تقييم الضرر المتوقع في أعمدة ركائز الجسور البيتونية المسلحة بتأثير الأحمال الزلزالية وطرائق تحسين أدائها[١]

المهندس خالد شهابي[٢] الأستاذ الدكتور المهندس ساطع بدوي[٣]
الأستاذ الدكتور المهندس إبراهيم عطية[٤]

الملخص

تعتمد المبادئ الحديثة في التصميم الزلزالي لأعمدة الجسور الطرقية على أن الجسر يمكن أن يتعرض خلال عمره التصميمي إلى زلازل أقوى من الزلزال التصميمي المرن مما قد يؤدي إلى ظهور أضرار مهمة في أعمدة الجسر وعناصره الأخرى. ومن ثم فإن فلسفات التصميم الزلزالي الحديثة تسمح بأن يسلك الجسر سلوكاً لامرناً مع بقاء مقاومة كافية للجسر تمنع انهياره المفاجئ (وهو ما يدعى بالمطاوعة).

وفي هذا البحث تم عرض دلائل الضرر المستخدمة في تقييم الأداء الزلزالي للأعمدة البيتونية المسلحة، وتمت دراسة الأداء الزلزالي لستة نماذج من الأعمدة، ثلاثة منها لها نسبة تسليح طولية ٠.٠٢ ونسبة حمولة شاقولية ٠.٣٤ (وهي نسبة الحمولة الشاقولية إلى جداء مساحة المقطع مع مقاومة البيتون على الضغط)، والثلاثة الأخرى لها نسبة التسليح الطولي نفسها ونسبة حمولة شاقولية ٠.١٥.

[١] أُعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس خالد شهابي بإشراف الأستاذ الدكتور المهندس ساطع بدوي وبمشاركة الأستاذ الدكتور المهندس إبراهيم عطية.

[٢] قسم هندسة النقل والمواصلات- كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
[٣] أستاذ- قسم هندسة النقل والمواصلات- كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
[٤] أستاذ- قسم هندسة النقل والمواصلات- كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

وتم اعتبار الأعمدة كلّها محققة على القص. وتم تقييم الأداء الزلزالي لهذه النماذج الستة على الانعطاف بحساب دليل الضرر المعتمد على مقدار زاوية دوران المفصل اللدن المتوقع تشكله في العمود وذلك بتعريضه لحمولة زلزالية تتوافق مع طيف الاستجابة الوارد في الكود السوري.

بعد ذلك تم الانتقال إلى دراسة إمكانية تحسين العمود بتغليفه بقميص من البيتون المسلح، ولتحقيق ذلك تمت إعادة تقييم كل عمود من الأعمدة الثلاثة السابقة بعد تغليفه بقميص بيتوني مسلح بسماكات ١٠ سم و٢٠ سم و ٣٠ سم، وبذلك أصبح عدد الأعمدة المدروسة في هذا البحث ١٦ عموداً تم ترقيمها واعتبارها كعينات حاسوبية. حيث تم ترقيم الأعمدة الستة الأساسية بالأرقام من ١ إلى ٦، في حين تم اعتبار الأعمدة المغلفة بقميص بيتوني كعينات فرعية وتم ترقيمها بأرقام فرعية مثل ١-١ و ١-٢ و ١-٣ للتعبير عن تغليف العمود ١ بغلاف سماكته ١٠ سم و ٢٠ سم و ٣٠ سم على الترتيب.

كلمات مفتاحية: جسور- أعمدة- زلازل- لاخطية- تقييم- ضرر.

مقدمة:

اعتمد التصميم الزلزالي قبل عام ١٩٧٠ لأعمدة الجسور البيتونية المسلحة على التصميم المرن، وذلك باعتبار أن المنشأ يتعرض إلى حمولة زلزالية ستاتيكية تعادل نسبة من الحمولة الميتة الشاقولية دون الأخذ بالحسبان مفاهيم المطاوعة التي تسمح بتشوهات لدنة للعمود، مما أدى إلى حدوث انهيارات كارثية في كثير من أعمدة الجسور في العالم نتيجة لتعرضها لقوى زلزالية أعلى من القوة التصميمية، ولعدم تزويد الأعمدة بالمطاوعة اللازمة [١]. مما دعا الباحثين والمؤسسات المختصة إلى إعادة النظر بالمفاهيم التصميمية وإجراء تعديلات متتالية على الكودات المتعلقة بالتصميم الزلزالي وتفاصيل تسليح الأعمدة لجعل أداء أعمدة الجسور مطاوعاً. وقد اعتمدت الكودات الحديثة المبادئ الآتية في التصميم الزلزالي للجسور:

- تم تقسيم مستويات الزلازل إلى ثلاثة مستويات: وهي تتبع موقع الجسر (المنطقة الزلزالية) ونوعية تربة التأسيس [٢]:

١-الزلزال الاستثماري (التخديمي): Serviceability Earthquake (SE)

ويعرف بأنه الزلزال الذي يكون احتمال حدوث زلزال أقوى منه ٥٠% خلال ٥٠ سنة، أي الزلزال المتوقع حدوثه كل ١٠٠ سنة.

٢-الزلزال التصميمي: Design Earthquake (DE)

ويعرف بأنه الزلزال الذي يكون احتمال حدوث زلزال أقوى منه ١٠% خلال ٥٠ سنة، أي أنه الزلزال المتوقع حدوثه كل ٥٠٠ سنة تقريباً. وهو الزلزال المعطى بالكودات الحديثة.

٣-الزلزال الأعظمي: Maximum Earthquake (ME)

ويعرف بأنه الزلزال الذي يكون احتمال حدوث زلزال أقوى منه ٥% خلال ٥٠ سنة، أي أنه الزلزال المتوقع حدوثه كل ١٠٠٠ سنة تقريباً.

تم اعتماد المبادئ الآتية في التصميم الزلزالي للجسور[٣]:

- يجب أن يبقى الجسر قابلاً للتشغيل عند تعرضه للزلزال الاستثماري (تبقى عناصر الجسر قريبة من المرونة).
- يمكن حدوث أضرار في أعمدة الجسر عند تعرضه للزلزال التصميمي، ولكن يجب أن تكون الأضرار قابلة للكشف والإصلاح وأن يكون سلوك الأعمدة مطاوعاً.
- يجب عدم حدوث انهيار كارثي للجسر عند تعرضه للزلزال الأعظمي.

فالمبادئ الحديثة في التصميم الزلزالي للأعمدة [3] تعتمد على أن تبقى عناصر الجسر مرنة بتأثير الزلازل ذات الشدة الصغيرة، أما بتأثير الزلازل عالية الشدة فإن التصميم المرن للجسور البيتونية المسلحة غير اقتصادي ويكون مستحيلاً أحياناً، و يمكـن أن يتعرض الجسر خلال عمره التصميمي إلـى زلازل أقـوى مـن الزلـزال المـرن (الاستثماري) مما يؤدي إلى ظهور أضرار مهمة في عناصر الجسر. وتسمح فلسفات التصميم الحديثة بأن يسلك الجسر سلوكاً لا مرناً مع بقاء مقاومة كافية تمنـع انهيـار الجسر في أثناء تعرضه لتحريض زلزالي شديد. تدعى مثل هذه الطريقة في التصميم بالتصميم المطاوع وسعة الانزياح اللدن، في حين بقاء مقاومة كافيـة للجسـر تمنـع انهياره المفاجئ تدعى بالمطاوعة.

ويعرف التصميم المعتمد على الأداء بأنه الفلسفة التصميمية التي يتم فيها التعبير عـن الأهداف التصميمية بدلالة حدود أداء معرفة عند تعرض الجسر لمستويات معينة مـن الخطر الزلزالي، ويتم تحديد هذه المستويات للجمل المطاوعة فقط، أما الجمـل غيـر المطاوعة فيكون انهيارها كارثياً عند تعرضها لمستويات حمولات زلزالية أعلى مـن مقاومتها المرنة.

ويهدف البحث إلى تقييم أداء أعمدة دائرية لجسور بيتونية مسلحة باستعمال طريقة لا خطية، حيث يتم تقييم أداء هذه الأعمدة بتأثير الانعطاف (أي يـتم اعتبـار الأعمـدة مطاوعة ومحققة على القص) عند تعرضها لمستوى الزلزال التصميمي، كما يهـدف

البحث إلى دراسة إمكانية تحسين أداء هذه الأعمدة بتغليفها بقميص من البيتون المسلح تتراوح سماكته من ١٠ إلى ٣٠ سم.

١. الطرائق المستعملة لتقييم أداء أعمدة الجسور البيتونية المسلحة بتأثير الزلازل:

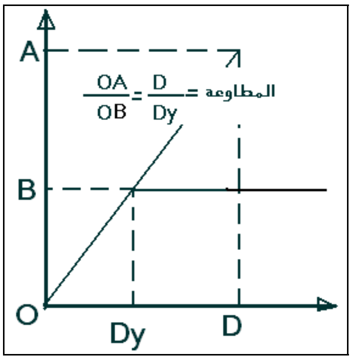
١-١ الطرائق التقليدية لتقييم أداء الأعمدة:

اعتمدت بعض الطرائق التقليدية المستعملة لتقييم أداء أعمدة ركائز الجسور والضرر المتوقّع حدوثه عند تعرضها لقوة زلزالية على نسبة مقاومة العمود إلى الحمولة المطبقة عليه، وتسمى نسبة Capacity/Demand، فإذا كانت هذه النسبة أكبر أو تساوي الواحد فهذا يعني أن العمود مازال في مرحلة المرونة، وكلما نقصت النسبة عن الواحد ازداد الضرر المتوقع في العمود، وقد تم وضع قيم تجريبية لحالات الضرر المقدرة بهذه الطريقة. وتعد هذه الطريقة غير دقيقة كونها لا تعبر عن كيفية السلوك اللامرن للعمود.

١-٢ الطرائق الحديثة:

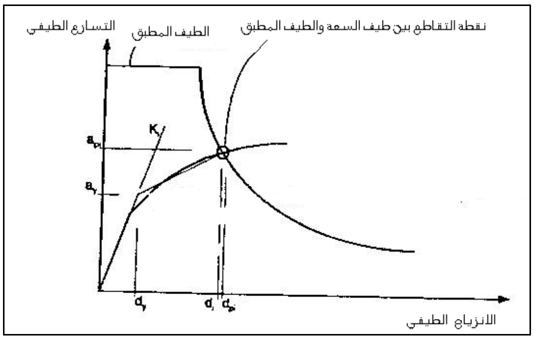
وهي التي تعتمد على مبدأ نسبة المطاوعة المطبقة $\mu_{demand} = \frac{D}{D_y}$ إلى سعة المطاوعة $\mu_{capacity} = \frac{D_u}{D_y}$ (حيث D و D_y و D_u هي الانزياح المطبق وانزياح الخضوع والانزياح الأقصى على الترتيب)، أو على تقييم مقدار دوران المفصل اللدن بعد تشكله في مواقع العزوم الأعظمية. أي أن هذه الطرائق تعتمد على التحليل اللاخطي، وإن الصعوبة في التحليل اللاخطي هي في إيجاد مقدار الانزياح الناتج في الجسر بتأثير حمولة زلزالية محددة عند دخوله في مرحلة اللدونة. وقد بذلت كثير من المؤسسات والجامعات جهوداً كبيرة في السنوات الأخيرة لتطوير طرائق مبسطة لتقدير هذا الانزياح (مثل ATC-40 [٢] وFEMA273 [5] و LA's Division95 "COLA1995" و الجامعات الخاصة)، وعلى الرغم من ذلك فليس هناك حتى الآن اعتماد لطريقة محددة. ومن الطرائق المستعملة لتحديد الانزياح اللاخطي:

١-٢-١ طريقة الانزياحات المتساوية: وهي طريقة مبسطة تعتمـد علـى فرضـية أن الانزياح الطيفي اللامرن هو نفسه الذي كان سيحدث فيما لو بقي المنشأ مرناً تماماً.



الشكل رقم (١)- طريقة الانزياحات المتساوية

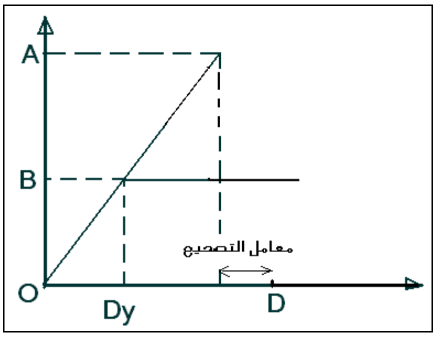
١-٢-٢ طريقة طيف السعة: تعتمد على إيجاد نقطة على منحنى السعة تتوضع أيضـاً على طيف استجابة مطبق ملائم بعد أن يتم تخفيضه من أجل التـأثيرات اللاخطيـة، وهذه الطريقة أكثر ملاءمة باستعمال التمثيل التخطيطي. يحدث الانزياح المطبق فـي هذه الطريقة عند نقطة على طيف السعة تدعى **نقطة الأداء**. تمثّل هذه النقطة الحالـة التي من أجلها تكون السعة الزلزالية للمنشأ مسـاوية للانزيـاح الزلزالـي المطبـق المفترض على المنشأ نتيجة حركة أرضية محددة.



الشكل رقم (٢)- طريقة طيف السعة[٢]

وتم في هذا البحث الاعتماد على طريقة طيف السعة لإيجاد نقطة الأداء (الانزياح المطبق)، وسيتم شرح موجز نظري لهذه الطريقة في الفقرة ٤ لاحقاً.

١-٢-٣ طريقة المعامل: وهي الطريقة الواردة فـي FEMA273 [5] وFEMA274[٦]. تعتمد هذه الطريقة على تحليل إحصائي لنتائج تحليل سجلات زمنية لنماذج ذات درجة حرية وحيدة لنماذج مختلفة. يدعى الانزياح المطبق في هذه الطريقة **بالانزياح الهدف**. وتعتمد هذه الطريقة على تعديل الانزياح الذي نحصل عليه بالطريقة الأولى بمعاملات تصحيح.



الشكل رقم (٣)- طريقة المعامل

ملاحظة: تعطي طريقة الانزياحات المتساوية عموماً نتائج مشابهة للطريقتين الأخريين في بعض الحالات وخصوصاًعندما يكون دور المنشأ طويلاً (T>1 sec)، وتعطي في حالات أخرى نتائج مختلفة تماماً عنهما (أقل منهما) خصوصاً عندما يكون دور المنشأ قصيراً (T<0.5 sec) [٢].

٢. مفهوم مؤشر الضرر وعرض لأهم مؤشرات الضرر الحديثة المستعملة:

٢-١ **مؤشر زاوية دوران المفصل اللدن:[5] و [٢]** حيث يتم حساب زاويـة الـدوران اللدن للمفصل اللدن، وبناء على معايير التقييم التي سيتم شرحها لاحقاً يتم تقييم حالـة الضرر المتوقعة في منطقة المفصل اللدن. وهو المؤشر الذي سيتم اعتماده فـي هـذا البحث.

٢-٢ **مؤشر القساوة**: وهو نسبة القساوة الأصلية Ko إلى القساوة القاطعة Kr الموافقة للانزياح الأعظمي [١٤]:

$$DI = \frac{K_o}{K_r} \qquad (١)$$

حيث DI مؤشر الضرر.

وهناك صيغة مطورة عنها تشمل استعمال قساوة قاطعة K_m موافقة لسعة الانزياح [١٤]:

$$DI = \frac{K_m(K_r - K_o)}{K_r(K_m - K_o)} \qquad (٢)$$

وقد بين Banon وآخرون [١٢] و [١٤] أن استعمال مؤشر ضرر يعتمد على القساوة أو الانزياحات لا يعطي توافقاً مع نتائج تجريبية لمؤشر الانهيار. وهو مؤشر لا يأخذ بالحسبان تأثير الحمولة الدورية، وكذلك فهو مؤشر ذو وسيط واحد[١٤].

٣-٢ **مؤشر المطاوعة**: وهو المؤشر المستعمل بشكل واسع، ويعبر عنه بالعبارة [١٠]:

$$DI = \frac{\mu - 1}{\mu_u - 1} \qquad (٣)$$

ويمكن استعمال مؤشر مطاوعة الانزياح أو مؤشر مطاوعة الدوران أو مؤشر مطاوعة التقوس، وفق العلاقات الآتية:

$$\mu = \frac{D}{D_y} \qquad (٤)$$

$$\mu_\theta = \frac{\theta}{\theta_y} \qquad (٥)$$

$$\mu_\phi = \frac{\phi}{\phi_y} \qquad (٦)$$

حيث: μ و μ_θ و μ_ϕ هي مطاوعة الانزياح المطبقة ومطاوعة الدوران المطبقة ومطاوعة التقوس المطبقة على الترتيب.

D الانزياح الأعظمي المطبق للنموذج الإنشائي.

D_y انزياح الخضوع.

θ الدوران الأعظمي المطبق على الجملة.

θ_y دوران الخضوع.

ϕ التقوس الأعظمي المطبق.

ϕ_y تقوس الخضوع.

$\mu_u = \frac{D_u}{D_y}$ المطاوعة المسموحة بواسطة تجربة تعتمد على حمولة متزايدة تدريجياً.

D_u الانزياح الأعظمي المسموح بواسطة تجربة تعتمد على حمولة متزايدة تدريجياً.

ونظراً للتغيرات المتكررة لإشارات التسارع الزلزالي فإن الاستجابة الزلزالية تتم بدورات لدنة بانزياحات ذات إشارة مختلفة (تارة موجبة وأخرى سالبة)، ومن ثم يتم أخذ قيم الانزياح الأعظمي أو الدوران الأعظمي أو التقوس الأعظمي بحيث ترمز إلى القيم العظمى الناتجة في الشوط اللدن الأعظمي وبشكل مستقل عن الإشارة.

وهو مؤشر لا يأخذ بالحسبان تأثير الحمولة الدورية، وكذلك فهو مؤشر ذو وسيط واحد.

وتكون هذه المؤشرات ملائمة في حالة الفرض بأن انهيار النموذج الإنشائي المتوقع من أجل الانزياح اللدن الأعظمي بشكل مستقل عن عدد الدورات وعن كمية الطاقة المبددة [١٢]، وقد بينت تجارب مخبرية أن هذا النموذج من السلوك يمكن أن يمثل بشكل مقبول التلف الإنشائي في حالة دورات تتميز بدورة واحدة لها انزياح لدن كبير في حين الدورات الأخرى لها كمية قليلة من الانزياح اللدن. أما إذا تميز سجل التحميل بدورات عديدة (مع دورات كبيرة) من الانزياح اللدن، أو كان للمنشأ تصرف بقيمة منخفضة لتشتيت الطاقة، فإن الانهياريصبح معتمداً على الكمية الكلية للطاقة المبددة E_h. وتم تعديل ومعايرة وتنسيق هذه الطاقة لربطها بعلاقة مع المطاوعة المتبقية، حيث تم هذا الربط بالعلاقة الآتية:

$$\mu_e = \frac{E_h}{F_y . D_y} + 1 \qquad (٧)$$

حيث F_y مقاومة الخضوع و μ_e المطاوعة المتبقية [١٢].

وبذلك يتم تعريف قيمة تابع الضرر المعدل DI الموافق لهذا المفهوم بتقييم المطاوعة المتبقية المسموحة بشكل تجريبي $\mu_{e,u}$ في النموذج المرن- كامل اللدونة فتكون هـذه القيمة مساوية لـ μ_u، ومن ثم يمكن التعبير عن مؤشر الضرر[١٢]:

$$\boxed{DI = \frac{\mu_e - 1}{\mu_{e,u} - 1} = \frac{\mu_e - 1}{\mu_u - 1}} \qquad (٨)$$

٢-٤ **مؤشر الطاقة المبددة:**[١٣] وفقاً لافتراض محافظ جداً، نعتبر أن سـعة الجملـة الإنشائية لتشتت طاقة متبقية بتأثير حمولة دورية تكون مساوية لسعة تشـتت الطاقـة بتأثير تحميل متناغم. ويمكن افتراض أن قيمة معامل المطاوعة المكافئ اعتماداً على هذه الفرضية أنها قيمة الحد (المجال- الشريط) الأخفض. وبذلك يمكن كتابة مؤشـر الضرر في جملة مرنة-لدنة مثالية (أو في جملة مرنة-لدنة مكافئة مع اعتبـار سـعة الطاقة المبددة نفسها للجملة الفعلية) بالصيغة:

$$\boxed{DI = \frac{E_H}{F_y (D_u - D_y)} = \frac{E_H}{F_y . D_y (\mu_u - 1)}} \qquad (٩)$$

وبإجراء بعض التحويلات يمكن الحصول على العلاقة بين عامل المطاوعة المكـافئ μ وعامل المطاوعة القصوى المتناغم μ_u:

$$\boxed{\mu = \frac{\sqrt{DI(\mu_u - 1)}}{\gamma}} \qquad (١٠)$$

حيث $\gamma = \dfrac{\sqrt{\dfrac{E_H}{m}}}{\omega . D}$

وحيث: E_H - الطاقة المتبقية المبددة.

D- الانزياح الأعظمي.

m- كتلة المنشأ.

ω - التردد الطبيعي للمنشأ.

γ - معامل لا بعدي يضبط تخفيض مطاوعة الانزياح وفقاً لتعب الدورة المنخفضة.

تكون قيمة γ كبيرة عند وجود تخفيض كبير على المطاوعة المعتمدة على حمولة متزايدة تدريجياً (هذا التخفيض يمثل تعب الدورة المنخفضة)، أما إذا كانت قيمتها صغيرة فإن تأثير تعب الدورة المنخفضة سيصبح مهملاً، وسيتم عندها ضبط الضرر بمطاوعة الانزياح العادية. وسيبلغ هذا الوسيط قيمته الدنيا $\gamma_{\min}$ إذا تعرضت الجملة فقط إلى نصف دورة واحدة لا مرنة، ويمكن اشتقاق العبارة الآتية من أجل جملة مرنة-لدنة مثالية:

$\gamma_{\min} = \frac{\sqrt{\mu - 1}}{\mu}$ فإذا تم تعويض هذه القيمة في علاقة μ أعلاه يتم الحصول على النتيجة المتوقعة $\mu = \mu_u$ وذلك في حالة DI=1. وفي حالة السلوك المرن ستتلاشى الطاقة المتبقية وستصبح قيمة γ صفراً.

٢-٥ **مؤشر Park-Ang** (نموذج وسيطي الطاقة والمطاوعة):[١٣]

$$DI = \frac{D}{D_u} + \beta \frac{E_H}{F_y . D_u} = \frac{\mu}{\mu_u} + \beta \frac{E_H}{F_y . D_y . \mu_u} \qquad (11)$$

β - ثابت يعتمد على الخصائص الإنشائية. يمكن تفسير هذا الوسيط كوسيط يضبط تلف المقاومة كتابع لكمية الطاقة المبددة. وقد وجد أن القيمة $\beta = 0.15$ تتطابق بشكل قريب مع نتائج معتمدة على تجارب، وتم حسبان هذه القيمة واقعية.

يتميز هذا النموذج بالسهولة وبأن له أساساً تجريبياً واسعاً، وهو يتضمن طاقة متبقية (أكثر من تضمنه لعدد الدورات).

يمكن الحصول على العلاقات الآتية بإدخال المعامل اللابعدي γ الوارد أعلاه:

أو:
$$\frac{\mu}{\mu_u}=\frac{DI}{1+\beta.\gamma^2.\mu} \qquad (١٢)$$

$$\mu=\frac{\sqrt{1+4.DI.\beta.\gamma^2.\mu_u}-1}{2.\beta.\gamma^2} \qquad (١٣)$$

وقد ورد هذا المؤشر بشكل آخر كما يأتي:[٢]

$$DI=\frac{D}{D_u}+\frac{\beta}{F_y.D_u}\int dE \qquad (١٤)$$

حيث:

DI - مؤشر الضرر (DI>1 يدل على الضرر الزائد أو الانهيار).

D - الانزياح الأعظمي بتأثير الزلزال (الانزياح المطبق).

D_u - سعة الانزياح الأقصى بتأثير تحميل ستاتيكي.

F_y - مقاومة الخضوع المحسوبة.

d_E - الطاقة المتبقية المتزايدة.

β - وسيط يأخذ بالحسبان تأثير التحميل الدوري.

وقد تم استعمال هذا النموذج بشكل واسع لتقييم الضرر في المنشآت البيتونية المسلحة لسهولة تطبيقه.

٢-٦ مؤشر Banon:[١٢]

يتم في هذا المؤشر تعريف وسيطين: وسيط الضرر D1 كنسبة من القساوة عند نقطة الخضوع إلى القساوة عند الانهيار، ووسيط الضرر D2 كطاقة مبددة لدنة معدلة بعلاقتها مع الطاقة المرنة المبددة.

في النموذج المرن-الكامل اللدونة يكون من الواضح أن قيمة D1 مساوية لنسبة الانزياح الأعظمي إلى انزياح الخضوع، ومن ثم يكون:

$$D1=\frac{D}{D_y}=\mu \qquad (١٥)$$

$$D2=\frac{E_h}{1/2.F_y.D_y}=2.(\mu_e-1)$$ (١٦) و

ومع ذلك فإنه يتم في حساب تابع الضرر استعمال قيمتين معدلتين لـ D1 و D2 هما على الترتيب:

D1* و D2* حيث: $D1^*=D1-1$ و $D2^*=a.D2^b$

إذْ تبين التجارب أن القيمة الوسطية التجريبية لـ a هي ١.١ ولـ b هي ٠.٣٨ .

وبذلك يكون تابع الضرر[١٢]:

(١٧) $D_B=\sqrt{(D_1^*)^2+(D_2^*)^2}$ حيث: $D_1^*=\mu-1$ و $D_2^*=1.1[2.(\mu_e-1)]^{0.38}$

ويتم الحصول على التابع المعدل (المنسق) للضرر **بتقسيم عبارة** D_B **على القيمة المفترضة** عند الانهيار في اختبار متناغم.

٧-٢ مؤشرات ضرر تأخذ بالحسبان تراكم الضرر[١٢]:

$$DI=\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\mu_i-1}{\mu_u-1}\right]^b$$ (١٨)

يعتمد الثابت b على مواد البناء الإنشائية وعلى كمية الانزياحات اللدنة المختلفة بشكل مستقل عن الترتيب الدقيق. وقد أعطت البيانات التجريبية القيمة ١.٦ للمنشآت المعدنية والقيمة ١.٨ للمنشآت البيتونية، وأحياناً يتم استعمال القيمة المحافظة ١.٥ في تحليل الضرر.

وهناك علاقة أخرى من الشكل [١١]:

$$DI=C.\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\Delta\delta_{pi}}{\delta_y}\right)^c$$ (١٩) حيث:

$\Delta\delta_{pi}$ - مجال التشوه اللدن للشوط i.

δ_y - التشوه عند الخضوع.

N- عدد الأشواط اللامرنة.

C و c- ثوابت تتعلق بالجملة الإنشائية.

غيرها من العلاقات وردت في بحوث عديدة.

٣. موجز نظري للطريقة المستعملة في البحث لإيجاد الانزياح المطبق (طريقة طيف السعة):

يتم حساب الانزياح اللاخطي المطبق على العمود بتأثير الحمولة الزلزالية بإيجاد نقطة على منحنى القوة-الانزياح تدعى **بنقطة الأداء،** ولإيجاد هذه النقطة تم في هذا البحث استعمال طريقة طيف السعة (وهي النقطة على منحنى القوة-الانزياح التي تعبر عـن الانزياح اللادن المطبق)، و تعتمد طريقة طيف السعة كما ذكرنا أعلاه (في الشـكل ٢) على إيجاد نقطة على منحنى السعة تتوضع أيضاً على طيف استجابة مطبق ملائم بعد أن يتم تخفيضه من أجل التأثيرات اللاخطية. ومن ثَم يتم في هذه الطريقة رسم مخطط طيف الاستجابة الذي يعبر عن الحمولة الزلزالية المطبقة (بعد أن يتم تخفيضـه بمـا يتفق مع التخامد الإضافي الناتج عن اللاخطية) بالإحداثيات نفسها التي يتم فيها رسـم مخطط متانة (سعة) الجسر (مخطط القوة-الانزياح) لنتمكن من رسم المخططين على مخطط واحد، وتكون نقطة التقاء المنحنيين هي نقطة الأداء التي نستنتج منها الانزياح المطبق. وسنشرح فيما يأتي باختصار خطوات هذه الطريقة:[٢]

٣-١ تتم نمذجة العمود وتحديد مواقع المفاصل اللادنة المحتمل تشكلها في العمود.

٣-٢ يتم رسم مخطط (القوة الجانبية-الانزياح) المسـمى مخطـط Pushover لهـذا العمود. وبرامج التحليل اللاخطي قادرة على رسم هذا المخطط مباشرة، (مثل برنامج DRAIN-2DX والنسخ الحديثة من برنامج SAP2000 وبرنامج ETABS). وفي هذا البحث تم استعمال نسخة لاخطية حديثة من برنامج SAP2000 .[٧]

٣-٣ يتم تحويل هذا المخطط من إحداثيات قوة-انزياح إلى مخطط إحداثياته تسـارع طيفي- انزياح طيفي. ويتم ذلك باستعمال العلاقتين[٢]:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha 1} \quad (٢٠) \qquad \text{و} \qquad S_d = \frac{D_{roof}}{PF_1.\Phi_{roof,1}} \quad (٢١)$$

حيث:

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(w_i\Phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^{N}(w_i\Phi_{i1}^2)/g}\right] \quad (٢٢) \qquad \text{و} \qquad \alpha 1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i\Phi_{i1})/g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N}w_i/g\right]\left[\sum(w_i\Phi_{i1}^2)/g\right]} \quad (٢٣)$$

PF1- عامل المساهمة النمطية للنمط الطبيعي الأول.

$\alpha 1$ - معامل الكتلة النمطية للنمط الطبيعي الأول.

w_i/g - الكتلة المخصصة للمنسوب i.

Φ_{i1} - سعة النمط ١ عند المنسوب i.

N- المنسوب الأعلى في المنشأ.

V- قوة القص القاعدي.

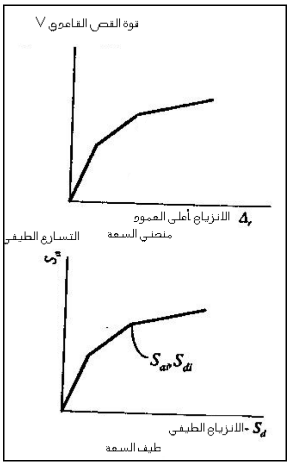
W- الوزن الميت للمنشأ مع الحمولات الحية المحتملة (في الجسور لا تؤخذ الحمولات الحية مع الزلزالية [٤]).

D_{roof} - انزياح السقف العلوي للمنشأ. (كل V و D_{roof} المرافقة لها تصنعان نقطـة من منحنى القوة-الانزياح).

Sa- التسارع الطيفي.

Sd- الانزياح الطيفي.(كل Sa و Sd المرافقة لها تصنعان نقطة من طيـف السـعة).

ويبين الشكل رقم (٤) مثالاً لهذا المخطط.

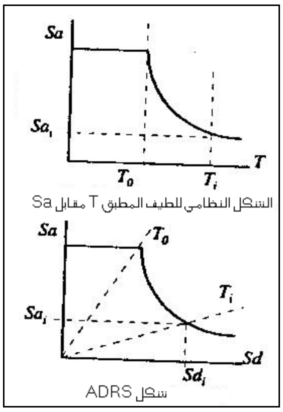


الشكل رقم (٤) منحنى السعة (-V Δ) ومنحنى طيف السعة (Sa-Sd) [٢]

٣-٤ يتم أيضاً تحويل مخطط طيف الاستجابة المرن المطبق من إحداثيات تسـارع-دور إلى مخطط إحداثياته تسارع طيفي-انزياح طيفـي (ويسـمى مخطـط ADRS (Acceleration-Displacement-Response-Spectrum). وذلك باستعمال العلاقة[٢]:

$$S_d = \frac{1}{4.\pi^2} S_a.T^2 \qquad (٢٤)$$

ويبين الشكل رقم (٥) مثالاً لهذا المخطط.



الشكل رقم (٥) مخطط Sa-T ومخطط Sa-Sd (ADRS) [٢]

٣-٥ يتم تقدير التخامد الناتج عن السلوك اللدن: عندما تقود الحركة الأرضية الزلزالية المنشأ إلى المجال اللامرن فإن تخامد المنشأ يصبح مجموع التخامد اللازج المتأصل في المنشأ والتخامد المتبقي [٢]:

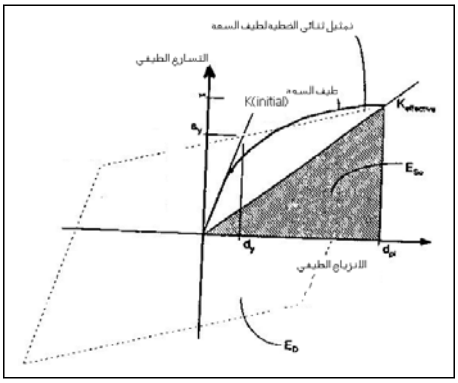
$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \quad (٢٥) \qquad \text{و} \qquad \beta_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{so}} \quad (٢٦)$$

حيث:

β_0 - التخامد المتبقي ممثلاً كتخامد لازج مكافئ مرتبط بمساحة دورة متبقية كاملـة، ويساوي $\frac{1}{4\pi}.\frac{E_D}{E_{so}}$.

٠.٠٥- التخامد اللازج المتأصل في المنشأ البالغ ٥% (وتم افتراضه ثابتاً).

E_D - الطاقة المبددة بالتخامد. وهي المساحة المحاطة بدورة متبقية، وتساوي مساحة متوازي الأضلاع. (الشكل رقم (٦)).



الشكل رقم(٦) مخطط الدورة المتبقية المستعمل لحساب التخامد المتبقي [٢]

E_{so} - طاقة الانزياح النسبي الأعظمية.وهي مساحة المثلث المهشّر في الشكل نفسه، ومساوية لـ $a_{pi} \times d_{pi} / 2$.

وبحساب المساحات نجد في النتيجة أن:

وتكتب في حالة اعتبارالتخامد كنسبة

$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y.d_{pi} - d_y.a_{pi})}{a_{pi}.d_{pi}} \quad (٢٧)$$

مئوية:

وبذلك تصبح قيمة التخامد

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y.d_{pi} - d_y.a_{pi})}{a_{pi}.d_{pi}} \quad (٢٨)$$

اللزج المكافئ:

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

أو

$$\beta_{eq} = \frac{63.7(a_y.d_{pi} - d_y.a_{pi})}{a_{pi}.d_{pi}} + 5 \quad (٢٩)$$

حيث: a_y و d_y هما التسارع الطيفي والانزياح الطيفي لنقطة الخضوع.

a_{pi} و d_{pi} هما التسارع الطيفي والانزياح الطيفي لنقطة الأداء، ويتم الحصول عليها بالتقريب المتتالي كما سيتم شرحه في خطوة لاحقة.

إلا العلاقة السابقة تعبر عن تخامد دورة متبقية واحدة، وبحالة وجـود عـدة دورات متبقية (حيث يقل التخامد المتبقي مع تقدم الدورات المتبقية) يتم إدخـال العامـل κ لحساب التخامد الفعال بحيث تصبح العلاقة السابقة:

$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 5$ حيث تعطى قيمة κ من الجدول رقم (١) [٢].

تعتمد قيمة κ على السلوك الإنشائي للمنشأ الذي بدوره يعتمد على نوعيـة الجملـة المقاومة للزلازل وعلى طول مدة الهزة الأرضية. تم هنا اعتبار ثلاثة أصـناف مـن السلوك الإنشائي:A و B و C. وذلك وفق الجدول رقم (٢)، حيث يمثّل العمود الثاني في هذا الجدول منشآت جديدة بشكل أساسي (Essentially New Building) وغالباً ما تتألف هذه المنشآت من جمل مقاومة للقوى الجانبية ومصممة على وجـود تفاصـيل تتوافق مع التفاصيل المطلوبة لمقاومة الزلازل الواردة في الكودات الحديثة (مثل الكود العربي السوري وملحقه رقم ٢ [٩] والكود الحديث من AASHTO [٤])، وهذه الجمـل

هي التي تعطي المقاومة الأساسية للجملة وقساوتها في حين تسهم عناصـر موجـودة غير متوافقة مع كودات حديثة بمقاومة أو قساوة قليلة. ويمثل العمود الرابع في هـذا الجدول منشآت موجودة بمستوى ضعيف (Poor Existing Building) ويكون لهـذه المنشآت جملة مقاومة للقوى الجانبية بسلوك متبق غير معروف أو غير موثوق به، أو معروف بأنه يفقد مقاومته. أما العمود الوسطي فيستعمل للحالات الأخرى، أي لمنشآت موجودة بمستوى متوسط (Average Existing Building)، ويمكن أن تكـون هـذه الحالة مناسبة لأغلب الأبنية القائمة التي تحتاج إلى إعادة تأهيل.

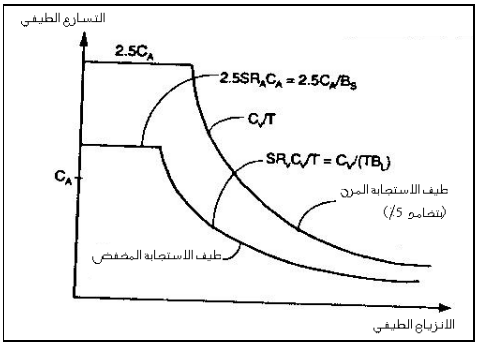
الجدول رقم (١): قيم معامل تعديل التخامد κ [٢]

نموذج السلوك الإنشائي	β_o كنسبة مئوية	κ
النموذج A	أصغر أو تساوي ١٦.٢٥	١.٠
	أكبر من ١٦.٢٥	$1.13-\frac{0.51(a_y d_{pi}-d_y a_{pi})}{a_{pi}d_{pi}}$
النموذج B	أصغر أو تساوي ٢٥	٠.٦٧
	أكبر من ٢٥	$0.845-\frac{0.446(a_y d_{pi}-d_y a_{pi})}{a_{pi}d_{pi}}$
النموذج C	أي قيمة	٠.٣٣

الجدول رقم (٢): أصناف السلوك الإنشائي [٢]

طول مدة الهزة	منشآت جديدة بشكل أساسي	منشآت موجودة بمستوى متوسط	منشآت موجودة بمستوى ضعيف
قصير	نموذج A	نموذج B	نموذج C
طويل	نموذج B	نموذج C	نموذج C

٣-٦ يتم تعديل (تخفيض) مخطط طيف الاستجابة (المعطى لنسبة التخامد النموذجية ٥%) ليتناسب مع ازدياد التخامد الناتج عند دخول العمود في مرحلة اللاخطية.



الشكل رقم (٧) تخفيض طيف الاستجابة [٢]

بالحصول على قيمة β_{eff} نستطيع تقدير عوامل التخفيض الطيفي. يبين الشكل رقم (٧) عوامل التخفيض الطيفي المستعملة لإنقاص طيف الاستجابة المرنة (بتخامد ٥%) ليصبح طيف استجابة بتخامد أكبر من ٥% من التخامد الحرج، حيث يبين الشكل وجود معاملي تخفيض هما SR_A و SR_V، تعطى قيمتيهما بالعلاقتين[٢]:

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.681.\ln(\beta_{eff})}{2.12} \qquad (٣٠)$$

ويجب أن تكون قيمتها أكبر أو تساوي القيمة الدنيا الواردة في الجدول رقم (٣).

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41.\ln(\beta_{eff})}{1.65} \qquad (٣١)$$

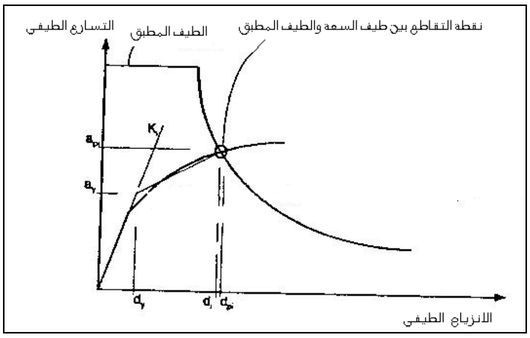
ويجب أن تكون قيمتها أكبر أو تساوي القيمة الدنيا الواردة في الجدول رقم (٣).

الجدول رقم (٣): القيم الدنيا لمعاملي التخفيض [٢]

نموذج السلوك الإنشائي	SR_A	SR_V
نموذج A	٠.٣٣	٠.5
نموذج B	٠.٤٤	٠.٥٦

نموذج C	٠.٥٦	٠.٦٧

٣-٧ يتم رسم المخططين السابقين (منحنى السعة وطيف الاستجابة) على مخطط واحد. يبين الشكل رقم (٨) مثالاً على ذلك.



الشكل رقم (٨) رسم المخططين على مخطط واحد [٢]

٣-٨ يتم من هذا المخطط تحديد إحداثيات نقطة الأداء وذلك بالتقريب المتتالي، حيث نفترض نقطة أداء افتراضية (يتم اختيارها عادة بأخذ الانزياح مساوياً للانزياح فيما لو استمر المنشأ بسلوك مرن) ونحسب β_{eff}، ثم نحسب عوامل التخفيض لمخطط طيف الاستجابة المطبق ونعيد رسمه، فإذا لم يتجاوز الفرق بين نقطة تقاطع هذا المنحنى مع منحنى طيف السعة ٠.٠٥ [٢] نعد عندها أنها هي نقطة الأداء، أما إذا زاد الفرق على هذه القيمة فنفترض نقطة أداء أخرى ونعيد الخطوات.

٣-٩ من نقطة الأداء يتم تحديد الانزياح والقوة المطبقة والعزم ومقدار زاوية دوران المفصل اللدن المتشكل أسفل العمود.

٤ المعايير المطبقة في تقييم الضرر الزلزالي والمعايير المطبقة في هذا البحث:

في الجسور الطرقية من البيتون المسلح تكون عادة الانزياحات اللدنة محكومة بمواقع تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الركائز أو الركائز الوسطية الجدارية وليس في عناصر القسم العلوي للجسر حيث من غير المرغوب فيه ظهورها فيها، لأن حدوث

الضرر فيها سيكون من الصعب والمكلف إصلاحه وكذلك فإن ظهور الأضرار في القسم العلوي يخرج الجسر من الخدمة مباشرة[٢]. يتم تقييم الضرر الزلزالي المتوقع في أعمدة الجسور البيتونية المسلحة باستعمال التحليل اللاخطي. حيث تم تقسيم حالات الضرر المتوقع إلى الحالات الآتية [٥] و [٦]:

الجدول رقم (٤) وصف حالات الضرر

الرمز	حالة الضرر		الوصف
N	No Damage	لا ضرر	ليست هناك أية أضرار على المنشأ، وهي الحالة المرنة أو القريبة منها
S أو IO	Slight/ Minor Damage Immediate Occupancy	أضرار خفيفة أو حالة التشغيل الفوري	تشققات خفيفة في الأعمدة وتشظية في حدودها الدنيا، وتصنف كأضرار لا تحتاج إلا إلى إصلاحات شكلية تجميلية، ويمكن أن يتم الإصلاح دون توقف الجسر عن التشغيل
M أو LS	Moderate Damage Life Safety	أضرار متوسطة أو حالة المحافظة على الحياة	تظهر تشققات متوسطة وتشظية في الأعمدة قد تعطل الجسر مدة قصيرة إلى حين الإصلاحات
E أو SS	Extensive Damage Structural Stability	أضرار شديدة أو حالة الاستقرار الإنشائي	تظهر تشققات كبيرة وتنخفض مقاومة العمود ويصبح الجسر غير أمين وتتطلب إعادة تأهيله مدة طويلة وكلفة عالية وقد لا يكون من المجدي الإصلاح
C	Complete Damage	ضرر كامل	تنهار الأعمدة

	and Failing	أو انهيار	

وهناك عدة بحوث ودراسات لإيجاد المعايير المناسبة لتقييم حالة الضرر التي يمكن أن يتعرض لها عمود جسر عند تعرضه لحمولة زلزالية محددة، فمنها ما اعتمد على قيمة مؤشر الضرر DI، ومنها ما اعتمد على قيمة زاوية دوران المفصل اللدن المتوقع تشكله أولاً في العمود، ومنها ما اعتمد على قيم أخرى. يبين الجدول رقم (٥) مثالاً لأحد المعايير المعتمدة على قيمة مؤشر الضرر[١٥]، كما يبين الجدول رقم (٦) مثالاً لأحد المعايير المعتمد على مقدار زاوية دوران المفصل اللدن [٢] و [٥].

الجدول رقم (٥) معيار ضرر يعتمد على قيمة مؤشر الضرر:

حالة الضرر	N	S او IO	M أو LS	E أو SS	C
قيمة مؤشر الضررDI	0-0.1	0.1-0.25	0.25-0.4	0.4-0.8	0.8-1

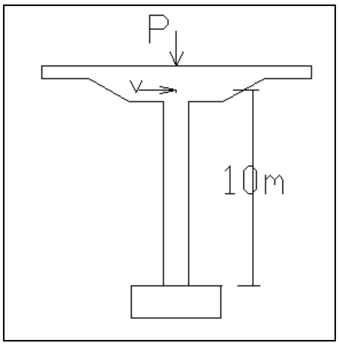
الجدول رقم (٦) معيار ضرر يعتمد على قيمة زاوية دوران المفصل اللدن:

حالة الضرر	N	S او IO	M او LS	E او SS	C
زاوية دوران المفصل اللدن بالراديان	٠	0-0.005	0.005-0.01	0.01-0.015	اكبر من ٠.٠١٥

تم في هذا البحث تقييم حالة الضرر المتوقع حدوثه في العمود عند تعرضه إلى حمولة زلزالية معبر عنها كطيف الاستجابة الوارد في الكود السوري.

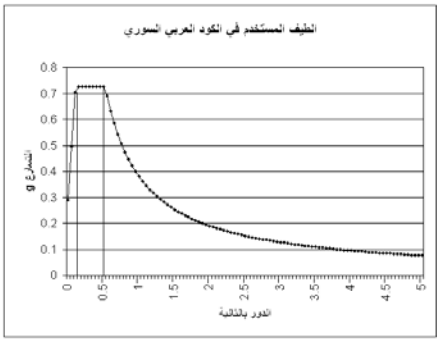
٥ منهجية البحث:

تم بدايةً دراسة حالة بسيطة وهي حالة عمود دائري ظفري (موثوق به من طرف وحر من طرفه الآخر) وهو يمثل عموداً لجسر، ويبين الشكل رقم (٩) رسماً توضيحياً لهذا الجسر.



الشكل رقم (٩)- شكل الجسرالمدروس

يتعرض الجسر لحمولة شاقولية ميتة وحمولة زلزالية مرنة مأخوذة وفق طيف الاستجابة الزلزالي المرن الوارد في الكود السوري [٩]. تم افتراض معامل زلزالي يتعلق بموقع العمود ونوعية تربة التأسيس (حيث تم افتراض أن التربة ذات كثافة عالية) وأن نموذج المقطع الموافق لها حسب الكود العربي السوري هو Sc، كما تم افتراض أن المعامل الزلزالي المأخوذ من خرائط الكونتور هو Z=0.25 وهو الموافق لمدينة دمشق، وبذلك تكون قيمة المعاملين Ca و Cv : (Cv=0.38 و Ca=0.29))، وتم افتراض أن نسبة التخامد ٠.٠٥. وتمت الدراسة في المستوي X-Z . وتم اعتبار العمود مطاوعاً ومحققاً على القص. يبين الشكل رقم (١٠) طيف الاستجابة المطبق.



الشكل رقم (١٠) طيف الاستجابة المطبق وفقاً للكود السوري

وتم إجراء التحليل باستعمال تحليل العزم-التقوس (Moment-Curvature) ليتم بعدها إيجاد زاوية دوران المفصل اللدن اعتماداً على العلاقات الآتية [1] و [8] و [17]:

طول المفصل اللدن (f_y in Mpa):

$$\boxed{L_p = 0.08.L + 0.022.f_y.dbl \geq 0.044.f_y.dbl} \quad (٣٣)$$

الانزياح عند الخضوع المثالي:

$$\boxed{D_{cyi} = (L^{3/2}).\phi_{yi}} \quad (٣٤)$$

الانزياح الكلي (المرن واللدن عند نقطة بعد نقطة الخضوع المثالي):

$$\boxed{D_{total} = D_{cyi} + D_p} \quad (٣٥)$$

الانزياح اللدن عند نقطة بعد نقطة الخضوع المثالي:

$$\boxed{D_p = \theta_p.(L - L_p / 2)} \quad (٣٦)$$

دوران المفصل اللدن عند نقطة بعد نقطة الخضوع المثالي:

$$\boxed{\theta_p = L_p.\phi_p} \quad (٣٧)$$

حيث:

L_p - طول المفصل اللدن بالمم.

L - المسافة من المقطع الحرج للمفصل اللدن إلى نقطة الانحناء بالمم.

dbl - قطر التسليح الطولي بالمم.

f_y - مقاومة الخضوع لحديد التسليح الطولي بالميغا باسكال..

D_{cyi} - الانزياح عند نقطة الخضوع المثالية بالمم.

ϕ_{yi} - التقوس (curvature) عند نقطة الخضوع المثالية.

D_{total} - الانزياح الكلي المرن واللدن.

- D_p الانزياح اللدن.

- θ_p زاوية الدوران اللدن بالراديان.

- ϕ_p مقدار التقوس اللدن.

أُجري هذا التحليل باستعمال برنامج CONSEC الذي تم وضعه من قبل الباحث Robert Matthews.[١٦]، وتم إيجاد نقطة الأداء باستعمال برنامج التحليل الإنشائي SAP2000 [٧].

تم اعتبار نسبة التسليح الطولي في كل العينات ٢% (وهي النسبة العملية)، وباعتبار حالتين لنسبة الحمولة الشاقولية (أي النسبة $\frac{P}{f_c' \times A_c}$ حيث P الحمولة الشاقولية، A_c مساحة المقطع البيتوني للعمود، f_c' المقاومة الأسطوانية للبيتون في الضغط): نسبة عالية ٣٤%، ونسبة منخفضة ١٥%. كما تم اختيار أقطار مختلفة لعمود الركيزة لكل نسبة حمولة شاقولية: ١-١.٥-٢ متر.

قُيمتْ كل حالة على حدة وسجلتْ حالة الضرر المتوقعة لها ضمن جدول خاص بها. حيث تم اعتبار حالة الضرر N مقبولة، أما حالات الضرر الأشد فبحاجة إلى إعادة تأهيل للعمود الناتجة فيه.

ولمحاولة تحسين أداء العمود، تم تغليف العمود بقميص بيتوني (أي زيادة سماكة كل عمود متضررمع المحافظة على نسبة التسليح) بسماكات متزايدة بمقدار ٠.١ م مع المحافظة على نسبة التسليح الطولية.

٦ توصيف الحالة المدروسة:

- تم اعتبار العينات المدروسة أعمدة دائرية من البيتون المسلح بارتفاع ١٠ أمتار وبأقطار ١٠٠-١٥٠-٢٠٠ سم.

- المقاومة الأسطوانية للبيتون في الضغط f'c=220 kg/cm2، ومعامل المرونة: E=220450 kg/cm2.

- إجهاد الخضوع لحديد التسـليح الطـولي fy=4200 kg/cm2، ولحديـد التسـليح العرضي fys=2400 kg/cm2.
- نسبة التسليح الطولي ٢%.
- نسبة الحمولة الشاقولية: يتم تعريف نسبة الحمولة الشاقولية بالعلاقة الآتية [٨]:

$$\boxed{\frac{P}{f_c^{'} \times A_c}} \qquad (٣٨)$$

حيث: P- الحمولة الشاقولية، $f_c^{'}$ - مقاومة البيتون في الضغط، A_c - مساحة مقطع العمود.

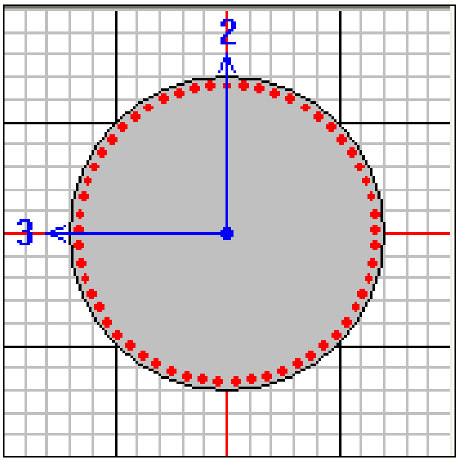
تم اعتبار حالتين: الأولى ٠.٣٤ (للعينات ١ و ٢ و ٣) والثانية ٠.١٥ (للعينات ٤ و ٥ و ٦).

- تم افتراض النموذج الرياضي المستعمل في البرنامج CONSEC هونموذج مانـدر Mander لمخطط الإجهاد-التشـــوه النسبي (stess-strain) للبيتـون ونمـوذج بارك Park لمخطط الإجهاد-التشوه النسبي لحديد التسليح [1] و [١٧]، كما تم افتراض أن المفصل المستخدم هو P-M3 لكون التحليل تم في المستوي X-Z. وهو من النوع Concrete-Columns Flexture الافتراضي الوارد في البرنامج.
- استناداً إلى تحليل العزم-التقوس تم إيجاد عزم العطالة للمقطع المتشقق.
- الحمولة الزلزالية المطبقة مأخوذة من طيف الاستجابة الوارد في الكـود السـوري (الشكل ١٠).
- ويبين الجدول رقم (٧) خواص المواد والأبعاد والتسليح لعينات الأعمدة الأساسـية المستعملة في البحث.

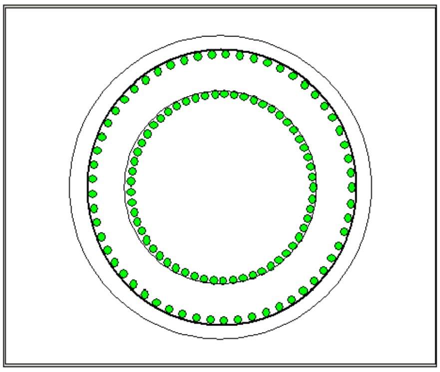
الجدول رقم (٧): مواصفات العينات الحاسوبية الرئيسية

سماكة التغطية m	نسبة التسليح الطولي	التسليح الطولي As m2	التسليح الطولي	نسبة الحمولة المحورية	الحمولة المحورية الميتة ton	طول العمود M	قطر العمود m	رقم العينة
0.04	0.02	0.016	26T28	0.34	590	10	1	1
0.04	0.02	0.035	57T28	0.34	1324	10	1.5	2
0.04	0.02	0.063	62T36	0.34	2349	10	2	3
0.04	0.02	0.016	26T28	0.15	260	10	1	4
0.04	0.02	0.035	57T28	0.15	584	10	1.5	5
0.04	0.02	0.063	62T36	0.15	1036	10	2	6

درِستْ عينات فرعية من هذه العينات الرئيسية، فمثلاً تمت دراسة العينة ١ بعد تغليف العمود بقميص بيتوني سماكته ٠.١٠ متر ثم ٠.٢٠ متر ثم ٠.٣٠ متـر بهـدف بيـان إمكانية تحسين الأداء الزلزالي للعمود بهذه الطريقة. وكذلك بالنسبة لبـاقي العينـات. ويبين الشكل رقم (١١) مقطعاً لعينة رئيسية، ويبين الشكل رقم (١٢) مقطع عينة بعـد تغليفها بقميص بيتوني (مقطع لعينة فرعية).

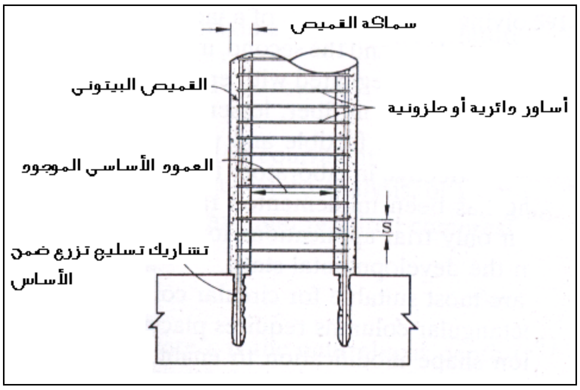


الشكل رقم ١١-مقطع لعينة رئيسية



الشكل رقم ١٢- مقطع لعينة فرعية (بعد تغليف الرئيسية بقميص بيتوني على المحيط)

ويبين الشكل رقم (١٣) مقطعاً طولياً نموذجياً لعملية التغليف لتحسين أداء العمود [1].



الشكل رقم (١٣)- مقطع يبين طريقة وضع القميص البيتوني

٧ نتائج التحليل والتقييم:

تم ترتيب نتائج التحليل للعينات الرئيسية والفرعية وكذلك حالة الضرر المتوقعة لها في الجدول رقم (٨).

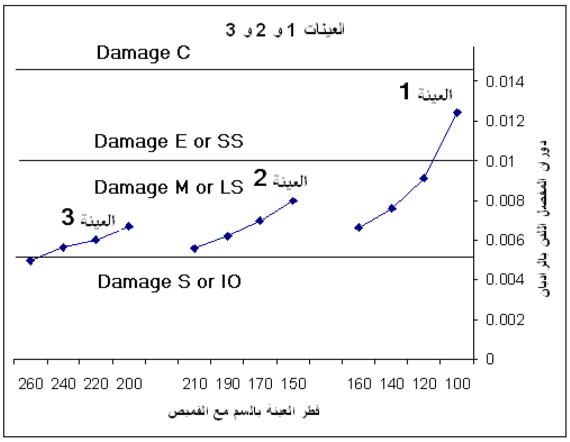
الجدول رقم (٨)- نتائج تحليل وتقييم العينات الرئيسية والفرعية:

رقم العينة	القطر الأساسي سم	سماكة القميص سم	نسبة التسليح الطولي	نسبة الحمولة الشاقولية	الانزياح المطبق سم	زاوية دوران المفصل اللدن	حالة الضرر المتوقعة
١	١٠٠	٠	٠.٠٢	٠.٣٤	٢٧.٨	٠.٠١٢٤٣	Eأو SS
١-١		١٠	٠.٠٢	٠.٣٤	٢٤.٤	٠.٠٠٩١٣	Mأو LS
١-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.٣٤	٢٢	٠.٠٠٧٦٠	Mأو LS
١-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.٣٤	٢٠.١	٠.٠٠٦٦٥	Mأو LS
٢	١٥٠	٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٨.٥	٠.٠٠٧٩٦	Mأو LS
٢-١		١٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٧.٤	٠.٠٠٦٩٧	Mأو LS
٢-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٦.٤	٠.٠٠٦٢٣	Mأو LS
٢-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٥.٣	٠.٠٠٥٦٠	Mأو LS
٣	٢٠٠	٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٤.٥	٠.٠٠٦٦٨	Mأو LS
٣-١		١٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٣.٨	٠.٠٠٦٠٤	Mأو LS
٣-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٣.٣	٠.٠٠٥٦٢	Mأو LS
٣-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.٣٤	١٢.٦	٠.٠٠٤٩٨	Sأو IO
٤	١٠٠	٠	٠.٠٢	٠.١٥	٢١.٣	٠.٠٠٤٥٢	Sأو IO
٤-١		١٠	٠.٠٢	٠.١٥	١٨	٠.٠٠٤٠١	Sأو IO
٤-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.١٥	١٦.٢	٠.٠٠٢٩٦	Sأو IO
٤-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.١٥	١٤.٧	٠.٠٠٢٢٢	Sأو IO
٥	١٥٠	٠	٠.٠٢	٠.١٥	١٤.٦	٠.٠٠٣٢٩	Sأو IO
٥-١		١٠	٠.٠٢	٠.١٥	١٢.٧	٠.٠٠٣٠٦	Sأو IO
٥-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.١٥	١١.٩	٠.٠٠٢٥٣	Sأو IO
٥-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.١٥	١١	٠.٠٠٢١١	Sأو IO
٦	٢٠٠	٠	٠.٠٢	٠.١٥	١١.١	٠.٠٠٢٦٥	Sأو IO
٦-١		١٠	٠.٠٢	٠.١٥	٩.٩	٠.٠٠٢٦٥	Sأو IO
٦-٢		٢٠	٠.٠٢	٠.١٥	٩.٤	٠.٠٠٢٢٣	Sأو IO
٦-٣		٣٠	٠.٠٢	٠.١٥	٨.٩	٠.٠٠١٩١	Sأو IO

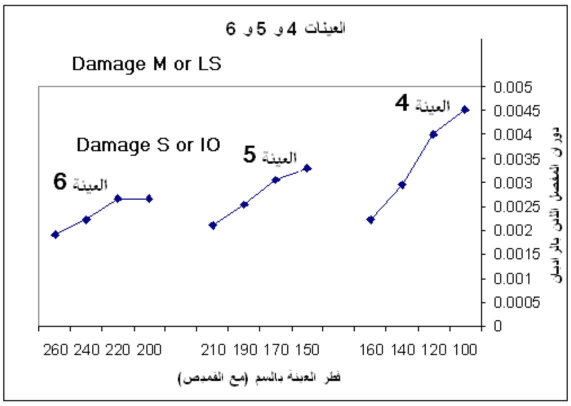
بينت نتائج التحليل وكذلك التقييم في مقطع العزم الأعظمي (عند الوثاقة) وباستعمال طريقة التقييم المشروحة سابقاً أن العينات ٤ و ٥ و ٦ يتوقع حدوث أضرار من النوع Sأو IO المقبولة ومن ثَم فهي لا تحتاج إلى تأهيل إلا إذا أردنا جعلها تسلك سلوكاً مرناً (لأهميتها مثلاً)، ومع ذلك فإنه بتغليفها بقميص وصلت سماكته إلى ٣٠ سم لم نستطع الحصول على ذلك الأداء.

أما العينة ١ فقد أمكن تحسين أدائها من المستوى **E أو**SS إلى المستوى **M** أو**LS** بتغليفها بقميص بيتوني سماكته ١٠ سم.

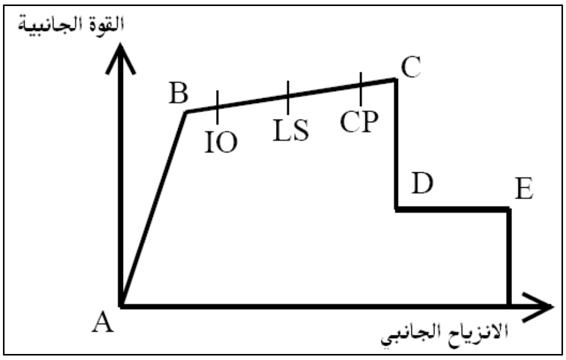
أما العينة ٣ فأمكن تحسين أدائها بتغليفها بقميص بيتوني سماكته ٣٠ سم، وكذلك العينة ٢ فقد قارب أداؤها المستوى S أوIO بوضع قميص بيتوني بسماكة ٣٠ سم (حيث أصبحت زاوية دوران المفصل اللدن ٠.٠٠٥٦ راديان وهي قريبة من ٠.٠٠٥). ويلخص الشكلان ١٤ و ١٥ هذه النتائج.



الشكل رقم ١٤: خلاصة نتائج تقييم العينات ١ و٢ و٣ مع عيناتها الفرعية



الشكل رقم ١٥: خلاصة نتائج تقييم العينات ٤ و٥ و٦ مع عيناتها الفرعية



الشكل رقم ١٦:مخطط نموذجي لمنحنى القوة-الانزياح Pushover مبيناً عليه أماكن حالات الضرر

النتائج والتوصيات:

بتحليل النتائج المبينة في الفقرة السابقة يمكن استخلاص النتائج الآتية:

- إن العامل الأساسي والمهم المؤثر في مستوى الضرر المتوقع حدوثه على عمود ركيزة جسر عند تعرضه لحمولة زلزالية هو نسبة الحمولة الشاقولية المطبقة على العمود (وهي كما ذكرنا سابقاً مساوية لـ $\frac{P}{f_c^{'} \times A_c}$)، حيث تبين أن عموداً قطره ١٠٠ سم ونسبة الحمولة الشاقولية المعرض لها ٠.٣٤ (العينة ١) يكون الضرر المتوقع أن يتعرض له هذا العمود من المستوى E or SS، بينما لعمود له القطر نفسه ومعرض للحمولة الزلزالية نفسها ولكن نسبة الحمولة الشاقولية ٠.١٥ يكون مستوى الضرر المتوقع S or IO (العينة ٤).

- إن تغليف عمود إطار جسر بقميص بيتوني (مع المحافظة على نسبة التسليح الطولي وعلى نسبة الحمولة المحورية) تزداد قساوته ومن ثم تزداد القوة الزلزالية الأفقية المطبقة، ومع ذلك فإن أداء العمود يتحسن ويقل الضرر المتوقع حدوثه بتأثير الحمولة الزلزالية، إلا أن تحسين الأداء يبقى محدوداً إذ من خلال تغليف العينات الستة

بقميص بيتوني وصلت سماكته إلى ٣٠ سم لم نستطع إيصال الأداء إلى حالة المرونة (أي إلى حالة الضرر N).

- لإعادة تأهيل عمود جسر بحيث يصبح أداؤه مرناً يمكن دراسة إمكانية تحقيق ذلك باستعمال طريقة أخرى غير القميص البيتوني، مثل التغليف بقميص معدني أو بقميص من رقائق الفيبر.

- يوصى بإجراء المزيد من الدراسة على تقييم أداء أعمدة الجسور وإمكانية تحسين أدائها بتغليفها بقميص بيتوني وذلك بإدخال عوامل أخرى غير المدروسة في هذا البحث مثل: أثر مقاومة البيتون، وأثر مستوى التطويق الحلزوني، وأثر الشكل الهندسي للعمود، وأثر نسبة التسليح الطولي وغيرها من العوامل الكثيرة المؤثرة في أداء أعمدة الجسور.

- يوصى أيضاً بإجراء دراسة لتقييم أداء أعمدة ركائز الجسور عندما تكون جزءاً من إطار وليست ظفرية، وبيان أثر ذلك في إمكانية تحسين أدائها.

المراجع

1. M.J.N.Priestley, F.Seible, G.M.Calvi, "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Wiley and Sons Inc. 1996.
2. Applied Technology Council, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", 1996.
3. Wai-Fah Chen, Lian Duan, "Bridge Engineering Handbook, Seismic Design", CRC Press, 2000.
4. AASHTO, "Standard Specifications for highway Bridges", Sixteenth Edition, 1996.
5. Building seismic Safety Council, "NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings ", FEMA 273, 1997.
6. Building seismic Safety Council, "NEHRP Commentary on The Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings ", FEMA 274, 1997.
7. Computers and Structures,Inc., "The Computer Program SAP2000", Berkeley,California,USA, 2007.
8. Caltrans, "Seismic Design Creteria", Version 1.4, 2006.
9. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة- الملحق رقم ٢ "تصميم وتحقيق المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل" - نقابة المهندسين السوريين - دمشق ٢٠٠٥
10. A.M. Reinhorn, S.K. Kunnath, J.B. Mander, "Seismic Design of Structures for Damage Control", Elsevier Sience Publishers LTD, 1992. page 63.
11. H. Krawinkler, Chia-Ming Uang, "Sismic Design Based on Ductility and Cumulative Damage Demands and Capacities", Elsevier Sience Publishers LTD, 1992. page 23.
12. E. Cosenza, G. Manfredi, "Seismic Analysis of Degrading Models by means of Damage Functions Concept", Elsevier Sience Publishers LTD, 1992. page 77.

13. P. Faijar, T.Vidic, M. Fischinger, "On Energy Demand and Supply in SDOF System", Elsevier Sience Publishers LTD, 1992. page 41.
14. Dawn E. Lehman and Jack P.Moehle, "Seismic Performance of Well-Confined Concrete Bridge Columns", 2000.
15. Adrian Vulpe, Alexandru Carausu and George Emanuel, "Earthquake Induced Damage Quantification and Damage State Evaluation by Fragility and Vulnerability Models",2001.
16. Robert Matthews, "CONSEC Computer Program", 2004.
17. George G. Penelis and Andeas J. Kappos, "Earthquake-resistant Concrete Structures", 1997.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: ٢٠٠٨/٤/٢٨.