المبادئ الأولية في هندسة وتصميم الجسور

لقد تخيل البشر الأوائل العبور عبر مساحات من الأرض أو المسطحات المائية، مما يجعل من الأسرع والأسهل سد الفجوة بين مكانين، ولقد كانوا يتطلعون إلى الجمع بين النقاط البعيدة معاً، وتقليل المسافة بينهم، حيث إن ذلك سيجعل من السهل البحث عن الطعام وجمعه وإحضاره إلى المنزل، كما أنه سيسمح لهم أيضاً بالتواصل مع الآخرين، لطالما كان البشر مخلوقاتٍ اجتماعيةً، وقد تكون الرغبة في الاستكشاف والتعرف على أشخاص آخرين محركاً مهماً لتطوير الجسور بقدر الحاجة إلى الطعام، وبمرور الوقت انتقلت الجسور من كونها مفهوماً إلى حل هيكلي، مما يوفر المرور فوق العوائق بما في ذلك الكهوف والوديان والمسطحات المائية، وفي النهاية أصبحت تصاميم الجسور أكثر تطوراً، وتم تطوير أنواع مختلفة لخدمة مجموعة من الوظائف، يمكن تصميمها بحيث يمكن بناؤها في مجموعة متنوعة من المواقع، كما أن كلمة جسر تأتي من الكلمة الإنجليزية القديمة (brycg) والمشتقة من الجذر الألماني (brugj)، حيث يثبت إرث هذا المصطلح أهميته كمفهوم عبر تاريخ البشرية.

<u>أقدم الجسور:</u> صنعت الطبيعة الجسور الأولى واكتشفها البشر الأوائل، حيث كانت بسيطة مثل سلسلة من الصخور تعبر مجرىً مائياً في بعض الحالات، وتم استخدام الأقواس الصخرية الطبيعية والتكوينات الأخرى من قبل عصور ما قبل التاريخ كجسور. تعلَّم البشر من هذا وشيدوا الجسور الأولى من جذوع الأشجار والألواح الخشبية والحجارة، حيث كانت هياكل بسيطة للدعم والعارضة، لكنهم نقلوا الناس من مكان إلى آخر، وكان التقدم التالي هو تطوير الجسور المعلقة الأكثر بدائية، شاهد البشر القردة تتأرجح من كرمة إلى أخرى، لتنتقل من مكان إلى آخر، فقاموا بلف الغطاء النباتي أو نسجه معاً أو مضفراً لبناء تقاطعات بسيطة على غرار الحبال، في النهاية قاموا بتوصيل الكابلات المتوازية بقطع عرضية مصنوعة من الخشب ومواد أخرى، مضيفين مقابض يدوية لجعل السفر فوقهم أسهل وأكثر أماناً، كانت هذه هي الخطوة الأولى نحو أعاجيب التعليق الحديثة مثل جسر البوابة الذهبية في سان فرانسيسكو.

إذن الجسر عبارة عن هيكل يمتد أفقياً بين ركائز (دعامات–Supports)، وظيفتها نقل الأحمال الرأسية، أي أن الشكل النمطي لأي جسر هو دعامتين وكَمرة (Beam)ترتكز عليهما، ويجب أن تكون الدعامات قوية بشكلٍ كافٍ لتحمل الأحمال، وتكون المسافة بين الركيزتين قصيرة قدر الإمكان.

اختيار نوع الجسر وتصميمه يعتمد على:

١– وظيفة الجسر (مُشاة، سيارات،... إلخ).

2– تضاريس موقع الجسر.

٣- المواد المُستخدمة لبنائه.

٤- الأموال المتاحة لبنائه.

إذا قمنا بتصنيف الجسور حسب (الشكل البنائي- Superstructure)، سنجد أن هناك ستة أنواع: (ذو كمرات، جملوني، قوسي، معلق، كابولي، مدعوم بالكوابل).

أولاً: الجسر ذو (الكمرات-Beams):

هو الأكثر شيوعاً، به كمرة تحمل الأحمال الرأسية عن طريق (الانحناء-Bending)، أي أن الكمرة تنحني، وتخضع لقوة ضغط أفقية في أعلاها وفي الوقت نفسه تخضع لقوة شد أفقية أسفلها، وتقوم الركائز بنقل الأحمال عن طريق الضغط العمودي على الأساسات. ويكون هذا الجسر بسيطاً عندما يستند على ركيزتين فقط، ويكون مستمراً عندما يرتكز على أكثر من ركيزتين. تُعرف الدعامة الموجودة عند الأطراف بـ(دُعامة طرفية- Abutment) والدعامة الموجودة في المنتصف بـ (دعامة وسيطة-Pier)، ويتكون هذا الجسر أيضاً من نوعين هما(I-Beam) و (Box Beam)

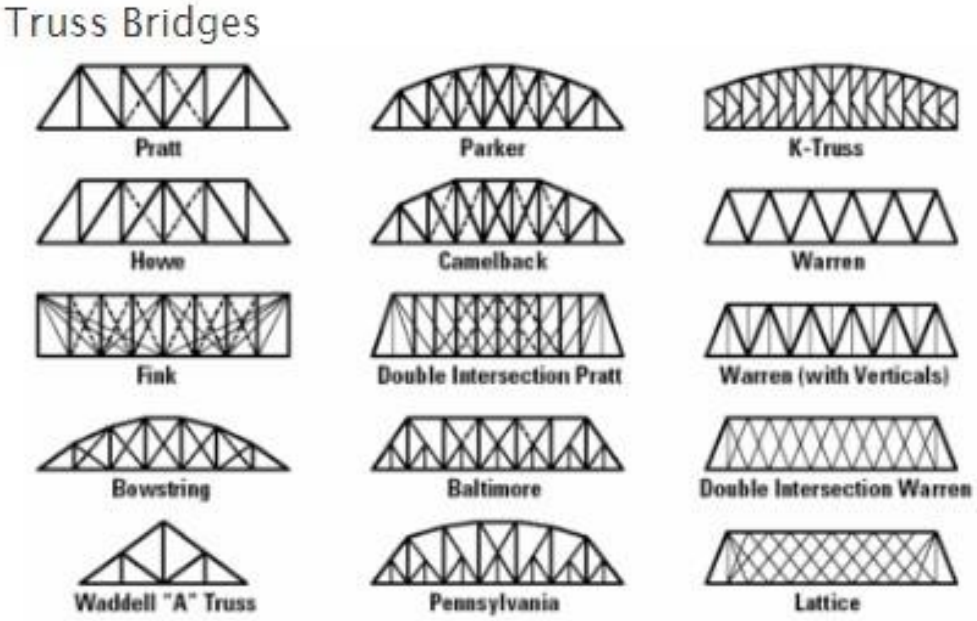
جسر ذو كمرات

ثانياً: الجسر (الجملوني- Truss):

هو عبارة عن أعضاء متصلة ببعضها لتكوين وحدات على شكل مثلث، ويشبه الجسر ذو الكمرات البسيط في طريقة حمل الأحمال الرأسية بالانحناء، حيث إن الانحناء يؤدي إلى قوة ضغط في

الأوتار العليا أو الأعضاء الأفقية، وقوة شد في الأوتار السفلى، وقوة شد أو ضغط أيضاً في الأعضاء الرأسية والقطرية وطبيعة القوة تعتمد على اتجاه هذه الأعضاء.

يحظى هذا النوع من الجسور بشعبية كبيرة لأنه يتحمل حمولات كبيرة على الرغم من أنها لا تتكلف الكثير من المادة المكوِّنة، وتمتد لمسافات أكبر، ويعدُّ تصميمها وتصنيعها وتركيبها بسيطاً. يتكون الجسر الجملوني من أكثر من نوع، سواء بسيط أو مستمر أو (متساوي الأضلاع–Warren)، والذي يعتبر أكثرهم شهرة.



أنواع الجسور الجملونية

جسر جمالوني

ثالثاً: الجسر (القوسي–Arch):

على الأرجح هذا النوع هو أقدم أنواع الجسور، ويقوم بحمل الأحمال أولاً عن طريق الضغط ومن ثم تُنقل إلى الأساسات بقوة رأسية وقوة أفقية، لذلك يجب أن تكون أساسات هذا الجسر تمنع الحركة الأفقية (الانزلاق) والحركة الرأسية (الهبوط). على الرغم من صعوبة تصميم أساسات هذا الجسر إلا أن هيكل الجسر نفسه يحتاج مواداً أقل مما يحتاجها الجسر ذو الكمرات بنفس البحر، ودائماً يقع القوس تحت الجسر القوسي وليس فوقه.

جسر قوسي

رابعاً: الجسر (المُعلق– Suspension)

هذا الجسر يقوم بحمل الأحمال الرأسية بواسطة الكابلات الشدَّادة، والتي تقوم بنقلها إلى الأبراج، التي تقوم بنقلها بواسطة ضغط رأسي إلى الأرض (عبارة عن سلسلة متتالية لنقل الأحمال في النهاية للأرض) وذلك للحفاظ على توازنه، وهذا النوع يشبه الجسر القوسي ولكن مقلوباً.

جسر معلَّق

خامساً: الجسر (الكابولي–Cantilever):

يشبه الجسر الكابولي في مظهره الجسر القوسي، ويتكون عموماً من ثلاثة بحور، يرتكز البحران الخارجيان على الضفتين، ويرتكز البحر المركزي على ذراعين كابوليين ممتدين من الامتدادات الخارجية، وتحمل أحمال رأسية كالكمرة البسيطة. ينقل الجسر الكابولي الأحمال بالشد في الأوتار العليا وبالضغط في الأوتار السفلى. وتنقل الأبراج الداخلية هذه القوى بالضغط إلى الأساسات، ومن ثم تنقل الأبراج الخارجية القوى بالشد للأساسات البعيدة.

الجسر الكابولي

سادساً: الجسر (المدعوم بالكوابل– Cable Stayed):

يتم نقل الأحمال الرأسية من البحر الرئيسي بواسطة الكابلات بالشد، وتقوم (الأبراج Piers–) بنقل هذه القوى للأساسات بواسطة الضغط الرأسي، ولا ننسى أن قوى الشد في الكابلات تضع سطح الجسر في ضغط أفقي (يمكن التأكد منها من تحليل القوى في نقطة).

الجسر المدعوم بالكوابل

الجسر المدعوم بالكوابل

أمَّا مواد البناء التي يمكن أن يُبنى بها فهي:

١– الخشب: (يستخدم للمسافات القصيرة –Short Span– والجسور المؤقتة لغرض معين).

٢– الأحجار: (تستخدم أيضاً للمسافات القصيرة وعلى قنوات المياه ذات العمق المنخفض).

٣- الفولاذ: (مناسب للأحمال الثقيلة).
٤- خرسانة مسلحة: (منتشرة بشكل كبير في الوقت الحاضر ومناسبة أيضاً للأحمال الثقيلة).
٥- خرسانة سابقة الإجهاد: (هذا النوع يصب ويتم تركيبه في موقع الجسر).

استخدامات الجسور:

١- للمشاة: (تستخدم لعبور الأفراد من فوق الطرق أو القنوات المائية).
٢- للسيارات: (يمكن بناؤها على الأنهار أو الطرق السريعة).
٣- للسكك الحديدية: (يفضل هُنا استخدام النوع الجمالوني).
٤- قناة: (ليس سوى جسر يحمل المياه لنقلها).
٥- طريق وسكة حديدية: (يفضل أن يكون الطريق أعلى السكة).

تسهل الجسور علينا الحركة، وهي في تطور مستمر سواء في أشكالها أو في المواد المستخدمة بها.

أنواع الجسور: تقسم الجسور من حيث الاستخدام:

١-جسور سيارات ومشاة.
٢- جسور سكك حديدية.
٣ – جسور مشاة.
٤- جسور خطوط الأنابيب [خطوط أنابيب بترول، مياه، صرف صحي].
٥- الجسور المؤقتة.

تقسيم الجسور من حيث مواد البناء:

١ – جسور خرسانية، وتتفرع إلى:

١-١ جسور خرسانية مصبوبة بالموقع.
١-٢ جسور خرسانية سابقة الصب.
١-٣ جسور خرسانية مصبوبة بالموقع سابقة الإجهاد.
١-٤ جسور خرسانية سابقة الصب سابقة الإجهاد.

٢ – جسور معدنية:

٢-١ جسور الجمالونات المعدنية.
٢-٢ جسور الكمرات المعدنية.

٣- جسور معدنية معلقة:

٤- جسور خرسانية ومعدنية:

٤-١ الجسور الخرسانية المعلَّقة.
٥- الجسور الخشبية المعدنية.

٦- الجسور الحجرية [المعابر على النزع الصغيرة – القناطر القديمة].

تقسيم الجسور من حيث الشكل:

١ . جسور مستقيمة ظهرية [DECK – Straight Bridge].

٢ . جسور منحنية ظهرية [DECK – Skew Bridge].

٣ . جسور مستقيمة أفقية [THROUGH – Straight Bridge].

٤ . جسور منحنية أفقية [Bridge THROUGH – Skew].

نوعية المواد المستخدمة في إنشاء الجسور

***الخرسانة المسلحة المصبوبة في الموقع:** وفيها يتم عمل الشدة بالأبعاد المطلوبة، ويتم رص حديد التسليح طبقاً للتصميم وصب الخرسانة، ويُراعى في الخرسانة المصبوبة بالموقع اتباع جميع المواصفات الفنية بدءاً من اختيار المواد المصنعة منها الخرسانة، مروراً بمراحل الخلط والنقل والصب والدمك ثم المعالجة، ويجب اتخاذ جميع الاحتياطات للظروف الطارئة مثل، سقوط الأمطار، تأخر وصول الخرسانة، وحدوث خلل في الشدة، كما يجب عمل اختبار قوام الخرسانة الطازجة Slump Test على كل خلطة خرسانية واستبعاد أي خلطة غير مطابقة للمواصفات خارج الموقع فوراً.

***الخرسانة سابقة الإجهاد المصبوبة في الموقع:**

وفيها يتم عمل الشدة بالأبعاد المطلوبة ورص حديد التسليح ومجاري الكابلات الحديدية Cable Tendom عادة ما يتم تصميم العناصر الإنشائية في هذه الحالة على أنها مزيج من الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد. ويُراعى جميع المواصفات الفنية المذكورة في البند السابق بالنسبة لتأكيد جودة الخرسانة المصبوبة، وبعد مرور حوالي أسبوع من صب الخرسانة يتم تمرير الكابلات الحديدية داخل مجاري الكابلات وتطبيق قوة سبق الإجهاد وحقن المجاري بالإيبوكسي، ويتم تحديد الحد الأدنى لمقاومة الخرسانة قبل تطبيق سبق الإجهاد بواسطة المهندس المصمم، ويجب التأكد من قيمة المقاومة المذكورة عن طريق اختبار العينات بالمعمل.

***الخرسانة المسلحة سابقة الصب:**

تعتمد هذه الطريقة على صب العناصر الخرسانية المسلحة في المصنع ومعالجتها حتى الوصول إلى المقاومة المطلوبة ثم نقلها وتركيبها في الموقع، ويتميز هذا النوع من الإنشاء بسهولة تأكيد جودة الخرسانة داخل المصنع، ولكن يعيبه أنه يجب تنفيذ الوصلات بدقة متناهية لضمان تركيبها في الموقع بطريقة سليمة، ويجب على المصمم الإنشائي أن يأخذ في اعتباره العاملين الآتيين أثناء تصميم الجسر:

أولاً: حساب الإجهادات على العناصر الإنشائية المختلفة في أثناء نقلها ورفعها بالونش وتركيبها، وغالباً ما تؤدي هذه الحسابات إلى زيادة التسليح العلوي بالعناصر الإنشائية المختلفة مع تحديد

نقاط التعليق بالنسبة لكل عنصر إنشائي.

ثانياً: حساب الإجهادات الثانوية الناتجة من خطأ التصنيع في حدود (± ٥ مم) وغالباً ما ينتج هذا الخطأ من انكماش الخرسانة، ويُراعى في الموقع استبعاد أي عنصر إنشائي يزيد الخطأ في تصنيعه عن (± ٢ مم). ويعيب المنشآت سابقة الصب عامة ضعف الوصلات عنها في حالة الخرسانة المصبوبة في الموقع، ولذا يجب حساب تأثير القوى الجانبية والقوى الثانوية الناتجة من التمدد والانكماش والهبوط التفاضلي للقواعد وخطأ التصنيع في حدود (± ٥ مم) على الوصلات.

*** الخرسانة سابقة الإجهاد سابقة الصب**

تعتمد هذه الطريقة على صب الخرسانة في الشدات داخل المصنع مع تثبيت مجاري الكابلات الحديدية داخل الفرم، ويتم تطبيق سبق الإجهاد بعد صب الخرسانة ووصولها إلى مقاومة معينة طبقاً لما يتم تحديده بواسطة المهندس المصمم، وغالباً ما يتم استبدال حديد التسليح بالكامل بكابلات سبق الإجهاد في هذا النوع من الإنشاء.

الجسور المعدنية

١-الجسور المعدنية الملحومة: وتتميز الجسور المعدنية الملحومة بأنها لا تتعرض لأية إجهادات مسبقة نتيجة خطأ التصنيع، ويُراعى اختبار جميع اللحامات باستخدام أشعة إكس للتأكد من عدم وجود أية فراغات في اللحام، وفي حال وجود أي عيوب باللحام يتم إزالته وإعادة اللحام مرة أخرى، ويتميز هذا النوع أيضاً بعدم الحاجة لتأكيد جودة تصنيع العناصر الإنشائية حيث يتم عمل الاختبارات اللازمة بالمصنع على كل عنصر إنشائي بطريقة آلية.

٢-الجسور المعدنية ذات وصلات البرشام أو المسامير: ويتميز هذا النوع من الجسور بسهولة وسرعة تنفيذه، ويعيب هذا النوع من الجسور وجود احتياطات شديدة لضمان دقة تنفيذ الوصلات، وخاصة عندما يكون تجميع الوصلات باستخدام المسامير، ويتم عمل فتحات المسامير والبرشام داخل المصنع، وتتميز وصلات البرشام بأنها عند تسخينها والطرق عليها تنتفخ لتملأ الفراغ الموجودة به، أمَّا وصلات المسامير فتتميز بسهولة وسرعة تنفيذها، ويعيبها أن الخلوص اللازم لتركيب المسمار يجب أن يتساوى تماماً مع سمك المسمار إذ إن وجود أي اختلاف في الخلوص يؤدي إلى تحميل بعض المسامير دون البعض الآخر وما يمثله من خطورة على الوصلة، ويُراعى تثبيت الصواميل باستخدام أجهزة خاصة لتطبيق نفس العزوم على جميع الصواميل.

الجسور الخشبية:

وينقسم الخشب المستخدم في الإنشاء عامة الى نوعين، وهما الخشب الطري (Timber Soft)، والخشب الصلد (Hard Timber)، ويفضل استخدام النوع الثاني لأنه أشد صلادة وأقل عرضة للتشكيلات الدائمة تحت تأثير الأحمال الثابتة، ويجب معالجة الأخشاب المستخدمة ضد الرطوبة والحشرات وخاصة النمل الأبيض قبل الاستخدام، مع مراعاة عمل كشف دوري وصيانة لهذا النوع

من الجسور والتي عادة ما تكون كباري للمشاة ذات بحور صغيرة.

الجسور الحجرية:

وهي أقدم الجسور التي عرفت على الإطلاق، وتستخدم حالياً في كباري المشاة بالمناطق النائية حيث تكون الجسور ذات بحور صغيرة، وتستخدم فقط للمشاة والحيوانات. والحجر المستخدم في الإنشاء يجب أن يكون صلداً ولا تتأثر مقاومته بالرطوبة والجفاف وخاصة إذا استخدم هذا النوع لعبور المجاري المائية، وفي حالة استخدام هذا النوع كمعبر للمجاري المائية فإنه يتم تثبيت بوابات متحركة للتحكم في كمية المياه المنسابة طبقاً للمقنن المائي المخصص لها.

التصميم الابتدائي للجسر:

تشمل مرحلة التصميم الابتدائي تحديد الأبعاد والقطاعات الأولية للجسر وبالتالي تحديد التكلفة التقديرية له، كما تشمل المقارنات الاقتصادية لجميع الهياكل الإنشائية للجسور التي يمكن استخدامها.

ومن خلال دراسة تحليلية متقدمة وتحديد القطاعات الأولية التقريبية للجسر والمعتمدة على النظريات العلمية والنواحي العملية يمكن اختيار الهيكل الإنشائي للجسر والمواد المستخدمة به وقطاعاته والتي تمكن المصمم من إجراء التحليل الإنشائي وتصميم الجسر وبالتالي إعداد الرسومات التنفيذية له.

الاعتبارات الواجب مراعاتها لتصميم الجسور:

أولاً: شكل الجسر

١- التخطيط الأفقي والرأسي للجسر.

٢- القطاعات الإنشائية المسموح بها للجسر(عمق الجسر، عرض الدعامة .. الخ).

٣- دراسة حركة المرور أثناء تنفيذ الجسر.

٤- الخدمات الرئيسية.

ثانياً: التكلفة التقديرية للجسر

١-طبيعة التربة عند موقع الجسر.

٢- الزمن الكلي اللازم لإنشاء الجسر.

٣- تفاصيل التنفيذ (طريقة التنفيذ، مواد الإنشاء، معدات الإنشاء ... الخ).

٤- متطلبات الامتداد المستقبلي.

٥- متطلبات الصيانة.

ثالثاً: معاملات الأمان

*معامل الأمان أثناء التنفيذ مثل:

١- معامل الأمان للمنشآت المجاورة للجسر.

٢- معامل الأمان للخدمات والمرافق العامة.

٣- معامل الأمان لفريق التنفيذ والإشراف على تنفيذ الجسر.

٤- معامل الأمان لحركة المرور أثناء التنفيذ.

*معامل الأمان بعد تنفيذ الجسر:

١-معامل الأمان اللازم لحركة المرور بعد تنفيذ وتشغيل الجسر.

رابعاً: الشكل الخارجي للجسر

أ-يجب أن يكون الشكل الخارجي للجسر منسجماً وملائماً للمنشآت المجاورة للجسر. ب-يجب أن يكون الشكل الخارجي للجسر متجانساً مع الطبيعة حول الجسر.

***المتطلبات الخاصة بالجسور المتقاطعة مع المجاري المائية:**

١-الارتفاع الصافي للجسر وكذلك طول البحر.

٢-المسافة بين الدعامات الرأسية للجسر وتأثير ذلك على كميات المياه المارة بين تلك الدعامات.

٣-تأمين حركة الملاحة داخل المجرى المائي أثناء تنفيذ الجسر.

٤-متطلبات حركة الملاحة داخل المجرى المائي بعد تنفيذ الجسر.

**المتطلبات الخاصة بالجسور ذات الخرسانة سابقة الصب وسابقة الإجهاد:

أ-تكلفة الشدة.

ب- طول بحر الجسر.

ج- المقارنة بين تكلفة المصنع وتكلفة الخرسانة المصبوبة بالموقع.

د- وزن العناصر الإنشائية المختلفة للجسر (بلاطات، كمرات ... الخ).

هـ- تكاليف نقل العناصر الإنشائية وتركيبها بموقع الجسر.

و- تكاليف المواد المستخدمة ومعدلات الإنتاج.

ز- معوقات التخطيط: يوجد العديد من الجسور التي تحتاج لإعادة تصميم بسبب التحسينات التي تطرأ على تخطيط الطرق (مثل زيادة عدد حارات المرور، تغيير ارتفاع منسوب المياه في المجرى المائي، زيادة سعة الخدمات العامة من مياه وصرف صحي وتليفونات والمرتبطة بالهيكل الإنشائي للجسر)، ولذلك يجب الانتهاء من التصميم النهائي لتلك العناصر في مرحلة مبكرة لتجنب زيادة تكاليف إنشاء الجسر، وكذلك زيادة الزمن اللازم لإعادة التصميم.

طول بحر الجسر: يعتمد طول بحر الجسر على عدة عوامل منها:

١-قطاعات تمديد الخدمات التي تمر أسفل الهيكل الإنشائي للجسر.

٢- مواقع ونوع الدعامات الرأسية للجسر والتي تعتمد على (نوع التربة، الارتفاع الصافي المطلوب، عوامل الأمان، الحركة المرورية أسفل الجسر، الملاحة داخل المجرى المائي في حالة الجسور

على مجاري مائية... الخ).

***نوع الهيكل الإنشائي للجسر:**

يتوقف اختيار نوع الهيكل الإنشائي للجسر على العلاقة بين عمق وبحر الجسر – DEPTH SPAN RATIO. وفيما يأتي بعض أنواع الجسور الخرسانية المسلحة ومتطلبات القطاعات الخاصة بها طبقاً لمتطلبات الكود الأمريكي للجسور(ACI COMMITTEE – ٣٤٣) وبصفة عامة يفضل استخدام الجسور بسيطة الاستناد في حالة التأسيس على أرض رخوة، وذلك لتلافي تأثير القوى الداخلية على العناصر الإنشائية للجسر بسبب احتمال وجود فرق هبوط بالأساسات.

١- الجسور ذات البلاطة الخرسانية المسلحة Concrete Slab Bridge Reinforced:

**المتطلبات الإنشائية:

أ. نسبة العمق إلى طول البحر للجسور بسيطة الارتكاز.

ب. نسبة العمق إلى طول البحر للجسور مستمرة الارتكاز.

ج. يستخدم هذا النوع من الجسور للبحور التي تتراوح بين (٥ -١٤ متر).

د. في حالة استخدام البلاطات الخرسانية المفرغة (HOLLOW CORE SLAB OR SLAB VOIDED) فإنه يمكن استخدام هذا النوع من الجسور للبحور التي تتراوح بين (١٢-٢٠ متراً).

*متطلبات التنفيذ:

أ. يعد هذا النوع من أبسط أنواع الجسور سواء كان ذلك من حيث التفاصيل أو من حيث الشدة.

ب. يتطلب تنفيذ هذا الجسر زمناً أقل مقارنة بأي نوع آخر.

*متطلبات الصيانة:

أ. يتطلب مثل هذا النوع من الجسور صيانة أقل مقارنة بأي نوع آخر باستثناء صيانة الدعامات (BEARINGS).

ب. في حال الرغبة في زيادة عرض الجسر في المستقبل فإن هذا الأمر قد يكون صعباً مقارنة بأي نوع آخر.

٢- الجسور الخرسانية المسلحة على شكل حرف (T):

* المتطلبات الإنشائية:

أ. نسبة العمق إلى طول البحر للجسور بسيطة الارتكاز.

ب. نسبة العمق إلى طول البحر للجسور مستمرة الارتكاز.

جـ. يستخدم هذا النوع من الجسور للبحور التي تتراوح بين (٩ – ٢٥ متراً).

*متطلبات التنفيذ:

أ. يحتاج هذا النوع من الجسور إلى شدة معقدة.

ب . يحتاج هذا النوع من الجسور إلى تشطيبات نهائية جيدة لجميع الأسطح الخارجية للجسر.

جـ . يحتاج هذا النوع من الجسور إلى زمن أكبر للتنفيذ مقارنة بالنوع السابق. *متطلبات الصيانة:

يتطلب مثل هذا النوع من الجسور صيانة أقل باستثناء صيانة الدعامات.

٣- الجسور الخرسانية المسلحة ذات الصناديق المقفلة:

*المتطلبات الإنشائية:

أ . نسبة العمق إلى طول البحر للجسور بسيطة الارتكاز.

ب . نسبة العمق إلى طول البحر للجسور مستمرة الارتكاز.

ج . يمكن استخدام هذا النوع من الجسور للتخطيط المنحني (جسور منحنية).

د . يستخدم هذا النوع من الجسور للبحور التي تتراوح بين (٢٥- ٦٠ متراً).

*متطلبات التنفيذ:

أ . يحتاج هذا النوع من الجسور إلى شدة معقدة.

ب . لا يحتاج هذا النوع من الجسور إلى تشطيبات للأسطح الداخلية.

جـ . يحتاج هذا النوع من الجسور إلى زمن أكبر للتنفيذ مقارنة بالنوعين السابقين.

*متطلبات الصيانة:

أ . يحتاج لأعمال صيانة أقل عدا أعمال الصيانة المطلوبة للدعامات.

ب . توجد صعوبة للتوسعة المستقبلية لعرض الجسر.

٤- الجسور الخرسانية المسلحة ذات البلاطات سابقة الإجهاد والمشدودة بالموقع

Prestressed Concrete Slab Bridges – Cast in Place Post-tensioned Bridge

*المتطلبات الإنشائية:

أ . نسبة العمق إلى طول البحر لهذا النوع من الجسور.

ب . هذا النوع مناسب جداً للجسور المنحنية.

ج . يصل بحر الجسور ذات البلاطات المصمتة إلى (٢٥ متراً).

د . يصل بحر الجسور ذات البلاطات المفرغة إلى (٤٥ متراً).

*متطلبات التنفيذ:

أ . يعد هذا النوع من الجسور أصعب في التنفيذ مقارنة بالجسور ذات الخرسانة المسلحة المصبوبة بالموقع.

ب . يحتاج إلى عمالة فنية عالية.

ج . يحتاج إلى زمن للتنفيذ مساوي للزمن اللازم لتنفيذ الجسور ذات البلاطات المصمتة المصبوبة بالموقع.

*متطلبات الصيانة:

يحتاج لأعمال صيانة قليلة عدا أعمال الصيانة اللازمة للدعامات.

٥- الجسور الخرسانية المسلحة ذات البلاطات سابقة الإجهاد وسابقة الصب Precast Pretensioned Bridge:

*المتطلبات الإنشائية:

أ . نسبة العمق إلى طول البحر تتراوح بين (١/٢٥ إلى ١/٣٣)

ب . يستخدم للبحور التي تتراوح بين (٦ - ١٠ متراً) للبلاطات المصمتة.

ج . يستخدم للبحور التي تتراوح بين (١٠- ٢٥ متراً) للبلاطات المفرغة.

*متطلبات التنفيذ:

أ . يحتاج إلى شدات أسهل وتفاصيل أقل.

ب . يحتاج إلى زمن بسيط للتنفيذ مقارنة بباقي الأنواع.

*متطلبات الصيانة:

لا يحتاج لأي أعمال عدا صيانة الدعامات (Bearings) والفواصل العرضية والطولية ٦- **الجسور ذات الكمرات سابقة الإجهاد:**

* المتطلبات الإنشائية:

أ . نسبة العمق إلى طول البحر بسيطة الارتكاز في حدود (٠.٠٤٥).

ب . نسبة العمق إلى طول البحر مستمرة الارتكاز في حدود (٠.٠٤٠).

جـ . يستخدم هذا النوع من الجسور للبحور التي تتراوح بين (٢٥ ـ ٣٠ متراً)

*متطلبات التنفيذ:

أ . يعتبر هذا النوع أعقد في التنفيذ عن مثيله ذي الخرسانة المصبوبة بالموقع.

ب . يحتاج إلى زمن أكبر من مثيله ذي الخرسانة المصبوبة بالموقع على شكل حرف /T/ أو على شكل صناديق مقفلة.

*متطلبات الصيانة:

يحتاج لأعمال صيانة قليلة عدا صيانة الدعامات.

٧- الجسور ذات الخرسانة المسلحة سابقة الصب وسابقة الإجهاد على شكل حرف (T أو I أو صناديق مقفلة)PRESTRESSED PRECAST T AND I GIRDERS AND BOX SHAPED BRIDGES :

*المتطلبات الإنشائية:

أ . تستخدم للجسور ذات بحور تتراوح بين (٩٠.٠- ٥٠.٠ متراً).

ب . تستخدم للجسور ذات الكوابيل.

ج . نسبة العمق إلى البحر للجسور بسيطة الارتكاز (٠.٠٥٥).

د . نسبة العمق إلى البحر للجسور مستمرة الارتكاز (٠.٠٥٠).

*متطلبات التنفيذ:

أ . طريقة التنفيذ معقدة عن مثيلاتها ذات الخرسانة المصبوبة بالموقع.

ب . يفضل استخدام القطاعات النموذجية، ويصعب استخدام قطاعات مختلفة.

جـ . تحتاج إلى عناية خاصة في التصنيع والنقل والتركيب.

د . لا تحتاج لزمن كبير للتصنيع والتركيب خاصة القطاعات النموذجية.

*متطلبات الصيانة:

لا تحتاج لأعمال صيانة عدا صيانة الدعامات الرأسية عند مناطق الارتكاز.

القطاعات الأولية اللازمة للتصميم الابتدائي: يتم تحديد القطاعات الأولية للجسور طبقاً لمتطلبات الكود الأمريكي (ACI COMMITTEE 343)

طول الكوابيل: يتوقف طول الكابولي /L/ للجسر على المسافة بين الكمرات الرئيسية للجسر حيث تكون:

$$L = (S (1/3 - 1/2)$$

حيث:

S = المسافة بين الكمرات الرئيسية للجسر.

و L = طول الكابولي.

المسافة بين الكمرات الرئيسية: يتم مقارنة تكلفة الكمرات الرئيسية مع تكلفة زيادة سماكة البلاطات، وعموماً فإن الحل الأفضل اقتصادياً هو زيادة سماكة الكمرات الرئيسية وزيادة المسافات بينها (S). ويوضح الجدول الآتي حدود المسافة الاقتصادية بين الكمرات الرئيسية للأنواع المختلفة للجسور.

المسافة بين الكمرات الرئيسية بالمتر	نوع الهيكل الإنشائي للجسر	
1.80- ٢.٧٠	كمرات رئيسية على شكل حرف(T)	
2.10- ٣.٣٠	الجسور ذات الكمرات الصندوقية	
2.40- ٤.٨٠	الكمرات سابقة الإجهاد على شكل حرف(I)	
2.10- ٣.٧٠	الكمرات الصندوقية سابقة الإجهاد	

سماكة البلاطة الخرسانية المسلحة:

يوضح الجدول الآتي العلاقة بين سماكة البلاطة الخرسانية المسلحة بالسنتيمتر وبحر البلاطة

بالمتر (المسافة بين الكمرات الرئيسية).

م	بحر البلاطة بالمتر	سماكة البلاطة بالسنتيمتر
1	1.80	16.00
2	2.10	16.50
3	2.40	18.00
4	2.70	19.00
5	3.00	20.00
6	3.40	20.50
7	3.70	21.50
8	4.00	22.00
9	4.30	23.00
10	4.60	25.00
11	4.90	25.50

ويلاحظ أن السماكة المحددة بالجدول السابق تم تحديدها بناء على الاعتبارات الإنشائية الآتية:

أ ـ سماكة الغطاء الخرساني للحديد السفلي لا تقل عن /٢.٥٠ سم/.

ب ـ سماكة الغطاء الخرساني للحديد العلوي لا تقل عن /٥.٠٠ سم/.

سماكة الكمرات الخرسانية المسلحة:

أ . يجب ألا تقل سماكة الكمرات الخرسانية للجسور B عن /٣٠.٠٠ سم/ وذلك حتى عدد /٨/ أسياخ طولية.

ب . يجب زيادة سماكة الكمرات الخرسانية عند الدعامات المستمرة بناء على إجهاد الضغط.

ج . يجب ألا تقل سماكة الكمرات الخرسانية سابقة الإجهاد عن /٣٠.٠٠ سم/.

د . يجب ألا تقل سماكة البلاطة السفلية (H2) عن (١/١٦) من البعد الصافي بين الكمرات، على ألا تزيد عن سماكة البلاطة العلوية (H) أو /١٤ سم/ أيهما أقل.

هـ . يمكن زيادة سماكة البلاطة السفلية (H2) عند الدعامات المستمرة بناء على إجهاد الضغط المحسوب عند الدعامة المستمرة.

و. يجب ألا تقل سماكة الكمرات الصندوقية BW عن /٢٠ سم/ وغالباً تزداد سماكة الكمرات الصندوقية عند الدعامات لمقارنة إجهادات القص.

ز . يجب ألا تقل سماكة الكمرات الصندوقية سابقة الصب عن /١.٠٠ متر/، كما يجب ألا يقل

عمقها عن /٦٠ سم/.

الدعامات الرأسية:

تنقسم الدعامات الرأسية إلى نوعين: الدعامات الرأسية الطرفية (Abutments) والدعامات الرأسية الوسطية (Piers).

الدعامات الرأسية ABUTMENTS:

يوجد نوعان رئيسيان للدعامات الرأسية.

١-الدعامات الرأسية مفتوحة النهاية OPEN END ABUTMENTS:

حيث يوجد منها:

a – DIAPHRAGM TYPE

b – SEAT TYPE

٢-الدعامات الرأسية مغلقة النهاية CLOSED END ABUTMENTS:

حيث يوجد منها:

a – CANTILEVER TYPE

b – STRUITED TYPE

c – RIGID PORTAL FRAME TYPE

d – CELLULAR TYPE

e – GRAVITY OR SORIAL TYPE

**اختيار نظام الدعامات الرأسية:

أ . يعد نظام الدعامات الرأسية مفتوحة النهاية أفضل اقتصادياً من المغلق النهاية وذلك للأسباب الآتية:

أ . ١ يحتاج لحوائط دعامية أقل (تكلفة أقل).

أ . ٢ لا يحتاج لأعمال ردم كثيرة بعد بناء الدعامات، وبالتالي احتمال هبوط أقل للطريق المجاور.

أ . ٣ توجد إمكانية للتوسعة المستقبلية للطريق السفلي في حالة عدم استخدام دعامات جانبية.

٢-الدعامات الرأسية الوسطية Piers:

قيم استرشادية للمسافات بين الدعامات الرأسية الوسطية وسمك الدعامة:

يُراعى أن يتم وضع الدعامات الرأسية الوسطية على مسافات مناسبة لحركة الملاحة البحرية، ويتم توجيهها طولياً في اتجاه حركة المياه لتجنب تأثيرها على تدفق المياه. كما يجب أن يراعى حمايتها بكسوتها بالجرانيت أو أي مواد أخرى مناسبة مع جعل مقدمة الدعامة على شكل نصف دائرة أو قطع مكافئ، ويمكن الاسترشاد بالجدول الآتي لتقدير المسافات بين الدعامات الرأسية الوسطية وكذلك سمك الدعامة

سمك الدعامة بالمتر	المسافة بين الدعامات بالمتر	نوع المجرى المائي
0.75. ١.٠٠	2	قناة فرعية
1.00. ١.٢٥	3	
1.25. ١.٥٠	4	قناة رئيسية
1.50. ٢.٠٠	5	
2.00	6	نهر
2.50	8	

دراسة اتزان الدعامات الرأسية الوسطية:

يمكن تحديد القوى المؤثرة على الدعامات الوسطية في الآتي:

١ . وزن الكوبري والأحمال الحية عليه.

٢. وزن الدعامة الرأسية.

٣ . وزن معدات رفع البوابات (إن وجدت).

٤ . ضغط المياه بالاتجاه الطولي.

٥ . ضغط المياه بالاتجاه العرضي عندما تكون أحد الفتحات مغلقة في حين أن الفتحة المجاورة مفتوحة.

في حالة الدعامات الوسطية الخرسانية المسلحة يؤخذ طول الدعامة بالكامل في دراسة الاتزان في حين أنه في حالة الدعامة الوسطية الحجرية يؤخذ فقط الجزء الحامل للكوبري ومعدات رفع البوابات في دراسة الاتزان.

ويمكن حصر حالة التحميل الحرجة لدراسة الاتزان في الآتي:

أ. حالة الأحمال الرأسية القصوى: يتم تحميل باكيات الكوبري المجاورة للدعامة بالكامل بالأحمال الحية والميتة.

ب. حالة أقصى عزوم حول محور (ص):

في هذه الحالة يتم دراسة الاتزان تحت تأثير الأحمال الآتية:

١ . ضغط المياه جهة المدخل مع اعتبار المخرج جاف.

٢ . وزن الدعامة الرأسية.

٣ . الوزن الميت للكوبري.

٤ . الحمل الحي على نصف الكوبري جهة المخرج.

هـ . حالة أقصى عزوم حول محور (س): يتم دراسة الاتزان لحالة أن أحد الفتحات مغلقة في حين

أن المجاورة مفتوحة بالإضافة للأحمال الحية والميتة بالكوبري للفتحة المغلقة.

د . في حالة أقصى عزوم حول محور (س) ومحور (ص) معاً:

يتم دراسة الاتزان لحالة أن جميع الفتحات مغلقة بالمدخل، والمخرج جاف تماماً بالإضافة للحمل الميت للكوبري وتحميل باكية فقط من الكوبري بالحمل الحي وعدم تحميل البواكي المجاورة لها.

ب . يفضل استخدام نظام الدعامات الرأسية ذات الألواح (DIAPHRAGM TYPE) لعدم وجود فواصل وما يترتب على ذلك من أعمال الصيانة لها، إلا أن هذا النوع من الدعامات يسمح بحركة محدودة نتيجة الحرارة والانكماش، ولا يفضل استخدامه للجسور التي يزيد بحرها عن /٩٠.٠٠/ متراً إلا باستخدام طريقة خاصة لحركة المفصلة عند ارتكاز الجسر على الدعامات الرأسية.

*****الأساسات:**

يتم اختيار نوع الأساسات المناسبة لنقل وتوزيع الأحمال المتوقعة للجسر (شاملة الأحمال الحية) على التربة بحيث لا تزيد الإجهادات على الأساسات عن جهد التربة الصافي والآمن، وبحيث لا يحدث هبوط يزيد عن الهبوط المسموح به مما يسبب إجهادات ثانوية إضافية على العناصر الإنشائية للجسر. ويتوقف اختيار نوع الأساسات وأبعادها على الأحمال المتوقعة على الجسر بالإضافة إلى حالة التربة بموقع الجسر. ويمكن تصنيف أنواع الأساسات حسب الحالات الآتية:

١- الأساسات على التربة الرملية الجافة أو التربة الصخرية: حيث يتم التأسيس على قواعد منفصلة في حالة ما إذا كانت التربة متماسكة وذات إجهادٍ صافٍ آمن كبير (تربة صخرية).

٢- الأساسات على التربة المشبعة بالمياه الأرضية: في حالة ما إذا كانت التربة غير متماسكة (تربة طينية لبنة) ذات إجهاد صافٍ آمن صغير (أقل من ١.٠كجم/مم٢) يتم التأسيس باستخدام الأساسات الخازوقية حيث يختلف طول الخازوق طبقاً لمنسوب التربة الصالحة للتأسيس، وهناك أنواع عديدة للخوازيق كما هو موضح بالأشكال أرقام (٥ . ١٠ ، ٥ . ١١) مثل:

أ-خوازيق خشبية (عندما تكون أحمال الجسر صغيرة والتربة الصالحة للتأسيس قريبة من سطح الأرض) وهي غير شائعة الاستعمال حالياً.

ب-خوازيق خرسانية (عندما تكون أحمال الجسر كبيرة والتربة الصالحة بعيدة عن سطح الأرض) وتوجد على عدة أنواع مثل:

١- خوازيق خرسانية سابقة الصب (خوازيق أخذ ماكينة).

٢-خوازيق خرسانية مصبوبة بالموقع (خوازيق ارتكازية).

٣- خوازيق حديدية (دائرية أو على شكل H أو I).

الأساسات أسفل المياه: حيث يتم استخدام الآبار والقيسونات في التأسيس، وتوجد أنواع عديدة للآبار كما هو موضح بالشكل مثل:

١- آبار من خليط الرمل والزلط.
٢- آبار من الخرسانة العادية.
٣- آبار من الخرسانة المسلحة.
٤- آبار من الحديد.

المراجع:

١- دليل تصميم الجسور.
٢- تصاميم الجسور الكونكريتية، الجامعة التكنولوجية، قسم هندسة البناء والإنشاء، ٢٠٠٨-٢٠٠٩.

إعداد: محمود السعيد
إجازة في الإعلام / جامعة دمشق