبين بالشكل (١٥-٣) . وفي هذه الحالة يجب التأكد من زيادة وزن الأساسات بحيث لاتسمح لقوى الشد في الكابلات أن تنزعها من مكانها . كما أن الجوائز والأعمدة الطرفية يجب أن تكون قادرة على تحمل تأثيرات محصلة قوتي الشد في طرفي الكابل .



شكل رقم (١٥ - ٣) الأسقف المعلقة ذات الكابلات الممتدة باتجاه واحد .

تكون التغطية عادة في المنشآت المعلقة على شكل قطع مصنعة نموذجية من المواد خفيفة الوزن ، كصفائح الألومنيوم أو اللدائن المقواة أو المقاطع المركبة . كما يمكن استخدام القطع البيتونية مسبقة الصنع في تشكيل الأسقف المعلقة كما هو مبين بالشكل (١٥ - ٤) ، حيث تثبت هذه القطع ذات الأشكال النموذجية على الكابلات الفولاذية بواسطة قطع خاصة وبراغي . ولتأمين ثبات السقف وعدم حركته واهتزازه نتيجة للقوى الأفقية ولتغيرات درجة الحرارة ، يتم تحميل كامل السقف بأحمال أو بأكياس من الرمل تعادل ضعف الأحمال الحية التي ستطبق عليه ، مما يؤدي إلى تمدد الكابلات الفولاذية وهبوط السقف قليلاً . ثم تصب الفواصل الطولية والعرضية بين القطع المسبقة الصنع ببيتون ذي مقاومة جيدة ويترك حتى يتصلب . ثم تنزع الأحمال من علي السقف فتحاول الكابلات الفولاذية العودة إلى طولها الأصلي مسببة تطبيق حمولات ضغط علي هذا البيتون . وبالتالي سيكون كامل

السقف البيتوني معرضاً لقوى ضغط مما يعطيه ثباتاً وصلابة ويمنع حركته . وتشبه هذه العملية بشكل أو بآخر طريقة سبق الإجهاد في المقاطع البيتونية .

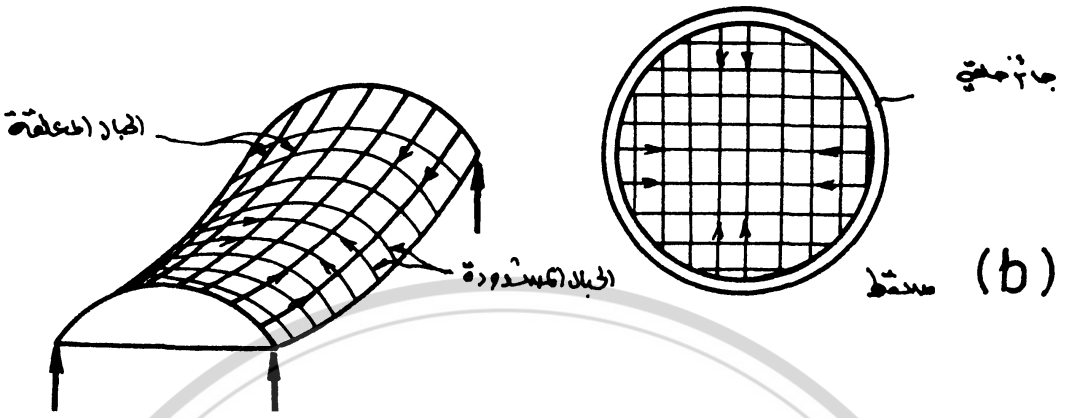


شكل رقم (١٥ ـ ٤) تغطية الأسقف المعلقة بالقطع البيتونية مسبقة الصنع.

إن المشكلة الأكبر في الأسقف المعلقة، هي الاهتزاز والحركة تحت تأثير الحمولات الأفقية والرياح وتغير درجة الحرارة . فإذا توافق زمن هذا الاهتزاز مع دور الاهتزاز الطبيعي للمنشأ عندئذ يحدث مايدعى بظاهرة الطنين (The Flutter) ، ويتعرض السقف إلى اهتزازات كبيرة ومتزايدة خطيرة قد تؤدي لانهياره . (عدد من الجسور المعلقة قد انهار بالفعل نتيجة لظاهرة الطنين مع حركة واهتزازات الرياح) . وكتمثيل لظاهرة الطنين يمكن أن نذكر حركة الأرجوحة والتي يمكن بتطبيق قوى صغيرة وبأزمان متتالية ومتساوية ، وكلما عادت الأرجوحة لنفس المكان ، أن نحصل على حركة متزايدة بشكل كبير .

استخدم المصممون الإنشائيون أساليباً وطرقاً عديدة في منشآتهم لتقليل خطر الطنين، فمثلاً في الأسقف المنحنية بالاتجاهين تم استخدام كابلات فولاذية ممتدة بكلا الاتجاهين وبحيث تشد الكابلات العرضية بقوة مسبقاً ، وقبل تعرض السقف للحمولات الخارجية ، مما يعطيه تماسكاً وصلابة كبيرين ويمنع حركته تحت تأثير هذه القوى، الشكل (١٥ ـ ٥ ـ a) وبالطبع فإن المساند الطرفية وبكلا الاتجاهين يجب أن تصمم وبحيث تكون قادرة على مقاومة قوى الشد الناتجة عن الكابلات . ففي المنشآت الدائرية مثلاً يمكن أن تقاوم هذه القوى بواسطة جائز حلقي أفقي ، الشكل (١٥ ـ ٥ ـ b) ، يتعرض لقوى ضغط كبيرة . وتشبه هذه المنشآت مضرب التنس ، حيث نلاحظ أن الكابلات ، ونتيجة

لقوى الشد فيها والترابط بين الاتجاهين المشدودين ، ستشكل سطحاً قوياً متماسكاً غير قابل للحركة .

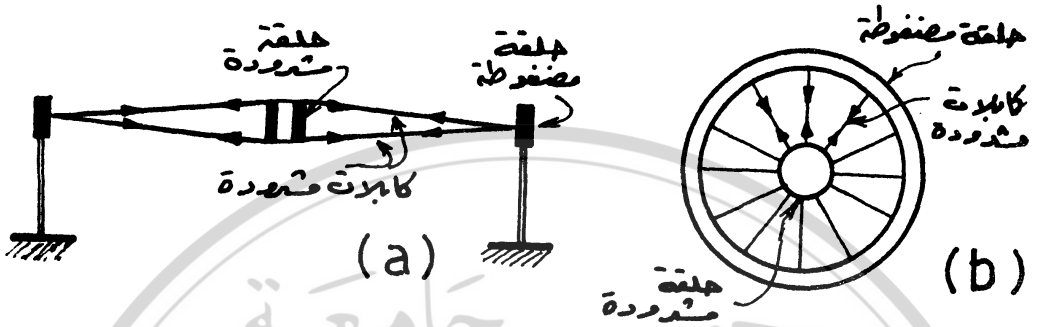


شكل رقم (١٥ ـ ٥) الأسقف المعلقة ذات الكابلات المشدودة بالاتجاهين.

وكمثال على هذه الأسقف فقد نفذ سقف لقاعة في معرض « أريزونا » (Arizona Stat Fair Coliseum) على شكل سقف دائري معلق مسقطه الأفقي مشابه للشكل(١٥ ـ ٥ ـb) ، إلا أن الجائز الحلقي ليس في مستوٍ واحد بل لوي شاقولياً وبحيث أصبح السقف على شكل سرج فرس . ويبلغ قطر هذا السقف (116 m) . إن الشكل المشوه هذا يعطينا سقفاً منحنياً بالاتجاهين مشابهاً للسقف المبين بالشكل (١٥ ـ ٥ ـ a) . وعندما تشد الكابلات الفولاذية على بعضها البعض بالاتجاهين فإن السقف يصبح ذو مقاومة عالية لتحمل الاهتزازات الناتجة عن قوى الرياح . ويجب الانتباه بالطبع إلى أن الجائز الحلقي يجب أن يكون ذو مقاومة كافية لتحمل قوى الضغط الكبيرة المطبقة عليه والناتجة عن قوى شد الكابلات ، وخاصة خلال عملية التنفيذ ، عندما يسبب الشد غير المنتظم للكابلات عزوم انعطاف كبيرة بالاضافة إلى قوى الضغط التي قد تعرض الجائز لخطر الإنهيار نتيجة للتحنيب العرضي .

ولقد تم استخدام أسلوب آخر مختلف لتنفيذ الجناح الأمريكي في معرض « بروكسل » عام 1958 (The american pavilion of Brussels exhibition) ، حيث اعتمد المصممون على المبدأ الأساسي الموضح بالشكل (١٥ ـ ٦ ـ a) . ويمكن مقارنته بمبدأ إطار الدراجة الهوائية ، المبين بالشكل (١٥ ـ ٦ ـ b) ، حيث تؤدي قوى الشد في الكابلات إلى تطبيق قوى شد في الحلقة الداخلية وقوى

ضغط في الحلقة الخارجية . كما أن الحلقة الداخلية ستبقى متوازنة في مكانها نتيجة لميل الكابلات . أما الحلقة الخارجية والمستندة على أعمدة محيطية فإنها ستتعرض لقوى شاقولية فقط دون أن تتأثر بمركبات الشد الأفقي .



شكل رقم (١٥ ـ ٦) المبدأ الأساسي لسقف الجناح الأمريكي في معرض بروكسل .

وتعتبر القاعة المنفذة في مدينة ريلاف بولاية كارولينا الشمالية (Ravilion at Rayleigh , North Carolina) المصممة من قبل المهندسين المعماريين (نوفسكي وديتريك) (Matthew Nowicki & W . H . Dietrick) ، والمبين بالشكل (١٥ ـ ٧) ، واحداً من أوائل المنشآت ذات الأسقف المعلقة الكبيرة . حيث تم تثبيت الكابلات الفولاذية المعلقة إلى قوسين كبيرين مائلين من البيتون المسلح يرتفعان عند قمتهما لمسافة (27.5 m) . وقد تم استخدام وزن هذه

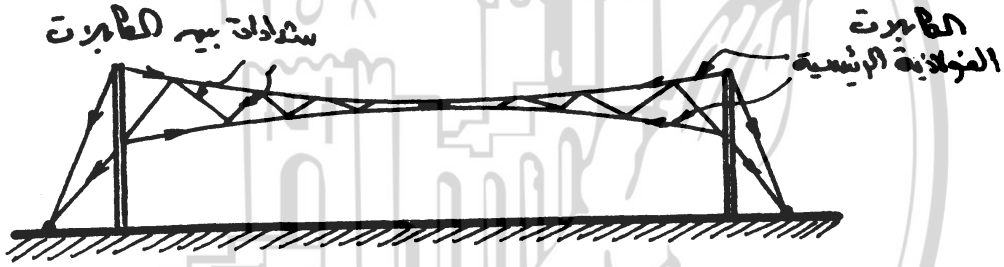
شكل رقم (١٥ ـ ٧) الكابلات الفولاذية المستندة على الأقواس المائلة .

الأقواس المائلة لموازنة قوى الشد في الكابلات ، كما تم تنفيذ كابلات فولاذية عرضية مشدودة لتعطي للسقف صلابة لمقاومة الإهتزازات الناتجة عن قوى الرياح . أما تغطية السقف فكانت عبارة عن صفائح

فولاذية متعرجة مثبتة على هذه الكابلات .

وبنفس مبدأ الأقواس المائلة هذا تم تنفيذ مبنى البرلمان في مدينة برلين الغربية أيضاً ، وبنفس الشكل تقريباً .

لقد استخدم حديثاً أسلوب جديد في المنشآت المعلقة ، الشكل (١٥ ـ ٨) ، وهو يعتمد على تنفيذ مجموعتين من الكابلات الفولاذية المشدودة ، إحداهما علوية منحنية نحو الأسفل والأخرى سفلية منحنية نحو الأعلى ، وترتبط فيما بينها بواسطة عناصر قصيرة مشدودة لإعطاء الشكل صلابة وثبات كبيرين ، ولمنع الاهتزاز والتشوه نتيجة لتطبيق الحمولات الحية وقوى الرياح ومثبتة مع الكابلات الأساسية بقطع وصل خاصة . وقد تم حساب قوى الشد في هذه العناصر بحيث تبقى مشدودة هي وكامل عناصر السقف لجميع حالات التحميل الممكنة سواءاً أثناء التنفيذ أو خلال الاستثمار .



شكل رقم (١٥ ـ ٨) الأسقف المعلقة ذات الكابلات الفولاذية المزدوجة.

هناك أنواع كثيرة ومختلفة من التغطيات الممكنة للأسقف المعلقة ، ومن أحدثها وأكثرها اقتصادية التغطية بمواد شفافة بلاستيكية أو من الألياف الزجاجية . وكمثال على هذه التغطية يمكن ذكر تغطية الاستاد الكبير في ميونيخ والذي جرت فيه الألعاب الأولمبية عام (1972) . حيث تم تغطية مساحة تعادل ($75.000\ m^2$) على شكل خيمة مستمرة معلقة بواسطة كابلات فولاذية إلى أبراج معدنية عالية ، ويتألف السقف من شبكة من الكابلات الفولاذية المرتبطة مع بعضها البعض ومغطاة بصفائح شفافة من البلاستيك (Plexiglass) مثبتة على الكابلات بقطع تثبيت خاصة . وقد تم تأمين مقاومة السقف لقوى الرياح بواسطة الشكل المنحني لهذا السقف إضافة إلى شده وبالاتجاهين إلى كابلات فولاذية طرفية ضخمة.

١٥ ـ ٣ ـ المنشآت المعلقة متعددة الطوابق :

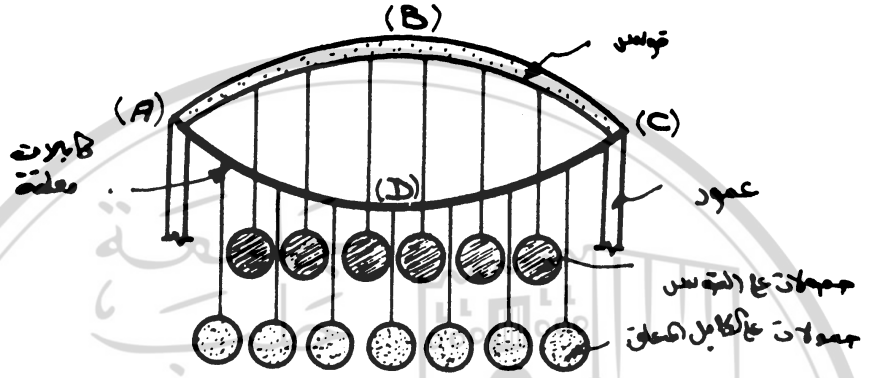
MULTISTORY CABLE SUSPENDED STRUCTURES

إن أغلب المنشات المعلقة المنفذة حالياً وكما ذكرنا ، منشآت ذات طابق واحد كقاعات المعارض الكبيرة والاستادات الرياضية . إلا أن مبدأ (القوس ـ الشداد) والمبين بصورة مبسطة بالشكل (١٣ ـ ٩) يسمح لنا بتنفيذ منشآت معلقة متعددة الطوابق . حيث يتألف المنشأ من عنصرين أساسيين مرتبطين ، الأول (ABC) عبارة عن قوس معدني أو بيتوني منحن نحو الأعلى ، والثاني (ADC) عبارة عن كابلات فولاذية ذات انحناء معاكس لانحناء القوس . إن الحمولات الشاقولية المطبقة على القوس العلوي ستولد قوى ضغط عند المساند تتجه نحو الخارج يمكن مقاومتها بقوى الشد الناتجة عن الكابلات الحملة والتي تتجه نحو الداخل . وباختيار الشكل المناسب للقوس والكابلات الفولاذية وكذلك الحمولات الشاقولية المطبقة على كليهما ، يمكن أن تكون ردود الأفعال في المساند شاقولية فقط ، ماعدا حالة حمولات ضغط الرياح . ويتم تطبيق الحمولات فعلياً وذلك بتعليق بعض طوابق البناء علي القوس وبعضها الآخر على الكابلات الفولاذية بواسطة شدادات . ونظراً لأن كامل المنشأ معلق نحو الأعلى فإن كامل مساحة الطابق الأرضي ستكون حرة بالكامل وخالية من وجود أية أعمدة داخلية . أما الأعمدة الطرفية الحاملة للأقواس والكابلات فتكون على شكل مقطع صندوقي من البيتون المسلح يحتوي داخله على الأدراج والمصاعد وكافة الخدمات الأخرى للمنشأ . كما يجب الانتباه إلى أن جميع الكابلات يجب أن تحمى بشكل مناسب من خطر الحريق وذلك بإحاطتها بالبيتون أو بأية مواد حماية أخرى .

إن مبنى مصرف الاحتياطي الفيدرالي (The Federal Reserve Bank) في مدينة مينيا بوليس (Minnea Polis) مثال نموذجي منفذ بهذا الأسلوب ، فهو مؤلف من (11) طابقاً . أما الكابلات فيبلغ طول مجازها (83m) وتستند على أبراج طرفية بارتفاع (61m)من البيتون المسلح . وبحيث يرتفع منسوب الطابق الأول عن مستوي الأرض (9.0 m) ، وبذلك يصبح الطابق الأرضي ساحة كبيرة خالية من الأعمدة تمتد حتى طرفي البرجين .

وفي الوقت الحالي لم ينفذ في البناء القوس البيتوني العلوي لمقاومة قوى الشد الناتجة عن الكابلات

الفولاذية . وتقاوم هذه القوى حالياً بواسطة جوائز شبكية ارتفاعها (9.0m) تمتد بين الأبراج . ولقد لحظ أنه وفي المستقبل القريب سيتم تنفيذ ستة طوابق إضافية أخرى فوق المبنى الحالي ، وسيتم تعليقها على قوس إضافي له نفس مجاز الكابلات المعلقة ، وبذلك ستنخفض قوى الضغط المطبقة حالياً على عناصر الجائز الشبكي بالمقدار سيتحمله القوس من هذه القوى .



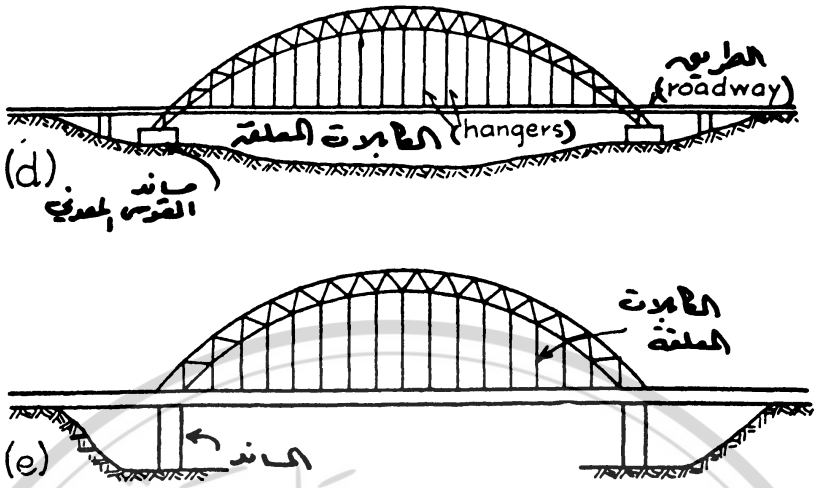
شكل رقم (١٥ ـ ٩) مبدأ المنشآت المعلقة المتعددة الطوابق.

١٥ ـ ٤ ـ الجسور المعلقة : SUSPENSION BRIDGES

الجسور المعلقة هي من أهم تطبيقات مبادىء منشآت الكابلات المعلقة . وتستخدم هذه الجسور عندما تكون المجازات التي يراد عبورها كبيرة جداً . وتصبح الحل الأكثر اقتصادية للمجازات التي تزيد (600m) . كما أنها تستخدم أيضاً في المجازات الأصغر من ذلك .

تختلف أشكال الجسور المعلقة وذلك حسب أطوال مجازاتها ، ففي المجازات المتوسطة ، يستخدم النموذج المبين بالشكل (١٥ ـ ١٠) والمؤلف من أقواس فولاذية تستند على الأرض مباشرة أو على دعامات بيتونية . يعلق بها الكابلات الفولاذية الشاقولية أو الشدادات (Hangers) الحاملة للمقطع العرضي للطريق والذي يشكل الهيكل الانشائي لجسم الجسر .

يبين الشكل (١٥ ـ ١١) ، مثالاً فعلياً للنموذج الأول من الجسور المعلقة وهو جسر ميناء مدينة



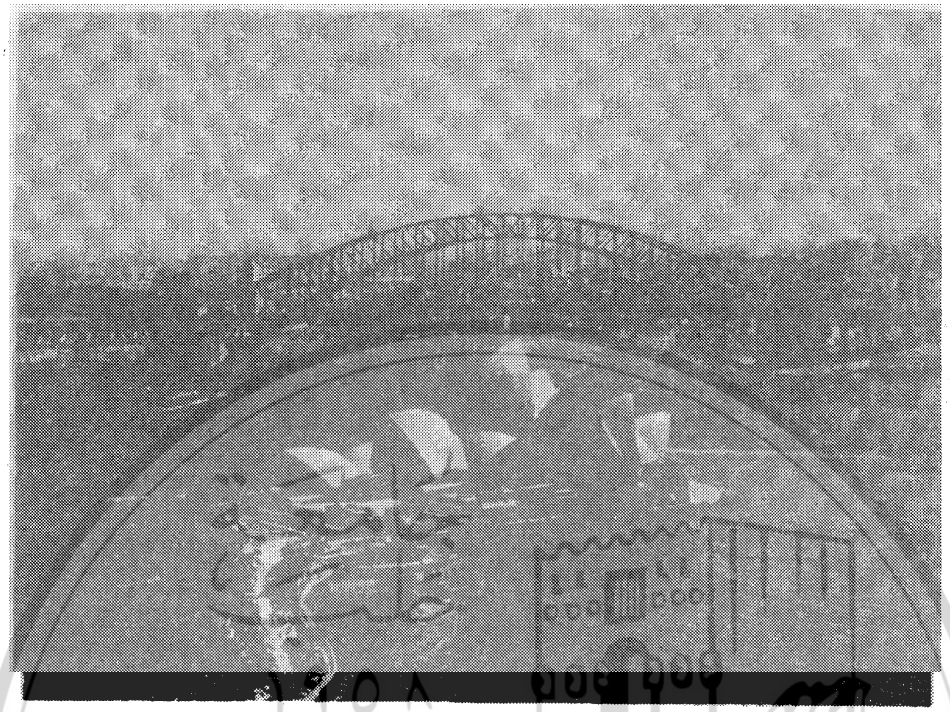
شكل رقم (١٥ ـ ١٠) الجسور المعلقة ذات الأقواس الفولاذية .

سيدني في اوستراليا (Sydney harbour bridge) حيث يبلغ طول مجاز الرئيسي الوسطي (503.6 m) . وقد تم افتتاحه عام (1932) ، ويعتبر حالياً الجسر القوسي المعلق ذو المجاز الأكبر في العالم.

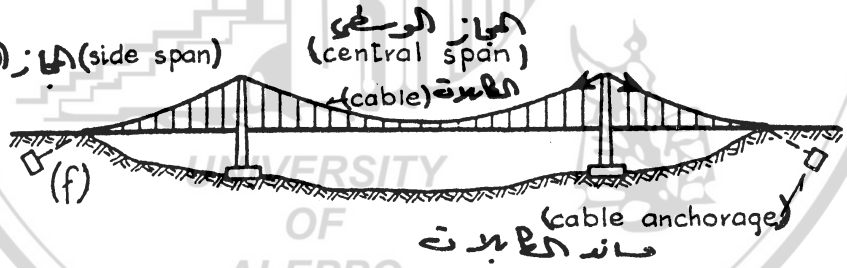
أما في المجازات الكبيرة فيستخدم النموذج المبين بالشكل (١٥ ـ ١٢) ، والمؤلف من مجاز وسطي كبير ومجازين طرفيين صغيرين . وبحيث تمتد الكابلات الفولاذية أعلى الدعامتين الوسطيتين ذات الارتفاع الكبير وتثبت من طرفيها إلى الأرض بواسطة قواعد بيتونية كبيرة أو بوسائل تثبيت أخرى متعددة .و نظراً لأن الكابلات الفولاذية تشد الدعامتين من كلا الطرفين ، كما تشير الأسهم في الشكل، فإن محصلة هاتين القوتين ستكون قوة ضغط شاقولية تقريباً مطبقة على هاتين الدعامتين . ويعلق في هذه الكابلات الرئيسية الشدادات أو الكابلات الشاقولية الحاملة لجسم الجسر .

وكمثال فعلي لهذا النموذج من الجسور يمكن ذكر جسر البوسفور في مدينة اسطنبول (Bosphorus bridge in Istanbul) والذي يبلغ مجازه (1074 m) ، وجسر هامبر قرب مدينة هال في إنكلترا (Humber bridge near Hull) والذي يبلغ مجاز ه (1410m) ، وهويعتبر الجسر ذو المجاز الأكبر حالياً في العالم ، إلا أنه لايوجد أي سبب فني يمنع من زيادة أطوال مجازات هذه الجسور لمسافات أكبر

وبكثير .



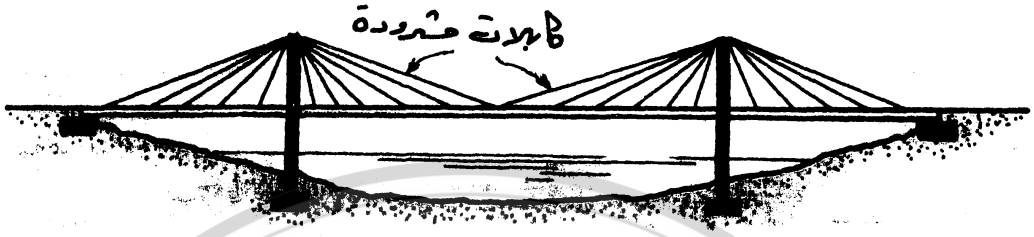
شكل رقم (١٥ ـ ١١) الجسر القوسي المعلق لميناء مدينة سيدني



شكل (١٥ ـ ١٢) الجسور المعلقة ذات الكابلات الفولاذية .

وفي السنوات الأخيرة تم التركيز على فكرة تطوير الجسور المعلقة وبحيث تم استخدام الجسور ذات التقوية بالكابلات الفولاذية (Cable braced bridges) ، الشكل (١٥ ـ ١٣) ، وهي تتألف من جوائز مستمرة معلقة ومقواة بواسطة عدد من الكابلات الفولاذية الممتدة على شكل أشعة من برج أو أكثر في طرفي الجسر .

وكمثال على هذه الجسور يمكن ذكر جسر سيفيرن في كولونيا (Severin bridge at Cologne) ذو المجاز (302 m) .وهو يتألف من مقطع صندوقي فولاذي كجسم للجسر مقوى بستة كابلات فولاذية مثبتة أعلى دعامة عالية .



شكل رقم (١٥ ـ ١٣) الجسور ذات التقوية بالكابلات الفولاذية .

إن جسر البوابة الذهبية (Golden gate bridge) في مدينة سان فرانسيسكو (San Francisco) يعتبر واحداً من الأمثلة النادرة للجسور المعلقة الكبيرة . وقد تم الإنتهاء من بنائه عام (1937) وطول مجازه (1280 m) . ولقد بقي لمدة (27) عاماً أطول جسر من نوعه في العالم وحتى عام (1964) حيث تم الانتهاء من جسر فيرازانو نارروز (Verrazano Narrows bridge) في مدينة نيويورك (New York) والذي يفوقه بمسافة (18 m) فقط . أما دعامتي الجسر ذات الارتفاع (227 m) فما زالتا حالياً أعلى دعامتين لأية منشأة معلقة في العالم . ولاعطاء فكرة مبسطة عن ضخامة هذا الجسر يمكن القول أنه ونتيجة لكروية الأرض فإن نقطتي أعلى الدعامتين تبعدان عن بعضهما البعض بمسافة تزيد عن المسافة بين نقطتي أسفل الدعامتين بمقدار (45 mm) ، كما أنه وتحت تأثير أسوأ حالات التحمل الناتجة عن حركة المرور وضغط الرياح والحمولات الأخرى المطبقة فإن هذه الدعامات يمكن أن تتشوه عرضياً بمقدار (560 mm) . كما أنه وبالرغم من الصلابة العالية لجسم الجسر الذي يشكل المقطع العرضي للطريق ، والذي يبلغ عرضه (27.0 m) ، والمقوى بجوائز شبكية عرضية ارتفاعها (8.0 m) ذات صلابة كبيرة إلا أنه من الممكن أن يهتز وبالاتجاه العرضي لمسافة تبلغ (6.0 m) ، وذلك تحت تأثير تعرضه للرياح الشديدة التي تبلغ سرعتها (160 km) في الساعة أثناء الاعاصير .

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل السادس عشر

العناصر مسبقة الصنع

PREFABRICATED ELEMENTS

١٦ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

منذ أوائل الستينات زادت تكاليف البناء بصورة كبيرة ومتزايدة وذلك في أغلب بقاع الأرض وفي كلا العالمين المتطور والنامي على السواء . إن ذلك عائد إلى تكاليف اليد العاملة التي تزداد بسرعة ، إضافة إلى استخدام الأعداد الكبيرة منها في مواقع العمل أثناء التنفيذ بالطرق التقليدية . إضافة إلى ازدياد الطلب علي الخبرة الماهرة في أعمال البناء والإكساء والذي يتطور بسرعة وبمعدل أسرع من العرض ومن الأعداد المؤهلة لهذه الأعمال .

كما أنه وفي القارة الأوروبية وبعد الانتهاء من الحرب العالمية الثانية ونتيجة للدمار الشامل وللرغبة في إعادة البناء والتشييد بأقصى سرعة ممكنة ، وللنقص الشديد في أعداد اليد العاملة ، فلقد تم التفكير بالطرق الممكنة والتي تؤدي إلى تسريع عملية الإنشاء ، واختصار الأعداد الكبيرة من اليد العاملة . حيث تبين أنه لايمكن التقليل من هذه المشكلة إلا بالاتجاه إلى استخدام العناصر المصنعة مسبقاً، أي باستبدال أكبر مايمكن من اليد العاملة في الموقع بمنتجات نموذجية مصنعة في المعامل بصورة آلية .

١٦ ـ ٢ ـ العناصر مسبقة الصنع : PREFABRICATED ELEMENTS

لايجاد الحل المناسب لهذه المسألة ، تم ابتكار العناصر والقطع مسبقة الصنع وازداد استخدامها بصورة كبيرة ، وخاصة في المباني النموذجية والمصانع المتكررة ، وفي جميع المنشآت التي تحتوي على عناصر متماثلة وبأعداد كبيرة .وتنتج هذه العناصر بكميات كبيرة وأبعاد نموذجية في مصانع متخصصة تستخدم الأساليب الحديثة والمتطورة والسريعة في الانتاج ، وباستخدام أقل عدد ممكن من اليد العاملة . وتكون على أشكال انشائية متعددة كالأعمدة والجوائز والبلاطات والأسقف والجدران ...الخ ، كما يمكن حالياً تصنيع منشآت وعناصر متكاملة كالغرف مسبقة الصنع ، والحمامات بكل ماتحتويه من تمديدات صحية وكهربائية وقطع مختلفة. كما تصنع حالياً العناصر مسبقة الصنع ومسبقة الإجهاد كالجوائز المستخدمة في الجسور إضافة لأعمدة الطاقة الكهربائية والإنارة والعوارض البيتونية والأنابيب ....الخ .

يتم تصنيع هذه العناصر تحت مراقبة دقيقة للمواد المستخدمة وكمياتها وأبعادها ، إضافة إلى معالجتها بالأساليب المتطورة وذلك للحصول على مقاومات عالية للبيتون وبالتالي على مقاطع أصغر وأخف وزناً وأكثر دقة .

يتم تصنيع العناصر الصغيرة مسبقة الصنع عادة في المصانع ثم تنقل إلى موقع البناء . أما العناصر الكبيرة فيمكن تصنيعها مباشرة في موقع البناء أو بجواره حيث تقام المنشآت المتنقلة اللازمة لهذا التصنيع ثم تنقل بعد الانتهاء منه .

١٦ ـ ٣ ـ ميزات ومساوىء العناصر مسبقة الصنع :

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF PREFABRICATED ELEMENTS

إن للعناصر مسبقة الصنع ميزات عديدة يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ ـ اختصار أعداد كبيرة من اليد العاملة اللازمة للبناء والإنشاء وذلك لأن هذه العناصر تنتج

بصورة آلية في المصانع ، ولايحتاج تركيبها إلا لأعداد قليلة نسبياً من العمال .

٢ ـ إن أعمال التركيب لاتحتاج إلا لعمال ذوي خبرات متوسطة يسهل توفرهم وتدريبهم ، وخاصة أنهم يقومون بعمل واحد دون تغيير ، على عكس الطرق التقليدية في الانشاء والتي تحتاج إلى عمال ذوي خبرة عالية ومتخصصة في كل مجالات العمل والإنشاء ، كصب البيتون وتركيب فولاذ التسليح والقالب الخشبي إضافة إلى تصنيع البيتون ....الخ،هذا بالاضافة إلى أعمال الإكساء المختلفة .

٣ ـ اختصار كبير في الزمن اللازم للانشاء حيث لايتضمن العمل سوى تركيب القطع المسبقة الصنع التي يمكن أن تتم بسرعة كبيرة ودون انتظار أعمال أخرى ، كما يحدث في الطرق التقليدية ، حيث يجب انتظار تصلب البيتون مثلاً لفك القالب الخشبي ولصب البيتون فوقه .

٤ ـ المراقبة الدقيقة والتامة للمواد المستخدمة ولطرق التنفيذ ، وذلك لأن العناصر مسبقة الصنع تنتج في مصانع تؤمن الدقة في المراقبة وفحص المواد وتحديد نسبها الدقيقة ومعالجتها مما يؤدي إلى نوعية أفضل للبيتون المسلح وأكثر مقاومة .

٥ ـ ونتيجة للنوعية الأفضل للبيتون المسلح فإنه يمكن اختيار مقاطع أصغر للعناصر ، وبذلك يتم توفير كميات كبيرة من المواد الانشائية المستخدمة .

٦ ـ التقليل من تأثيرات العوامل الجوية من أمطار وثلوج وانخفاض في درجة الحرارة على سرعة تقدم العمل ، وخاصة في البلدان الباردة ، حيث يتم تركيب العناصر مسبقة الصنع في أمكنها تحت أية ظروف جوية . بينما يحتاج صب البيتون في المكان إلى شروط جوية مناسبة من حيث الحرارة والأمطار مما يؤثر كثيراً على سرعة التنفيذ .

٧ ـ ونتيجة لجمل العوامل السابقة فإن العناصر مسبقة الصنع تؤدي إلى اقتصاد كبير في التكلفة الكلية للمنشأ .

أما مساوىء العناصر مسبقة الصنع فيمكن تلخيصها فيما يلي :

١ ـ تكاليف النقل المرتفعة ، وخاصة إذا كان موقع الإنشاء بعيداً جداً عن موقع الانتاج، أو لاتمر

بجواره وسائل النقل كالقطارات .

٢ ـ هناك بعض الصعوبات الفنية التي يمكن أن تطرأ نتيجة لعدم استمرارية عناصر المنشأ ونظراً لأنه مؤلف من عدد كبير من القطع المنفصلة ، كمقاومة الهزات الأرضية والقوى الأفقية الناتجة عن ضغط الرياح ، إضافة إلى إمكانية ظهور بعض التشققات بين القطع نتيجة لتركيز الإجهادات ولسوء التنفيذ .

٣ ـ هناك بعض الصعوبة في تنفيذ أنواع الوصلات بين العناصر المختلفة ، حيث تحتاج لدقة ومهارة كبيرتين، كما أنها قد تسبب بعض الزيادة في التكاليف .

١٦ ـ ٤ ـ أشكال العناصر مسبقة الصنع :

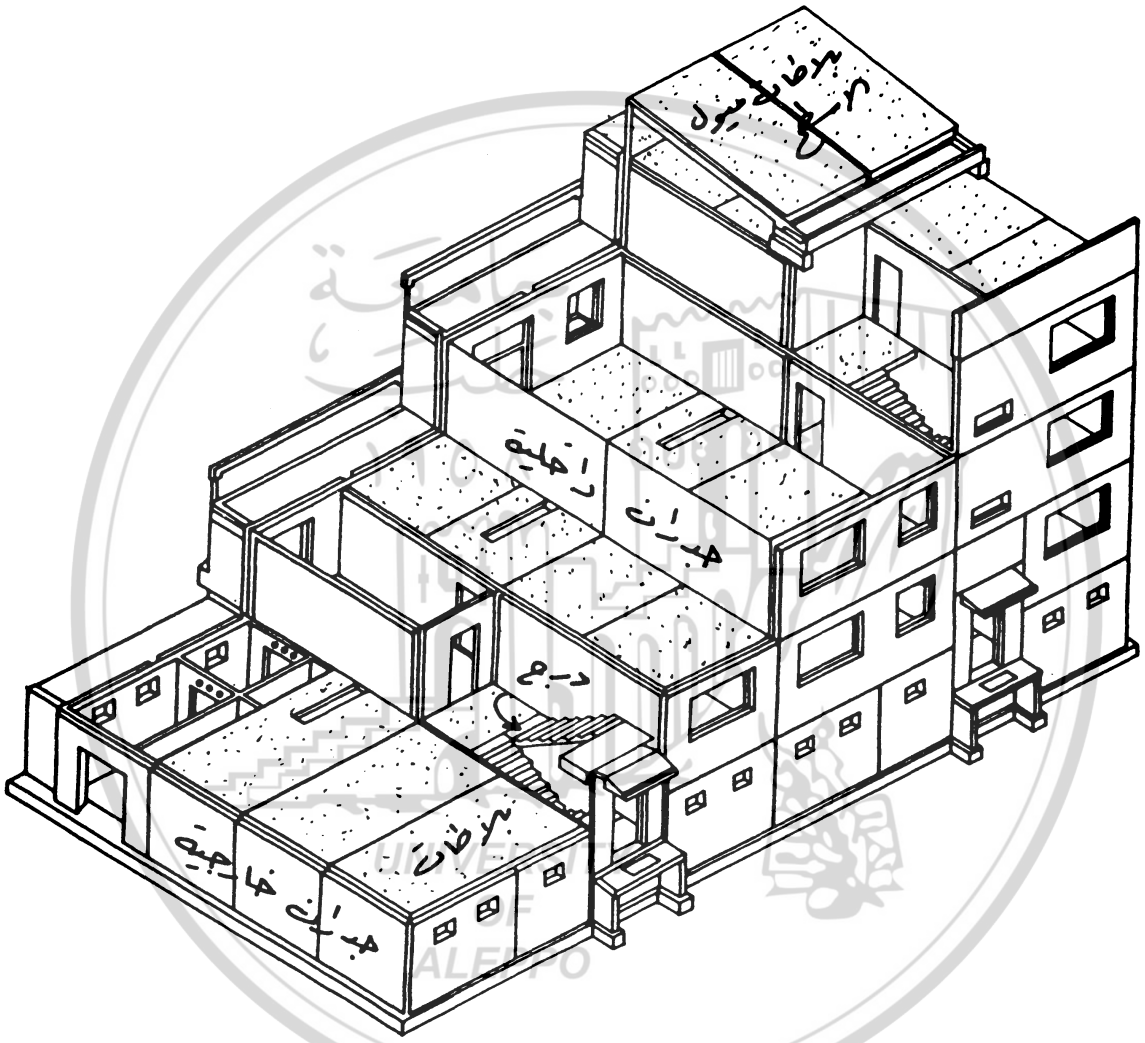
TYPES OF PERFABRICATED ELEMENTS

يمكن أن تنفذ العناصر مسبقة الصنع بأشكال مختلفة يتم اختيارها بحيث تتناسب مع المتطلبات المختلفة للمنشآت المنفذة . ويمكن أن تتحور وتتغير هذه الأشكال ، وذلك حسب الشروط المحلية لكل منشأ . وفي نفس الوقت ، فإن مصانع العناصر مسبقة الصنع نفسها لها إمكانيات تعديل الأبعاد والأطوال وأشكال القطع الخاصة لكل مشروع وإنتاجها بالكميات المطلوبة دون تكاليف إضافية كبيرة . إن ذلك مهم جداً ، وخاصة في العناصر التي تشكل واجهات المنشآت وجدرانها الخارجية لأنها تعطينا امكانيات واسعة لتعديل الواجهات ومنع التشابه والرتابة في الشكل الخارجي بالاضافة إلى إمكانيات أوسع للمعالجة المعمارية لهذه المنشآت .

يبين الشكل (١٦ ـ ١) نموذجاً تحليلياً لبناء سكني مسبق الصنع يعتمد أسلوب الجدران البيتونية الحاملة ، حيث يتألف الهيكل الإنشائي من بلاطات بيتونية مسلحة مستوية ذات سماكة ثابتة ، وقد تكون مسبقة الإجهاد أيضاً ، تستند على جدران حاملة من البيتون المسلح ممتدة بالاتجاه العرضي بصورة أساسية . كما يعطي هذا النموذج فكرة عن الجدران الخارجية والتي تشكل واجهات البناء ، وكذلك الأدراج مسبقة الصنع وعناصر تصريف مياه المطر في الأسقف النهائية .

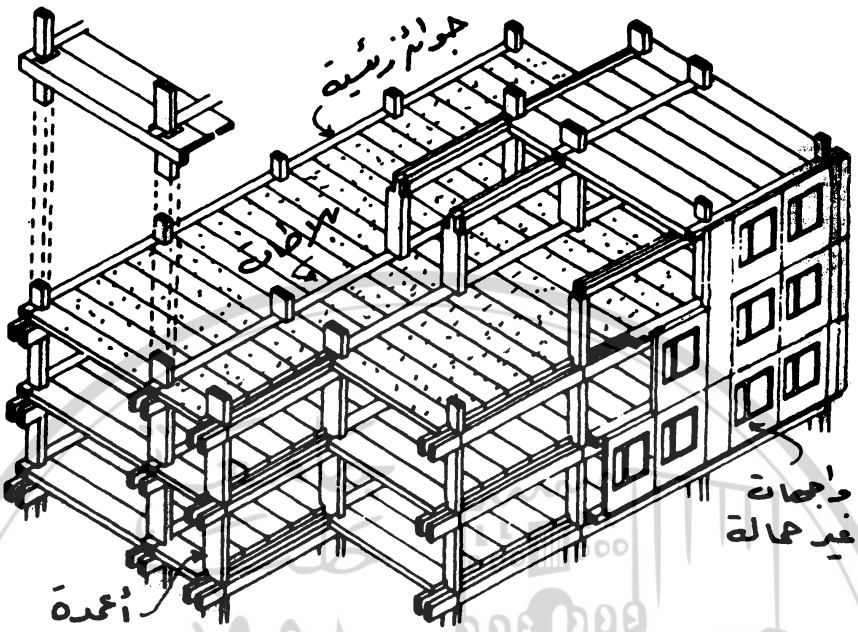
كما يبين الشكل (١٦ ـ ٢) نموذجاً تحليلياً لبناء سكني أو عام مسبق الصنع يعتمد الأسلوب

الهيكلي ، حيث يتألف الهيكل الإنشائي من بلاطات بيتونية مسلحة طويلة وحيدة الاتجاه ، وقد تكون مسبقة الإجهاد أيضاً ، تستند على جوائز رئيسية حاملة من البيتون المسلح ممتدة بالإتجاه الطولي للبناء تستند على أعمدة بيتونية مسلحة مسبقة الصنع . أما واجهات البناء فتتألف من قطع وعناصر مسبقة الصنع غير حاملة تستند على الجوائز الطويلة الطرفية .

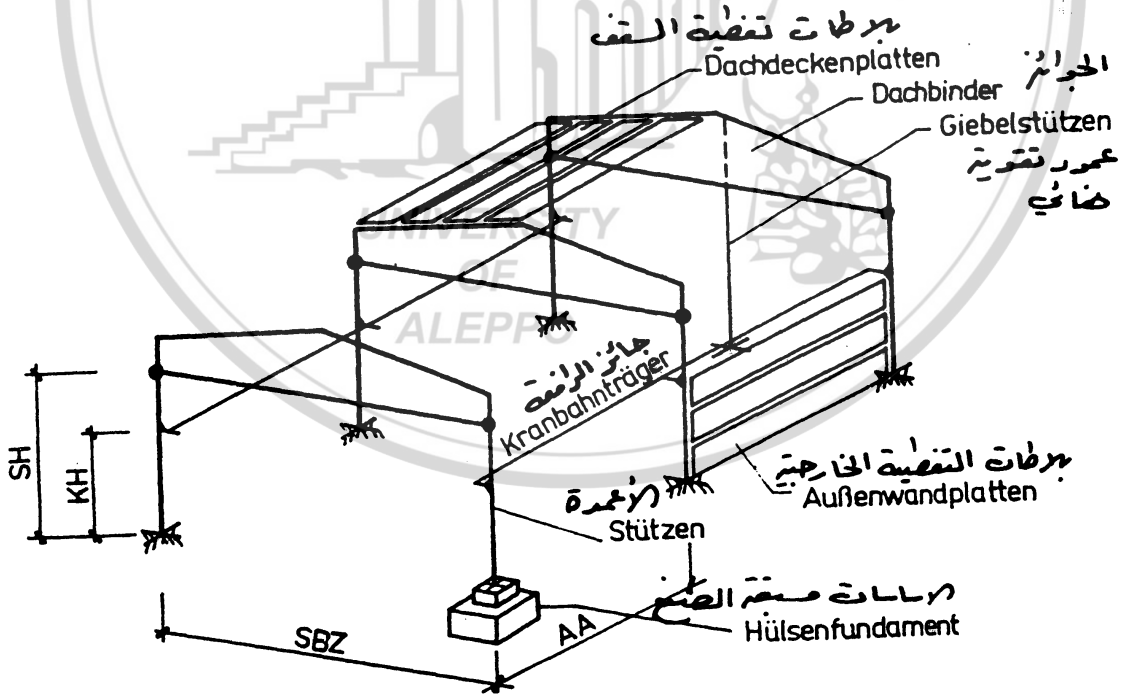


شكل رقم (١٦ ـ ١) الأبنية السكنية مسبقة الصنع ذات الجدران الحاملة .

أما الشكل (١٦ ـ ٣) فيبين نموذجاً تحليلياً للأبنية الصناعية والمستودعات مسبقة الصنع ، حيث يتألف الهيكل الإنشائي من بلاطات بيتونية مسلحة طويلة وحيدة الإتجاه تستند على جوائز رئيسية مائلة ذات مجازات كبيرة (Girders) ، وهي بدورها تستند على أعمدة ذات أظفار قصيرة



شكل رقم (١٦ - ٢) الأبنية السكنية والعامة الهيكلية مسبقة الصنع.



شكل رقم (١٦ - ٣) الأبنية الصناعية مسبقة الصنع ذات المجازات الكبيرة.

لحمل جوائز الرافعات ومثبتة في الأرض على أساسات بيتونية مسلحة مسبقة الصنع .

إن الأشكال المبينة سابقاً تتألف من قطع وعناصر مسبقة الصنع يمكن أن تكون بأبعاد وأشكال مختلفة ومحددة مسبقاً وبحيث يمكن للمهندس المعماري اختيار الأبعاد والأشكال المناسبة لحله المعماري .

١٦ ـ ٤ ـ ١ ـ الجدران البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

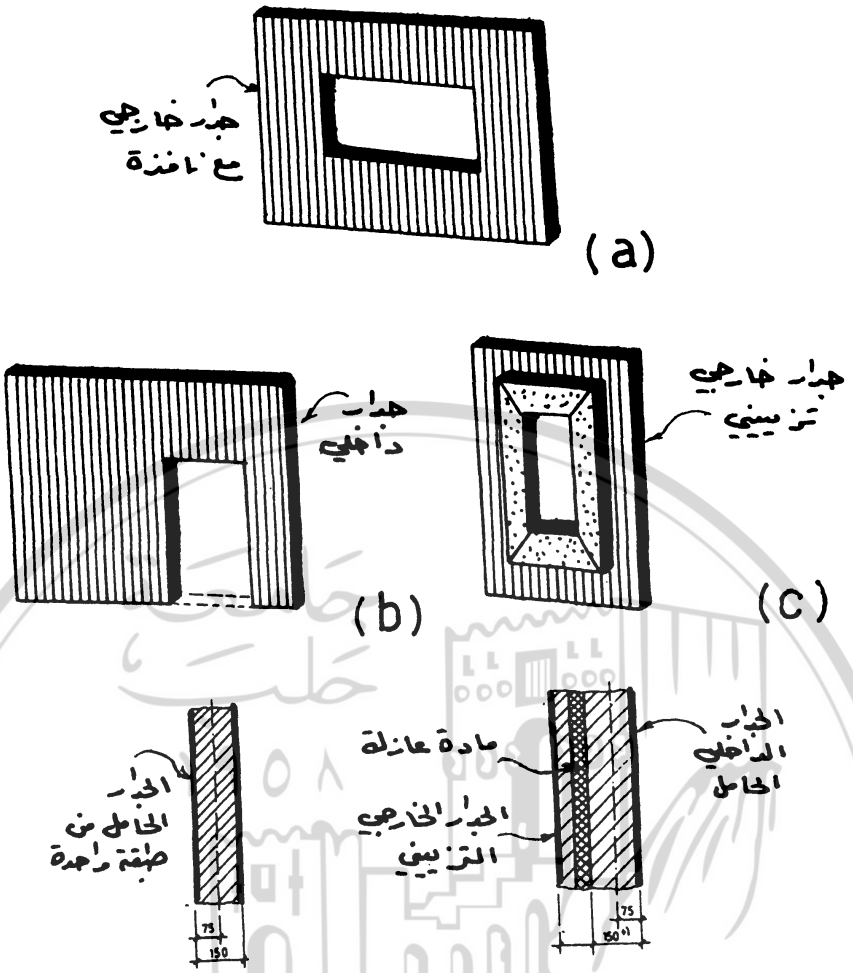
PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE WALLS

تصنع الجدران البيتونية المسلحة مسبقة الصنع بأشكال وأبعاد مختلفة وكثيرة وذلك حسب المتطلبات المعمارية للأبنية المنفذة ، وخاصة الجدران الخارجية . ويبين الشكل (١٦ ـ ٤) بعضاً من هذه الأشكال .ويمكن أن تكون هذه الجدران بإرتفاع طابق واحد أو عدة طوابق . كما يمكن أن تكون هذه الجدران حاملة، الشكل (١٦ ـ ٤ ـ a وb) ، كما في نموذج الأبنية السكنية ذات الجدران الحاملة ، الشكل (١٦ ـ ١) ،أو تزيينية غير حاملة ، الشكل (١٦ ـ ٤ ـc) ، كما في نموذج الأبنية الهيكلية والصناعية ، الشكلين (١٦ ـ ٢) و (١٦ ـ ٣) .

في بعض المنشآت والمباني ولزيادة العزل الحراري والصوتي يمكن أن تكون الجدران الخارجية مؤلفة من ثلاثة طبقات تصنع الطبقة الوسطى من مواد عازلة كالصوف الزجاجي أو السيتريوبور أو رغوة البولي ـ يوريتين (Polyure thane foam) ، أما الطبقتان الخارجيتان فتصنعان من البيتون المسلح العادي أو من البيتون المسلح الرغوي ، ويتم صب هذه الطبقات ووصلها معاً بصورة محكمة وذلك لتعمل كقطعة واحدة .

كما يمكن أيضاً تصنيع الجدران الخارجية بمواد إكمالية مختلفة وبإكساء كامل يتناسب مع الشكل المعماري المطلوب ، ويتم ذلك بتنفيذها بمواد خاصة كالمواد الحصوية البارزة أو الاسمنت الملون كما يتم وضع النوافذ والأبواب مباشرة معها ، وكذلك أحواض الزهور . أو أية عناصر تزيينية أخرى .

تتعرض الجدران الحاملة أثناء الاستثمار إلى إجهادات ضغط يمكن مقاومتها بسهولة ، إلا أنه وأثناء



شكل رقم (١٦ ـ ٤) الجدران البيتونية المسلحة مسبقة الصنع.

مرحلة التصنيع والرفع والتركيب ستطبق عليها إجهادات شد كبيرة ناتجة عن عزوم الانعطاف المتولدة تحت تأثير وزنها الذاتي ويجب أن يؤمن التصميم الإنشائي لهذه القطع مقاومة كافية لتحمل هذه الإجهادات المؤقتة . بالإضافة إلى أنه لايسمح وخاصة في الجدران الخارجية لظهور أية تشققات أو انكسارات أثناء الرفع والتركيب كي لايشوه ذلك المظهر الخارجي للبناء .

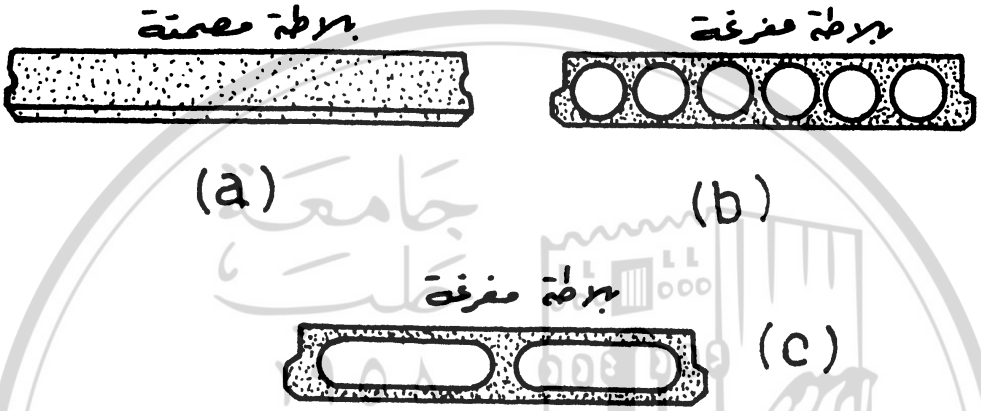
١٦ ـ ٤ ـ ٢ ـ البلاطات البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE SLABS

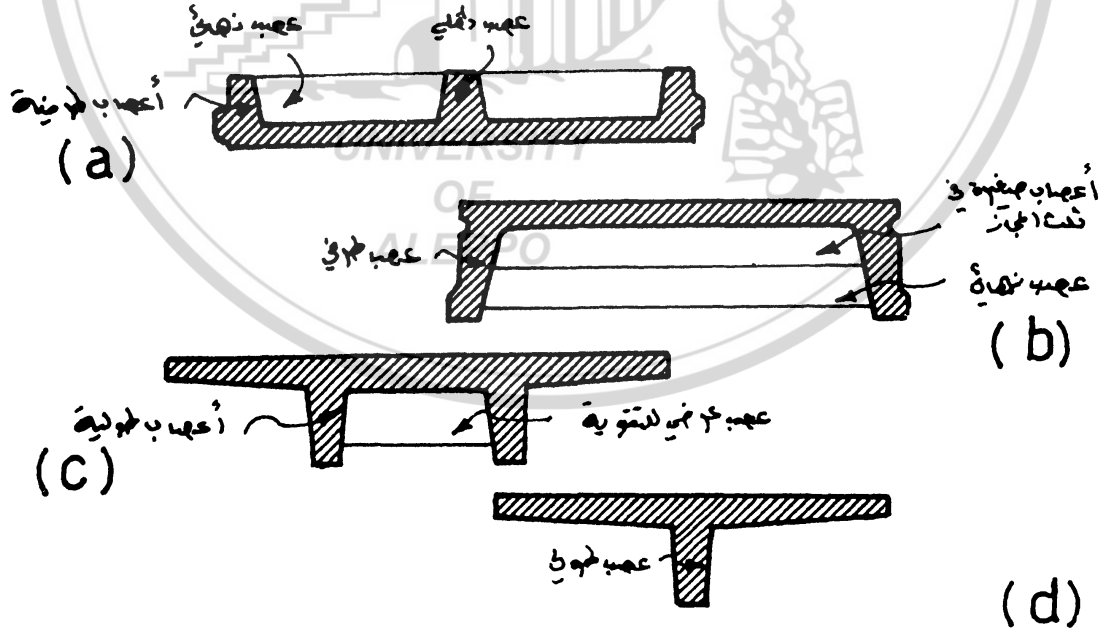
تصنع البلاطات وعناصر تغطية الأسقف بأشكال مختلفة ومتنوعة تتناسب مع شكل البناء المنفذ ونوعه وطول مجازاته ومقدار الحمولات المطبقة وكذلك العزل الحراري والصوتي المطلوب بالإضافة إلى

الشكل المعماري . ويمكن أن تكون ثنائية الإتجاه كما في الأبنية السكنية أو وحيدة الإتجاه كما في الأبنية الصناعية ، كما يمكن أن تكون في بعض الأحيان مسبقة الإجهاد أيضاً .

يبين الشكل (١٦ ـ ٥) بعض الأشكال المألوفة للبلاطات المستوية .حيث تستخدم البلاطات المليئة المصمتة في المجازات القصيرة ، بينما تستخدم في المجازات الأكبر البلاطات المفرغة لتقليل الوزن



شكل رقم (١٦ ـ ٥) البلاطات المستوية مسبقة الصنع.



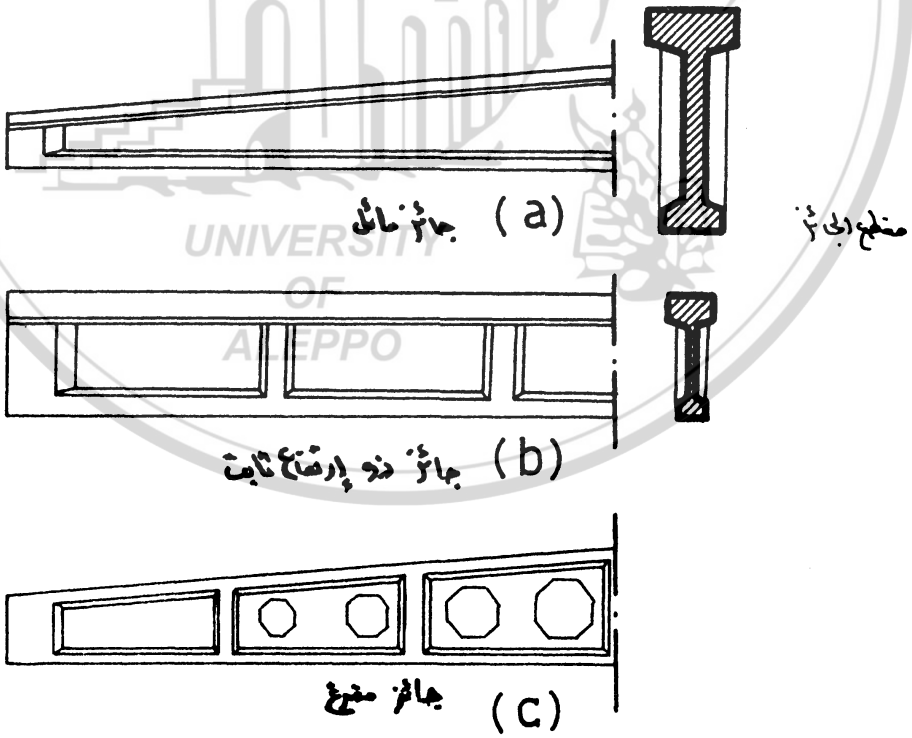
شكل رقم (١٦ ـ ٦) البلاطات مسبقة الصنع ذات الأعصاب.

الذاتي ولزيادة العزل الصوتي والحراري . أما في المجازات الكبيرة جداً والحمولات المرتفعة وفي الأبنية الصناعية والمصانع ، حيث لايمكن استخدام البلاطات المستوية فتستخدم البلاطات المقواة بأعصاب ، وتكون على شكل بلاطات قليلة السماكة وأعصاب متدلية لتأمين صلابة البلاطة . وهناك أشكال كثيرة مختلفة لهذه البلاطات ، الشكل (١٦ ـ ٦) . يمكن استخدامها حسب أطوال مجازات ، وحسب الشكل المطلوب .

١٦ ـ ٤ ـ ٣ ـ الجوائز البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

PREFABRICATED R . C . BEAMS AND GIRDERS

يعتمد شكل الجوائز مسبقة الصنع على نوع ونموذج البناء ، وعلى أشكال وطريقة تثبيت البلاطات عليه . كما أن للمجاز الكلي تأثيراً كبيراً على شكل الجوائز ، إضافة إلى الشكل المعماري المطلوب . ففي الأبنية السكنية والعامة حيث المجازات صغيرة والبلاطات مستوية تكون الجوائز عادة



شكل رقم (١٦ ـ ٧) الجوائز مسبقة الصنع .

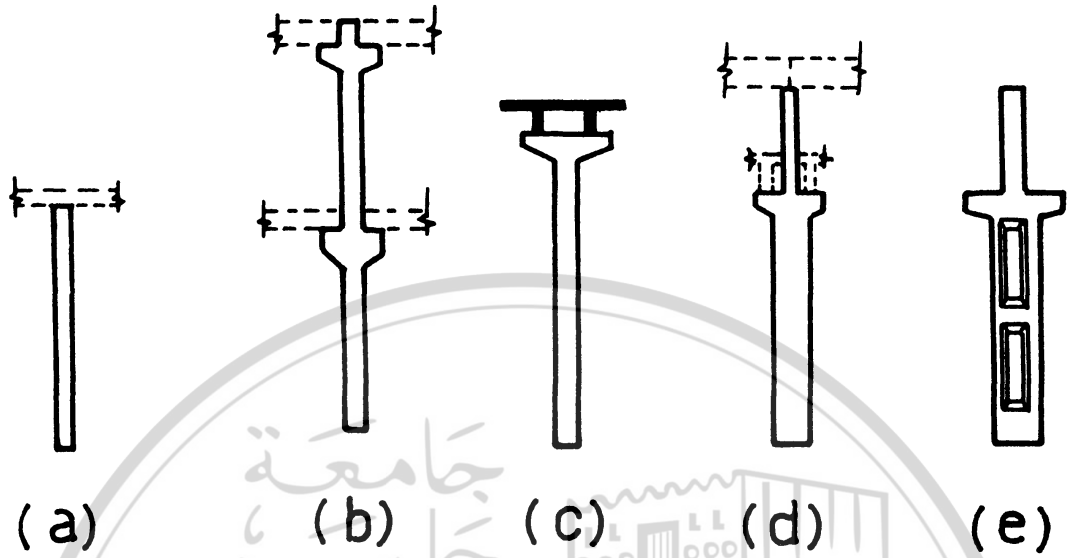
ذات مقطع عرضي ثابت على شكل مستطيل، أما في المجازات الكبيرة وفي الأبنية الصناعية فيكون المقطع عادة متغير العرض وعلى شكل (I) وذو سماكة صغيرة وذلك لتخفيف الوزن . كما يمكن أن يكون ذو ارتفاع ثابت أو متغير الارتفاع ويستخدم المقطع الأخير في المجازات الكبيرة لتخفيف الوزن ، ولإكساب السقف الأخير ميولاً معينة لتأمين تصريف مياه المطر دون إضافة طبقات إلى الميول . وفي المجازات الكبيرة جداً تستخدم عادة الجوائز المفرغة ، والتي تحتوي على فتحات مفرغة في جسدها لتقليل الوزن ، إلا أنه يجب الانتباه في هذه الحالة إلى قوى وإجهادات القص ، وتتوضع هذه الفتحات قرب منتصف الجائز ، حيث تكون قوى القص صغيرة ، أما أطراف الجائز فتبقى مصمتة إضافة إلى وجود أعصاب تقوية تربط بين الجناحين العلوي والسفلي. ويبين الشكل (١٦ ـ ٧) بعض أشكال ومقاطع هذه الجوائز .

١٦ ـ ٤ ـ ٤ ـ الأعمدة البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE COLUMS

تختلف أشكال الأعمدة مسبقة الصنع من حيث كونها أعمدة مباني سكنية وعامة أو أعمدة مصانع ، ومن حيث إرتفاعها وعدد الطوابق للبناء . ويبين الشكل (١٦ ـ ٨) عدة أشكال نموذجية مختلفة لهذه الأعمدة ، حيث يبين الشكل (١٦ ـ ٨ ـ a) عموداً ذا مقطع مربع أو مستطيل ثابت يستخدم في المباني السكنية والعامة ، وتستند عليه الجوائز من أعلاه . أما الشكل (١٦ ـ ٨ ـ b) فيبين عموداً بارتفاع طابقين مع ملاحظة وجود زيادة في عرض المقطع أو اظفار قصيرة عند مستوي الأسقف وذلك لتأمين استناد جيد للجوائز .و يبين الشكل (١٦ ـ ٨ ـ c) عموداً مع ظفرين في أعلاه تستند عليه البلاطات المقواة بالأعصاب . ويستخدم عادة مثل هذا النموذج في ممرات المشاة العلوية ، وفي العقد الطرفية والساحات . أما أشكال الأعمدة المبنية بالشكل (١٦ ـ ٨ ـ d و e) فتستخدم عادة في الأبنية الصناعية التي يوجد فيها روافع آلية ، وبحيث تستند الجوائز العرضية الحاملة للروافع على أظفار قصيرة في هذه الأعمدة عند منسوب هذه الروافع إضافة إلى أنها تحمل جوائز السقف أعلاها . وتكون هذه الأعمدة متغيرة المقطع أسفل وأعلى مستوى الروافع ، وبحيث يمكن مقاومة عزوم الإنعطاف الإضافية

الناتجة عن الروافع .



شكل رقم (١٦ ـ ٨) الأعمدة مسبقة الصنع.

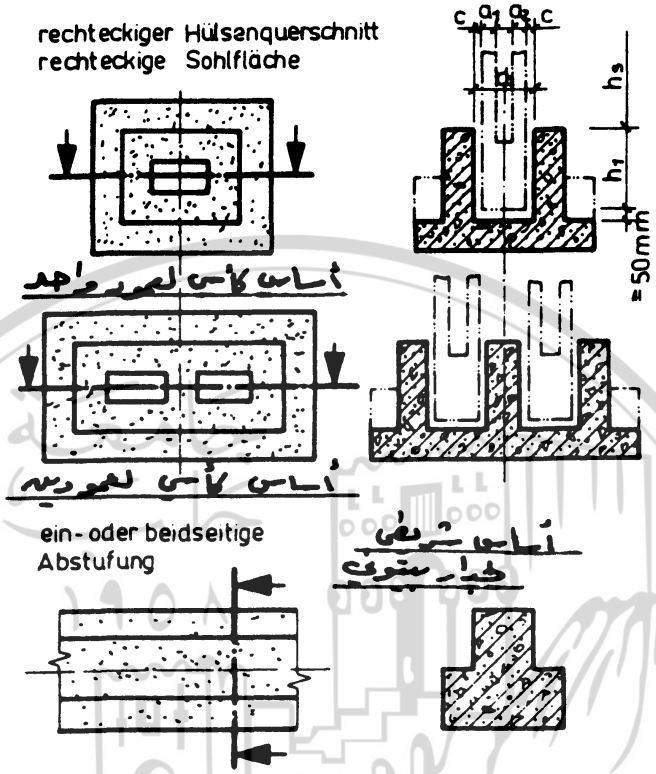
١٦ ـ ٤ ـ ٥ ـ الأساسات البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

PREFABRICATED FOUNDATIONS

تستخدم الأساسات مسبقة الصنع عادة لتأمين استناد الأعمدة والجدران الحاملة مسبقة الصنع ، حيث يتم صب طبقة من بيتون النظافة تحتها ثم توضع هذه الأساسات في مكانها لتكون جاهزة لتثبيت العناصر الأخرى فوقها . وتختلف أشكالها حسب نوع العنصر المحمول، الشكل (١٦ ـ ٩) . فأساسات الأعمدة تكون على شكل كأسي مربعة أو مستطيلة مفرغة في منتصفها بحيث يمكن إدخال الأعمدة فيها وبالارتفاع الكافي لتأمين الربط الجيد بينهما . ويمكن أن تكون هذه الأساسات منعزلة لتحمل عموداً واحداً أو مشتركة لتحمل أكثر من عمود، الشكل (١٦ ـ ٩ ـ a) . أما أساسات الجدران الحاملة مسبقة الصنع فتكون على شكل أساسات شريطية طويلة مع بروز نحو الأعلى لتأمين استناد الجدران عليها وبشكل جيد ، الشكل (١٦ ـ ٩ ـ b) .

تحسب مساحة الأساسات وذلك حسب مقاومة التربة المسموحة والقوى الكلية المطبقة وتحدد

أبعاده وتفاصيل الفتحة الداخلية حسب أبعاد الأعمدة المستخدمة .

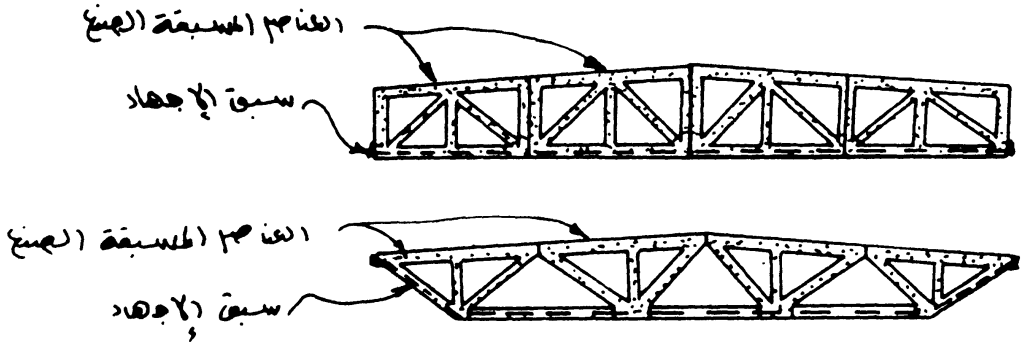


شكل رقم (١٦ ـ ٩) الأساسات مسبقة الصنع .

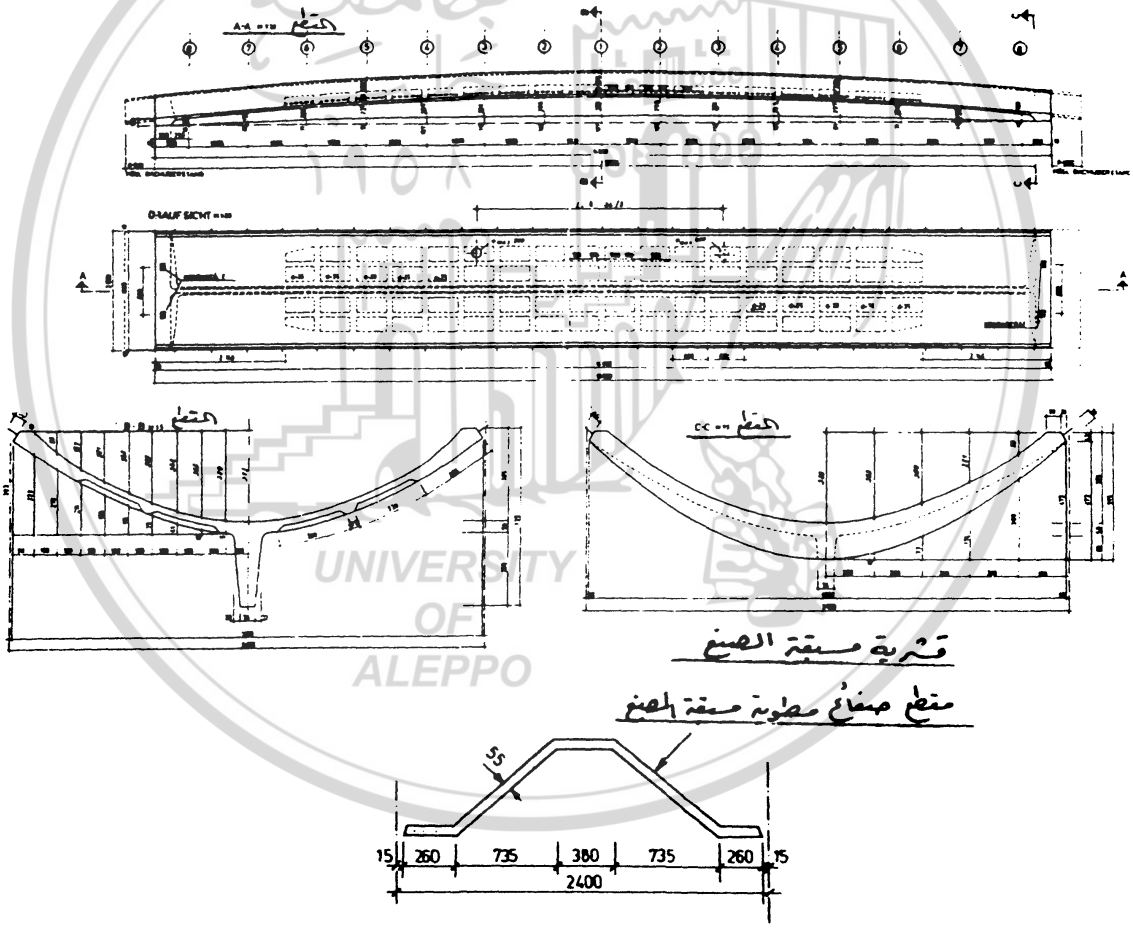
١٦ ـ ٤ ـ ٦ ـ العناصر الأخرى مسبقة الصنع:

OTHER PREFABRICATED ELEMENTS

بالإضافة إلى العناصر والقطع مسبقة الصنع والمذكورة سابقاً ، فإن هناك عناصر ومنشآت عديدة ومختلفة يمكن أن تكون مسبقة الصنع ، كالأدراج والقطع التزيينية مثلاً . ولقد استخدم مؤخراًوبكثرة الجوائز الشبكية البيتونية مسبقة الصنع في المستودعات والمصانع ذات المجازات الطويلة أو التي تحتاج لإنارة علوية . ويمكن أن تكون هذه الجوائز الشبكية من قطعة واحدة ، أو مؤلفة من عدة قطع مسبقة الصنع وأبعاد وأشكال معينة يتم اختيار عددها حسب المجاز الفعلي المطلوب . ويتم تشكيلها وربطها مع بعضها بواسطة كابلات سبق الإجهاد ، الشكل (١٦ ـ ١٠) ، وتدعى بالجوائز الشبكية المركبة (Composite trusses) .



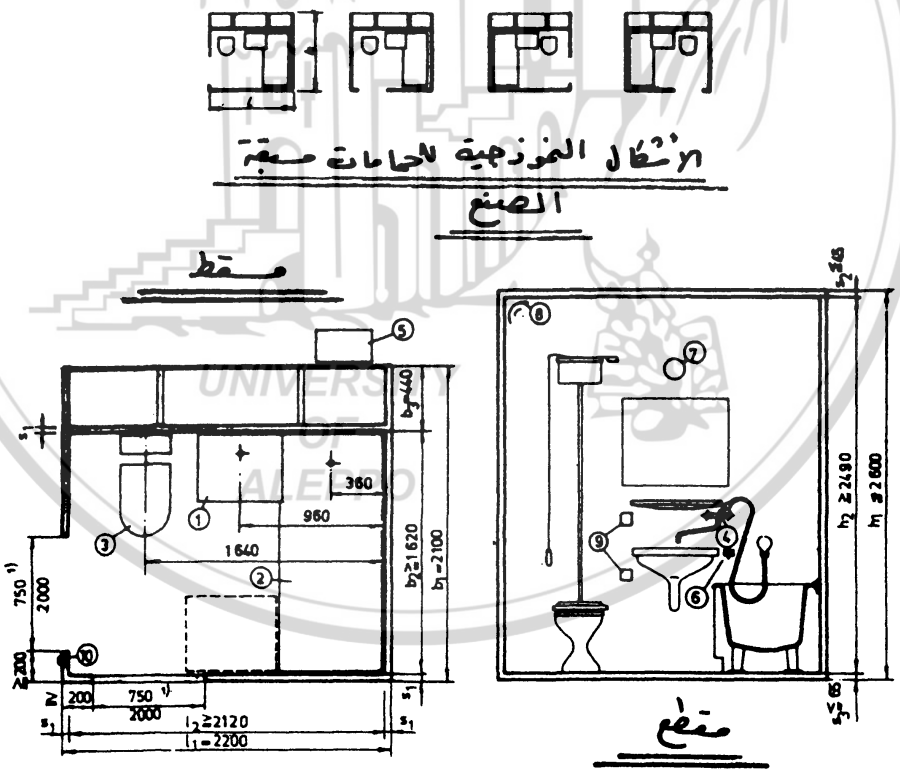
شكل رقم (١٦ - ١٠) الجوائز الشبكية المركبة .



شكل رقم (١٦ - ١١) القشريات والصفائح المطوية مسبقة الصنع .

كما أن بعض الإطارات والأقواس والجوائز مسبقة الإجهاد وخاصة المستخدمة في الجسور الطرفية يمكن أن تكون هي الأخرى مسبقة الصنع تركب في أماكنها بعد تنفيذها في المصانع ونقلها إلى موقع العمل . هذا بالاضافة إلى بعض أشكال القشريات الصغيرة (Shells) وأسقف الصفائح المطوية (Folded Plates) والمنشآت الأخرى ، الشكل (١٦ - ١١) .

كما يستخدم حالياً وفي الأبنية السكنية والفنادق مسبقة الصنع قطع متكاملة كالغرف أو الحمامات .وتحتوي على جميع التمديدات الصحية والكهربائية والتدفئة وتركب مباشرة في المبنى ، الشكل (١٦ - ١٢) . وتمتاز هذه القطع مسبقة الصنع بسرعة التنفيذ الكبيرة والدقة في أعمال الاكساء إلا أنها أكثر تكلفة من العناصر البسيطة مسبقة الصنع نتيجة لتكاليف النقل والتركيب العالية .



شكل رقم (١٦ - ١٢) الحمامات المتكاملة مسبقة الصنع.

١٦ ـ ٥ ـ وصل العناصر البيتونية المسلحة مسبقة الصنع :

CONNECTIONS OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

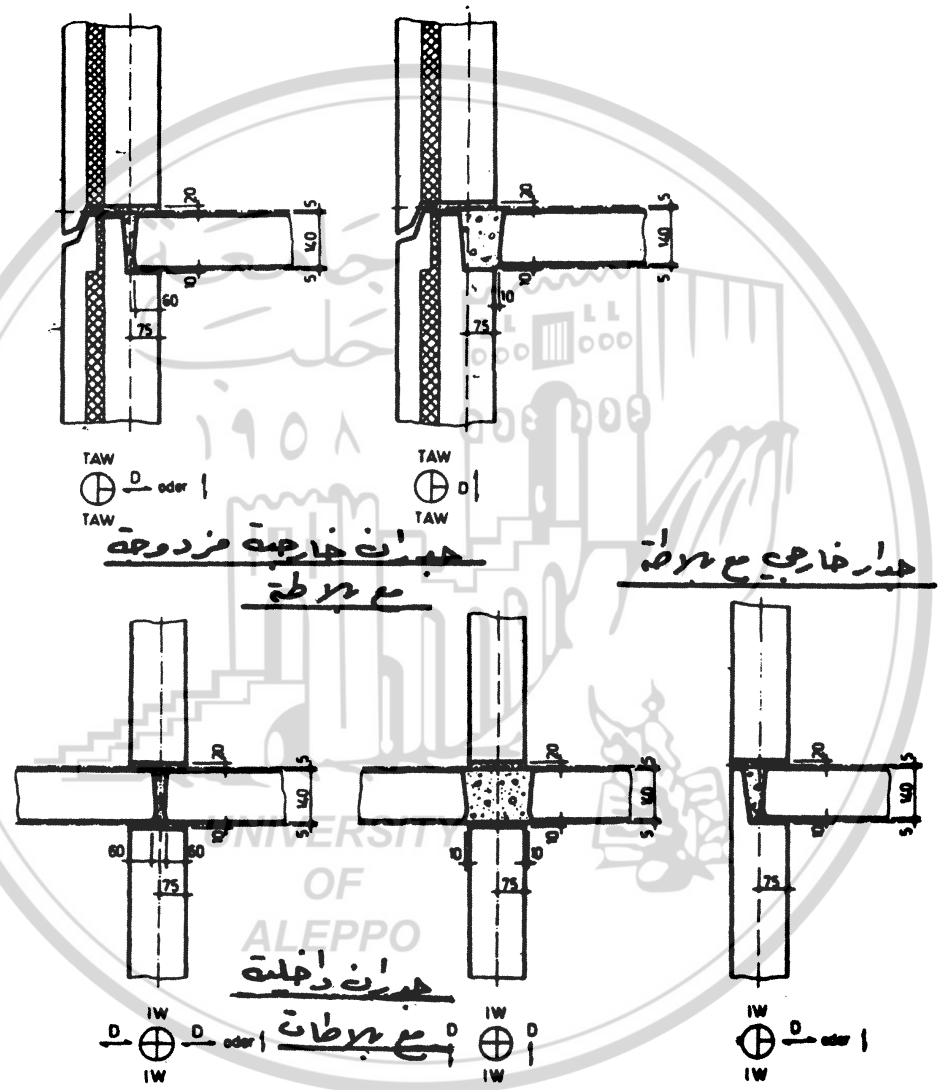
إن عناصر منشآت البيتون المسلح المصبوب في المكان تكون متصلة ومستمرة بعد صبها، نظراً لطبيعة البيتون وقدرته على التماسك مع بعضه البعض بعد تصلبه. أما في المنشآت مسبقة الصنع، فإن هذه العناصر تكون منفصلة عن بعضها البعض وتحتاج إلى وصلات خاصة بعض تركيبها لتأمين إتصالها الجيد وثباتها الكامل لنحصل على المنشأ المطلوب . ويمكن أن تكون هذه الوصلات على شكل مفصل منزلق (Roller) ينقل القوى الشاقولية فقط، أو على شكل مفصل ثابت (Hinge) ينقل القوى الشاقولية والأفقية، أو على شكل وثاقة تامة (Fixed end) تنقل العزوم أيضاً . وفي هذه الحالة يكون المنشأ صلباً ومتماسكاً كالمنشآت المصبوبة بالمكان . وتدعى الوصلات التي على شكل مفاصل بالوصلات الطرية (Soft connections) ، والوصلات التي على شكل وثاقة تامة بالوصلات القاسية (Hard connections) .

تتعرض المنشآت مسبقة الصنع أثناء الاستثمار إلى تغيرات في أطوال عناصرها نتيجة لتغيرات درجة الحرارة والزحف (Creep) والتقلص (Shrinkage) ، مما يؤدي إلى تركيز الإجهادات في الوصلات. ولذلك كان هناك اتجاه في المحاولات الأولى للمنشآت مسبقة الصنع لإستخدام الوصلات الطرية ، وذلك للسماح بهذه التغيرات دون تولد إجهادات إضافية في عناصر المنشأ . إلا أن التجربة الفعلية قد أثبتت أن هذه المنشآت ضعيفة جداً في مقاومة القوى العرضية كقوى ضغط الرياح الشديدة وتأثيرات الهزات الأرضية ، ولقد أثبتت الخبرة الطويلة أنه من المفضل استخدام الوصلات القاسية لإعطاء المنشأ صلابة كافية لمقاومة هذه القوى .

وفي أغلب المنشآت مسبقة الصنع المنفذة حالياً تكون الوصلات على شكل وثاقة تامة ، يتم تنفيذها من البيتون المسلح كما في الأبنية السكنية و العامة، أو وصلات معدنية وتتم بواسطة لحام الصفائح والقطع المعدنية المثبتة أصلاً في أطرافها كما في المنشآت الصناعية والمستودعات .

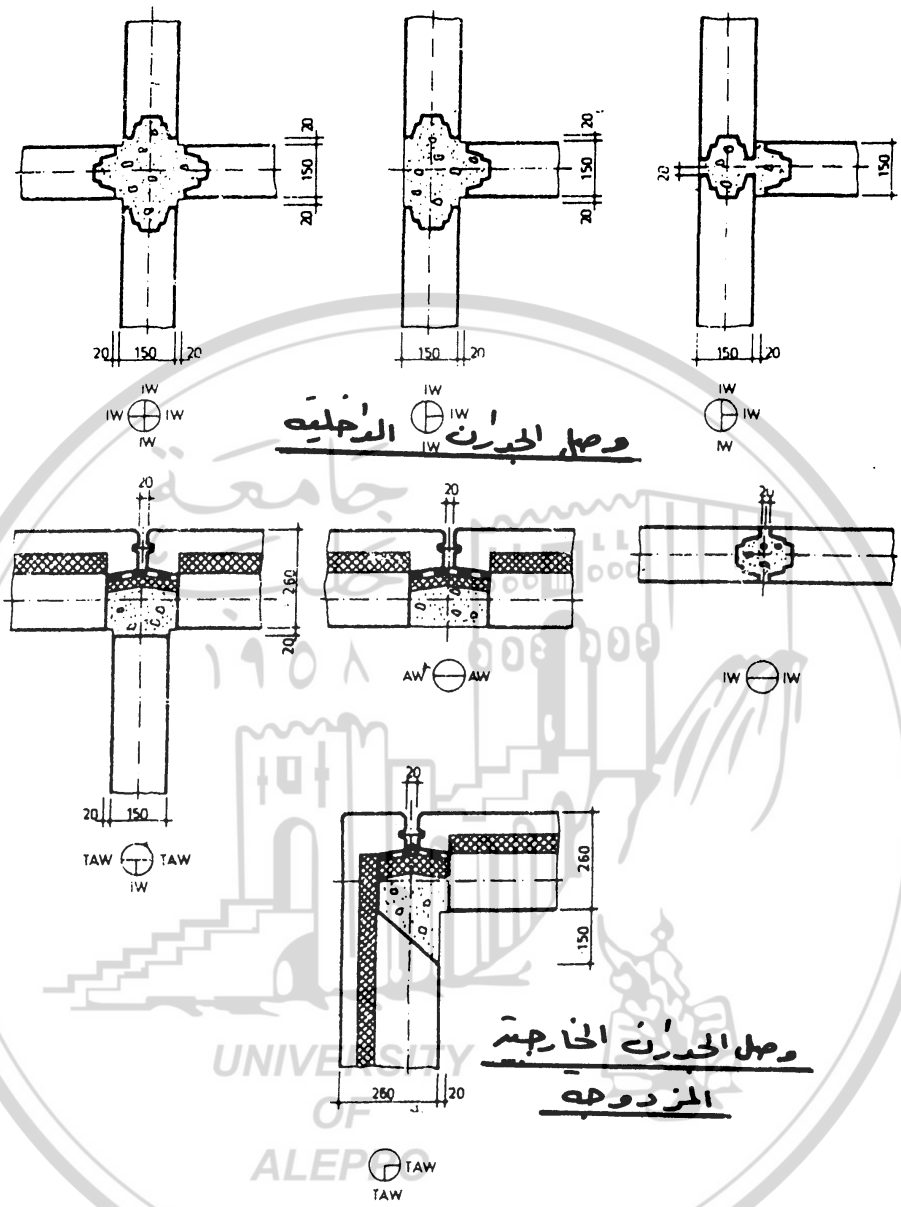
تبين الأشكال التالية بعض طرق تنفيذ الوصلات البيتونية المسلحة ، حيث يظهر الشكل (١٦ ـ

١٣) مقاطع عرضية لكيفية استناد البلاطات المسلحة مسبقة الصنع على الجدران الداخلية والخارجية وبأشكالها المختلفة ، حيث يترك فراغات بين هذه القطع يظهرمنها فولاذ التسليح ، ثم تلحم بالشكل المناسب ، ويتم صب هذه الفراغات بالبيتون لربطها واعطائها الصلابة المطلوبة. كما يبين الشكل (١٦ - ١٤) مقاطع عرضية لبعض طرق تنفيذ هذه الوصلات بين الجدران الداخلية والخارجية وبأشكالها



شكل رقم (١٦ - ١٣) تفاصيل الوصلات البيتونية المختلفة بين البلاطات والجدران

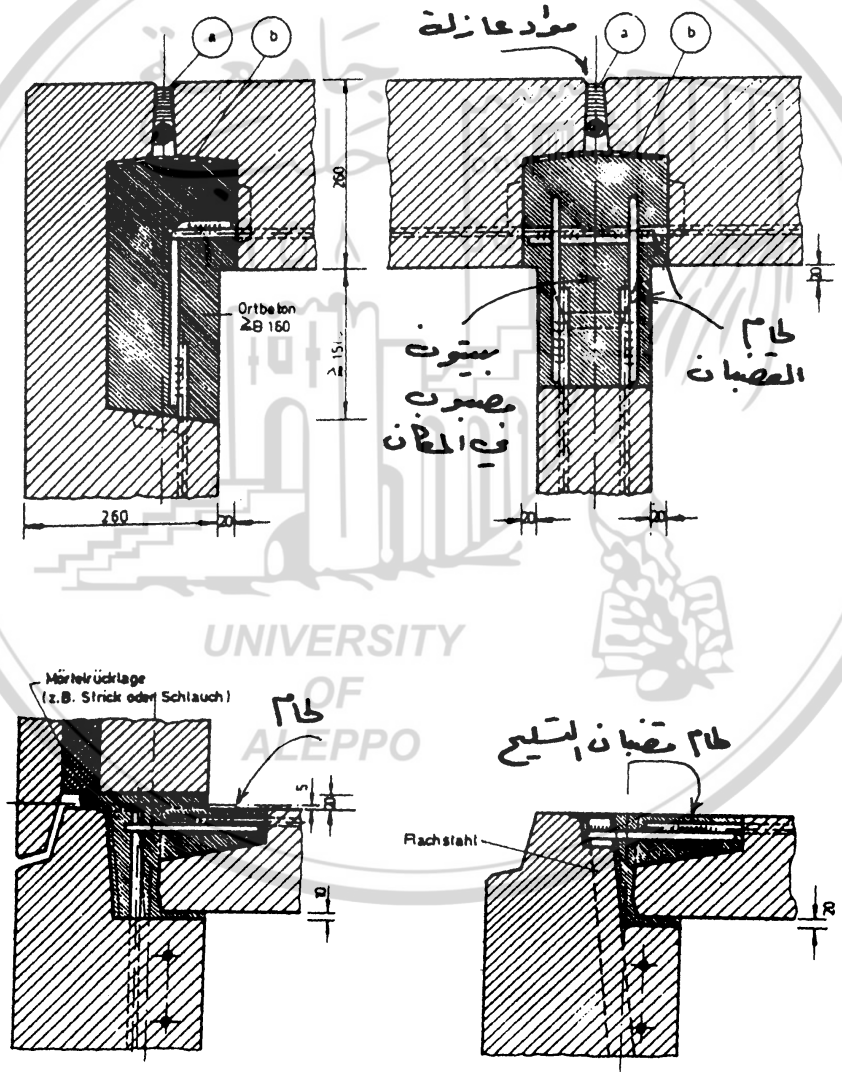
المختلفة . ويظهر الشكل (١٦ - ١٥) ، تفاصيل وتنفيذ ولحام فولاذ التسليح في الوصلات البيتونية بين القطع المختلفة مسبقة الصنع .



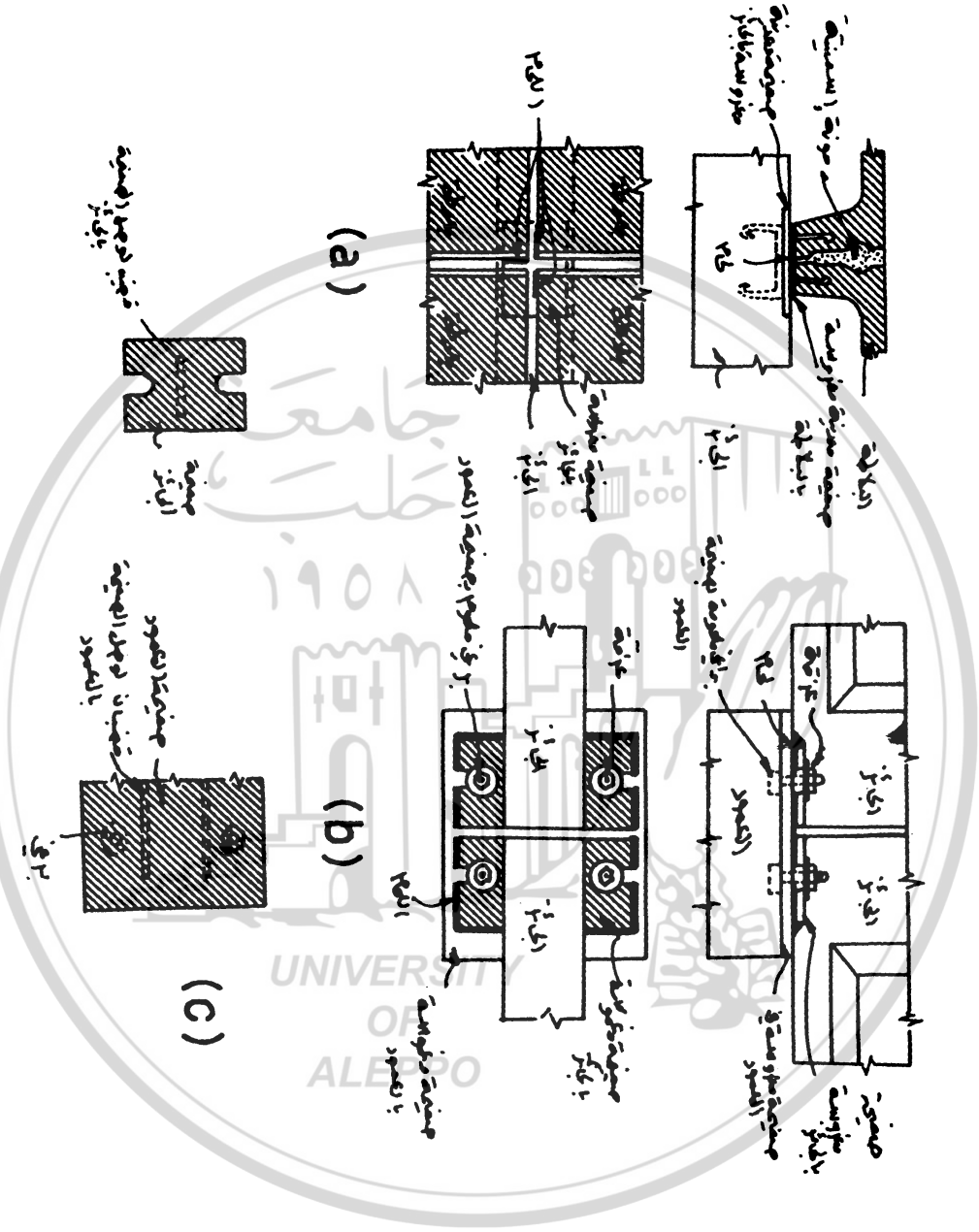
شكل رقم (١٦ ـ ١٤) تفاصيل الوصلات البيتونية المختلفة بين الجدران مسبقة الصنع.

يبين الشكل (١٦ ـ ١٦) بعض تفاصيل الوصلات المعدنية المختلفة ، حيث يبين الشكل (١٦ ـ ١٦ ـ a) طريقة وصل البلاطات البيتونية المسلحة إلى الجوائز أو العناصر الأخرى، حيث تكون نقاط استناد البلاطات متصلة بصفائح معدنية مغموسة في البيتون وموثوقة معه ، وبالمقابل تكون هناك في أماكن استناد هذه البلاطات وعلى السطح العلوي للجائز صفائح أخرى مغموسة به وموثوقة معه .

وبعد وضع البلاطات في مكانها تلحم أطراف هذه الصفائح مع بعضها البعض مشكلة وصلة ثابتة . كما يبين الشكل (١٦ ـ ١٦ ـ b) طريقة وصل الجوائزأو العناصر الأخرى كالجوائز الشبكية بالأعمدة ، حيث تكون أطرافها متصلة بصفائح معدنية ذات براغي ، الشكل (١٦ ـ ١٦ ـc) ، وعند استناد الجائز على العمود تربط الصفيحتان بواسطة البراغي وذلك لتثبيت الجوائز في مكانها ، ثم تلحم وتشد البراغي بشكل كامل ، وبذلك تؤمن الوثاقة التامة بينهما .



شكل رقم (١٦ ـ ١٥) تفاصيل فولاذالتسليح في الوصلات البيتونية .



شكل رقم (١٦ ـ ١٦) تفاصيل الوصلات المعدنية المختلفة.

UNIVERSITY OF ALEPPO

الفصل السابع عشر

التصنيف الإقتصادي للجمل الإنشائية

ECONOMICAL CLASSIFICATION OF STRUCTURAL SYSTEMS

١٧ ـ ١ ـ تمهيد : INTRODUCTION

هناك معايير عديدة ومختلفة يمكن اعتمادها أساساً لتصنيف المنشآت .فكما رأينا ، يمكن اعتماد الشكل الهندسي أساساً لهذا التصنيف ، فنقول أن هناك منشآت خطية ومنشآت سطحية ومنشآت فراغية ، أو يمكن اعتماد التقرير التوازني أساساً له ، فنقول منشآت مقررة توازنياً أو غير مقررة توازنياً ، أو نعتمد القوى الداخلية أساساً فنقول منشآت معرضة لقوى شد أو لقوى ضغط أو معرضة لعزوم إنعطاف.. الخ . كذلك يمكن إعتماد طريقة نقل الأحمال في المنشأ اعتباراً من نقطة التطبيق وحتى الأساسات أساساً للتصنيف فنقول مثلاً ، منشآت تنقل الأحمال مرة واحدة أو مرتين ومنشآت تنقل الحمل باتجاه واحد أو باتجاهين . أو يمكن اعتماد طريقة تنفيذ المنشآت أساساً فنقول منشآت منفذة في المكان أو المنشآت مسبقة الصنع أو منشآت مسبقة الصنع جزئياً .

إلا أن كل هذه التصانيف تعتبر تصانيف جزئية لاتعطينا فكرة كاملة عن المنشأ كما أنها متداخلة مع بعضها البعض، فلكل منشأ تصانيف عديدة . لذلك ومن أجل المقارنة بين المنشآت وخاصة من الناحية الاقتصادية ، فقد تم اعتماد معيار آخر شامل نوعاً ما كأساس للتصنيف وهو المعيار الاقتصادي .

ومن المفيد التنويه بأن التصنيف الإقتصادي للمنشآت يأخذ بعين الاعتبار ضمناً كثيراً من التصانيف السابقة ، فهو ولتحديد اقتصادية منشأ ما ، يجب أن يحدد القوى الداخلية في عناصره،

وكذلك طريقة نقل الأحمال في هذا المنشأ وطريقة تنفيذه، لأن كل ذلك يؤثر وبصورة كبيرة على اقتصاديته .كما يجب أن لايغيب عن بالنا أن كل هذه الاعتبارات تتأثر بدورها وبشكل كبيرلشكل المنشأ، فمثلاً في المنشآت المنحنية تكون القوى الداخلية وبشكل أساسي قوى محورية ، بينما وفي المنشآت المستقيمة تكون وبشكل أساسي عزوم إنعطاف . وكذلك فإن طريقة التنفيذ للمنشآت المنحنية هي أصعب بكثير من تنفيذ المنشآت المستقيمة . وبذلك فإن لكل شكل من أشكال المنشآت اقتصادية معينة تختلف عن الأشكال الأخرى .

١٧ ـ ٢ ـ العوامل المؤثرة على التصنيف الاقتصادي :

FACTORS AFFECTING ECONOMICAL CLASSIFICATION

للوصول إلى المنشأ الأكثر إقتصادية يجب أن نأخذ بعين الاعتبار العوامل الأساسية التالية والتي تؤثر على كلفة المنشأ بشكل كبير :

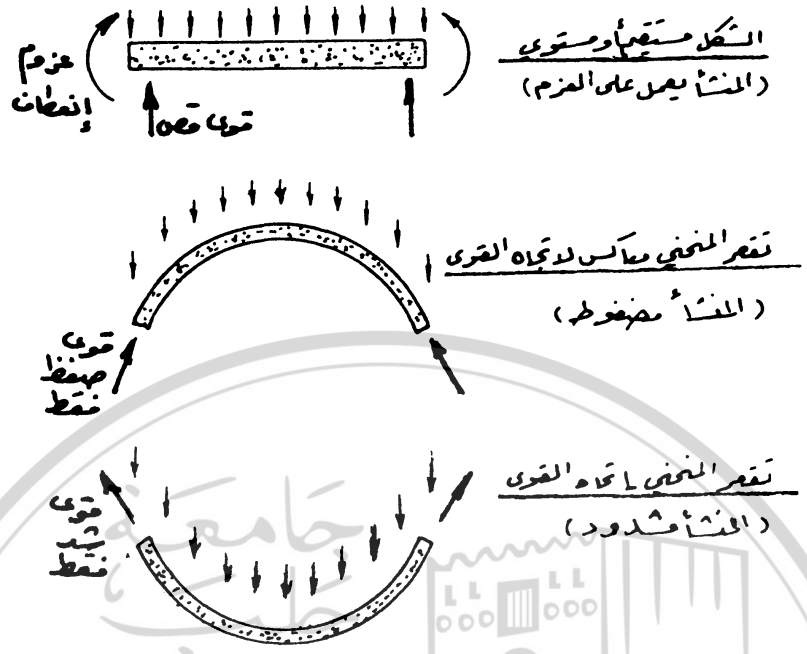
آ ـ الوضعية الإجهادية ، أو الأفعال المشوهة. (Strain Action)

ب ـ طريقة نقل الأحمال. (Carrying Loads Method)

جـ ـ طريقة التنفيذ أو الإنشاء. (Construction Method)

إن الوضعية الإجهادية للمنشأ تعني معرفة طبيعة الإجهادات أو القوى الداخلية المطبقة في مقاطع عناصر هذا المنشأ، أو مايدعى الأفعال المشوهة للمنشأ (Straining Actions) وهي عادة : عزوم إنعطاف ـ قوى ضغط ـ قوى شد ـ قوى قص ...الخ ، وكما هو معروف فإن هذه الأفعال تتبع شكل المنشأ كما هو مبين بالشكل (١٧ ـ ١) .

أما طريقة نقل الأحمال فتعني كيفية نقل الأحمال المطبقة علي المنشأ اعتباراً من نقطة التطبيق وحتى الوصول إلي الأساسات أو نقاط الاستناد ، وعدد المرات التي تنتقل فيها هذه الأحمال من عنصر إلى آخر قبل وصولها إلى الأساسات ، وهي تتبع بشكل عام أبعاد المنشأ ونوع العناصر الحاملة ومواقع الأعمدة فيه .



شكل رقم (١٧ ـ ١) علاقة شكل المنشأ مع الوضعية الإجهادية أو الأفعال المشرهة الأساسية.

أما طريقة التنفيذ أو الانشاء فتتبع من حيث الكلفة الاقتصادية شكل عناصر المنشأ سواء كانت خطية أو مستوية أو فراغية .

أن هذه العوامل الثلاث والتي تؤثر على التصنيف الإقتصادي للمنشأ قد تكون متعارضة في بعض الأحيان ، فالمنشأ الاقتصادي حسب أحد هذه العوامل قد لايكون إقتصادياً بالنسبة للعوامل الأخرى ، فمثلاً ، إذا إعتبرنا عامل طريقة التنفيذ فإننا نرى أن جائز مستقيم أقل كلفة من تنفيذ آخر منحن ، وإن تنفيذ بلاطة مستوية أقل كلفة من تنفيذ بلاطة قشرية منحنية . أما أذا اعتبرنا عامل الوضعية الإجهادية ، فإننا نرى أن المنشآت المنحنية أفضل من غيرها من المنشآت نظراً لأن الإجهادات الناتجة عن عزوم الإنعطاف ستتلاشى وستبقى الإجهادات الناتجة عن قوى الضغط فقط ، وبذلك يصبح المنشأ من حيث الوضعية الاجهادية أكثر اقتصاداً . وعلى المصمم الإنشائي أن يعتمد شكل وعناصر المنشأ المطلوب والذي يتكامل مع نفسه بما يتفق مع هذه العوامل المختلفة والمتعارضة وبحيث يكون أقل

المنشآت المختلفة ، والتي يمكن أن تؤدي نفس الغرض، كلفة اقتصادية .

١٧ ـ ٣ ـ استخدام التصنيف الاقتصادي :

USE OF ECONOMICAL CLASSIFICATION

لتحديد ومعرفة أي منشأ من المنشآت هو الأكثر إقتصاداً ، يجب أن نجد طريقة يمكن باستخدامها تقدير المردود الإقتصادي للمنشآت وذلك قبل البدء بالتصميم الإنشائي وفي مرحلة الدراسة الأولية . ويتم ذلك من دراسة بعض الأشكال الأولية الممكنة للهيكل الإنشائي وتحديد التصنيف الإقتصادي لها ، ومن ثم يمكن أن نختار من بين هذه الأشكال الأولية الحل الذي نعتقد أنه الأكثر اقتصادية من غيره ليكون أساساً للتصميم الانشائي .

إلا أنه ومنذ البداية ، يجب أن ندرك تماماً أن دراسة الحل الأولي وتحديد التصنيف الإقتصادي له لايعني مطلقاً تحديد تكاليف المنشأ الفعلية ، كما أنه من الصعب أن نتوقع إمكانية الوصول إلى مقياس دقيق تتناسب قيمه طرداً مع تكاليف المنشأ الحقيقية . إلا أن هذا القياس الدقيق ليس ضرورياً تماماً ، بل يكفي أن نحصل على مقياس نستطيع بموجبه دراسة عدد من الحلول الممكنة ، وبحيث يعطينا هذا المقياس ترتيباً ما للحلول المقترحة بحسب كلفتها الاقتصادية ، دون أن تكون هذه الكلف متناسبة بالضرورة وبشكل طردي مع قيم هذا المقياس .

فإذا كان لدينا ولمنشأ ما مثلاً، ثلاثة حلول مختلفة(آ ـ ب ـ جـ) وذات كلفة إقتصادية مقدرة بالليرات السورية وقيم للمقياس الاقتصادي المقترح ، كما هو مبين بالجدول (١٧ ـ ١) .وبالتدقيق

الحل المقترح	آ	ب	جـ
الكلفة الاقتصادية	4. 200,000	3.700,000	2,100,000
قيمة المقياس الاقتصادي (N)	10.6	8.3	6.5

الجدول (١٧ ـ ١) الكلف الإقتصادية وقيم المقياس الإقتصادي للحلول المختلفة .

في الجدول (١٧ ـ ١)فإننا نرى أن قيم المقياس الإقتصادي المقترح يمكن أن تكون أساساً صالحاً لاختيار الحل الأكثر اقتصادية من بين الحلول الثلاثة المقترحة ، الحل (جـ) ، لأنها تعطي الترتيب للكلفة الإقتصادية بشكل صحيح . وبالتالي يمكن اللجوء إلى مثل هذا المقياس لمقارنة تكلفة عدة حلول لمنشأ ما تستخدم نفس المادة الإنشائية ، وبحيث تختلف في كل حل كمية المواد المستخدمة وكلفة اليد العاملة اللازمة للتنفيذ فقط .

إن قيمة أو رقم المقياس الإقتصادي هو مجموع ثلاثة من المؤشرات أو المتحولات (Parameters) ، يدل كل واحد منها على أحد العوامل الثلاث المذكورة سابقاً والتي تؤثر على المردود الإقتصادي للمنشأ . ويمكن لها أن تكون أساساً للتصنيف الإقتصادي للمنشآت .

ويمكننا ، ومن النظرة الأولى إلى شكل هذه المؤشرات الثلاث ، معرفة مدى تأثير كل منها على المنشأ المدروس وذلك بإتباع الأسلوب التالي :

أ ـ لنعتبر أن المؤشر الأول ، والذي يدل على الوضعية الإجهادية أو الأفعال المشوهة للمنشأ ، على شكل عدد صحيح (A) .

ب ـ ولنعتبر أن المؤشر الثاني ، والذي يدل على طريقة نقل الأحمال ، على شكل كسر عادي (B / C) .

جـ ـ ولنعتبر أن المؤشر الثالث ، والذي يدل على طريقة الإنشاء أو التنفيذ وبالتالي الدال على شكل المنشأ ، على شكل كسر عشري (D . E) .

فيكون مجموع المؤشرات الثلاث هو قيمة التصنيف الاقتصادي للمنشأ ويكون على الشكل :

$$N = (A) + (B / C) + (D. E)$$

وسيتم لاحقاً شرح وتحديد قيمة كل من هذه المؤشرات الثلاث .

١٧ ـ ٤ ـ مؤشرات التصنيف الاقتصادي :

PARAMETERS OF ECONOMICAL CLASSIFICATION

لكي يتم تحديد قيمة التصنيف الإقتصادي لابد لنا من تحديد قيم المؤشرات الثلاث بكل دقة ،

وبشكل يتناسب تماماً مع مواصفات وخصائص المنشأ المدروس، وحتى يكون هذا التصنيف دقيقاً ما أمكن ويعبر بصدق عن هذا المنشأ .

٤-١٧-١ ـ مؤشر الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية :

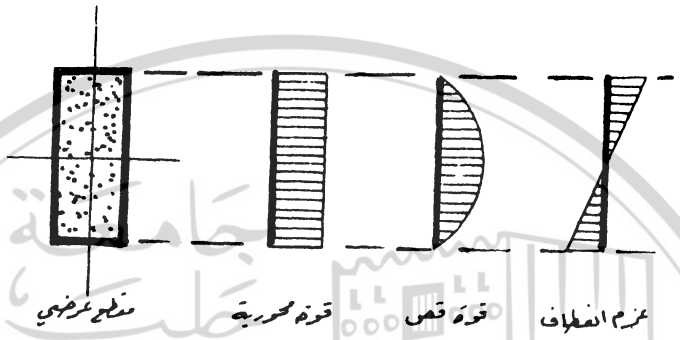
STRAINING ACTIONS PARAMETER

إن فكرة الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية تتعلق بكامل عناصر المنشأ وليس بمقطع واحد منه. فإذا كانت جميع مقاطع عناصر المنشأ تحت تأثير نفس شكل الأفعال المشوهة فإنها تعتبر الأفعال المشوهة للمنشأ ككل ، وتدعى هذه المنشآت عندئذ "بالمنشآت ذات الأفعال المشوهة المتجانسة" . وتكون مثل هذه المنشآت ، بالإضافة إلى ميزاتها العديدة ، ذات شكل حسن ومتناسق ، ولهذا فإن على المهندس الإنشائي أن يسعى ما أمكن لأن يكون هيكله الإنشائي من هذا النوع .

ولكن من الطبيعي أن تكون غالبية المنشآت ذات أفعال مشوهة غير متجانسة. فإذا كان هناك عدة أفعال مشوهة ، وبحيث كان أحد هذه الأفعال المشوهة أساسياً وظاهراً في معظم مقاطع العناصر ، فعندئذ يمكن اعتباره بأنه الفعل المشوهة المميز لهذا المنشأ ككل . أما إذا كان هناك عدة أفعال مشوهة متنوعة ومتوزعة على المقاطع للعناصر الإنشائية وبشكل متقارب، فعندئذ يمكن إعتبار المتوسط الحسابي أو المتوسط الهندسي للمؤشرات المختلفة الدالة علي هذه الأفعال هو المؤشر النهائي للمنشأ ككل.

ومما يجدر ملاحظته أيضاً أن الأفعال المشوهة في أي مقطع من مقاطع عناصر المنشأ يمكن أن تتغير وذلك حسب الأحمال المتغيرة والمطبقة على هذه العناصر ، ولهذا فإننا لن نأخذ في الاعتبار عند تصنيف هذا المنشأ جميع الأحمال المتغيرة بل سنصف المنشأ إعتماداً على الحمولة ذات التأثير الأكبر أو ما يدعى "بالحمولة الرئيسية" (Main Load) . فمثلاً في المنشآت ذات الأبعاد الأفقية والمجازات الكبيرة بالمقارنة مع الأبعاد الرأسية، نجد أن الأحمال الوزنية (Weight Loads) هي الحمولة الرئيسية التي تتحكم في الأفعال المشوهة . أما في المنشآت التي تكون أبعادها الرأسية كبيرة بالمقارنة مع أبعادها الأفقية، فإننا نجد أن الحمولات غير الوزنية كحمولة ضغط الرياح أو الهزات الأرضية هي الحمولة الرئيسية لهذه المنشآت .

يبين الشكل (١٧ ـ ٢) مخططات الإجهادات المختلفة التي يمكن أن تتولد في مقطع ما تحت تأثير الأفعال المشوهة المختلفة ، ومن مقارنة هذه المخططات يمكن أن نستنتج أن القوى المحورية ، سواء كانت قوى شد أو ضغط ، هي الفعل المشوه الأكثر إقتصاداً من بقية الأفعال نظراً لأنها تسبب إجهادات شد أو ضغط على كامل مقطع العنصر وبنفس القيمة ، وبذلك تكون الاستفادة كاملة ومتساوية من جميع



شكل رقم (١٧ ـ ٢) مخططات الإجهادات للأفعال المشوهة الرئيسية .

نقاط هذا المقطع ، الشكل (١٧ ـ ٢ ـ a) . بينما نجد أن هذه الاستفادة وبحالة قوى القص كبيرة فقط في منتصف المقطع وتقل كلما اقتربنا من الطرفين العلوي والسفلي للمقطع لتنعدم عندهما ، وبحيث يكون التغير بشكل منحني ، الشكل (١٧ ـ ٢ ـ b) . أما في حالة عزوم الإنعطاف ، على العكس ، تكون الاستفادة كبيرة فقط عند الطرفين العلوي والسفلي للمقطع وفي الألياف الخارجية بينما تنعدم في منتصف المقطع ، ويكون التغيير في القيم بشكل خط مستقيم أي أن معدل التناقص في الإجهادات الناتجة عن عزوم الإنعطاف يفوق معدل التناقص للإجهادات الناتجة عن قوى القص ، الشكل (١٧ ـ ٢ ـ c) .

وإعتماداً على ما سبق يمكن أن نشرح فيما يلي أنواع المنشآت والتي تحتوي على أفعال مشوهة أو وضعيات إجهادية مختلفة والأرقام العائدة لها والدالة على المؤشر (A) :

أ ـ الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية التي لا تحتوي على قوى القص أو عزوم الانعطاف :

Straining Actions Without Shearing Forces Or Bending Moments

ويكون في هذه الحالة مؤشر الأفعال المشوهة = (1).

$$A = 1$$

في هذه المنشآت ، ونظراً لعدم وجود قوى القص وعزوم الانعطاف ، تكون الأفعال المشوهة قوى محورية فقط ، ويمكن أن تكون قوى شد أو قوى ضغط تقع نقطة تأثيرها في مركز مقطع العناصر وعمودية عليها ، وتكون هذه الإجهادات متساوية في جميع نقاط المقطع . إما أذا كانت هذه القوى مائلة قليلاً على المقطع أو لاتقع نقطة تأثيرها في مركز المقطع ، فعندئذ لاتكون الإجهادات متساوية في جميع نقاط المقطع. وبهذه الحالة، إذا بقيت الإجهادات في مختلف نقاط القطع متجانسة ، أي جميعها إجهادات ضغط أو إجهادات شد ، فيمكن تصنيف المنشأ ضمن هذه المجموعة أيضاً .

ومنشآت هذه المجموعة نادرة الوجود وتدعى بالمنشآت المعرضة لقوى الشد أو المعرضة لقوى الضغط، حسب الإجهادات المطبقة، وغالباً ما تكون هذه المنشآت معرضة في بعض الأحيان لقوى شد ثم تتعرض لقوى ضغط في الأحيان الأخرى .

ب ـ الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية التي لاتحتوي على عزوم إنعطاف :

Straining Sctions Withcut Bending Moments

ويكون في هذه الحالة مؤشر الأفعال المشوهة = (3).

$$A = 3$$

في هذه المنشآت تكون الأفعال المشوهة قوى محورية وقوى قص نظراً لعدم وجود عزوم الإنعطاف. ونصادف هذا النوع في المنشآت الفراغية فقط ، كالمنشآت القشرية، حيث لاتكون هناك عزوم إنعطاف مطبقة على المقطع العرضي للمنشأ . وتدعى منشآت هذه المجموعة بالمنشآت الخالية من عزوم الإنعطاف .

ج ـ الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية العامة : General Straining Actions

ويكون في هذه الحالة مؤشر الأفعال المشوهة =(5) .

$$A = 5$$

في هذه المنشآت يمكن أن تكون الأفعال المشوهة المطبقة على مقاطع العناصر من أي نوع من

الأفعال ، قوى محورية أو قوى مماسية أو عزوم إنعطاف . وتصنيف عادة حسب أكثر الأفعال المشوهة تأثيراً وهو عزم الإنعطاف ، ولذلك تدعى بالمنشآت المعرضة لعزوم الإنعطاف .

د ـ الأفعال المشوهة أو العرضية الإجهادية المركبة : Composite Straining Actions

من المحتمل وجود بعض المنشآت تكون فيها الأفعال المشوهة المطبقة على مقاطع العناصر من نوعين أو أكثر ، ومتوزعة بشكل متقارب ، أي لايوجد فعل مشوه أساسي واحد فقط . وفي هذه الحالة يكون مؤشر الأفعال المشوهة مساوياً إلى الوسطي من القيم العائدة لكل فعل مشوه . فمثلاً يمكن أن نلاحظ المجموعات التالية :

١ ـ المنشآت ذات القص الجزئي : (Structures Partly With Shear)

وهي المنشآت التي تكون الأفعال المشوهة المطبقة على مقاطع العناصر قوى محورية بشكل أساس وقوى قص بشكل جزئي ، ويكون مؤشر الأفعال المشوهة في هذه الحالة مساوياً إلى :

$$A = \frac{1 + 3}{2} = 2$$

$$A = 2$$

٢ ـ المنشآت ذات الانعطاف الجزئي : (Structures Partly With Bending Moments)

وهي المنشآت التي تكون الأفعال المشوهة المطبقة على مقاطع العناصر قوى قص بشكل أساسي وعزوم انعطاف بشكل جزئي ، ويكون مؤشر الأفعال المشوهة في هذه الحالة مساوياً إلى :

$$A = \frac{3 + 5}{2} = 4$$

$$A = 4$$

٣ ـ وبنفس الطريقة يمكن تصنيف المنشآت المعرضة لقوى محورية بشكل أساسي وعزوم إنعطاف جزئية دون قوى قص على الشكل :

$$A = \frac{1 + 5}{2} = 3$$

$$A = 3$$

٤ ـ وكذلك يمكن تصنيف المنشآت المعرضة لقوى محورية بشكل أساسي وقوى وعزوم إنعطاف جزئية على الشكل :

$$A = \frac{1 + 3 + 5}{3} = 3$$

$$A = 3$$

١٧ ـ ٤ ـ ٢ ـ مؤشر نقل الحمولات : CARRYING LOADS PARAMETER

كما ذكرنا سابقاً فإن المؤشر الدال على طريقة الحمولات يكون على شكل كسر عادي، ويرمز له بالشكل (B / C) . وفي هذا المؤشر يمكن إعتبار خاصتين أساسيتين لطريقة نقل الحمولات ، أي أنه سيتم التفريق بين طرق نقل الحمولات من مفهومين أساسين :

أ ـ المفهوم الأول : ويختص بصورة أو ببسط الكسر (B) ، ويدل الرقم الخاص به على عدد المرات التي تنتقل فيها الأحمال المطبقة من عنصر لآخر في المنشأ وحتى وصولها إلى تربة التأسيس أو إلى منشأ آخر مثل الجدران أو الركائز التي يمكن أن تقوم بدور الوسيط في نقل الحمولات إلى التربة دون حدوث عزوم إنعطاف أو قوى قص . ويدعى هذا الرقم (B) ، رقم الصنف (Classnumber) ، ويمكن أن نلاحظ في المنشآت أرقام الأصناف التالية :

١ ـ منشآت الصنف الأول : (First Class Structures)

ويكون فيها رقم الصنف = (1).

$$B = 1$$

وهي المنشآت التي تنقل أحمالها مباشرة إلى التربة أو إلى أي منشأ آخر ينقل بدوره الأحمال إلى التربة دون تولد عزوم انعطاف أو قوى قص ، وتدعى هذه المنشآت أيضاً بالمنشآت الناقلة للأحمال مرة

واحدة .

٢ ـ منشآت الصنف الثاني : (Second Class Structures)

ويكون فيها رقم الصنف = (2) .

$$B = 2$$

وهي المنشآت التي تنقل أحمالها مرتين قبل الوصول إلى تربة التأسيس ، وتدعى أيضاً بالمنشآت الناقلة للأحمال مرتين .

٣ ـ منشآت الصنف الثالث : (Third Class Struetures)

ويكون فيها رقم الصنف = (3) .

$$B = 3$$

وهي المنشآت التي تنقل أحمالها ثلاث مرات قبل الوصول إلى تربة التأسيس ، وتدعى أيضاً بالمنشآت الناقلة للأحمال ثلاث مرات .

ب ـ المفهوم الثاني : ويختص بمخرج أو بمقام الكسر (C) . ويبين الرقم الخاص به على طريقة نقل الأحمال في عناصر المنشأ ، أي هل هذا النقل يتم بإتجاه واحد أم بإتجاهين. ويمكن أن نميز بين حالتين :

١ ـ منشآت تنقل الأحمال بإتجاه واحد : (One Way Carrying Loads Structares)

ويكون تصنيفها :

$$C = 1$$

كالجوائز المستقيمة مثلاً والأقواس والأعمدة ...الخ حيث تنقل هذه العناصر الأحمال المطبقة عليها بإتجاه واحد فقط .

٢ ـ منشآت تنقل الأحمال بالإتجاهين : (Two Ways Carrying Loads Structures)

ويكون تصنيفها :

$$C = 2$$

كالبلاطات ثنائية الإتجاه مثلاً ، حيث يتم نقل الأحمال المطبقة عليها بإتجاهين إثنين .

وعند مناقشة طريقة نقل الأحمال لابد لنا من معرفة أين يمكن أن نصنف المنشآت التي تنقل الأحمال في بعض عناصرها وأجزائها بطريقة تختلف عن الطريقة التي تنقلها بها في عناصرها وأجزائها الأخرى . ويكون هذا التصنيف في المجموعة التي تتميز بها الأجزاء الأكبر من هذه المنشآت . أما إذا كان جزئي هذه المنشآت متساويين من حيث الحجم والأهمية ، فإننا نصنف هذه المنشآت في المجموعة الأقل اقتصادية ، أي في المنشآت التي تنقل الأحمال بإتجاه واحد ، (C = 1) .

إذا قارنا مؤشر نقل الحمولات ، (B / C) ، مع مؤشر الأفعال المشوهة ، (A) ، لمعرفة أيهما له التأثير الأكبر على اقتصادية المنشأ ، فإننا نجد أن مؤشر الأفعال المشوهة ، (A) ، له التأثير الأكبر . لأن الأرقام الدالة عليه تختلف عن بعضها البعض بعدد صحيح في حيث أن الأرقام الدالة على مؤشر نقل الحمولات ، (B / C) ، تختلف عن بعضها البعض بنصف الواحدة .

١٧ ـ ٤ ـ ٣ ـ مؤشر طريقة الإنشاء أو شكل المنشأ :

METHOD OF CONSTRUCTION OR SHAPE OF STRUCTURES PARAMETER

وكما ذكرنا سابقاً فإن مؤشر طريقة الإنشاء أو التنفيذ يكون على شكل كسر عشري ، ويرمز له بالشكل (D , E) . وفي هذا المؤشر يمكن إعتبار مفهومين أساسين :

أ ـ المفهوم الأول : ويختص بالعدد الصحيح (D) ، ويدل الرقم الخاص به على عدد أبعاد الشكل المبسط للمنشأ ، أو على تصنيف هذا المنشأ حسب شكله الهندسي ويمكن أن يكون على النحو التالي :

١ ـ المنشآت الخطية : (Line Structures)

وهي المنشآت ذات البعد الواحد ، كالأعمدة والجوائز والأقواس ويكون تصنيفها :

$$D = 1$$

٢ ـ المنشآت السطحية : (Sucface Structures)

وهي المنشآت ذات البعدين ، كالإطارات والجوائز الشبكية والبلاكات ، ويكون تصنيفها :

$$D = 2$$

٣ ـ المنشآت الفراغية : (Space Structures)

وهي المنشآت ذات الأبعاد الثلاثة ، كالقباب والقشريات والإطارات الفراغية والجوائز الشبكية الفراغية ويكون تصنيفها :

$$D = 3$$

ب ـ المفهوم الثاني : ويختص بالجزء العشري من هذا الكسر (E) ، ويدل الرقم الخاص به على أبعاد الفراغ الذي يشغله هذا المنشأ ، ويمكن أن يكون على النحو التالي :

١ ـ المنشآت المستقيمة : (Straight Structures)

وهي المنشآت التي تمتد بشكل مستقيم كالجوائز والأعمدة ويكون تصنيفها :

$$E = 1$$

٢ ـ المنشآت التي تشغل بعدين : (In Plane Structures)

وهي المنشآت الخطية المنحنية في مستوي واحد كالأقواس والجوائز المنحنية والدائرية ، أو المنشآت السطحية المستوية ، ويكون تصنيفها :

$$E = 2$$

٣ ـ المنشآت التي تشغل ثلاثة أبعاد : (Three dimensional Structures)

وهي المنشآت السطحية المنحنية في الفراغ ، كبعض أنواع القشريات والبلاطات المنحنية أو المنشآت الخطية المنحنية في الفراغ ، ويكون تصنيفها :

$$E = 3$$

ويمكن بالتالي وبعد الأخذ بعين الاعتبار هذين المفهومين أن نحدد مؤشر طريقة الإنشاء للمنشآت المختلفة على النحو التالي :

ـ المنشآت الخطية المستقيمة : (Straight Line Structures)

كالجوائز المستقيمة والأعمدة ، ويكون تصنيفها :

$$D \cdot E = 1.1$$

ـ المنشآت الخطية المنحنية في المستوي : (In Plane Curved Line Structures)

كالأقواس والجوائز المنحنية ، ويكون تصنيفها :

D . E = 1.2

ـ المنشآت الخطية المنحنية في الفراغ : (Three Dimensioal Curved Line Structures)

كالجوائز المنحنية الخطية في الفراغ ، ويكون تصنيفها :

D . E = 1.3

ـ المنشآت السطحية المستوية : (In Plane Surface Structures)

كالبلاطات والإطارات والجوائز الشبكية ، ويكون تصنيفها :

D . E = 2.2

ـ المنشآت السطحية المنحنية في الفراغ : (Three Dimensional Curved Surface Structures)

كالقشريات الاسطوانية والبلاطات الملتوية والمطوية ويكون تصنيفها :

D . E = 2.3

ـ المنشآت الفراغية : (Space Structures)

كالقشريات المنحنية بإتجاهين ، والقباب والإطارات الفراغية ، والجوائز الشبكية الفراغية ، ويكون تصنيفها :

D . E = 3.3

إن مؤشر طريقة الإنشاء أو شكل المنشأ يمكن أن يعطينا فكرة عن تكاليف الإنشاء أو التنفيذ ، حيث من البديهي أن تكون تكاليف تنفيذ المنشأ المستقيم أقل من تكاليف المنشأ المنحني ، وذلك إذا افترضنا نفس مواد الإنشاء . كذلك فإن تكاليف تنفيذ المنشآت المستوية أقل من تكاليف المنشآت الفراغية .

ومما تجدر ملاحظته أن هذا المؤشر يدل فقط على تكاليف الإنشاء ، حيث تظهر المنشآت المستوية والفراغية أقل اقتصادية . بينما تكون هذه المنشآت ومن جهة نظر الأفعال المشوهة أو نقل الحمولات من المنشآت الأكثر اقتصادية نظراً لامكانية عدم وجود عزوم إنعطاف ، ولأنها تعتبر من منشآت الصنف

الأول وتنقل الأحمال بالإتجاهين ، ولها محاسن عديدة قد تفوق مساوىء طريقة الإنشاء .

أما في المنشآت التي لها أشكال مختلطة فيمكن معالجتها بنفس الطريقة التي تمت بها معالجة المنشآت ذات طرق نقل الأحمال المختلطة . إلا أنه يجب التنويه إلى أن المنشآت ذات الشكل المتجانس أكثر اقتصادية ليس فقط من حيث الشكل وطريقة الإنشاء ، بل أيضاً من الناحية الإنشائية ونقل الحمولات . ويمكن أن نطلق على المنشآت التي يكون فيها العدد الصحيح في مؤشرات طريقة الإنشاء أو الشكل ، (D) ، ثابتاً لجميع العناصر ، " بالمنشآت ذات الشكل المتجانس" (Homogenous Shape Structures) .

إذا قارنا مؤشر طريقة الإنشاء أو الشكل ،(D.E) ، مع مؤشر نقل الحمولات ،(B/C) ، من حيث تأثير كل منهما على اقتصادية المنشأ ، نجد أن تأثير مؤشر الشكل ، (D.E) ، أقل من تأثير مؤشر نقل الأحمال ، (B/C) ، حيث أن الأرقام الدالة عليه تختلف عن بعضها البعض برقم عشري إلا إذا تم التغيير من المنشآت الخطية إلى المنشآت السطحية أو الفراغية فيم الاختلاف في الأرقام الدالة بعدد صحيح . ويمكن تفسير هذه القفزة الكبيرة في اقتصادية أو تكاليف هذين النوعين من المنشآت ، إستناداً إلى حقيقة أن المنشآت السطحية أكثر كلفة من حيث طرق الحساب والتصميم ، وكذلك من حيث التنفيذ والإنشاء وأقل قابلية للصنع المسبق ، لذلك فهي ، ومن حيث طريقة الإنشاء فقط ، أكثر كلفة .

UNIVERSITY OF ALEPPO

١٧ ـ ٥ ـ التصنيف الاقتصادي للمنشآت

ECONOMICAL CLASSIFICATION OF STRUCTURES

كما ذكرنا سابقاً فإن هذه المؤشرات ليست فقط لتحديد المردود الاقتصادي ،ولكنها يمكن أن تستخدم أيضاً في إيجاد نوع من التصنيف لأنواع المنشآت بشكل عام . ولكي نتمكن من إختيار أكثر الحلول أقتصادية لمنشأ ما فإنه لابد لنا من معرفة جميع أنواع الهياكل الإنشائية الممكنة والتي يمكن نختار منها الحل الاقتصادي المناسب . وإذا اعتمدنا التصنيف الإقتصادي السابق فإننا نجد أن هناك اختيارات كثيرة تشمل مختلف أنواع المنشآت سواء منها المستخدمة أو غير المستخدمة في أعمال الإنشاء فكما رأينا إذا كان لمؤشر الأفعال المشوهة ، (A) ، سبعة قيم محتملة ، ولمؤشر نقل الحمولات

(B/C)، ستة قيم محتملة ، وكذلك لمؤشر طريقة الإنشاء ، (D , E) ، ستة قيم محتلة أيضاً ، فإن الاحتمالات الكلية يبلغ عددها 7X 6X 6 = 252 إحتمالاً. إلا أن أغلب هذه الاحتمالات ليس لها أهمية كبيرة في التصميم الإنشائي ، كما أن بعضها يخرج عن مجال المنشآت الهندسية . لذلك فإنه ليس من الضروري استعراض جميع هذه الاحتمالات، بل يتم اختيار عدد معقول من الحلول الممكنة وذلك حسب خبرة المصمم الإنشائي وحسب المواد الإنشائية المستخدمة والامكانيات المتوفرة للإنشاء والتنفيذ، ومن ثم يتم مناقشتها وتحديد الحل الاقتصادي الأمثل للمنشأ المطلوب .

كما أنه وبشكل عام يمكن تصنيف المنشآت الهندسية إلى عدة مجموعات تختلف عن بعضها البعض من حيث اقتصاديتها . ونبين فيما يلي هذا التصنيف وذلك حسب الكلف الاقتصادية المتصاعدة ، علماً أن منشآت كل مجموعة تختلف فيما بينها أيضاً من حيث الكلفة الاقتصادية وذلك حسب شكلها وطريقة نقل الحمولات فيها :

١ ـ المنشآت المعرضة للقوى المحورية : (Structures Of Axial Forces)

وتتعرض لقوى محورية فقط سواءً كانت قوى شد أو ضغط . وتستعمل في المجازات الكبيرة والحمولات الثابتة ، وهي أكثر أنواع المنشآت اقتصادية . ويمكن أن تكون منشآت خطية سواء كانت مستقيمة كالأعمدة والشدادات أم خطية منحنية كالأقواس والكابلات المعلقة أو أن تكون منشآت سطحية منحنية كالمنشآت المعلقة .

٢ ـ المنشآت المعرضة للقص الجزئي : (Structures Partly With Shear)وتتعرض لقوى محورية في بعض أجزائها وقوى قص في أجزائها الأخرى وبصورة مختلطة وبنفس المقدار ، ويمكن أن نذكر منها : جدران الخزانات الدائرية ، والقشريات الدورانية ، والقطوع الزائدية الدورانية والتي تستند على أعمدة .

٣ ـ المنشآت الخالية من عزوم الانعطاف : (Structures Wrthout Bending Moments)

وهي تتعرض لقوى محورية وقوى قص ، وهي منشآت سطحية في الأغلب . ويمكن أن نذكر منها : القشريات المنحنية بإتجاهين والقشريات الأسطوانية .

٤ ـ المنشآت المعرضة لعزوم الانعطاف الجزئية : (Structures Partly With Bending Moments)

وهي تتعرض لقوى محورية وقوى قص بشكل رئيسي وعزوم إنعطاف بشكل جزئي . ومعظم منشآت هذه المجموعة منشآت سطحية منحنية في الفراغ ، ويمكن أن نذكر منها : البلاطات المنحنية بأنواعها والصفائح المطوية والقشريات الطويلة .

٥ ـ المنشآت المعرضة لعزوم الإنعطاف : (Structures With Bending Moments)

وهي تتعرض لجميع أنواع القوى الداخلية ، وذات الوضعية الاجهادية العامة . ويمكن أن تكون هذه المنشآت خطية أو سطحية أو فراغية ، كذلك يمكن أن تكون مستقيمة أو منحنية . ويمكن أن نذكر منها : المنشآت الخطية المستقيمة كالجوائز ، والمنشآت الخطية المنحنية كالجوائز المنحنية والحلقية ، والمنشآت السطحية المستوية كالبلاطات بأنواعها والإطارات .

ومن الجدير بالذكر أن هذه المنشآت هي أقل المنشآت إقتصادية إلا أنها لاتزال ضرورية وشائعة الإستخدام إلى حد كبير . فمعظم المنشآت العادية والسكنية ذات أسقف مؤلفة من بلاطات مستوية وجوائز . وطالما أن عزوم الإنعطاف لايمكن التخلص منها في هذه الحالات ، فإنه يجب أن نحاول تخفيف تأثيراتها ما أمكن وأن نقاومها بأكثر الطرق المتوفرة إقتصادية .

ويمكن تخفيف عزوم الإنعطاف المطبقة بطريقتين، الطريقة الأولى : بتخفيف الوزن الذاتي للهيكل الإنشائي وذلك بإستخدام المواد الخفيفة وعالية المقاومة وكذلك بإعطاء المقاطع العرضية للعناصر أشكالاً مناسبة ، وبحيث يكون للمقاطع أقل مساحة ممكنة وأكبر عزم عطالة . والطريقة الثانية : بإختيار أماكن المساند بطريقة عملية تخفف ماأمكن من عزوم الإنعطاف . ولانقصد بذلك تقليل أطوال المجازات فقط لأن ذلك غير ممكن إلا في بعض الحالات ، بل بإختيار نسب أطوال المجازات المختلفة بشكل مناسب وإستخدام الأظفار الطرفية ، وبهذه السبل يمكن تخفيف مساحة مخطط عزوم الإنعطاف .

كما يمكن مقاومة عزوم الإنعطاف بطريقة إقتصادية ، وذلك إذا قمنا بتغيير أبعاد المقطع العرضي مع تغير قيمة عزوم الانعطاف وذلك على طول العناصر . ويمكن تطبيق هذه الفكرة في

المنشآت الضخمة والمجازات الكبيرة وذات العدد الكبير من العناصر المتشابهة وذلك بسببين رئيسين ، السبب الأول : أننا إذا استعملنا مقاطع ثابتة فستكون ضخمة وكبيرة جداً في بعض المقاطع ذات عزوم الانعطاف الصغيرة ودون لزوم ، أي أننا نكون قد أسرفنا كثيراً في المواد المستخدمة . والسبب الثاني : هو ضرورة أن يعكس شكل الهيكل الانشائي ماأمكن وبصورة عامة سلوكه الإنشائي .

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

المراجع العربية

١ ـ نقابة المهندسين السوريين " الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة " ، الطبعة الثانية، ١٩٩٥ .

٢ ـ الدكتور عمانؤيل تشوربا " حساب الإنشاءات، القسم الثالث، التصميم الإنشائي " ، محاضرات لطلاب السنة الخامسة، كلية الهندسة المدنية ، جامعة دمشق، ١٩٦٦ .

٣ ـ الدكتور أحمد سليمان الحسن " نظريات الإنشاء " ، مديرية الكتب الجامعية، جامعة دمشق، ١٩٨٢ .

٤ ـ الدكتور عزام كتخدا " نظريات الإنشاء " مديرية الكتب الجامعية، جامعة حلب، ١٩٨٠ .

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

المراجع الأجنبية

1 - Morgan, W., *The Elements of Structure*, The Pitman Press, 2nd Edition, 1977.

2 - Cowan, H. J., *Architectural Structures*, Elsevier Press, 2nd Edition, 1976.

3 - Salvadori, M., and Levy, M., *Structural Design in Architecture*, Prentice Hall Press, 1967.

4 - Pippard, A., and Baker J., *The Analysis of Engineering Structures*, Arnold Press, 4th Edition, 1968.

5 - Parker, H., *Simplified Engineering for Architects and Builders*, Wiley Interscience, 5th Edition, 1975.

6 - Salvadori, M., and Heller, R., *Structure in Architecture*, Prentice Hall Press, 2nd Edition, 1975.

7 - Ramaswamy, G., *Design and Construction of Concrete Shell Roofs*, McGrow - Hill, New Delhi, 1968.

8 - Billington, D., *Thin Shell Concrete Structures*, McGrow - Hill, New York, 1965.

UNIVERSITY OF ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

دليل المصطلحات العلمية

انكليزي - عربي

- A -

- Advantage	ـ ميزة
- Alloy:	ـ خليطة :
Aluminium Alloys	خلائط الالمنيوم
- Angle	ـ زاوية
- Arch:	ـ قوس :
Masonry Arches	الأقواس المبنية
- Arch Action	ـ تصرف قوسي
- Axis	ـ محور :
Neutral Axis	المحور الحيادي

- B -

- Bar:	ـ قضيب :
Inclined Bar	قضيب مائل
Vertical Bar	قضيب شاقولي
- Barrel Vaults	ـ العقود البرميلية

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Beam:	ـ جائز :
Castellated Beam	الجائز المصنع
Edge Beam	جائز طرفي
- Bending:	ـ انعطاف :
Bending Moment	عزم انعطاف
- Bond	ـ تلاحم
- Bracing:	ـ تقوية :
Braced Domes	القباب المقواة
- Brick	ـ آجر
- Bridge:	ـ جسر :
Saspension Bridge	جسر معلق
- Brittle	ـ هش ـ سهل الانكسار
- Buckling:	ـ تحنيب :
Lateral Buckling	تحنيب عرضي

- C -

- Cable	ـ كبل فولاذي :
Cable - Suspension Structure	منشأ معلق
- Case	ـ شكل ـ حالة
- Castellated Beam	ـ جائز مصنع
- Channel	ـ قناة ـ مجراية
- Classification	ـ تصنيف
- Clay	ـ غضار
- Cohesive	ـ متماسكة

- Collapse Mechanism	ـ آلية انهيار
- Column	ـعمود
- Composite	ـمركب
- Composite Column	ـعمود مركب
- Composite Section	ـمقطع مركب
- Compression	ـضغط
- Concrete:	ـبيتون ـخرسانة :
Plain Concrete	بيتون عادي
Reinforced Concrete	بيتون مسلح
Pre - Stressed Concrete	بيتون مسبق الإجهاد
- Connection	ـوصلة
- Conoid Shell	ـقشرية مخروطية
- Consolidation	ـتشديد ـترصيص
- Consolidation Settlement	ـهبوط التشديد
- Costruction:	ـإنشاء
Method of Construction	طريقة الإنشاء
- Cost	ـكلفة
- Crack	ـشق
- Creep	ـزحف
- Cylindrical Shell	ـقشرة أسطوانية

- D -

- Dead Load	ـحمولة ميتة
- Deflection	ـتشوه ـسهم

- Determinate	ـمقرر
- Diagonal	ـقطري
- Diaphrams	ـمسند نهائي
- Disadvantage	ـسيئة
- Dome::	ـقبة :
Braced Dome	قبة مقواة
Geodesic Dome	قبة جيوديزية
- Ductile	ـمطاوع ـمرن
- Ductility	ـمطاوعة
- Durability	ـديمومة
- Dynamic Load	ـحمولة ديناميكية (حركية)

- E -

- Earthquake	ـهزة أرضية
- Eccentricity:	ـلامركزية :
Big Eccentricity	لامركزية كبيرة
Small Eccentricity	لامركزية صغيرة
- Eccentric Load	ـحمولة لامركزية
- Economy	ـاقتصاد
- Effect	ـتأثير
- Effective Height	ـارتفاع فعال
- Egg - Crate Roof	ـسقف سبت البيض
- Elasticity	ـمرونة
Elastic Limit	ـحد المرونة

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Elastic Stage	ـمرحلة المرونة
- Element:	ـعنصر :
Pre - Fabricated Element	عنصر مسبق الصنع
- End Diaphram	ـتقوية طرفية
- Execution	ـتنفيذ

- F -

- Factor:	ـعامل :
Load Factor	عامل الحمولة
- Flange	ـجناح
- Flat Slab	ـبلاطة فطرية
- Flutter	ـطنين
- Folded Plates	ـصفائح مطوية
- Force:	ـقوة :
Normal Force	قوة ناظمية
Shear Force	قوة قص
- Foundation:	ـأساس :
Cantilever Foundation	أساس ظفري
Pile Foundation	أساس وتدي
Raft Foundation	أساس حصيرة
Strip Foundation	أساس شريطي
- Frame	ـإطار

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- G -

- Geodesic Dome	ـ قبة جيوديزية
- Gravel	ـ حصى
- Grid Roof	ـ سقف معصب
- Grid Structure	ـ منشأ معصب

- H -

- Hard Connection	ـ وصلة صلبة
- Height:	ـ ارتفاع :
Effective Height	ارتفاع فعال
- Helical Stirrups	ـ أتاري حلزونية
- Hetrogenous	ـ غير متجانس
- High - Tensile Steel	ـ فولاذ عالي المقاومة
- Hinge:	ـ مفصل :
Plastic Hinge	مفصل لدن
- Hollow Block	ـ بلوك مفرغ
- Hollow Block Slab	ـ بلاطة مفرغة ـ بلاطة هوردي
- Homogenous	ـ متجانس
- Hyperbolic Paraboloid Shell	ـ قشرية مكافئية زائدية

- I -

- I - Beam	ـ جائز ذو مقطع (I)
- Immediate Settlement	ـ هبوط آني ـ لحظي

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Inclined Bar	ـ قضيب مائل ـ مكسح
- Indeterminate	ـ غير مقرر
- Intersecting Vaults	ـ عقود متقاطعة
- Iron	ـ حديد

- L -

- Lateral Buckling	ـ تحنيب عرضي
- Line of Thrust	ـ خط الضغط ـ منحني الضغط
- Limit State Method	ـ طريقة الحدود القصوى ـ الطريقة الحدية
- Load:	ـ حمولة :
Dead Load	حمولة ميتة
Dynamic Load	حمولة ديناميكية ـ حركية
Eccentric Load	حمولة لامركزية
Live Load	حمولة حية
Wind Load	حمولة ضغط الرياح
- Load Factor	ـ عامل الحمولة

- M -

- Maintenance	ـ صيانة
- Masonry Arch	ـ قوس مبني ـ كتلي
- Material	ـ مادة
- Mechanism:	ـ آلية :
Collapse Mechanism	آلية الانهيار

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Mild Steel	ـفولاذ مطاوع
- Modulus:	ـعامل :
Modulus of Elasticity	عامل المرونة
- Moment:	ـعزم :
Bending Moment	عزم الانعطاف

- N -

- Neutral Axis	ـمحور حيادي
- Normal Force	ـقوة ناظمية

- O -

- One - Way Slab	ـبلاطة ذات اتجاه وحيد
- Own Weight	ـوزن ذاتي

- P -

- Parameter	ـمؤشر ـمتغير
- Pile	ـوتد
- Pile Cap	ـغطاء الوتد
- Planning	ـتخطيط
- Plasticity	ـلدونة
- Plastic Hinge	ـمفصل لدن
- Plastic Stage	ـمرحلة اللدونة
- Post - Tensioning	ـالشد اللاحق

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Pre - Tensioning	ـ الشد المسبق
- Pre - Fabricated	ـ مسبق الصنع
- Pressure	ـ ضغط
- Pre - Stressing	ـ سبق الإجهاد
- Pre - Stress Concrete	ـ بيتون مسبق الإجهاد
- Pre - Stressing Cables	ـ كابلات سبق الإجهاد
- Purlins	ـ أواصف

- R -

- Radius	ـ نصف قطر
- Radius of Gyration	ـ نصف قطر التأرجح
- Raft Foundation	ـ أساس حصيرة
- Ratio	ـ نسبة ـ عامل
- Reinforcement:	ـ فولاذ تسليح :
Shear Reinforcement	فولاذ القص
- Reinforced Concrete	ـ بيتون مسلح
- Reinforced Plastics	ـ اللدائن المقواة
- Ribbed Slab	ـ بلاطة معصبة
- Rock	ـ صخر
- Roof:	ـ سقف :
Saw Tooth Roof	سقف أسنان المنشار

- S -

- Sand	ـ رمل

- Section:	ـ مقطع :
Sandwich Section	مقطع مركب
Cross Section	مقطع عرضي
- Settlement :	ـ هبوط :
Differential Settlement	هبوط تفاضلي
- Shell:	ـ قشرية :
Cylindrical Shell	قشرية أسطوانية
Conoid Shell	قشرية مخروطية
Double - Curvature Shell	قشرية ثنائية الانحناء
Hyperbolic Paraboloid Shell	قشرية مكافئية زائدية
Skew Shell	قشرية ملتوية
- Shear	ـ قص
- Shearing Force	ـ قوة قص
- Shear Reinforcement	ـ تسليح قص
- Shrinkage	ـ تقلص
- Skeleton	ـ هيكل
- Skin Stresses	ـ إجهادات قشرية
- Slab:	ـ بلاطة :
Flat Slab	بلاطة فطرية
Hollow Blocks Slab	بلاطة مفرغة ـ بلاطة هوردي
Reinforced Concrete Slab	بلاطة بيتونية مسلحة
Ribbed Slab	بلاطة معصبة
Two - Ways Slab	بلاطة ثنائية الاتجاه
One - Way Slab	بلاطة ذات اتجاه وحيد

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Slenderness	ـرشاقة
- Slenderness - Ratio	ـعامل الرشاقة
- Soil	ـتربة
- Soil Mechanics	ـميكانيك التربة
- Soft Connection	ـوصلة طرية
- Space Structure	ـ منشأ فراغي
- Static	ـتوازني ـغير ديناميكي
- Static Load	ـحمولة توازنية ـحمولة غير ديناميكية
- Steel:	ـفولاذ :
High - Tensile Steel	فولاذ عالي المقاومة
Medium Strength Steel	فولاذ متوسط المقاومة
Mild Steel	فولاذ مطاوع
Structural Steel	فولاذ انشائي
- Stirrups:	ـأتاري :
Helical Stirrups	أتاري حلزونية
Vertical Stirrups	أتاري شاقولية
- Stone:	ـحجر ـصخر
Cement Stone	آحجار الاسمنت ـالبلوك
- Story:	ـطابق :
Multi - Story	متعدد الطوابق
- Strain	ـتشوه
- Stress:	ـاجهاد :
Permissible Stress Method	طريقة الاجهادات المسموحة
Yield Stress	اجهاد الخضوع

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

- Structure: ـ منشأ :

Statically Determinate Structures منشآت مقررة توازنياً

Statically Indeterminate Structures منشآت غير مقررة توازنياً

In - Plane Structure منشأ يشغل بعدين ـ منشأ في المستوي

Line Structure منشأ خطي

Space Structure منشأ فراغي

Straight Structure منشأ مستقيم

Surface Structure منشأ سطحي ـ منشأ مستوي

Three Dimensional Structure منشأ يشغل ثلاثة أبعاد ـ منشأ في الفراغ

- Support ـ مسند

- Suspended Cable Structure ـ منشأ معلق

- Suspension Bridge ـ جسر معلق

- T -

- Temperature ـ حرارة

- Tension ـ شد

- Three - Dimensional ـ ثلاثي الأبعاد

- Thrust ـ ضغط

- Tie ـ شداد

- Timber ـ خشب

- Truss ـ جائز شبكي

- Type ـ نوع

- U -

- Ultimate:	ـأقصى
Ultimate Stress	الإجهاد الأقصى

- V -

- Vault:	ـعقد :
Barrel Vault	عقد برميلي
Intersecting Vaults	عقود متقاطعة
- Vertical Bar	ـقضيب شاقولي

- W -

- Wall	ـجدار
- Web	ـجسد
- Weight	ـوزن
- Wind Load	ـحمولة ضغط الرياح
- Wood	ـخشب

- Y -

- Yield	ـخضوع
- Yield Stress	ـإجهاد خضوع

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة	٣
الفصل الأول : المقدمة.	٧
١ ـ ١ ـ تمهيد.	٧
١ ـ ٢ ـ الشروط التي يجب أن تحققها الهياكل الانشائية.	٩
١ ـ ٣ ـ الاعتبارات الانشائية في تصميم المنشآت.	١١
الفصل الثاني: الأحمال.	١٣
٢ ـ ١ ـ تمهيد.	١٣
٢ ـ ٢ ـ تصنيف الأحمال:	١٤
٢ـ٢ـ١ـ الحمولات الوزنية :	١٤
٢ـ٢ـ١ـ١ـ الحمولات الميتة.	١٥
٢ـ٢ـ١ـ٢ـ الحمولات الحية.	١٥
٢ـ٢ـ٢ـ الحمولات غير الوزنية.	١٥
٢ـ٢ـ٣ـ التأثيرات الأخرى.	١٦
٢ ـ ٣ ـ نسبة الأحمال الميتة إلى الحية .	١٦
٢ ـ ٤ ـ تقييم الحمولات الميتة :	١٩
٢ـ٤ـ١ـ تقييم الأوزان الميتة الإضافية.	٢٠
٢ـ٤ـ٢ـ تقييم الأوزان الذاتية.	٢١
٢ ـ ٥ ـ تقييم الحمولات الحية:	٢٢
٢ـ٥ـ١ـ أنواع الحمولات الحية:	٢٢
٢ـ٥ـ١ـ١ـ الحمولات الحية غير الديناميكية.	٢٢

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

٢-٥-١-٢- الحمولات الحية الديناميكية. ٢٤

٢-٥-١-٣- التأثيرات الديناميكية للحمولات المتحركة. ٢٤

٢-٥-٢- أشكال التحميل. ٢٥

٢-٦- تقييم الحمولات غير الوزنية: ٢٧

٢-٦-١- حمولة الرياح. ٢٨

٢-٦-٢- حمولة الهزات الأرضية. ٣٠

٢-٧- تقييم التأثيرات الأخرى: ٣٣

٢-٧-١- تأثيرات تغير درجة الحرارة والانكماش: ٣٤

٢-٧-١-١- تقييم تأثيرات تغير درجة الحرارة. ٣٤

٢-٧-١-٢- تقييم تأثيرات الإنكماش. ٣٥

٢-٧-٢- تأثيرات الإنفعالات طويلة الأجل (الزحف). ٣٦

٢-٧-٣- تأثيرات الهبوطات في المساند. ٣٧

٢-٧-٤- تأثيرات حمولات التنفيذ. ٣٨

الفصل الثالث : مراحل التصميم الانشائي. ٣٩

٣-١- تمهيد. ٣٩

٣-٢- مراحل التصميم الإنشائي. ٤٠

٣-٣- اختيار مادة الهيكل الإنشائي ودراسة خصائصها. ٤١

٣-٤- اختيار الجملة الإنشائية. ٤٤

٣-٥- تقدير الأحمال وردود الأفعال. ٤٦

٣-٦- تقدير تأثيرات الأحمال على الهيكل الإنشائي. ٥٠

٣-٧- اختيار شكل مقاطع العناصر وتحديد أبعادها: ٥١

٣-٧-١- طريقة الإجهادات المسموحة ، الطريقة الكلاسيكية. ٥٢

٣-٧-٢- طريقة الحدود القصوى ، الطريقة الحدية. ٥٣

الفصل الرابع : المواد الانشائية الأساسية. ٥٧

٤ ـ ١ تمهيد . ٥٧

٤ ـ ٢ ـ الأحجار . ٥٨

٤ ـ ٣ ـ الآجر. ٦٠

٤ ـ ٤ ـ أحجار الاسمنت (البلوك). ٦١

٤ ـ ٥ ـ الأخشاب. ٦٣

٤ ـ ٦ ـ البيتون العادي والبيتون المسلح . ٦٤

٤ ـ ٧ ـ الفولاذ : ٦٨

٤ـ٧ـ١ـ قضبان التسليح : ٧٠

٤ـ٧ـ١ـ١ـ الفولاذ الطري العادي. ٧٢

٤ـ٧ـ١ـ٢ـ الفولاذ الطري متوسط المقاومة. ٧٤

٤ـ٧ـ١ـ٣ـ الفولاذ عالي المقاومة. ٧٥

٤ـ٧ـ٢ـ كابلات سبق الاجهاد. ٧٦

٤ـ٧ـ٣ـ المقاطع الفولاذية الإنشائية . ٧٧

٤ ـ ٨ ـ خلائط الألومنيوم . ٧٨

٤ ـ ٩ ـ اللدائن المقواة. ٧٩

٤ ـ ١٠ ـ المقاطع المركبة. ٨٠

٤ ـ ١١ ـ الخواص الأساسية للمواد الانشائية : ٨٢

٤ـ١١ـ١ـ طريقة الإنشاء. ٨٣

٤ـ١١ـ٢ـ الصيانة. ٨٣

٤ـ١١ـ٣ـ الديمومة. ٨٤

٤ـ١١ـ٤ـ كلفة الإنشاء. ٨٥

الفصل الخامس : الجمل الانشائية. ٨٧

٥ ـ ١ ـ تمهيد. ٨٧

جامعة حلب UNIVERSITY OF ALEPPO

٥ ـ ٢ ـ المنشآت المقررة وغير المقررة توازنياً. ٨٧
٥ ـ ٣ ـ ميزات المنشآت غير المقررة توازنياً. ٩٠
٥ ـ ٤ ـ مساوئ المنشآت غير المقررة توازنياً. ٩٦

الفصل السادس : الأقواس والعقود والقباب المبنية. ٩٩
٦ ـ ١ ـ تمهيد. ٩٩
٦ ـ ٢ ـ الأقواس المبنية. ١٠٠
٦ ـ ٣ ـ العقود المبنية. ١٠٧
٦ ـ ٤ ـ القباب المبنية. ١١٤

الفصل السابع : الجوائز الخشبية والفولاذية. ١١٩
٧ ـ ١ ـ تمهيد. ١١٩
٧ ـ ٢ ـ عزوم الإنعطاف في الجوائز. ١٢٠
٧ ـ ٣ ـ قوى القص في الجوائز. ١٢٥
٧ ـ ٤ ـ السهم في الجوائز. ١٢٩
٧ ـ ٥ ـ التحنيب العرضي. ١٣٠

الفصل الثامن : الجوائز والبلاطات البيتونية المسلحة. ١٣٣
٨ ـ ١ ـ تمهيد. ١٣٣
٨ ـ ٢ ـ الجوائز البيتونية المسلحة : ١٣٣
٨ـ٢ـ١ـ فولاذ تسليح عزوم الانعطاف. ١٣٣
٨ـ٢ـ٢ـ فولاذ تسليح القص. ١٣٦
٨ـ٢ـ٣ـ التلاحم. ١٣٨
٨ ـ ٣ ـ البلاطات البيتونية المسلحة. ١٣٩
٨ ـ ٤ ـ البلاطات المفرغة (البلاطات الهوردي). ١٤٣
٨ ـ ٥ ـ المنشآت المؤلفة من البلاطات والجوائز. ١٤٥

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

٨ ـ ٦ ـ الجوائز ذات المقطع تي (T) . ١٤٩
٨ ـ ٧ ـ البلاطات الفطرية . ١٥٠
٨ ـ ٨ ـ البلاطات المعصبة. ١٥١

الفصل التاسع: الجوائز البيتونية مسبقة الاجهاد. ١٥٣
٩ ـ ١ ـ تمهيد . ١٥٣
٩ ـ ٢ ـ مبدأ سبق الإجهاد . ١٥٤
٩ ـ ٣ ـ سبق الإجهاد في الجوائز البيتونية. ١٥٦
٩ ـ ٤ ـ سبق الإجهاد بطريقة الشد اللاحق . ١٥٩
٩ ـ ٥ ـ سبق الإجهاد بطريقة الشد المسبق. ١٦٢
٩ ـ ٦ ـ فولاذ سبق الاجهاد. ١٦٤
٩ ـ ٧ ـ ميزات ومساوئ البيتون مسبق الإجهاد. ١٦٥

الفصل العاشر : الأعمدة. ١٦٧
١٠ ـ ١ ـ تمهيد . ١٦٧
١٠ ـ ٢ ـ عامل النحافة أو عامل الرشاقة. ١٦٧
١٠ ـ ٣ ـ الارتفاع الفعال للأعمدة. ١٧٠
١٠ ـ ٤ ـ الأعمدة الخشبية. ١٧٢
١٠ ـ ٥ ـ الأعمدة الفولاذية. ١٧٥
١٠ ـ ٦ ـ الأعمدة الفولاذية المحاطة بالبيتون ، الأعمدة المركبة. ١٧٩
١٠ ـ ٧ ـ الأعمدة البيتونية المسلحة. ١٨٠
١٠ ـ ٨ ـ الحمولات اللامركزية على الأعمدة الطويلة. ١٨٤

الفصل الحادي عشر : الجوائز الشبكية والأقواس والاطارات ١٨٧
١١ ـ ١ ـ تمهيد . ١٨٧
١١ ـ ٢ ـ الجوائز الشبكية: ١٨٧

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

١١-٢-١- الأسقف الشبكية. ١٩٢

١١-٣- الأقواس: ١٩٥

١١-٣-١- الأقواس ذات المفاصل الثلاثة. ١٩٥

١١-٣-٢- الأقواس ذات المفصلين. ١٩٧

١١-٣-٣- الأقواس الموثقة الأطراف. ١٩٨

١١-٣-٤- المنشآت القوسية. ١٩٩

١١-٤- الاطارات: ٢٠١

١١-٤-١- الإطارات ذات المفاصل الثلاثة. ٢٠٢

١١-٤-٢- الإطارات ذات المفصلين. ٢٠٤

١١-٤-٣- الإطارات الموثقة الأطراف. ٢٠٥

١١-٤-٤- المنشآت الإطارية. ٢٠٥

١١-٥- الوصلات والمفاصل: ٢٠٨

١١-٥-١- الوصلات الخشبية. ٢٠٨

١١-٥-٢- الوصلات الفولاذية: ٢١٠

١١-٥-٢-١- الوصلات الفولاذية المفصلية. ٢١٠

١١-٥-٢-٢- المساند الفولاذية المفصلية. ٢١١

١١-٥-٢-٣- الوصلات الفولاذية الموثوقة. ٢١٢

١١-٥-٣- الوصلات البيتونية المسلحة. ٢١٦

الفصل الثاني عشر: الأساسات. ٢١٩

١٢-١- تمهيد. ٢١٩

١٢-٢- علم ميكانيك التربة. ٢٢٠

١٢-٣- بصلة الضغط. ٢٢١

١٢-٤- أساسات الجدران الحجرية والبيتونية المسلحة. ٢٢٤

١٢ـ٥ـ أساسات الأعمدة البيتونية المسلحة . ٢٢٥

١٢ـ٦ـ أساسات الأعمدة الفولاذية . ٢٢٦

١٢ـ٧ـ الأساسات الشريطية المشتركة. ٢٢٨

١٢ـ٨ـ أساسات الأعمدة الطرفية والركنية. ٢٢٩

١٢ـ٩ـ الحصائر. ٢٣٠

١٢ـ١٠ـالأساسات الوتدية: ٢٣١

١٢ـ١٠ـ١ـ الأوتاد مسبقة الصنع. ٢٣٢

١٢ـ١٠ـ٢ـ الأوتاد المصبوبة في المكان. ٢٣٤

١٢ـ١٠ـ٣ـ الأوتاد الاسطوانية ، الآبار الوتدية. ٢٣٤

١٢ـ١١ـغطاء الأوتاد . ٢٣٥

الفصل الثالث عشر : القشريات والمنشآت الفراغية. ٢٣٧

١٣ـ١ـ تمهيد. ٢٣٧

١٣ـ٢ـ الصفائح المطوية. ٢٣٨

١٣ـ٣ـ الصفائح المطوية الشبكية. ٢٤٦

١٣ـ٤ـ القشريات الأسطوانية. ٢٤٨

١٣ـ٥ـ القباب والقشريات ثنائية الإنحناء . ٢٥٢

١٣ـ٦ـ القشريات المخروطية. ٢٥٦

١٣ـ٧ـ القشريات الملتوية ـ القشريات المكافئية الزائدية. ٢٥٧

١٣ـ٨ـ القباب المقواة. ٢٦٣

الفصل الرابع عشر : المنشآت المعصبة. ٢٦٧

١٤ـ١ـ الأسقف ذات الأعصاب الموازية للأضلاع. ٢٦٧

١٤ـ٢ـ الأسقف ذات الأعصاب القطرية. ٢٦٨

١٤ـ٣ـ الأسقف المعصبة ذات الطبقة المزدوجة . ٢٧٠

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

١٤ـ ٤ـ الأسقف المعصبة الفراغية. ٢٧٤

١٤ـ ٥ـ الأسقف المعصبة الصفائحية. ٢٧٨

الفصل الخامس عشر : المنشآت المعلقة. ٢٨١

١٥ـ ١ـ تمهيد . ٢٨١

١٥ـ ٢ـ المنشآت المعلقة. ٢٨١

١٥ـ ٣ـ المنشآت المعلقة متعددة الطوابق. ٢٨٩

١٥ـ ٤ـ الجسور المعلقة. ٢٩٠

الفصل السادس عشر : العناصر مسبقة الصنع. ٢٩٥

١٦ـ١ـ تمهيد. ٢٩٥

١٦ـ ٢ـ العناصر مسبقة الصنع . ٢٩٦

١٦ـ ٣ـ ميزات ومساوئ العناصر مسبقة الصنع. ٢٩٦

١٦ـ ٤ـ اشكال العناصر مسبقة الصنع : ٢٩٨

١٦ـ٤ـ١ـ الجدران البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣٠١

١٦ـ٤ـ٢ـ البلاطات البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣٠٢

١٦ـ٤ـ٣ـ الجوائز البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣٠٤

١٦ـ٤ـ٤ـ الأعمدة البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣٠٥

١٦ـ٤ـ٥ـ الأساسات البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣٠٦

١٦ـ٤ـ٦ـ العناصر الأخرى مسبقة الصنع. ٣٠٧

١٦ـ ٥ـ وصل العناصر البيتونية المسلحة مسبقة الصنع. ٣١٠

الفصل السابع عشر : التصنيف الإقتصادي للجمل الإنشائية. ٣١٥

١٧ـ ١ـ تمهيد . ٣١٥

١٧ـ ٢ـ العوامل المؤثرة على التصنيف الإقتصادي. ٣١٦

١٧ـ ٣ـ استخدام التصنيف الإقتصادي. ٣١٨

١٧ـ ٤ـ مؤشرات التصنيف الإقتصادي: ٣١٩

١٧ـ٤ـ١ـ مؤشر الأفعال المشوهة أو الوضعية الإجهادية. ٣٢٠

١٧ـ٤ـ٢ـ مؤشر نقل الحمولات . ٣٢٤

١٧ـ٤ـ٣ـ مؤشر طريقة الإنشاء أو شكل المنشأ. ٣٢٦

١٧ـ ٥ـ التصنيف الإقتصادي للمنشآت. ٣٢٩

المراجع العربية . ٣٣٣

المراجع الأجنبية. ٣٣٥

دليل المصطلحات العلمية. ٣٣٧

الفهرس. ٣٥١

جامعة حلب ١٩٥٨ UNIVERSITY OF ALEPPO

جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO