مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية
المجلد ٥ ـ العدد ٣ من ٦٥ إلى ٨٠

في القعدة ١٤٠٢هـ
ايلول ١٩٨٢م

التكنولوجيا واستخدام المنشآت المركبة (المختلطة) في الجسور

الدكتور
سمير جورجي
كلية الهندسة

التكنولوجيا واستخدام المنشآت المركبة (المختلطة) في الجسور

٢ ـ ١ مقدمة عامة :

يعتمد العمل المركب في معناه الواسع على التأثير المتبادل بين البلاطة السطحية وبين الجائز الذي يسندها بحيث يعمل الاثنان كنظام إنشائي موحد ويتحمل كل منهما نصيبه من الحمولة .

وكثيراً ما يطبق مفهوم التركيب في حالة البلاطات البيتونية المحمولة على جوائز فولاذية . أما في الجسور فإن مبدأ التركيب يستعمل من أجل عدد آخر من المواد ومن أجل أهداف أخرى أيضاً مثل :

الأوتاد المركبة من الفولاذ ، الخشب ، أو البيتون ، البلاطات الجائزية . ونماذج لجوائز مختلفة مركبة من (بيتون مع بيتون) . وتصنع أيضاً بلاطات بيتونية محمولة على جوائز خشبية بحيث تعمل بشكل مركب .

وهناك استعمال آخر مألوف للعناصر المركبة هو حالة البلاطة البيتونية المصبوبة في المكان على جوائز مسبقة الصب والتي يمكن أن تكون أو لا تكون مسبقة الإجهاد . على الرغم من أنهما عنصرين متشابهين فإنه يجب اتخاذ خطوات إيجابية لضمان تأمين العمل المركب بين هذين العنصرين .

وفي البلاطات يمكن أن يصب جزء من البلاطة بشكل مسبق مع وضع كامل تسليح الشد اللازم . أو إذا كانت البلاطة لاحقة الإجهاد مع إجهادها بإجهاد مسبق يكفي لتحمل الحمل الميت فقط .

إن أنصاف البلاطات هذه تعمل كقسم سفلي في البلاطة السطحية . وعندما يصب القسم العلوي من البلاطة السطحية في المكان فإنها تعمل بشكل مركب مع نصف البلاطة المسبقة الصب . ويجب أن تستخدم في هذه الحالة وسائل تثبيت مختلفة سواء في البيتون نفسه أو كوسائل إضافية لزيادة الصلابة وذلك للتأكد من أن قسمي البلاطة سيعملان معاً .

وكذلك فإن الجسر البيتوني المكون من جائز عادي بشكل T يتطلب عناية خاصة لتأمين الفعل المركب . إنه من المألوف أن نشكل الجوائز والبلاطة بصب كل منها على حدة ولكن في المنشأ الذي يربط بين هذه الأقسام المصبوبة يجب أن نؤمن خشونة ملائمة للسطح وتثبيتاً مناسباً أو وصلاً ميكانيكياً لكي يعمل الجائز بشكل مركب .

وهناك تطبيق آخر للعمل المركب نجده في الجسور وهو في الأوتاد المكونة من مادتين أو

أكثر والتي تدعى عادة بالأوتاد المركبة . حيث يكون عادة الجزء العلوي للوتد مصنوعاً من البيتون وغالباً من البيتون مسبق الاجهاد لكي يؤ من تحملاً إضافياً للقسم الموجود فوق سطح الأرض ، أو للمجال الحرج المتعرض للمد والجزر وذلك عندما يكون المنشأ في الماء ، بينما يكون القسم السفلي من الوتد فولاذياً (مقطع H) أو خشبياً .

وتستعمل وسائل ربط مختلفة لتعطي الوتد صلابة مناسبة على امتداد الوصلة وتجعله يعمل بشكل مركب .

قدم انتشار العناصر مسبقة الإجهاد إمكانيات مختلفة لدمج وتركيب هذه العناصر مع المنشآت المصبوبة في المكان بحيث يعمل المنشأ بكامله بشكل مركب .

هذه كلها عبارة عن أمثلة على العمل المركب في الجسور . إن مبدأ الفعل المركب المشروح في هذه الفقرة سوف يعالج بشكل أساسي الفعل المركب في البلاطات البيتونية المحمولة على جوائز فولاذية .

وهناك خطوات إيجابية يجب اتباعها لتأمين الفعل المركب بين مادتين سواء كانتا متشابهتين أم غير متشابهتين كما توجد عدة حالات للفعل المركب حيث لم تتخذ بشأنها أية إجراءات من قبل المصممين .

في مشاريع الأبحاث التي تدرس فيها الإجهادات النسبية (المقارنة) والسهوم وذلك بإدخال تأثير الفعل المركب أو بدونه فإن الصعوبة المعتبرة التي تبرز هي الحاجة للخبرة في منع العمل المشترك بين الجائز والبلاطة حيث أن سطوح الاتصال يجب أن تنعم بشكل خاص وتشحم لكي نتأكد من عدم وجود تأثير متبادل بينها .

ضمن مجالات الإجهاد الطبيعي فإن الخشونة العادية الناتجة عن صفائح مائلة (مثل أجنحة المطحنة) أو اللحام أو البراغي أو رؤ وس المسامير أو خشونة سطح البيتون تكفي لتأمين مقاومة قص بحيث يعمل الجائز بشكل مركب .

وعلى أية حال عندما تصل الجوائز إلى مقدرتها القصوى فإن مقاومات القص الحادثة هذه تنهار ويحدث انزلاق بين العنصرين المكونين للجائز . وبما أن معظم الجوائز تصمم بحيث تعمل ضمن مجال أعلى من مرحلة التشغيل وحتى قيمة المقدرة القصوى فإن تزويد الجائز بوصلات قص سوف يؤ من العمل المركب الضروري وذلك بغض النظر عن قيمة مقاومة القص الطبيعية الموجودة .

ويظهر لدينا الفعل المركب عندما تتم الدراسةعلى الجوائز المصممة بشكل غير مركب وذلك لمقارنة السهوم المحسوبة مع السهوم المقاسة بشكل عملي في حقل العمل . وتبين أن

السهرم المحسوبة في الأغلب تكون أكبر من تلك المقاسة وهذا يشير إلى أن العمل المركب يجعل الجائز أقوى مما قدر له بالحساب .

٢ ـ ٢ الجوائز المنحنية في الجسور :

لقد ازداد استعمال الجوائز المنحنية في السنوات الأخيرة بشكل ملحوظ وذلك نظراً للعدد الكبير من المنشآت العالية لتقاطع الطرق ولكمية الأراضي التي يمكن أن توفرها . وأدى هذا إلى وجود أعداد كبيرة من ممرات العبور المتقاطعة بمستويات مختلفة مما ساعد على زيادة كثافة السير التي لم تكن ممكنة في التصميمات القديمة . وقد تم تطوير عدة طرق لتصميم الجوائز المنحنية التي يظهر من الشكل الهندسي لانحنائها ومن مسقطها الرأسي المميز أنها تخضع لإجهادات انعطاف وفتل . وعلى المصمم أن يكون مدركاً لهذه القوى بالإضافة إلى إدراكه للتأثير المتبادل المعقد بين العناصر المختلفة في الجسور المنحنية .

وكثيراً ما تستعمل المقاطع الصندوقية التي تمتاز بفعالية جيدة لمقاومة الفتل والقص للحصول على مطهر جذب وتصميم اقتصادي لهذه الفتحات المنحنية الطويلة .

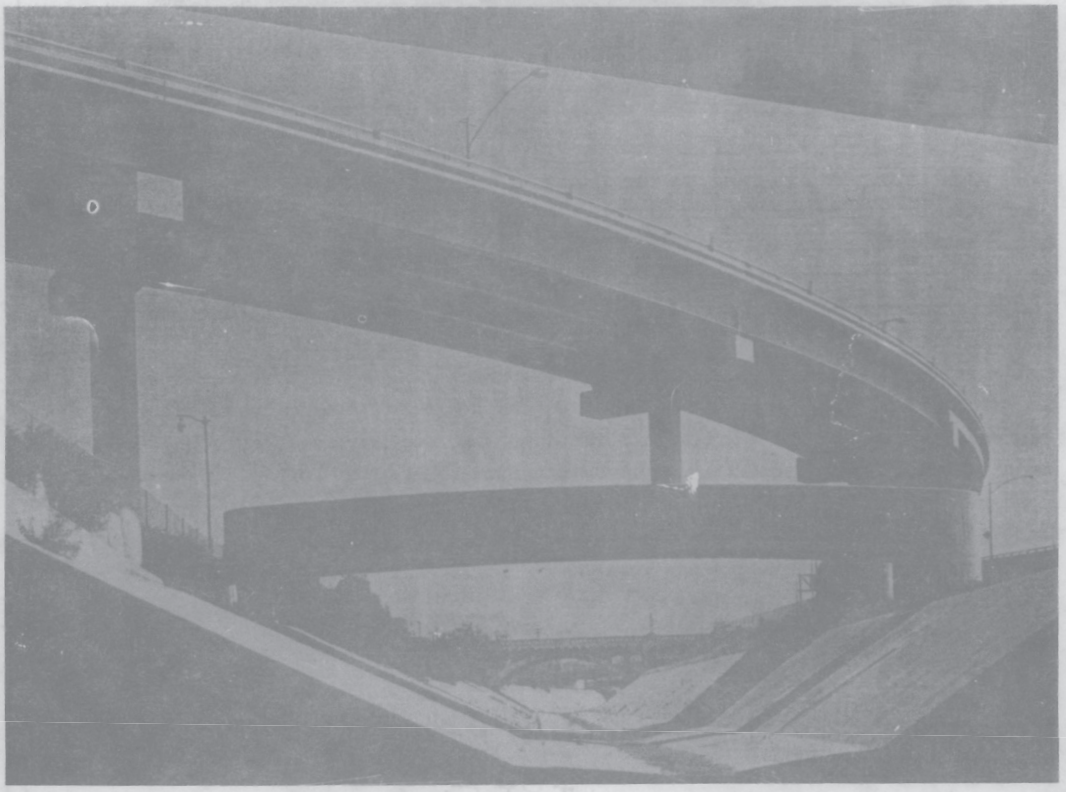
يمكن أن تكون هذه المقاطع الصندوقية من البيتون أو من الفولاذ حيث تصب عادة المقاطع الصندوقية البيتونية في المكان وتجهد بشكل لاحق . بينما تركب المقاطع الصندوقية الفولاذية أو الجوائز المنحنية الفولاذية في الورشة وبعدها يصب فوقها في المكان طبقة سطحية من البيتون لتأمين استقرار جانبي إضافي .

ويجب الانتباه في حالة المنشآت الفولاذية لتأمين استمرارية الشكل الهندسي للمقاطع حتى يصب البيتون فوقها وذلك لتأمين صلابة إضافية لها . وهذا يعني أن الجوائز الفولاذية المنحنية تبين عادة بشكل مزدوج مع استخدام دعائم عرضية لتأمين استمرارية انحنائها وتدرج مسارها الشاقولي .

وكذلك يجب سند هذه المقاطع الصندوقية الفولاذية بشكل صلب وعلى امتداد أجنحتها العلوية لتثبيتها في مواضعها حتى يتم صب طبقة البيتون فوقها .

إن الوصول إلى تحليل مثل هذه المنشآت ينتج عن حلول معادلات المرونة الكلاسيكية لكل من الانعطاف والقص والفتل . بينما تعطي تقنيات التحليل الحديث بطريقة العناصر المحددة الملحقة بالتجارب المجراة على نماذج قياسية لجسور منحنية والتي قام بها بعض العلماء مثل (تيمرشنكو ١٩٥٩) معلومات قيمة . وقد قدموا طرق مساعدة لتصميم الجسور الصندوقية تؤمن سرعة في حساب البلاطات الداخلية بالتباعدات المطلوبة لتخفيض قيمة الإجهادات المتولدة (الناتجة) عن تشوه المقطع تحت تأثير الحمولات إلى الحد الأدنى .

يظهر الشكلان (٢ - ١) و (٢ - ٢) مثالان عن الجسور ذات الجوائز المنحنية حيث يبين الشكل (٢ - ١) جسراً منحنياً مركباً من البيتون والفولاذ ومستمراً على فتحتين وهو يعبر فوق قناة تتحكم بالفيضان .



الشكل (٢ - ١)
مثال على جسر منحني مركب

يظهر الشكل (٢ - ٢) جسران مكونان من جوائز صندوقية من البيتون ومتعدد الفتحات . طول الفتحة حوالي ٣٠م .

الشكل (٢ ـ٢)
جسر فوق نهر

٢ ـ ٣ فوائد استعمال المنشآت المركبة في الجسور :

لقد استعمل مبدأ التركيب في المنشآت المستعملة في الجسور منذ بدء التصميم العلمي . وعلى أية حال فإن التقنية الحديثة قد أوجدت عدة استعمالات خاصة لفكرة التركيب وذلك من أجل الحصول على منشآت أكثر اقتصاداً وأسرع تنفيذاً .

إن السبب الأساسي في اللجوء لاستخدام المنشآت المركبة هو سبب اقتصادي وذلك لأننا نستطيع مقاومة الحمولات باستخدام وزن أقل من عدة مواد تعمل بشكل مركب أو مشترك .

وتوجد أيضاً عدة فوائد أخرى لطريقة التركيب هذه منها : أن المنشآت تكون أكثر صلابة وبالتالي أقل انتقالاً وهذه فائدة قد تكون محدودة في بعض الحالات . كذلك تكون المنشآت المركبة أقل عمقاً منها في حالة المنشآت غير المركبة ، ومن المعلوم أن توفيراً قليلاً في العمق (عدة سنتمترات) في المنشآت الضخمة له أهمية كبيرة وخاصة في المنشآت الطرقية ، وهذا التوفير يظهر بشكل واضح عندما نأخذ بعين الاعتبار الارتفاع الاضافي في المنشأ غير المركب والكميات الكبيرة من المواد التي تلزم لزيادة الارتفاع في منشأ ضخم عدة سنتمترات فقط وعند مفارق الطرق الكبيرة حيث توجد لدينا عدة مستويات من ممرات العبور فإن توفيراً مقداره عدة سنتمترات من عمق كل منشأ بحيث يلائم الحيز المطلوب ، وسوف يعطي توفيراً معتبراً في كلفة المنشأ ذاته بالاضافة إلى سهولة تنفيذه .

ولذلك فقد أصبح من السهولة بمكان تصميم المنشآت الضخمة بأقل سماكة ممكنة ومسبقة الاجهاد بشكل قليل وهذه هي المقاطع المركبة بشكل عام .

وفي الأعم الأغلب يعتبر المنشأ المركب أنه المنشأ الناتج عن دمج جائز فولاذي مع بلاطة سطحية من البيتون ويتم ربطها بحيث يعملان معا وكأنهما جائز ذو مقطع T .

وعلى أية حال فإن المنشأ المركب في معناه الواسع يشمل دمج أي عنصرين مع بعضهما البعض وإن كانت هذه العناصر من مادة متشابهة وبعد الدمج يجب جعلها تعمل بشكل مشترك وكأنها قد صبت من قطعة واحدة . وهذا أيضا يمثل عملا مركباً وتستخدم في منشآت الجسور بأشكال وطرق أخرى مختلفة للتوفير في الوقت والمال .

٢ ـ٣ ـ ١ . التوفير في القوالب :

إن من أهم النفقات المبذولة في المنشآت البيتونية هي النفقات التي تصرف على عمال القوالب . ولذلك فقد طورت عدة إجراءات من أجل تخفيض تكاليف القوالب إلى الحد الأدنى .

من هذه الاجراءات المتبعة في حالة الجوائز الفولاذية والبيتونية هي استخدام البلاطة ذات نصف السماكة ، وقد صنعت أنصاف البلاطات هذه من أجل أن تكيف وتلائم المجال بين الجوائز الحاملة على امتداد الفتحة وتعمل كقالب لصب البلاطة السطحية وهذا يقلل الحاجة لاستخدام القوالب ودعاماتها وكذلك الحاجة إلى نزع هذه القوالب المؤقتة بعد الصب .

لقد استخدمت هذه الفكرة بنجاح في الأبنية ، أرصفة الموانىء ، ومن أجل بلاطات الجسور الطرقية تكون سماكة هذه البلاطات عادة ١٠سم (٤إنش) وهي تصب في ساحة أو فناء يكون ويكون التحكم بالنوعية أفضل في المصانع المجهزة .

ويكون السطح السفلي للبلاطة جيدا بحيث لا توجد حاجة لاجراء أعمال تكميلية أو بذل عناية خاصة في موقع العمل . في بعض الحالات تكون أنصاف البلاطات هذه مسبقة الشد لتؤمن لها مقاومة وصلابة أكبر ويترك السطح العلوي لهذه البلاطات خشناً ويزود بتدابير تقوية مختلفة لضمان التثبيت الجيد بين القسم المسبق الصب والقسم العلوي من البلاطة الذي يصب في الموقع .

وتوجد عدة وسائل لربط القسم العلوي مع القسم السفلي للبلاطات هي :

المسامير ذات الرأس ، المسامير التي تشبه دبابيس الشعر والمصنوعة من الفولاذ المقسى ، والقضبان بشكل زيكزاك التي تتناوب بين البلاطات العلوية والسفلية ، القضبان الحلزونية اللولبية والتي يكون فيها كل نصف لفة للولب في مقطع الروابط البيتونية ، المواد الاضافية (بحص+رمل) الظاهرة من البلاطة السفلية والتي تلتحم مع بيتون البلاطة العلوية .

ويمكن ألا نعتبر البلاطات ضمن هذا الربط كالجوائز المركبة بمعناها المعتاد ولكن العمل فيها عمل مركب وهو يتم بنفس الطريقة التي وجدناها في النظام المكون من الجائزالفولاذي مع البلاطة البيتونية .

يمثل استخدام انصاف البلاطات كقوالب للصب تكرارا عمليا ومفيدا في حالة الجسور حيث توجد أعداد كبيرة من الفتحات المتشابهة . وإن التوفير الناتج عن القوالب يؤ من المال اللازم لتجهيز مصنع لصب أنصاف البلاطات هذه ، واذا كانت مسافة نقل هذه البلاطات قصيرة يمكن عندها إنتاج هذه البلاطات بشكل تجاري .

يخفض استخدام أنصاف البلاطات الحاجة لتركيب القوالب بين رؤ وس الجوائز (تركيب القوالب لسند وتحمل الاوتاد البيتونية عملية صعبة دائما) . ويخفض أيضا عمليات إزالة القوالب في الحيز السفلي تحت لبلاطة السطحية وفوق الماء .

إن استخدام هذا النظام في العمل أفضل بكثير من استخدام أنظمة البلاطات المسبقة الصب كليا وذلك لان السطح النهائي يصب في الموقع وبالتالي نحصل على سطح حر ناعم ومتصل وهذا يقلل من التشققات التي تحدث على السطح عند نقاط الاتصال بين الوحدات المسبقة الصب وذلك عندما نستعمل بلاطات ذات سماكة كلية ومغطاة بطبقة من الاسفلت .

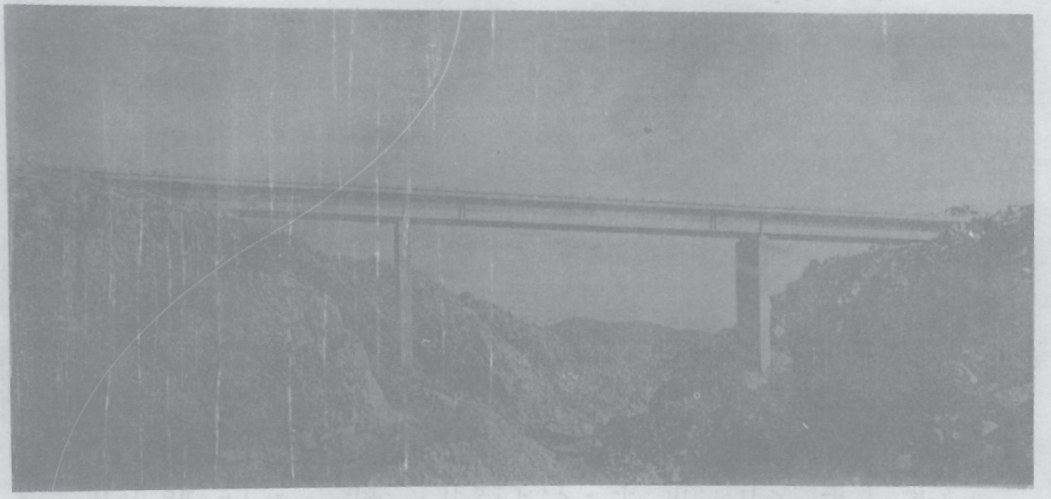
٢ ـ ٣ ـ ٢ . الناحية الاقتصادية :

يعتبر استخدام المنشآت المركبة في الجسور أمراً مألوفاً وذلك لأنها تعمل على تأمين مشاركة كل العناصر الاساسية في مقاومة الحمولات المطبقة . بينما يعتبر استخدام بلاطات

ثقيلة من البيتون كسطح حامل فقط شيئا مكلفا ورفاهية زائدة . اذ ان العمل المشترك يجعل هذه البلاطة تساهم بنصيبها من هذه الحمولات فقط .

٢ ـ ٣ ـ٣ . تخفيض السهوم :

بما أن الجوائز المركبة ذات صلابة أكبر من الجوائز العادية فانها تتشوه بشكل أقل تحت تأثير الحمولات المختلفة مما يعطينا صلابة اكبر وارتدادا اقل للمنشأ وهذه الصفات مرغوبة بشكل خاص في حال وجود مشاة كبيرة .



الشكل (٢-٣)

جسر يصل بين همنبتين

وفي حال استخدام أنصاف البلاطات المسبقة الصب فإن القسم السفلي من تحت البلاطة يكون متصلبا تماما قبل الاستعمال وهذا يؤدي الى تخفيض قيمة الزحف اللدن لبلاطة السطح النهائية .

وبالتالي فإن الفوائد النهائية للمنشآت المركبة في الجسور هي :

تكون هذه العناصر أكثر اقتصادا ، وتسهل من عملية بناء الجسر ، وتعطي المنشأ صلابة أكثر وقوة وجودة .

٢ ـ٤ . العوامل المعتبرة في تصميم العناصر المركبة :

ان المتطلبات الاساسية في المنشآت المركبة هي :

يجب ربط الجائز والبلاطة مع بعضهما بحيث يعملان وكأنهما جائز بشكل T . في المنشأ المجمع من الفولاذ والبيتون ترتكز البلاطة البلاطة البيتونية على الجناح العلوي للجائز الفولاذي ، وعندما يتمدد البيتون نحو الأسفل على جوانب الجائز عند سماكة الجناح العلوي يشكل مثبتا جانبيا للجناح ولكن البيتون لا يحيط بالجناح العلوي بشكل صندوقي وبالتالي ينبغي مقاومة اجهادات القص بين العنصرين باستخدام وصلات قص ميكانيكية .

ينبغي مراعاة ثلاثة حالات تحميل مختلفة عند تصميم الجسر المركب . وعند تصميم الجسر يجب تطبيق العمل المركب على ثلاثة حالات :

١ ـ الحمولة الحية فقط .

٢ ـ الحمولة الميتة+ الحمولة الحية .

٣ ـ حالة وسطية حيث نعتبر أن جزءًا من الحمولة الميتة يحمله الجائز بمفرده وجزءًا آخر يحمله المنشأ كله .

تؤثر الحمولة الحية دائما على كامل المقطع المركب . بينما يعتبر الحمل الميت قبل تصلب بلاطة البيتون السطحية محمولا بكامله على الجوائز ما لم تتخذ اجراءات خاصة لتأمين المشاركة المركبة في تحمل الحمولة الميتة .

تهمل عادة عند تصميم الجسور المركبة اي تحت تأثير الفعل المركب تأثيرات التغيرات الحرارية والتقلص والتمدد التي تحدث في البيتون بينما لا يمكن إهمال تأثير السيلان اللدن او زحف البيتون عند التصميم .

يسبب الحمل الميت في ظهور اجهادات ثابتة يؤدي تطبيقها الطويل حدوث جريان لدن في البيتون وهذا يؤدي في حالة الفعل المركب الى تخفيض مقدرة البيتون لمقاومة الاجهادات وتحمل نصيبه من الحمولات . ويمكن ان يعوض عن هذا باستخدام قيمة أكثر محافظة لـ n (3n) عند حساب الاجهادات الناتجة في المقطع المركب عن الحمولات الميتة .

٢ ـ٥ المقطع المركب من أجل حالة (الحمل الميت والحي)

عندما تركب الجوائز الفولاذية في أماكنها وتوضع فوقها البلاطة البيتونية تتحمل هذه الجوائز كل الحمولات الميتة بدون حدوث أي عمل مركب . ولكي نجعل المجموعة تعمل

بشكل مركب لتحمل الحمولات الحية والميتة فمن الضروري ان نسند الجوائز الفولاذية بشكل كامل حتى يتم التصلب التام للبلاطة البيتونية السطحية أي حتى يكتسب البيتون مقدرة كافية لحمل نفسه . وبهذه الطريقة يبقى الجائز الفولاذي بدون تحميل حتى يتم تصلب البيتون وبعدها يتم نزع الدعائم ويعمل المقطع المركب الكلي على تحمل الحمولات الميتة والحية .

وبشكل طبيعي فإنه يجب دعم الفتحات بشكل كامل أو دعمها على الأقل بتباعد يساوي ربع الفتحة وذلك لكي نضمن وبشكل فعال استمرارية حالة عدم التحميل للجائز الفولاذي .

وقد تم الحصول على نتائج مُرضية بطريقة أخرى وذلك باستعمال رافعة واحدة توضع في منتصف الفتحة حيث يتم رفع الجوائز الفولاذية في المنتصف بشكل أعلى من منسوب الخط المستقيم الواصل بين نقاط الاستناد وتبقى مرفوعة هكذا حتى يتم تصلب بيتون البلاطة السطحية .

وعند إزالة الروافع تتحد وتتعاون البلاطة السطحية مع الجوائز في تحمل الحمل الميت بشكل مشترك ، يعتبر هذا العمل على الظهور .

لقد صودفت مجموعة من الحالات التي رفع فيها مركز الفتحة إلى منسوب أعلى منه في حالة عدم التحميل وبعد تصلب البيتون وعند تخفيض الروافع تعرض البيتون الى حالة من الانضغاط الشديد مما ولد فيه نوعاً من الاجهاد المسبق وهذا الأمر قد يكون مرغوبا أو قد لا يكون .

إذا تم هذا العمل بشيء من الافراط فانه قد يتسبب في تهشيم البيتون ولذلك فعند احتمال حدوث حالة الاجهاد المسبق يجب ان نستخدم وصلات قص إضافية لربط العنصرين مع بعضهما البعض .

تعتبر هذه العملية كلها غير محددة وغير واضحة النتائج ولذلك لا يجوز استخدامها قبل الحصول على الدراسات الكافية والمعرفة التامة بالاجهادات التي ستحدث خلالها ، يرافق هذا رقابة وتحكما تاما في موقع العمل للتأكد من الحصول على النتائج المرجوة .

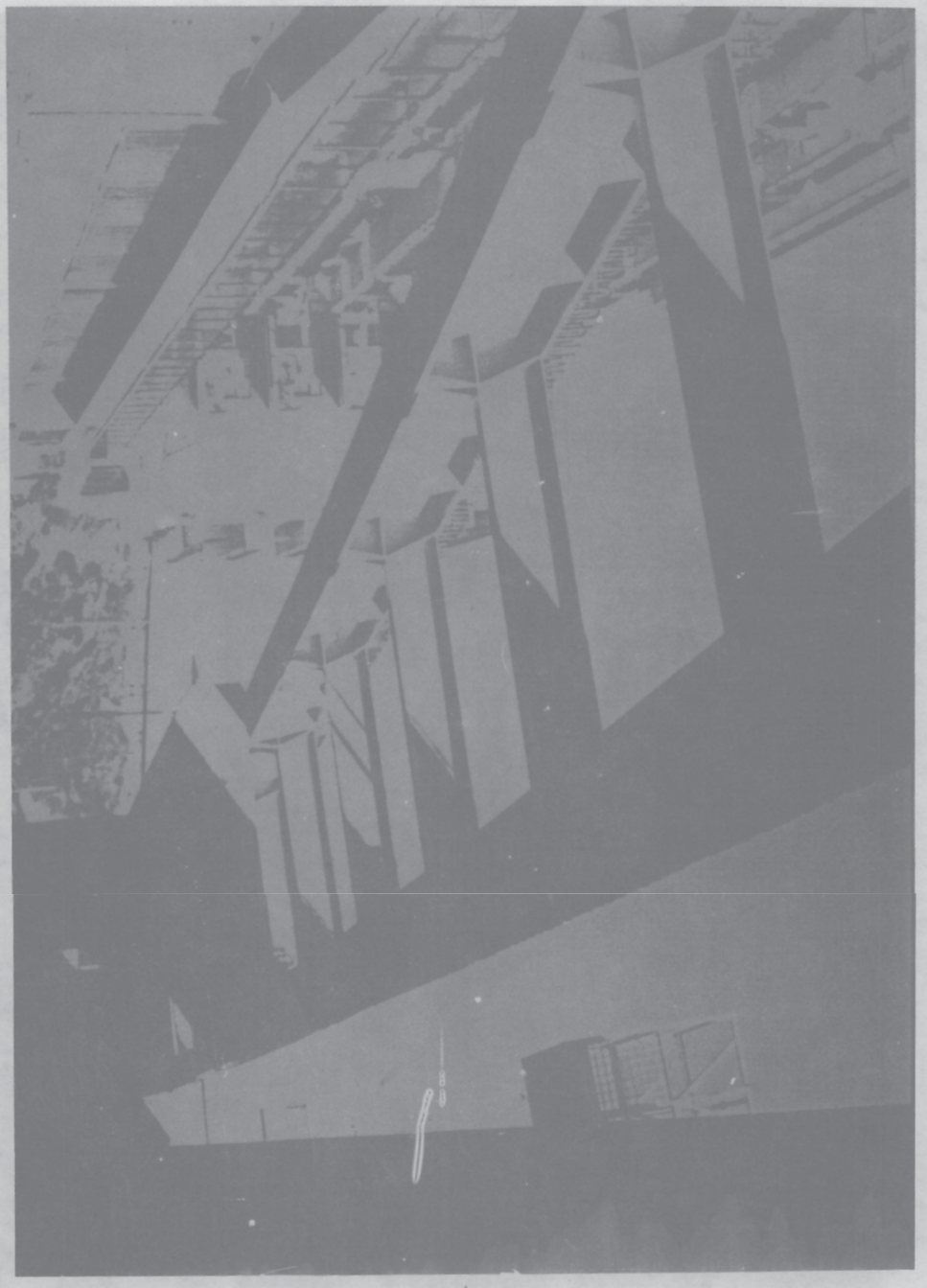
الشكل (٢ - ٤)

ناقلات القص واستعمال الجوائز الصفائحية في الجسور

المختلطة من البيتون والفولاذ

الشكل (٢-٥)

استخدام الجوائز الصفائحية الفولاذية في الجسور المختلطة
من البيتون والفولاذ



الشكل (٢-٦)

استخدام الجوائز الصفائحية الفولاذية في الجسور المختلطة

من البيتون والفولاذ

ومن ناحية اخرى فإن التوفير الناتج عن توليد بعض الاجهادات في البيتون قليل جدا بحيث لا يستحق هذا الجهد وهذه المخاطرة .

وبالاضافة الى العملية نفسها فانه توجد مجموعة اخرى من المتغيرات التي تجعل النتائج غير مؤكدة ومنها مقدار الدعم اللازم الذي يجب تأمينه ، مقدار الرفع ، المميزات الخاصة للجوائز الفولاذية (وهي تتغير بتأثير الارتخاء ، التحدب ، الاستقامة) .

وأخيرا خواص البيتون .