ضبط اهتزاز المنشآت

الكاتب

الدكتور المهندس **محمد فادي نقرش**

اختصاصي التحكم الإنشائي في اهتزازات المنشآت من جامعة طهران

عضو هيئة تدريسية في جامعة الجزيرة الخاصة

محاضر في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية بجامعة دمشق

مدير الخطوط الحديدية السورية في دمشق

جوال: 0999628793 mnakrash81@yahoo.com

Writer

Dr. Eng. Mohammad Fadi Nakrash

Structural Control Specialist in Building Vibrations - University of Tehran

A faculty member at Al Jazeera Private University

Lecturer at the Higher Institute for Seismic Research and Studies at Damascus University

Director of the Syrian Railways in Damascus

Mobile: 0999628793 mnakrash81@yahoo.com

مفردات المحاضرة (باللغة العربية):

1-ما هو دور الفيوز الإنشائي في المباني؟

2-مفهوم الفيوز الإنشائي في الأكواد الهندسية العالمية

3-ألية عمل الفيوز الإنشائي

4-التحقق من معامل المقاومة الإضافية Ω_0 مع كيفية تفعيله في البرنامج الإنشائي ETABS

4-1 ما هو معامل المقاومة المضافة؟

4-2 العوامل المسببة للمقاومة الزائدة

4-3 تطبيق عامل المقاومة المضافة في التصميم

4-4 حساب عامل المقاومة الإضافي للهيكل

4-5 تطبيق عامل مقاومة إضافي فيETBS

5-التحقيق من معامل تضخيم الإزاحة (Cd) مع تطبيقه فيETBS

6-دراسة الفيوز الإنشائي في المباني البيتونية والمباني الفولاذية

7-الأنواع الشائعة في الفيوزات الإنشائية

7-1 شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب

7-2 مخمِّدات الطاقة ADAS

7-3 صفيحة القص

7-4 الإطارات المزودة بشبكات التربيط اللامركزية

7-5 الجوائز الرابطة في جدران القص المزدوجة

8- الاشتراطات الهندسية للفيوزات الإنشائية

8-1 نظام الإطار الانعطافي

8-2 شبكات التربيط المركزية

8-3 شبكات التربيط اللامركزية

9-الخلاصة

Lecture index:

1- **What is the role of structural fuses in buildings؟**
2- **The concept of structural fuse in International building codes**
3- **Structural fuse mechanism**
4- **Checking the additional resistance coefficient Ω_0 and how to activate it in ETABS**

5- **Investigation of the offset amplification coefficient (Cd) with its application in ETBS**
6- **Study of structural fuses in concrete buildings and steel buildings**
7- **Common types of construction fuses**
7.1. Buckling-Restrained Braced **(BRB)**
7.2. (**ADAS** Dampers)
7.3. Shear panel
7.4. Eccentrically Braced Frames **(EBF)**
7.5. Coupling beams in coupled shear walls
8- **Engineering requirements for structural fuses**
8-1 Moment frame system
8-2 Buckling-Restrained Braced **(BRB)**
8-3 Eccentrically Braced Frames **(EBF)**
9- **Conclusion**

مقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم، وأتم الصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى أله وصحبه وسلم، أما بعد، فإنّ ما أصاب بلدنا الغالي سورية في 6 شباط 2023 لأمر عظيم والذي أحسبه خيراً من الله لكوكبنا وتغيرات مناخه. وهنا يجب علينا نحن المهندسين أن نقف وقفة حق في مشاريع بلادنا والتقيد بكود البناء والعمل على تطويره دائماً للحفاظ على أرواح أهلنا والحفاظ على مقدرات وطننا الغالي.

ما هو الفيوز الإنشائي؟

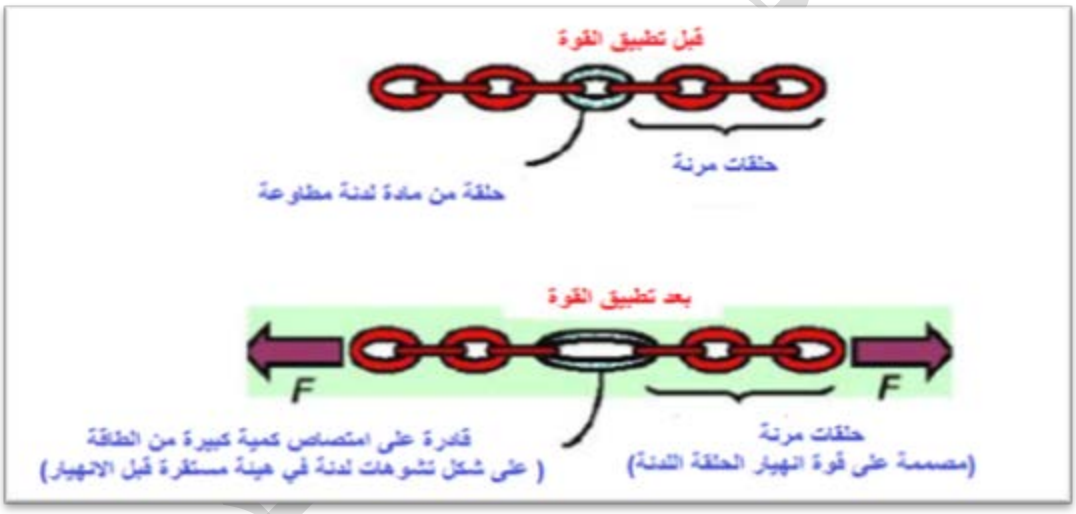
كما نعلم، فإن إحدى الطرق لتقليل الضرر الذي تسببه الزلازل هي تركيز الضرر في عناصر البناء المحددة مسبقاً، يجب أن يكون هذا الضرر في عنصر غير إنشائي يمكن استبداله فوراً بعد انتهاء الزلزال، على سبيل المثال، في تصميم شبكات التربيط اللامركزية، يجب أن نختار الجائز الرابط كفيوز إنشائي.

في هذه المقالة التي تندرج تحت سلسلة ضبط اهتزازات المباني للكاتب، سنقوم أولاً بتعريف الفيوز الإنشائي، ثم سنقوم بدراسة أنواع الفيوزات الإنشائية في المباني البيتونية والفولاذية، ونتطرق في النهاية إلى الاشتراطات الإنشائية لها، أمّا موضوع التحليل والتصميم الإنشائيين لهذه الفيوزات فسيتم عرضها في مقالات قادمة إن شاء الله، حيث سيتم التبحر بعمق بتقنية ADAS (رخيصة الثمن + محلية الصنع + سهلة الزرع والتركيب في المباني البيتونية والفولاذية) بالإضافة إلى الجدوى الاقتصادية والتي أراها محققة وأصبحت منطقية لأصحاب القرار في بلدنا الغالي بعد أحداث 6\ شباط \2023. كما يسرني من جميع زملائي المهندسين التخصصين وطلاب الدراسات العليا الراغبين في العمل بهذا المجال التواصل معي على إيميلي الخاص لوضع نواة حقيقية نرفعها أصولاً إلى لجنة الكود العربي السوري المحترمين لإقرارها، علماً أنه تم تدريس هذه المفردات في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية – قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية منذ عام 2017 وحتى تاريخه والإشراف على عدة رسائل ماجستير بهذا الخصوص ونشر عدة ورقات علمية محلياً وعالمياً سائلاً المولى تعالى كل الخير لبدنا.

الدكتور محمد فادي نقرش

1- ما هو دور الفيوز الإنشائي في المبنى؟

أساس التصميم الذي يعتمد على القدرة Capacity Design هو تصميم أجزاء من المبنى تتمتع بقدر أكبر من المطاوعة Ductility مقارنة بالعناصر الأخرى مع قوى أقل من قوة الزلزال. يتم هذا العمل بغرض أنه بعد إدخال القوى الحقيقية للزلزال، يجب أن تدخل هذه الأجزاء نطاق اللدونة Plasticity من أجل حماية بقية عناصر البناء من خطر التدمير الكامل. لفهم أداء الفيوز الإنشائي بشكل أفضل، يمكن القول أن هذه الاجزاء تعمل مثل الفيوزات الكهربائية. أي إذا تم قطع الفيوز الكهربائي تحت التيار الكهربائي كبير الشدة (غير المصرح به) سيمنع تلف الأسلاك والأجهزة الكهربائية المستخدمة، فإن الفيوز الإنشائي سيتلف بسبب الحمل ذي الشدة الكبيرة (غير المصرح به) ويمنع تلف باقي عناصر المبنى. من أجل تقديم شروح أكثر وبشكل أفضل، سنفوم بشرح فكرة Park and Paulay[1] ، الذين عبّروا أولاً عن طريقة التصميم القائمة على القدرة. لقد افترضوا أن المبنى يشبه عدة حلقات متصلة ببعضها البعض الشكل 1.



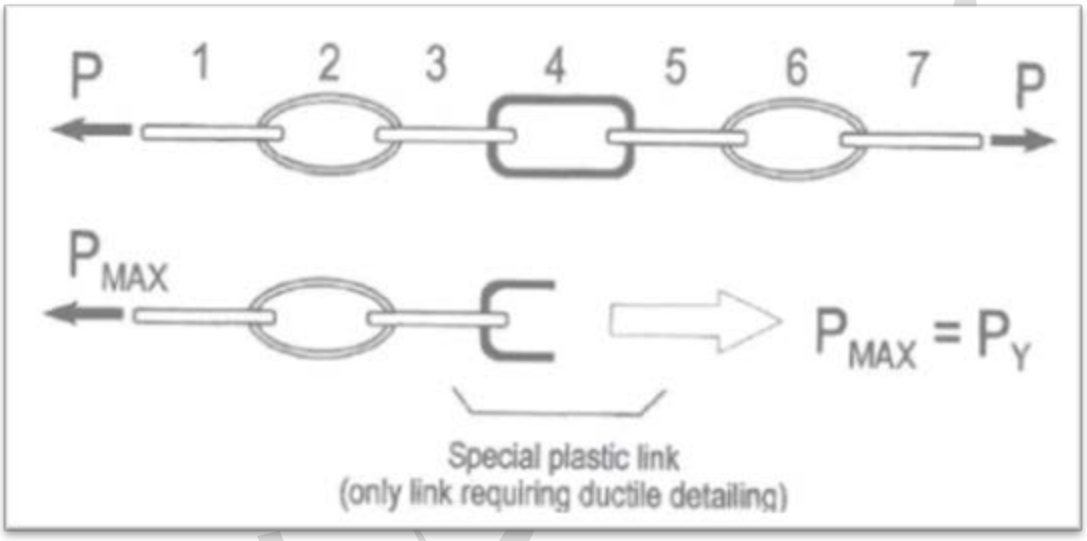
الشكل 1 مبدأ التصميم على القدرة وفق فكرة Park and Paulay

[1] مبدأ التصميم على القدرة هام جدا في تطبيقات الهندسة الزلزالية، ولم يستمر اعتماد هذا المبدأ في شمال أمريكا حتى هذا الوقت فحسب، بل أنّ فلسفة التصميم على القدرة انغمست بشكل ضمني في العديد من الأكواد والتفاصيل والاحتياجات والاشتراطات التي تراها في كافة كتب ومراجع المنشآت الفولاذية والمنشآت البيتونية المسلحة. تم تطوير هذا التصميم في أواخر 1960 في نيوزيلاندا كمبدأ لتحمل تأثيرات مجموعة الزلازل، وفي هذا التصميم معرفة وفهم واتقان السلوك اللامرن للمواد لا مفر منه أثناء الزلازل الشديدة، وهنا علينا أن لا ننسى أن المصمم الناجح هو من يملي أين يجب أن تقع الاستجابة اللامرنة، مناطق تشكل الاستجابة اللامرنة عليها أن تتحمل تشوهات لدنة كبيرة بدون فقدان كبير في المقاومة Strength وبدون ظهور أنماط الانهيار غير المرغوب كالتحنيب الموضعي واللاستقرار في العناصر الفولاذية، ويتحقق ذلك عندما تكون قدرات العناصر الإنشائية المحيطة اكبر من طاقة تحمل الاجزاء اللدنة.

وفقاً لهؤلاء الباحثين، في التصميم الزلزالي من الضروري تعمد تصميم إحدى هذه الحلقات بشكل أضعف بحيث تدخل المجال غير الخطي في أثناء الزلزال وتسبب فقدان طاقة الزلزال. في هذا الصدد ينبغي النظر في النقطتين التاليتين:

1- يجب أن تكون التفاصيل في المنطقة الأضعف بحيث لا تعاني من عدم الاستقرار والتدهور في التشوهات الكبيرة، تسمى هذه الحلقة: (الحلقة المضبوطة بالتشوهات **UU**) الحلقة 4 في الشكل 2

2- يجب تصميم بقية روابط السلسلة بطريقة تجعلها تتمتع بمقاومة بحيث عندما يصل الرابط القابل لتشوه اللدن إلى حد مقاومته اللدنة، تبقى في المجال المرن، تسمى هذه الحلقات: (الحلقات المضبوطة بالقوة **FF**) الحلقات 1 و 2 و 3 و 5 و 6 و7 في الشكل 2.



الشكل2 مبدأ التصميم على القدرة وفق فكرة Park and Paulay

2-مفهوم الفيوز الإنشائي في الأكواد الهندسية العامية:

يظهر مفهوم الفيوز الإنشائي في الكود العربي السوري بمحلقه الثاني في أنه يجب تصميم جميع عناصر المبنى تحت تأثير قوى زلزالية مخفضة أولاً، ثم باستخدام معامل Ω_0 (معامل مقاومة إضافي) حيث يُضرب حمل الزلزال الداخل على المبنى بالمعامل Ω_0 بغرض تصميم العناصر المضبوطة بالاجهادات **FF** Force Control Members التي يجب أن تبقى مرنة حتى تصل كافة الفيوزات الإنشائية الخاضعة للرقابة (العناصر المضبوطة بالتشوه **UU** Strain Control Members) إلى تشوهاتها المحددة.

بعبارة بسيطة يمكن أن نكتب:

1- قوى التصميم لجميع عناصر المبنى: $F_{red} = \frac{F_{eq}}{R}$

2- قوى التصميم للعناصر المضبوطة بالقوة: $\max\begin{bmatrix}\Omega_0 F_{red} \\ F_{\exp}\end{bmatrix}$

حيث:

F_{eq} : القوة الزلزالية

F_{red} : القوة الزلزالية المخفضة باستخدام معامل سلوك المبنى R

$F_{\exp}$: القوة المتوقعة من تلدن الفيوز

يمكن الرجوع إلى ملحق الكود العربي السوري – الملحق 2 لتحديد العامل R والعامل Ω_0 من الجدول 3-6 الصفحة 52. يتم تصميم العناصر المختلفة للمبنى بطريقة تجعل الفيوزات ضعيفة عن عمد بحيث تدخل بالتأكيد المجال غير المرن في أثناء وقوع الزلزال، وهذا يعني تبديد الطاقة الزلزالية (عن طريق الفيوز) ويجب أن تبقى بقية العناصر (المضبوطة على القوة **FF**) مرنة.

الطريقة المنصوص عليها في الأكواد هي أننا نصمم جميع العناصر على قوة زلزال مخفضة، ويتم هذا العمل لضمان دخول العناصر إلى اللدونة في أثناء الزلزال (صورة من صور تبديد الطاقة). ثم نقوم بتصعيد قوى الزلزال من خلال تطبيق المعامل Ω_0 وتصميم العناصر المضبوطة على القوة **FF** (الأعضاء التي يجب أن تظل مرنة حتى يتم تنشيط الصمامات الهيكلية) لهذه القوى، أمّا عناصر الفيوزات فيجب أن تصمم على قوى مخفضة ومن مواد مطاوعة.

3-آلية عمل الفيوز الإنشائي

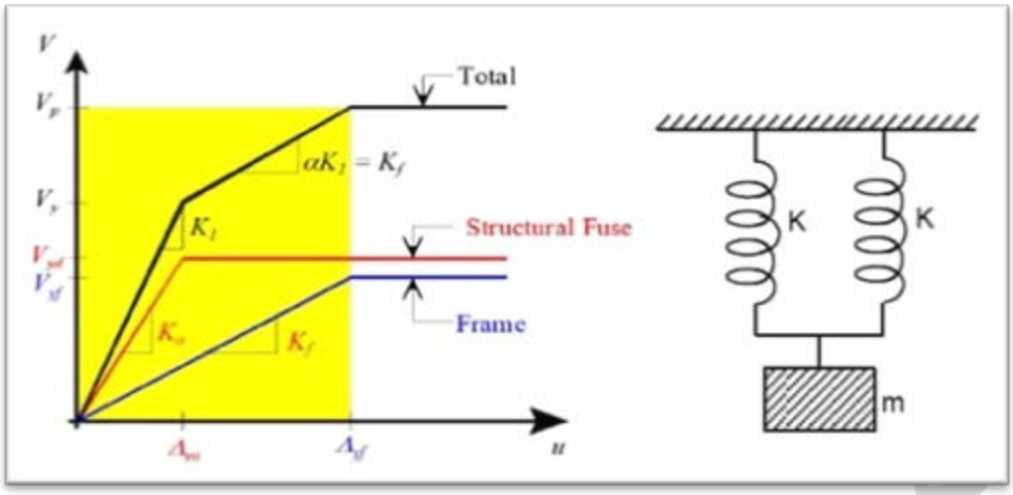
يمكن تقسيم المبنى المزود بـ فيوز إنشائي إلى ثلاثة أجزاء:

1- الأجزاء المصممة على F_{red} والتي تدخل في اللدونة لتبدد الطاقة الزلالية ولكن بعض انهيار الفيوز.

2- الأجزاء المصممة على $\max\begin{bmatrix}\Omega_0 F_{red} \\ F_{\exp}\end{bmatrix}$ والتي يجب أن تبقى مرنة.

3- الفيوز الإنشائي والذي يصمم على F_{red} مع شرط أن يكون من مادة مطاوعة غير قابلة للانهيارات الموضوعية وهو الذي يقوم بتبديد الطاقة الزلزالية بشكل كبير.

هناك ثلاث معاملات رئيسية تصف نظام الفيوز الإنشائي، وهي (الصلابة + الإزاحة + قوة القص الجانبي). بالإضافة إلى هذه المعاملات، تعتبر نسبة المطاوعة والمقاومة مهمة من أجل تقييم جدوى الفيوز الإنشائي المضاف إلى المبنى. يوضح الشكل 3 منحنى (إزاحة – قوة القص) لنظام وحيد درجة الحرية مع نابض (مرن – لدن) في الوضع الربط على التفرع (التوازي).



الشكل 3 منحني (قوة القص – إزاحة) لنظام وحيد درجة الحرية

في المنحني الموضح في الشكل 3 :

K_1 : الصلابة الإجمالية للنظام الكامل[2] (الإطار) K_f مع الفيوز الإنشائي K_a

$$K_1 = K_{Total} = K_f + K_a$$

a : نسبة صلابة الفيوز الإنشائي إلى صلابة النظام (الإطار مثلا)

$$a = \frac{K_a}{K_f}$$

μ_D : معامل مطاوعة النظام كاملا وهي أقصى انتقال ينتجه النظام الكامل Δ_{yf} إلى الانتقال اللدن لهذا النظام والذي يمثله الانتقال اللدن للفيوز الإنشائي Δ_{ya}

$$\mu_D = \frac{\Delta_{yf}}{\Delta_{ya}}$$

α : نسبة تقسية التشوهات للنظام الكامل

V_{yf} : قوة خضوع النظام على القص

V_y : قوة خضوع النظام الكامل على القص

V_p : المقدرة العظمى للنظام الكامل على القص

إحدى النتائج التي يمكن الحصول عليها من الرسم البياني في الشكل 3 هي أن الاستخدام الأكثر كفاءة للفيوز الإنشائي : عندما يكون الفرق بين إزاحة الإطار والفيوز في حدها الأعظمي.

4-التحقق من معامل المقاومة الإضافية Ω_0 مع كيفية تفعيله في البرنامج الإنشائي ETABS

[2] النظام الكامل : أي نظام إنشائي وحيد درجة الحرية مضافا إليه الفيوز الإنشائي
النظام : أي نظام إنشائي وحيد درجة الحرية فقط (الإطار دون الفيوز الإنشائي)

أدى عدم إتلاف وانهيار بعض المباني تحت زلازل أكبر من الزلزال التصميمي إلى القيام ببحث مكثف بشأن المقاومة الزائدة للمبنى، ولكن:

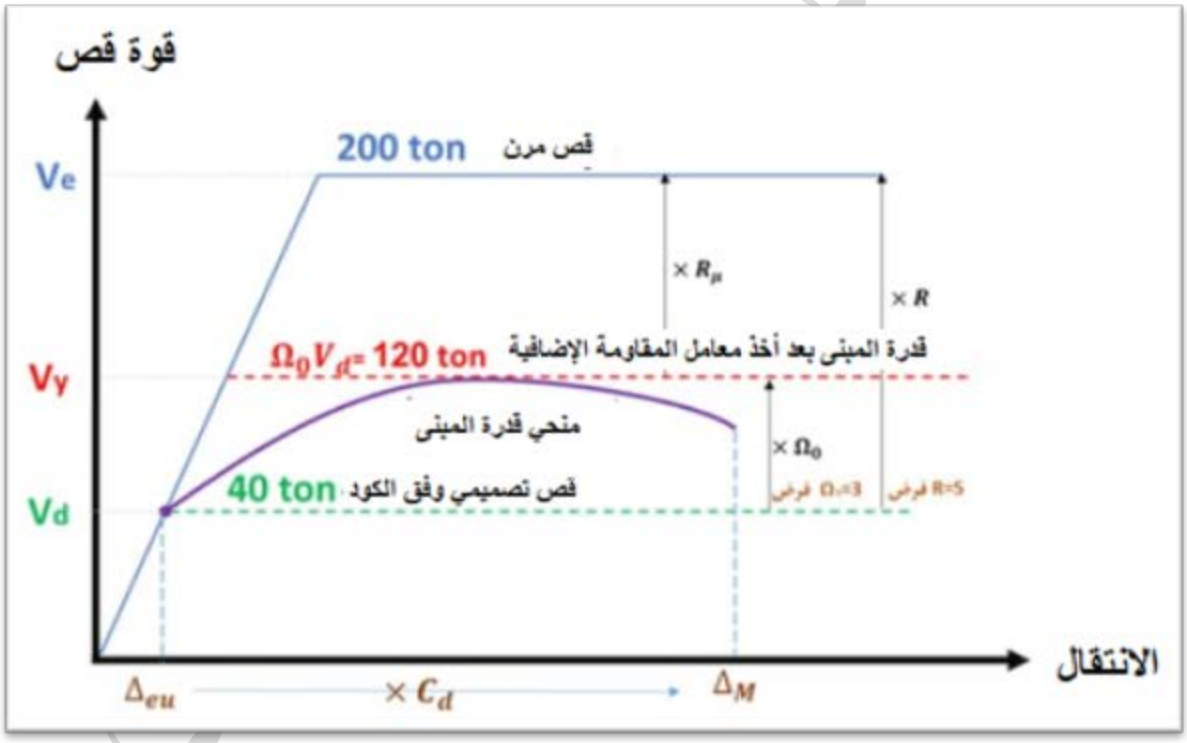
1- ما هو معامل المقاومة الزائدة؟

2- هل ستؤدي طريقة التفاصيل التنفيذية لمكونات المباني إلى مقاومة إضافية للمبنى؟

في هذه الفقرة، سوف نتحقق من مفهوم معامل المقاومة الإضافي للمبنى Ω_0 وكيفية تطبيق معامل المقاومة الإضافي في ETABS.

4 -1 ما هو معامل المقاومة Ω_0 ؟

بعد أن وجد الباحثون العوامل المساهمة في زيادة المقاومة الجانبية للمبنى، أدركوا أن نهج الأكواد الهندسية (في تبسيط الحسابات والنمذجة وتقديم افتراضات لجهة الأمان) من جهة، وأخذ (معايير تنفيذ المخططات الهندسة الإنشائية)، كل ذلك يجعل مقاومة العناصر المنفذة أكبر من المقاومة المعتبرة في عملية التصميم.



الشكل (4) معامل إضافة المقاومة – مثال عددي

بمعنى آخر، أظهر المبنى الحقيقي قدرة أكبر مقارنة بالقدرة التي تم النظر فيها في التصميم (Vs) من خلال تعرضه لقوة الزلزال. من هنا نشأ مفهوم المقاومة المضافة للهيكل في أثناء الزلزال.

4-2 العوامل المسببة للمقاومة الزائدة

العوامل التي يرى الباحثون أنها بالتأكيد وربما فعالة في زيادة قوة المبنى هي:

1- عادة ما تكون القوة الاسمية للفولاذ المستخدم في المبنى (إما في شكل حديد التسليح أو في شكل مقاطع بروفيلية) والتي يتم إدخالها في الحسابات وفي برنامج ETBS أقل من قيمة المقاومة الفعلية.

2- دخول عناصر المبنى في المجال غير الخطي عند حدوث الزلزال وإمكانية الوصول إلى منطقة تقسية التشوهات، يمكن أن يسبب مقاومة إضافية في المبنى.

3- عند رسم مخططات البناء ولسهولة التنفيذ وتقليل أخطاء ورشة العمل، يشرع مهندسو التصميم في تصنيف عناصر المبنى (الجوائز والأعمدة ، ... إلخ)، مما يؤدي إلى إضافة مقاومة غير مرغوب فيها أكبر من متطلبات التصميم.

4- في التصميمات الروتينية، عادةً لا تظهر المكونات غير الإنشائية مثل الجدران المعمارية (بين الإطارات) والمصاعد والسلالم وما إلى ذلك في التصميم، بينما حقيقة هذه المكونات غير الهيكلية أحياناً تملك صلابة وقساوة كبيرة ومقاومة جيدة للحمولات الجانبية مما يزيد من المقاومة الجانبية للمبنى إلى حد ما.

5- لا يتم تضمين تأثير العناصر الإنشائية في المقاومة الجانبية للمبنى؛ على سبيل المثال، زيادة مقاومة الأعمدة في وضع الدوران بسبب تسليحها وربطها مع البلاطات مما يؤدي إلى زيادة قدرة المبنى مقاومة في الزلزال، ونفس الشيء عند اعتبار تشقق العناصر الإنشائية بالحسبان عند التصميم.

6- تكون الافتراضات المبسطة للأكواد في بعض الأحيان بعيدة عن واقع تنفيذ المشاريع وعادة ما تهدف إلى توفير هامش آمن. على سبيل المثال، توصيل شبكات التربيط بصفيحة مجمعة، والتي تم تصميمها وتجدر الإشارة إلى أن أي مبنى يتمتع بمقاومة أكبر تحت حمل الزلزال التصميمي، يتمتع بمعامل سلوك R فعلي بقيمة أكبر من القيمة التصميمية.

4-3 تطبيق عامل المقاومة الإضافية في تصميم المبنى

تتجاهل أكواد الزلازل الجديدة تصميم الأعضاء الخاصة والحساسة (والتي تم ذكرها سابقا) على أثر المقاومة الإضافية في زيادة عامل السلوك وتتبع نهجاً متحفظاً، للتعويض بطريقة أو بأخرى عن نقاط الضعف في عدم معرفة السلوك الحقيقي لهذه العناصر واكتساب الثقة في سلامتها وأدائها.

تحاول هذه الأكواد تصميم عناصر خاصة تحت زلزال أقوى من زلزال التصميم والذي يتم تقديمه على أنه "**زلزال مكثف**"، عن طريق تقليل معامل السلوك للهيكل وزيادة قوة الزلزال القادم، يتم أخذ الحالة الأكثر أهمية في تصميم هذه العناصر، بحيث يكون سلوكها صحيح خلال الزلزال. بهذه الطريقة، على سبيل المثال، يحدث إنشاء مفاصل لدنة في الأعمدة الحاملة الجانبية في المراحل الأخيرة من انهيار المبنى وبعد إنشاء المفاصل في جميع جوائز الإطارات الانعطافية.

ضبط قاعدة (العمود القوي – الجائز الضعيف) هي أيضًا تحمل نفس المعنى بتأجيل إنشاء المفاصل في الأعمدة.

4-4 حساب معامل المقاومة الإضافي للمبنى

يأخذ الكود العربي السوري في ملحقه الثاني أثر المعامل Ω_0 بضرب عامل المقاومة الإضافي (Ω_0) في قوة الزلازل الأفقية التي تم الحصول عليها من التحليل الخطي الثابت أو التحليل الخطي الديناميكي، وتأخذ في الاعتبار تضخيم القوة فيها.

وتجدر الإشارة إلى أن الزلزال الذي يصيب المبنى يشمل المركبة الأفقية للزلزال (E_h) والمركبة القائمة للزلزال أيضا (E_v)، ويتم تطبيق عامل تكثيف الزلزال فقط على المركبة الأفقية للزلزال ($E_h * \Omega_0$)

يتم تحديد قيمة معامل المقاومة المضافة (Ω_0) بناءً على نوع النظام الإنشائي لكل اتجاه وفقاً للعمود الثالث من الجدول 3-6 في الصفحة 52 من ملحق الكود.

العناصر المحددة التي يجب تصميمها بناءً على زلزال مكثف:

المسقط الذي يحوي عدم انتظام خارج المستوى أو عدم انتظام عناصر نظام مقاومة الأحمال الجانبي وجدار القص وشبكات التربيط أو العمود غير المستمر إلى الأساس؛ تعتبر الأعمدة والجوائز والبلاطات التي تنقل الحمل الجانبي" **عناصر خاصة FF**"

يجب تصميم هذه العناصر على حدوث زلزال مكثف (تطبيق عامل مقاومة إضافي) لضمان أدائها السليم في أثناء الزلزال.

بالإضافة إلى العناصر الخاصة FF يجب أيضًا تصميم العناصر التالية لحدوث زلزال مكثف:

1. الأعمدة التي تتحمل أحمال الزلزال (مثل أعمدة الإطارات الانعطافية).
2. صفائح تثبيت الاعمدة بالأساسات (منشأ فولاذي).
3. الأعمدة الموجودة في محل انقطاع (استمرار شبكة التربيط أو جدار القص).
4. عناصر المجمع Collector في ديافرام البلاطات.

4-5 تطبيق عامل مقاومة إضافي فيETBS

لتطبيق هذا المعامل، بعد تحديد قيمته وفقًا للكود، نقوم بإدخاله في ETABS من خلال المسار التالي:

بعد تحديد الخيار View/Revise Preferences... ستظهر نافذة كما هو موضح في الشكل أدناه، حيث ترتبط البنود رقم 6 و 9 و 10 على التوالي بمعاملات درجة عدم التقرير(ρ) والمقاومة الزائدة (Ω_0) و تكبير الإزاحة (C_d) بتحديد أي خيار ، يمكن تغيير القيمة الافتراضية للبرنامج حسب الحاجة.

تذكر:

1. معامل المقاومة الإضافي (Ω_0) ومعامل درجة عدم التقرير (ρ) هما في الواقع معاملات زيادة حمل الزلزال التصميمي في المباني التي لديها احتمالية عالية لحدوث سلوك غير متوقع تحت أثر الزلزال.

2. إن تطبيق هذه المعامِلات في الحسابات تسبب زيادة قوة الزلزال V_s وانخفاض معامل سلوك المبنى R، ويحاول تصميم عناصر المبنى على قوة أكبر عندما يكون هناك احتمال غير مرغوب فيه لسلوك هذه العناصر بحيث نتجنب الانهيار فيها.

5-التحقيق من معامل تضخيم الإزاحة (Cd) مع تطبيقه فيETABS

نعلم جميعاً أن التحليل الذي يتم إجراؤه للمبنى خطي افتراضياً (التحليل الخطي الثابت، الطيفي، التاريخ الزمني)، لكن السلوك الفعلي للمبنى غير خطي. إذا كيف يمكن معايرة النتائج؟ يكون ذلك عن طريق معامل تضخيم الإزاحة **Cd**.

ما هو عامل تكبير الإزاحة؟

تظهر العناصر المضبوطة على التشوه UU في المبنى عموماً سلوكاً غير خطي تحت قوة الزلزال، حيث تؤدي إلى زيادة المطاوعة واستهلاك طاقة أكثر. يمكن أن يكون هذا السلوك غير الخطي عاملاً لزيادة الإزاحة الجانبية للمبنى. لكن من ناحية أخرى، يتم إجراء الحسابات البرمجية واليدوية بشكل عام بشكل خطي في طرق (التحليل الثابت والتحليل الطيفي وتاريخ الزمني).

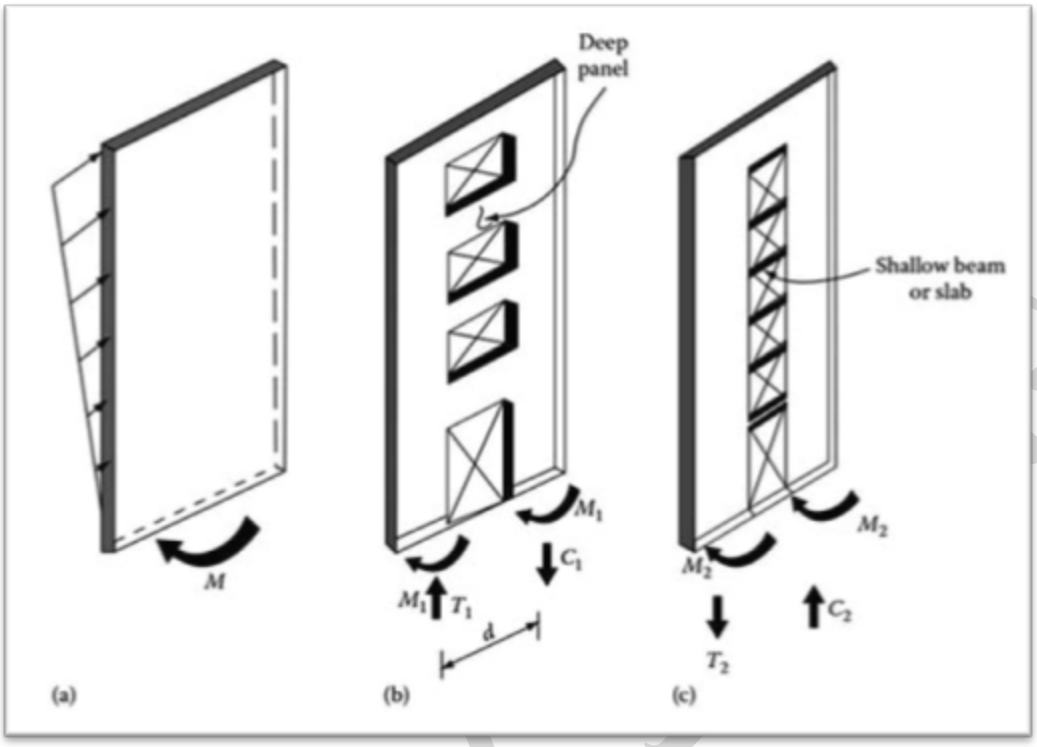
الآن السؤال الذي يطرح نفسه هو كيف يمكن معايرة السلوك الحقيقي (غير الخطي) للمبنى والسلوك الخطي للنموذج في الحسابات؟ هل من الضروري إنفاق الكثير من الوقت على التحليل غير الخطي للنموذج وحساب المقدار الحقيقي للإزاحة؟

في هذه الحالة، تقترح الأكواد معاملات لتقريب السلوك الحقيقي للمبنى من سلوك النموذج (في الوضع الخطي). من خلال تطبيق عامل Cd. هذا المعامل المعروف باسم "عامل تضخيم الإزاحةCd "، هو في الواقع محول إزاحة خطي إلى غير خطي بدون إجراء تحليل غير خطي وهو قريب من قيمة معامل سلوك المبنىR يتم تحديد قيمة هذا المعامل بناءً على نوع النظام الإنشائي لكل اتجاه.

6-دراسة الفيوزات الإنشائية في المباني البيتونية والمباني المعدنية

يمكن استخدام الفيوزات الإنشائية في المباني البيتونية والمباني الفولاذية على سواء، فالمصممون الإنشائيون يمكنهم تصميم أنواع مختلفة من الفيوزات الإنشائية في المباني الفولاذية، إلا أن الحال في المنشأت البيتونية يواجه العديد من القيود، ومع ذلك يمكن تصميم الفيوزات الإنشائية في المباني البيتونية، كمايلي:

1- فيوزات إنشائية في جدران القص (الجوائز الرابطة) الشكل 4



الشكل 4 تحديد أبعاد الجائز الرابط في جدران القص لغرض تحقيق الفيوز الإنشائي

2- مبدأ الجائز الضعيف والعمود القوي، حيث يتم استخدام FRP لتقوية العقدة عمود – جائز ، وأيضا يمكن إضعاف الجائز بواسطة أنبوب بداخله بالقرب من وصله بالعمود الشكل 5.

7-الأنواع الشائعة من الفيوزات الإنشائية

على الرغم من أنه يمكن استخدام أي نوع من الفيوزات الإنشائية لغرض التحكم في اهتزاز المبنى في أثناء الزلزال، ولكن لأسباب مثل: تفاصيل البناء وموقع المبنى ونوع المبنى و.... فإنَّ هناك أنواع محددة من الفيوزات يمكن استخدامها للحصول على النتيجة المطلوبة، سنذكر الأنواع الشائعة من الفيوزات الإنشائية:

6-1 شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب BRB:

من عيوب شبكات التربيط المركزية: اختلاف المقدرة على الضغط وعلى الشد التي تتعرض لها نتيجة الحمل الترددي، وأيضاً انخفاض المقاومة بعد تحنيب هذه الشبكات، وانخفاض ديمومة تبديد الطاقة بعد التحنيب الأول. علماً أن عملية تحنيب أعضاء شبكات التربيط المترافقة مع انخفاض المقاومة يزيد من التشوهات اللدنة مما يؤدي إلى زيادة امتصاص الطاقة ويساهم في حماية المبنى.

أمّا في شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب والتي تعتبر حالة خاصة من شبكات التربيط المركزية فهنا يظهر أثر الخضوع المحوري على الشد والضغط (الدهس) في نقاط الاتصال تبديد الطاقة وامتصاصها.

شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب BRB لديها مطاوعة وبالتالي قدرة على امتصاص الطاقة الزلزالية أكبر مقارنة بالإطارات المزودة بشبكات تربيط مركزية CBF، لأنه يتم منع الانحناء الكلي لشبكة التربيط، وتقليل مقاومتها في القوى والتشوهات المرتبطة بالإزاحة النسبية.

تتكون شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب، كما هو موضح في الشكل 7، من نواة فولاذية ونظام تكسية يقيد التحنيب للنواة الفولاذية، جوهر النواة الفولاذية لعنصر التربيط هو المصدر الأساسي لامتصاص الطاقة. يمكن أن نرى أشكالاً مختلفة من الغلاف الخارجي، بالطبع النوع الشائع من الغلاف الخارجي هو غلاف فولاذي صندوقي مفرغ، مملوء بالخرسانة من الداخل. وفقاً لتقرير المعهد الوطني لبحوث الزلازل في تايوان، بصرف النظر عن الخرسانة، يمكن أيضاً استخدام الخشب والرمل كمواد تعبئة.

الشكل 7-1 شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب BRB

توفر عناصر شبكات التربيط الممنوعة من التحنيب في الإطارت سلوكاً تباطؤًا ثابتاً ومستقراً تحت قوى الشد والضغط في أثناء التشوهات المتعددة غير المرنة.

في الشكل 10 تم إجراء مقارنة بين الإطارين CBF و BRBF تحت تأثير الحمل الجانبي الترددي، حيث تبين أنَّ ديمومة عمل تبديد الطاقة في BRBF واضحة تماماً، في حين هناك دورة تبديد طاقة واحدة فقط في CBF، كما أنَّ إن امتصاص هذه إطارات BRBF للطاقة يفوق جدوى تبديد الطاقة في الإطارات الانعطافية الخاصة SMF. يتم تحقيق هذه المطاوعة العالية في BRBF عن طريق الحد من تحنيب النواة الفولاذية خلال زلزال متوسط إلى شديد لضمان تحمل النواة التشوهات الكبيرة غير المرنة. في

الإطارات المزودة بشبكات تربيط ممنوعة من التحنيب تم تصميم شبكة التربيط كفيوز إنشائي وتبقى جميع الأجزاء الأخرى من الإطار والوصلات في المجال المرن.

2.6 مخمِّدات الطاقة ADAS

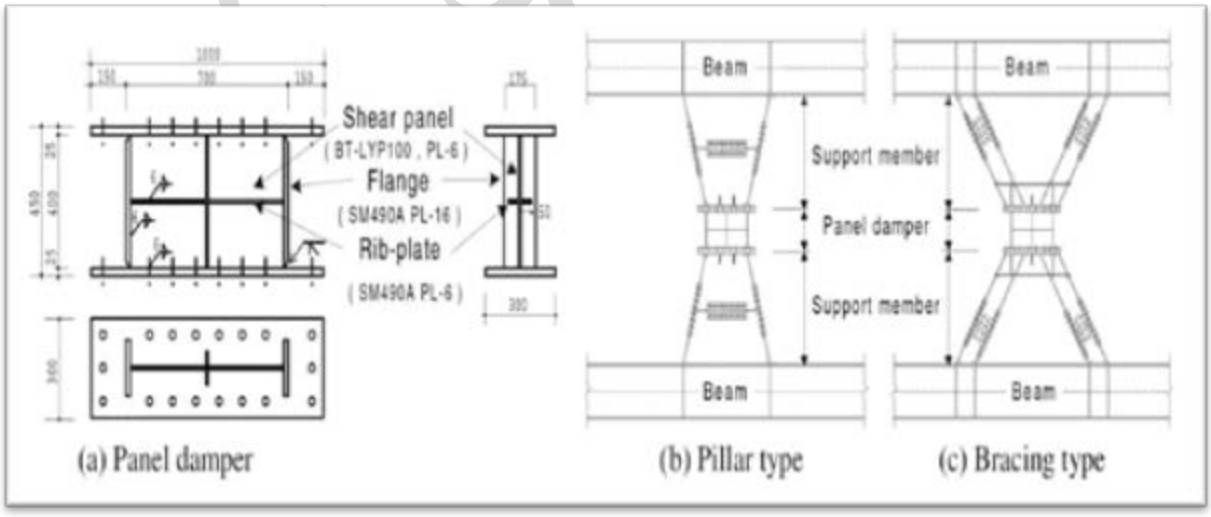
التخميد والصلابة المضافة باستخدام الصفائح الفولاذية (ADAS) و (TADAS) و (XX–ADAS) للمبنى هو مثال آخر لتبديد الطاقة الزلزالية في قطع فولاذية قابلة لاستبدال والتي تعمل أيضاً كفيوز إنشائي.

مبدأ العمل: هي مخمدات غيرة نشطة، من النمط U تعتمد الخضوع الانعطافي لصفائحها ذات الانحناء الثابت لتبديد الطاقة الزلزالية عن طريق التشوهات اللدنة المتشكلة على كامل ارتفاعها. تتمتع هذه المخمّدات بصلابة جانبية عالية مع توفير التخميد الكافي. تعمل هذه المخمّدات كفيوز إنشائي من خلال تركيز السلوك غير الخطي فيها، فهي تمنع حدوث السلوك غير الخطي والضرر في المكونات الرئيسية والثانوية الأخرى للمبنى.

سيتم تخصيص محاضرة كاملة حول هذه المخمَّدات (نمذجة + مسائل + دراسة تحليلية وتصميمة+ دراسة متغيرات جدوى التخميد الأربعة(SR + B|D +N +PGA)

3.6 صفيحة القص

تعمل صفيحة القص كفيوز إنشائي غير مرن في مسار نقل الطاقة من شبكات التربيط إلى الجوائز العلوية والسفلية، حيث اظهرت النتائج العددية والتجريبية أنه مع الاختيار الصحيح لصفائح القص، يمكن أن تزيد بشكل كبير من قدرة تبديد الطاقة للمبنى دون تقليل صلابة المبنى. ميزة أخرى لهذا النوع من المخمّدات هي تركيز الضرر في منطقة محددة مسبقاً، مما يتيح سهولة الاستبدال بعد وقوع زلزال.



الشكل 12 صفيحة القص كفيوز إنشائي

4.6الإطارات ذات شبكات التربيط اللامركزية EBF

في نظام شبكات التربيط اللامركزية، نلاحظ دور الجائز الرابط في عمله كفيوز إنشائي، فهو يتمتع بخصائص مطاوعة كبيرة، ويعمل على جذب حجم كبير من الطاقة الزلزالية، وهنا نميز بين العناصر المضبوطة على القوة وعلى التشوه، ومبادئ التصميم على القدرة.

6.6 الجوائز الرابطة في جدران القص المزدوجة

يمكن توصيل جدارين منفصلين من القص، مفصولين بمسافة بسبب وجود فتحة كبيرة، ببعضهما البعض بواسطة جوائز رابطة مقاومة للأحمال المحورية وعزوم الأنعطاف في هذه الحالة تسمى جدران القص المتصلة بجدران القص المزدوجة بجوائز رابطة.

في الشكل أدناه، يمكن مشاهدة مثال تجريبي وتحليلي لـ Chen و Lu منذ عام 2012، حيث تم وضع الفيوز الإنشائي في منتصف الجائز الرابط لتقليل احتمال الضرر حول أسس الجدار.

بشكل عام، يمكن استخدام الجوائز الرابطة كنظام مقاومة للحمل الجانبي أو مع الأنظمة الأخرى مثل إطارات الانعطاف أو إطارات المدعومة بشبكات التربيط الفولاذية. يتكون هذا النظام من جائز فولاذي وصفيحة فولاذية مدفونة في أساسات الجدار.

هذا النظام له مزايا على الخرسانة المسلحة، تشير الدراسات إلى أن الجوائز الفولاذية المركبة توفر قوة عالية وصلابة وحلقات هيستيرية مستقرة، كما أن هذه الجوائز أقل عمقاً من الجوائز الخرسانية ذات المجازات المتساوية، الأمر المفيد في حالات الارتفاعات الطابقية المحدودة.

يزيد الجائز الرابط المسلح قطريا من المطاوعة وامتصاص الطاقة في المباني التقليدية، علاوة على ذلك، أجريت دراسات مكثفة في جامعة Cincinnati على أنواع مختلفة من جوائز الرابطة من الخرسانة المسلحة.

الاشتراطات الهندسية للفيوزات الإنشائية

لكي نضمن عمل الفيوزات الإنشائية بشكل صحيح و ضمان استهلاكها للطاقة الزلزالية الواردة بشكل ممتاز، يجب حمايتها من العوامل التي تقلل من فقدان الطاقة فيها. على سبيل المثال، في هذه الفيوزات، لا ينبغي أن يحدث تحنيب موضعي أو يجب ألا تُهرب الحمل بل تبدده، ولهذا الغرض، يجب وضع اشتراطات خاصة لهذه العناصر الهامة الذي يُتوقع منها سلوك مابعد المرونة من هذه الاشتراطات منع التحنيب العام، والتحنيب المحلي، إلخ. ... وأيضا، لا ينبغي ترقيع هذه العناصر ولا حتى العناصر المحيطة بها لذلك سنطلق على هذه المناطق **بالمناطق المحمية**.

في الكود AISC 341، يتم تعريف مصطلح تسمى المنطقة المحمية Protected zone ، والذي يشير إلى المنطقة القابلة لتلدن العنصر حيث من المتوقع أن يتشكل المفصل اللدن. ونظراً لأهميتها وسلوكها الحساس، لا ينبغي استخدام هذه المنطقة لأي نوع من أعمال الارتكاز عليها أو الاستعانة بها لصعود العمال او نزولهم في أثناء التنفيذ.

الاشتراطات العامة في تفاصيل المنطقة المحمية، يمكن إيجازها كما يلي:

1. في المنطقة المحمية لعناصر أنظمة مقاومة الاحمال الجانبية الزلزالية المتوسطة والخاصة، يحظر استخدام اللحام المباشر أو غير المباشر أو تعرض الصفائح للفتل.
2. يُحظر أي انقطاع ناتج عن عمليات تشغيلية إضافية في البناء والتركيب، مثل حفر اللحامات المحلية، والمعدات المساعدة للتركيب، والتفاوت الناجم عن الانقطاعات الحرارية في المنطقة المحمية.
3. في المنطقة المحمية، يحظر استخدام البراغي الفولاذية، ما لم يكن مسموحاً بذلك في الوصلات المعتمدة مسبقاً.
4. يُسمح باللحام الموضعي للسطح الفولاذي للجوائز المختلطة في المنطقة المحمية إذا لم يتلف جناح الجائز في هذه المنطقة.
5. يحظر استخدام أي وصلات لحام أو براغي لتوصيلات مكونات الواجهة والجدران الخارجية والداخلية وجوائز العتبات للأبواب وجوائز بلاطات السقيفة الفرعية وحوامل المرافق في المنطقة المحمية لعناصر نظام التحمل الجانبي الزلزالي.

1.7 نظام الإطار الانعطافي

عقد نظام الإطار الانعطافي كلها من نوع العقد الصلبة، ويتم مقاومة الأحمال الجانبية بواسطة انعطاف جائز وعمود هذا الإطار. على سبيل المثال، يتم تصميم إطارات الانعطاف الفولاذية الخاصة SMSF بطريقة تضمن أن معظم سلوكها غير المرن يتركز في الجوائز وبالأخص قرب أو داخل الوصلة إلى العمود .يمكن تركيز العديد من حالات هذا السلوك غير المرن على مسافة مساوية تقريباً لعمق الجائز أو أكثر بقليل من وجه العمود.

نظراً لاحتمال وجود تشوهات كبيرة غير مرنة في هذه المناطق، فإن أي انقطاع في المواد الفولاذية للجائز يمكن أن يكون نقطة البداية لفشل هذه المفاصل اللدنة من أجل منع مثل هذا الضرر، يلزم الكود AISC 341 تجنب أي انقطاع في هذه المناطق.

على سبيل المثال، يمكن رؤية المنطقة المحمية للجائز ذات القسم المخفض (RBS[3]) في الشكل 17. إذا كان الجائز يعمل كفيوز إنشائي في هذه الحالة يجب علينا منع أي اتصال في هذه المنطقة (المنطقة المحمية)، ويمكن للمصمم استخدام الأقواس في هذا القسم للحصول على أفضل أداء للفيوز.

في الشكل 18، يمكنك رؤية مثال لاتصال خاطئ في المنطقة المحمية من الجائز (RBS) حيث تم إجراء اللحام في منطقة المحمية.

2.7 نظام الإطار المزود بشبكات تربيط مركزية

[3] Reduced Beam Section

لا يجوز تشكيل المفصل اللدن في مناطق اتصال شبكات التربيط مع الإطار.

3.7 نظام الإطار المزود بشبكات تربيط لامركزية

يلعب الجائز الرابط في الإطارEBF دور الفيوز الإنشائي، كما هو موضح بالأشكال التالية:

دعامات الرابط:

1- يجب تزويد جسد الجائز الرابط وعلى كامل ارتفاعه ومن الطرفين بدعامات وذلك عند نهايته أي عند مكان ارتباط شبكات التربيط بالجائز.

2- هذه الدعامات يجب أن تكون بعرض لا يقل عن bf-2tw وسماكة لا تقل عن 0.75tw أو 9mm أيهما أكبر.

8-الخلاصة

إن الفيوزات الإنشائية القياسية هي إحدى طرق الحماية لمنع وتقليل تلف المباني ضد الحمل الزلزالي. يركز الفيوز الإنشائي في الواقع على فشل العناصر المحددة مسبقاً في المبنى عندما يتم تطبيق القوة الناتجة عن الزلزال. هناك أنواع مختلفة من الفيوزات الخرسانية والفولاذية، ووفقاً لرأي مهندس التصميم يتم اختيار أفضل نوع للمبنى المدروس.

9-المراجع

1- Chen, C.C. “Recent Advances of seismic Design of Steel Building in Taiwan , International Training Programs for Seismic Design of Building Structures Hosted by National Center for Research on Earthquake Engineering Sponsored by Department of International Programs, National Science Council.

2- الكود العربي السوري – الملحق 2
3- محاضرات الدكتور المهندس محمد فادي نقرش في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

بقلم الدكتور محمد فادي نقرش

6\ شباط \ 2023