

الفصل الخامس  
الاهتزاز Vibration

obeikandi.com

## ٥-١- مقدمة Introduction:

يحدث الاهتزاز بسبب حركة النقل الثقيل Traffic والقطارات Trains والماكينات Machinery أو صدى الصوت Sonic boom . ونتيجة ذلك يتناوب في عناصر المباني إجهادات شد وضغط سريعة ومتتابة، يكون لها تأثيرات خطيرة في العناصر المتشابكة ليس من السهل تحليلها على وجه الدقة .

ونظريا هناك حالات متعددة تسبب تلف خطير أو انهيارات للمباني، أمكن تفسيرها أو ارجاع اسبابها إلى الاهتزازات الناتجة من حركة المرور . والتجارب التي تمت في الماضي - من سبعين سنة - استطاعت حساب الاجهادات التي حدثت بفعل الاهتزازات في المباني ، وقام العلماء بتعريفهما ، ومعرفة حدود الأمان لهذه المباني .

وفي حالات كثيرة ثبت أن الإجهادات قد تحدث بسبب تتابع نماذج من الاهتزازات حدثت بفعل توالي حركة المرور السريع . وإن كان السبب الأخير غير كاف لإحداث التلف في المباني لو أخذ وحده في الاعتبار .

ومع ذلك لو اعتبرنا ضغط التردد مركبا من أنواع أخرى من الضغوط التي تؤثر على عناصر البناء مثل : الأحمال ، والاجهادات البيئية ، فإننا يجب أن نوافق على أن إجهادات الاهتزاز يمكن أن تسبب زيادة في معدلات تحلل مواد البناء .

"وبناء على ذلك نرى أن الضغوط الناتجة عن الاهتزازات تشترك مع ضغوط أخرى ناتجة عن عوامل أخرى.

مثل : زيادة الأحمال على عناصر الإنشاء، فى إحداث التلف الجزئى أو الإنهيار الكلى الكامل للمباني الأثرية".

وعموما فإن عوامل تعجيل تحلل المباني الأثرية يصعب قياسها.. وتبقى مشكلة تقسيم هذه العوامل صعبة الحل .. وجزئيا يمكن أن نسمح بحدود للاهتزازات قد تكون آمنة بالنسبة للمباني ذات القيمة التاريخية .

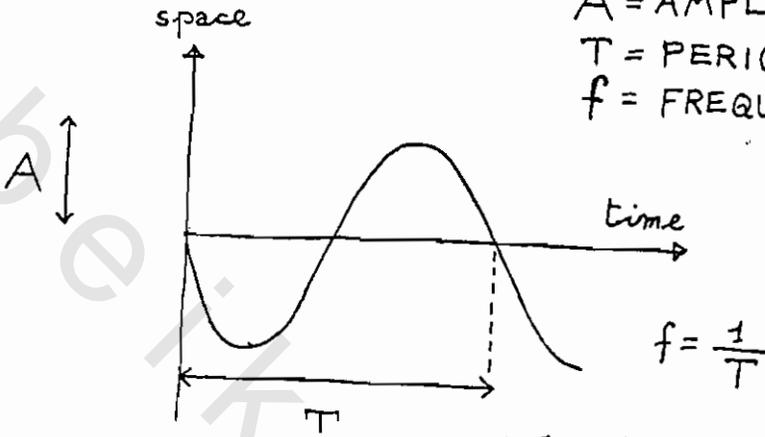
ويجب أن نعلم أن الحد الأقصى المسموح به لإجهادات التردد ، يؤثر على المباني عن طريق إشتراكه مع الإجهادات الأخرى ، واتصاله بهما ، وتكون النتيجة نسب تحلل معتدلة Tolerable deterioration rate هذه النسب يمكن التحكم فيها بواسطة عمليات الصيانة الدورية المستمرة .

مثل هذا الافتراض مرتبط بالحد الأقصى المسموح به للاهتزاز طبقا لحالة المبنى، ونظام الحماية المقترح أو الذى يمكن تصوره للمباني فى المستقبل .

٥-٢ - قياسات وتعريفات : Definifion & measurements

الاهتزاز عبارة عن حركة تبادلية لجسم متوازن على جانبيه حينه

وذهابا . انظر الشكل رقم (٣٣).



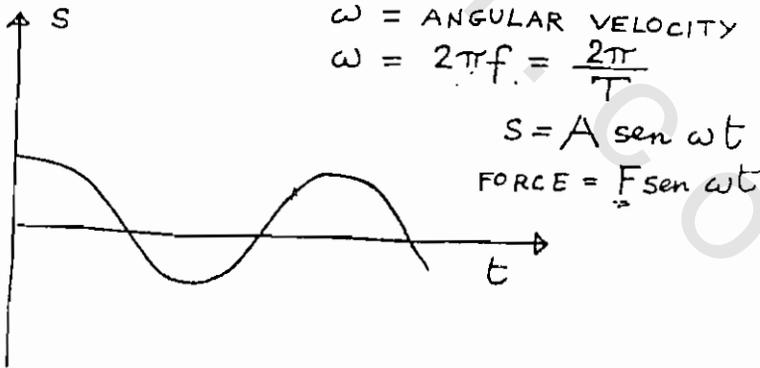
شكل رقم (٣٣) يوضح

حركة الاهتزاز

معظم الاهتزازات يمكن وصفها تقريبا بمنحنى جيبي sinusiodal

curve واحد ، أو باتحاد عدد من المنحنيات الجيبية . وبعدئذ فإن مكان الجسم

والقوة المؤثرة عليه يمكن حسابها بواسطة المعادلات الآتية :



علما بأن :

$$A = \text{السعة (سعة الذبذبه)}$$

$$T = \text{الزمن (زمن التردد)}$$

$$f = \text{التردد}$$

$$w = \text{السرعة الزاويه}$$

$$s = \text{المسافة}$$

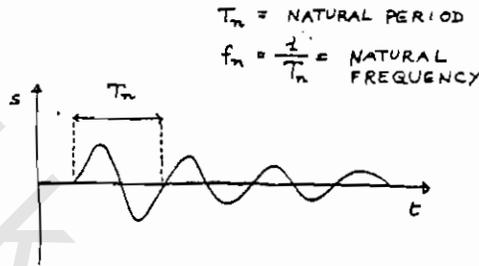
وقد تحدث الاهتزازات أيضا نتيجة بواعث فردية Individual impulses مثل: التفجيرات Blast التي تحدث أثناء الحروب ، أو التفجيرات النوويه ، أو تفجيرات المحاجر وألات دق الخوازيق أو الحفر Pile driving مثل: تلك الآلات المستخدمه فى الحفر لاستخراج البترول أو عمل خوازيق عميقة للكشف عن المياه الجوفية " وهذه تسبب اهتزاز المباني مع ترددها الطبيعي (Natural frequency (Fn الناتج عن تشغيلها " ويكون اهتزاز المباني عكس الزمن الطبيعي (Natural period (Tn للتردد.

" بمعنى أن التردد الطبيعي يساوى مقلوب الزمن الطبيعي ، أى الزمن الدورى للموجه "كما توضحه المعادله التاليه :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

ويلاحظ أن كل الاهتزازات تستمر مع استمرار تشغيل الماكينات أى مع استمرار بواعثها ، وكلما زادت قوى التردد الناتجة عن التشغيل كلما زادت الذبذبات الناتجة عن هذه الترددات وزادت بالتالى فى المباني المعرضة لبواعث الاهتزازات .

كما يلاحظ أن كل الاهتزازات تبدد الطاقة، ومن ثم تقل سرعة الذبذبات الناتجة عنها، وتتضاءل حتى تتلاشى تماما . انظر الشكل رقم (٣٤).  
وتقاس الاهتزازات فى المباني بمقاييس العجلة Accelerometers التى تحول النبضات الميكانيكية Mechanical impulses إلى نبضات كهربائية Mechanical impulses وهذه يتم تسجيلها وتحليلها ومقارنتها ببيانات التردد والسعة والسرعة أو العجلة للاهتزازات



شكل رقم (٣٤) يوضح

تضاؤل موجة الاهتزاز كلما بعدت عن مصدرها

### ٥-٣- السعة Amplitude :

" السعة هى : الازاحة القصوى لجسم متذبذب، أو القيمة القصوى لكمية متذبذبة سواء فى الاتجاه الموجب أو السالب ."  
ويعتمد تأثير سعة الاهتزاز على المباني أو الناس على التردد Frequency ، وعادة تقاس سعة الاهتزازات بالميكرون (والميكرون يساوى ١٠<sup>-٣</sup>م).

مبدئياً تلاحظ أن ١٠ ميكرون/ سعة = ٥ هيرتز/ذبذبه وعند ٥ هيرتز/ذبذبه .. السعة تكون غير مستقره Annoying وعندما تكون ٥ هيرتز/ذبذبه أى ٤٠٠ ميكرون / سعة تولد إزعاج أو عدم شعور بالأمان

Discomfort بينما تكون ٥٠ هيرتز/ ذبذبه / ١٥ ميكرون / سعة تصنف بأنها مؤلمه Painful.

النقل الثقيل على الطرق يسبب إهتزازات سعتها تتراوح بين ٥-٢٥ ميكرون ، عند ذبذبات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز.

ومن التجارب التي تمت في الماضي على الشحنات المتفجرة ، ثبت أن الحد الأدنى للضرر الناتج عن هذه الانفجارات يكون ٤٠٠ ميكرون / سعة إهتزاز في المباني الجديدة - وعند ٢٠٠ ميكرون / سعة اهتزاز في المباني القديمة .

وقد ذكر كل من Teichmann & West water في بحث منشور عام ١٩٥٧ م ، أن المباني ذات القيمة التاريخية ، والمباني الواهية أو الضعيفة Frailty التي توجد في أجواء سيئة أو ملوثة ، من الممكن أن تتحمل سعة إهتزاز تصل إلى ١٠٠ ميكرون .

#### ٥-٤ - قمة السرعة Peak velocity :

والسرعة هي : المسافة التي يقطعها جسم في وحدة الزمن في إتجاه معين .. فهي إذن كمية متجهة ، ووحداتها في النظام الدولي هي : المتر في الثانية "

ويمكن حساب سرعة اهتزاز أى مبنى عن طريق البيانات التي تؤخذ بجهاز " مقياس العجلة Accelerometer " إذ تكون مرشد جيد لتقدير اخطار تلف المباني بسبب الاهتزازات.

والقاعدة الآتية : تكون مناسبة لحساب المنحنى الجيبى للاهتزاز لكن نتائجها تستخدم بصورة تقريبية في معظم الحالات :

$$V = 2 \pi AF$$

$$\begin{aligned} \text{حيث أن } V &= \text{السرعة} \\ A &= \text{سعة الذبذبه} \\ F &= \text{التردد} \end{aligned}$$

الملاحظة المبذوية أثبتت أن الانسان يتأثر عندما تكون سرعة الاهتزاز حوالى ٠.٣ مم / ث .

وتصنف الاهتزازات بأنها مزعجة أو غير مستقرة Annoying إذا كانت سرعتها حوالى ٢,٥ مم / ث .

فى الفترة من ١٩٤٩-١٩٦٥م قام عدد من العلماء بإجراء سلسلة من تجارب التفجير Blasting على المباني، واستطاع العديد من العلماء تقدير (قيم سرعة) للأضرار الطفيفه Minor damages التى حدثت فى العديد من هذه المباني .. وقد ثبت أن هذه القيم تراوحت بين ١٢٠-٥٠ مم / ث .

ومع ذلك فإن الدراسات الحديثة أوضحت أنه يمكن زحزحة حدود السرعة نحو القيم الأقل Towards lower values .

وفيما يلى نذكر القيم التى بينتها المواصفات القياسية الألمانية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ للنهائية العظمى للسرعة المسموح بها لمقاومة الصدمات المفاجئة Sudden shocks فى المباني . انظر الجدول رقم (٣) مع ملاحظة أنه يجب أن تختزل قيم المواصفات القياسية فى حالة الذبذبات المداومة Sustained vibration حتى الثلث..

## جدول رقم (٣) يوضح

المواصفه القياسية رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ من ٨-٨٠ هرتز

DIN 4150 (1970 Draft) Valid 8-80 Hz

No.	Description	maximum allowable velocity
1	Ruins and buildings of great historic value.	2mm/sec.
2	Buildings with existing defects	5 mm/sec.
3	Buildings undamaged ( minor defects such as cracks in plaster)	10 mm/sec.
4	" Strong: buildings	10-40 mm/sec

وقد اثبتت الملاحظات أنه يوجد فرق يتراوح بين (١٢-٦) (مم) زيادة أو نقص في هذه القيم .

وتتطلب المواصفات القياسية رقم ٤١٥ قياس تأثير الاهتزازات على الأساس الخارجى External foundation للمبنى عند حد مستوى الأرض، من الثلاث اتجاهات (X,Y,Z) الاتجاه الرأسى والاتجاهين الأفقيين .

In the vertical & in the two horizontal directions

مع التعويض فى المعادلة التالية :

$$PEAK VELOCITY$$

$$v_{z MAX} = \sqrt{v_{X MAX}^2 + v_{Y MAX}^2 + v_{Z MAX}^2}$$

مع العلم أن القيمة العظمى المسموح بها عند قياس سرعات الاهتزاز فى الارضيات والأسقف تكون ٢٠ مم/ث .

وفيما يلي جدول رقم (٤) يوضح قيم الاهتزازات التي تسبب أضرار  
في المباني مأخوذة من المواصفات القياسية الحديثة: Din 4150 - 1978

جدول رقم (٤) يوضح

أضرار الاهتزاز على المباني

DIN 4150 ( Draft 1978)

$v_r$ max	Damage
< 2.5	No. Damage
2.5 To 6	Very unlikely
6 to 10	Unlikely
> 10	Possible

ISO/TC 108/Sc-2

$v_r$ max	Damage
3 to 5	Visible Cracks (> 0,02 mm)
	In secondary elements: Partitons, Renderings
5 to 30	Visible Cracks in Principal Elements: Masonry Walls, Beams, Pillars, Floors
> 100	Large Permanent cracks Reduction of load Bearing Capacity

## ٥-٥-٥ العجلة Acceleration :

نتائج قياس الاهتزازات غالبا ماتعبر عن العجلة ، التي تكون مرتبطة بالتردد والسعة ، بواسطة المعادلة التالية :

$$a = 4 \pi AF$$

حيث أن  $a$  = العجلة

$A$  = سعة الذبذبة

$f$  = التردد

هذه المعادلة تكون صحيحة بالنسبة للمنحنى الجيبي للإهتزاز لكنها تستخدم بصورة تقريبية لمعرفة الاهتزازات الجيبية ، وعادة تقاس العجلة بواسطة وحدة العجلة ( g units ) حيث أن  $\rho$  = عجلة الجاذبية الأرضية . التي تساوى على سبيل المثال : ١٠ م / ث<sup>٢</sup>

وأقل قيمة للعجلة التي تحدث تأثير واضح على الناس أو تأثير جدير بالملاحظة Not iceable effect تكون ( 0.01 g ) .

ويحدث التأثير غير المرضي للعجلة un pleasant effect عندما تتراوح قيم العجلة بين ( 0.04 - 0.05 g )

كما يحدث التأثير السيئ للعجلة عندما تصل قيمتها إلى قيم أعلى من ( 0.1 g ) وقد أوضحت البيانات المأخوذة من تجارب النسف Blasting experiments التي تمت على المباني عام ١٩٤٢م بمعرفة كل من Thoenen & windes أن تلف المباني يحدث إذا وصلت العجلة إلى قيم ( 1 g ) .

ويعتبر الكثير من الخبراء أن حد الأمان للمباني safty limit هو (0.1g).

#### ٥-٦- الشدة والطاقة والضغط Intensity, Power and Stress:

يمكن حساب الطاقة المنقولة بواسطة الاهتزاز وفقا لقواعد تجريبية مبنية على دالة التردد والسعة ( السرعة أو العجلة ).

كما أخذت دالة الشدة في الاعتبار عند وضع المواصفات القياسية الألمانية Din رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

علما بأن المواصفات القياسية لسنة ١٩٣٦ م اعتمدت على مقياس بال The pal scale الذي يعد مقياسا لدالة السرعة فقط .

ويعتمد مقياس بال على المقارنة بين طاقة الاهتزاز المقاسه لاستخدام وحدات بال PAL Units وبين تأثيراتها الملحوظة على الناس .

هذا وتستخدم وحدات زيلر وفيبرار Zeller & Vibrar لتقدير الضرر الذي يلحق بالمباني نتيجة الاهتزازات .

وقد نوقشت مقاييس ووحدات مختلفة بشيء من التفصيل في الملحق رقم (١).

ولايعتمد الضغط الواقع على مواد البناء على الطاقة الناتجة عن الاهتزازات فقط ، لكن يعتمد أيضا على طبيعة المادة وموضعها في البناء.

ونادرا ما يتم تقدير الضغوط القصوى المسموح بها على الأبنية بناء على تأثير الاهتزازات على مواد البناء.

وتبين الحسابات البسيطة أن الحد الأقصى للسرعة المسموح بها في المباني العادية هو ١٠م/ث . وذلك طبقا للمواصفات القياسية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ .

كما أن معدلات الضغوط المسموح بها في المنشآت التي استخدم فيها مواد الإنشاء الواسعة الإنتشار تتراوح بين ٤-٢,٢٥٪ .

انظر البيانات التفصيلية في الملحق رقم (١) .

ومع ذلك لو أخذنا في الاعتبار تركيز الضغط على الشروط الدقيقة ، ووضعها بالنسبة للنماذج الأخرى من الضغوط ، فإن أقصى حد للأمان الذي تدل عليه مثل هذه البيانات قد ينخفض فعليا أو يختفى فعليا .

٧-٥ - الاهتزاز المرورى وأثره على المباني :

### Traffic vibration & its effect on buildings

إن حركة مرور وسائل النقل الثقيل " فى شوارع المدن " تسبب اهتزاز الأرض وكذلك الأبنية . وقد سجلت حركة مرور السيارات ساعات اهتزاز تراوحت بين ٢-٢٥ ميكرون لكل ترددات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

وحركة المركبات الكبيرة قد تكون مصدر لترددات منخفضة وساعات اهتزاز كبيرة ، إذ تم تسجيل ساعات اهتزاز تراوحت بين ٥-٥٠ ميكرون لكل ترددات تراوحت بين ٧-٨ هيرتز ، وذلك أثناء حركة الأنوبيسات المحمله بالركاب Loaded buses والجرارات Tractors والمقطورات Trailers .

وتعد وعورة الطريق - عدم استواء سطحه - أحد الأسباب الرئيسية للاهتزازات الناتجة عن حركة المرور .

وقد ثبت أن تعرجا عمقه ٢٠مم يسبب سعة اهتزاز سرعته قد تزيد ٥ م/ث، وهذه السرعة تزيد عن حد الأمان الموضوع للمباني القديمة في المواصفات القياسية ١٤٥٠.

إن التجارب التي تم تنفيذها بعوائق مجهزة ذات سمك يتراوح بين ٣٨-٤مم ، أثبتت أن سعات الاهتزاز قد تزيد عن ٧٦ ميكرون لكل ٨ هيرتز، أي حوالى ٤ م/ث.

وهناك عامل آخر شديد الأهمية ، وهو المسافة بين المباني والطريق النوعه *The road surface irregularity* إذ ثبت أن مضاعفة المسافة بين المباني والطرُق النوعه بصفة عامة تسبب انخفاض سعة الاهتزاز بمقدار ٢ ميكرون أو أكثر قليلا.

ونادرا ما يعد الاهتزاز المرور السبب الوحيد لتدهور حالة المباني أو موادها ، ولكن يجب وضع تأثيرات الاهتزاز المرورى فى الاعتبار مع عمليات أخرى مرتبطة بها ، وتؤدى إلى تلف المباني ، كما قد يحدث فى عملية التسارع " العجلة " *Acceleration* وهذه العمليات من الصعب تقديرها باستخدام مصطلحات كمية *Quantitative terms*.

وفيما يلى ملخص لبعض القواعد العامة التى سبق ذكرها:

- إن تأثير الاهتزاز المرور على العناصر الصغيرة أكبر من تأثيره على العناصر الكبيرة . كما أن التردد الطبيعى للأبنية عادة ما يكون أكثر إنخفاضا فى تردد الاهتزازات المرورية ، والرنين الناتج عن هذه الحركة فى المباني نادرا ما يحدث .

ومع ذلك فإن العناصر المعمارية الفردية ، خفيفة الوزن ، مثل: الأرضيات والأسقف والشبابيك أكثر ميلا لتكبير الرنين كما هو الحال فى العناصر الصغرى ذات الترددات عالية الرنين.

- تعطى هياكل المباني أقصى ساعات للاهتزاز ، وذلك لأنها أكثر بعدا عن الروابط التى تربطها بالمكونات الأخرى للمباني، مثل : محاور الأرضيات .Centres of Floors

وكمحصلة عامة يمكن تحديد العناصر المعمارية الأكثر حساسية للتلّف الناتج عن الاهتزاز كما يلي:

- طبقات اليباض ، وبصفة خاصة ، تلك الطبقات غير المرتبطة جيدا بالجدران .. " أو شبه المنفصلة " .

- الجدران المتصدعة .

- العناصر الصغرى فى المباني غير المرتبطة جيدا بالهيكل الإنشائي، مثل : الجدران الدبش، والجدران المبنية من الطوب غير المترابط جيدا أو المنفصل، إذ أن اهتزاز هذه العناصر قد يطحن المون Grind off the Mortar وقد لاحظ سيور Sior سنة ١٩٦١ أن الاهتزاز عندما يكون قريبا من قيم حد التلّف ، فإنه يعمل كعامل حفاز يؤدي إلى زيادة التلّف ، الذى يمكن عزوه أو إرجاعه إلى أسباب أخرى ، كضعف الأساسات على سبيل المثال .

أيضا ضغط الاهتزاز قد يتداخل مع أو يوازى عمليات التلّف الفزيوكيمياني ، ويسبب زيادة معدلات تلف المباني الأثرية ، وكذلك الشروخ التى تنشأ نتيجة الاهتزازات قد تتسع أكثر أثناء دورات الاهتزاز

The vibration cycles ويسقط بداخلها الأثرية ، التي قد تملأها لدرجة أنها لاتسمح بإعادة الوضع إلى ماكان عليه من قبل مرة أخرى .

كما أن زيادة المياه وتسربها خلال الشروخ الدقيقة المتكونة والتي تتسع نتيجة الاهتزاز ، قد تتسبب فى عمليات أخرى مدمره ، مثل : تبلور الأملاح وتكون الصقيع ، أو المهاجمة بعوامل التلف الكيميائى التي ربما تمتد داخل مواد البناء نفسها أو تتخللها .

وغالبا ماتستخدم مقاييس ZELLER & VIBRAR لتقدير التأثيرات الضارة للاهتزازات على المباني ، ويصعب استخدام مقاييس الزلازل Seismic scales بدلا منها، لدراسة الاهتزازات المرورية ، لأنه وكما يحدث فى الزلازل فإن الترددات الأقل ، والسعات الأوسع قد تكون متشابكة والقياسات تكون مشوشه .

كما أن حد الاهتزاز المقبول فى الأبنية التاريخية أو ذات القيمة الفنية - على وجه الخصوص - يكون منخفضا ..

وقد يحدث التلف فى طبقات الجص ، وهذا مايمكن قبوله ، حتى لو أن الهيكل الأساسى للمبنى لم يتأثر ، وتكون المشكلة خطيرة عندما يكون الجص مزخرفا أو مرسوما عليه رسوم زينية.

وخير مثال على ذلك فيلا Famesina فى روما ، حيث تلفت الصور الجدارية Mural paintings التي كان قد رسمها الفنان رافانيللو وتلامدته ، على جدران هذه الفيلا ، بسبب الاهتزازات الناتجة عن حركة المرور ، والتي كادت أن تودى إلى تلفها بالكامل .

وفى عام ١٩٧٠م ، فى محاولة لحل مشكلة الطريق القريب من فيلا Farnesina أوالمجاور لها، ثم إعادة بناء هذا الطريق كاملا ، مع تعليقه على كتل مطاطية ، وذلك بطول ٦٠م.

وفى النهاية، يجب التأكد ، على أن حدود الأمان Safty limits المطبقة على المباني العادية ، يجب ألا تطبق أوتوماتيكيا على المباني الأثرية ، وذلك طبقا لما هو موضح فى المواصف القياسية رقم ٤١٥٠.

مثال جيد على ذلك ، يتضح من الاجابة على سؤال ، سئل فى عام ١٩٠٠م عن مدى تأثير سكة حديد لندن المركزية على المنازل المجاورة لها فى منطقة هايدبارك The Hyde Park Area إذ وجد أن ساعات الاهتزاز نادرا ماتزيد عن ٢٥ ميكرون عندما تتراوح الاهتزازات بين ١٠،١٥ هيرتز. وبناء على ذلك ثبت أن تلف هياكل المباني مستبعد الحدوث ، لكن البيانات وضحت فى نفس الوقت أن نهاية السرعة Peak velocity تصل إلى ٢,٥م/ث .

وحسابيا فإن هذمالسرعة غير مقبولة فى المباني الاثرية وذلك طبقا للمواصفة القياسية ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

#### ٥-٨- صدى الصوت Sonic Boom:

الموجات الصوتية التى تحدثها حركة سير الطائرات عندما يكون سرعتها أسرع من الصوت ، تؤدي إلى ضغوط عالية على المباني تلحق بها العديد من الأضرار .

وقد سجل فى عام ١٩٦٢ م فى مدينة New Nexico أعلى ضغط لصدى الصوت ، إذ وصل إلى ٢٠٠٠ نيوتن لكل متر مربع  $2000 \text{ N/m}^2$ .

وقد أثبتت الدراسات التي أجريت على طائرات من نوع كونكورد  
Concord أن الضغوط الناتجة عن تخليق هذه الطائرات ذات السرعة  
الأعلى من الصوت ، غالبا ما تكون أقل من مائة نيوتن لكل متر مربع  
 $\cdot 100 \text{ N/m}^2$

وتتركز احتمالات تلف المباني بسبب ضغط صدى الصوت، بصفة  
خاصة، على المواد ذات السطح الكبير والسمك الصغير & Large surface  
small mass وأيضا على المواد غير مسبقة التحميل Not Pre - Loaded  
والتي تتخفف فيها مقاومة الشد Low tensile strength.

لذلك فإن ضغط صدى الصوت يؤثر أولا في الجدران التي تغطيها  
طبقة بياض Plaster خاصة إذا كانت منفصلة، أو شبه منفصلة عن  
الجدران. يلي ذلك حدوث تلف في الزجاج ، وفي النهاية يحدث تلف للأسقف،  
ونادرا ما يحدث التلف إذا كانت قيم أقصى ضغوط لصدى الصوت على  
المباني أقل من ٥٠٠ نيوتن لكل متر مربع  $500 \text{ N/m}^2$ .

لكن تأثير الرنين المصاحب للموجات فوق الصوتية على مواد  
الإنشاء، قد يكون مقدما لبعض الاتساعات المصاحبة للاهتزازات .  
وغالبا ما يسمى زمن الموجات الصوتية : العلامه الفاصلته  
Signature interval وذلك يعتمد على نوع الطائرة ... فمثلا زمن الموجه  
الصوتية للطائرة كونكورد ٠,٣٥ ث .

لذلك فإن مواد الإنشاء ذات التردد الطبيعي الذي يصل إلى ٣ هيرتز  
يخضع للزيادة بسبب تعرض المبنى للاهتزاز الناتج عن الرنين .

كما أنه فى حالات الاهتزازات الأخرى فإن نوع المبنى وحالته مهم جدا فى تحديد مدى التلف الذى يحدث بسبب تأثير الموجات الصوتية . The sonic waves

### ملحق الاهتزاز رقم (1)

أ- التردد الطبيعى للمباني - الرنين :

#### Natural Frequency of buildings- Resonance:

لو أن  $T_n$  الزمن الطبيعى للذبذبة و  $F_n$  التردد الطبيعى فإن :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

وقد أمكن بالتجربة حساب زمن التردد الطبيعى فى المباني وذلك عن طريق التعويض فى المعادلة الآتية :

$$T_N = \frac{\text{number of storeys}}{11}$$

وفىما يلى أمثلة لبيانات عن الترددات الطبيعية ومنهما فى المباني

Low Buildings	$F_N = 10\text{Hz}$
Towers 30-40 m	$F_N$ (bending) = 1.64 ÷ 2.86 H,
Skyscrapers	$F_N = 0.2 \div 0.5$ H, $T_N = 5 \div 2$ Sec
Empire State Building	$T_N = 8.25$ Sec
New severn Bridge (vert. flex.)	$T_N = 7$ sec $f_N = 0.14$ Sec
Long Creek Bridge (Canada)	$F_N = 0.6$ H, $A = 200$ mm

كما أن التردد الطبيعي للعديد من الأرضيات والبلاطات يتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

والملاحظ أن استمرار الاهتزازات يحث الترددات الطبيعية فى المباني على الاستمرار ، وعندما يتكرر حدوث إثارة بواسطة الاهتزازات (f) التى تكون قريبة من الترددات الطبيعية فى المباني ( $f_{ii}$ ) فإن سعة الاهتزازات المثارة سوف تزداد . وهذه الظاهرة تسمى : الرنين Resonance . وهذا الاتساع Amplification الذى يحدث نتيجة الرنين يعتمد على : عامل الوهن Damping factor فى المباني (D).

ومن المفترض أنه فى معظم المنشآت وفى مواد البناء يكون الإتساع مساويا لنصف عامل الرطوبة ( $1/2 D$ ).

ويمكن قياس اتساع الرطوبة عن طريق الإثارة الاصطناعية للمنشأة ، وبعد ذلك يتم عد الدوائر المطلوبة حتى تنقص إلى النصف وذلك للحصول على القيمة الأساسية Initial value .

ولو أن (N) ترمز لهذا العدد .. فإن :

$$\text{السعة} = 4,35 N \text{ AMPLIFICATION}$$

كما يوجد طريقة أخرى أكثر دقة يمكن عن طريقها قياس اتساع الرنين ، وذلك بحساب عدد الدوائر ( $N_1$ ) المطلوبة لانقاص التردد إلى عشر ( $10/1$ ) القيمة الأساسية ، وفى هذه الحالة تكون

$$\text{السعة} = 1.365 N_1 \text{ AMPLIFICATION}$$

ب- شدة الاهتزاز - ووحدات بال وزيلر وفبيرار

### Intensity Of Vibration , Pal, Zeller & Vibrar Units

الشدة ووحداتها (K) يمكن تعريفها كما جاء في المواصفات القياسية

الألمانية رقم ٤١٥ الصادرة عام ١٩٧٠ م عن طريق المعادلة الآتية :

$$k = \frac{0.005 A f^2}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.8 v f}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.125 a}{\sqrt{100 + f^2}}$$

مع ملاحظة أن التجريب يكون (0.1) للشدة أي :  $K = 0.1$

وقد وضعت المواصفات القياسية حدود مسموح بها في الليل وفي النهار لمختلف القطاعات في المدن ، مع الوضع في الاعتبار منذ البداية العوامل البشرية The Human factors.

هذا وقد عرفت شدة الاهتزاز Strength of vibration من قبل عام ١٩٣٩ في المواصفات القياسية الألمانية ٤١٥٠ بوحدة بال (Pal units) كما يلي :

$$\text{Strength ( Pal )} = 20 \log 2.24 V$$

$$\text{Strength ( Pal )} = 20 \log 14 Af.$$

حيث أن : (V) قمة أو نهاية السرعة .

(A) السعة

(F) تردد الاهتزاز

مع العلم بأن : السرعة تقاس بالمليمتر لكل ثانية mm/Sec والسعة تقاس بالمليمتر mm . كما أن مقياس (بال) أيضا يهتم بصفة أساسية بالتأثيرات على الناس ، والاهتزازات التي تتراوح شدتها بين (١٠-٢٠ بال) يمكن معرفتها بالملاحظة العامة Generally perceptible وعندما تتراوح

الاهتزازات بين (٢٠-٣٠ بال) يمكن اعتبارها غير مقبولة للناس أو الأشخاص داخل المباني .

أما نظام زيلر Zeller - ١٩٣١-١٩٤٩ - فيهتم بصفة أساسية بما يتعلق بتأثير الاهتزاز على المباني .. وقد أعطى زيلر وحدة طاقة سميت باسمه ، يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$Z = 16 \pi^4 A^2 f^3$$

وذلك عندما يتم قياس السعة (A) بالمليمتر .

وقد رسم زيلر بذلك مقياس يماثل مقياس (Mercalli - Cancani) المستخدم فى قياس الزلازل ، حيث يتم مقارنة قيمة طاقة الاهتزاز مع تأثيرها على المباني ، من خلال اختبار حالات الاهتزاز وتقدير قيمها .

وأخيرا وصفت وحدة زيلر طبقا لأشكال حد المرونة المبسطة ووحدة جديدة تسمى : وحدة فيبرار Vibrar حيث أن :

$$\text{Vibrar} = 10 \log Z/10$$

وقد تم صياغة مقياس فيبرار لقياس تأثير الاهتزاز على المباني ، بمعرفة ( كوخ Koch ) عام ١٩٤٩م .

وفيما يلى قائمة توضح نوع التلف الذى يحدث للمباني بناء على طاقة الاهتزاز .

جدول رقم (٥) يوضح  
طاقة الاهتزاز والتلف الناتج عنها

No.	Vibrar	Damage
1	Below 30 vibrar	No structural damage
2	30-40 vibrar	Light damage ( for example cracking in rendering or plaster)
3	4-50 Vibrar	Severe damage ( for instance cracking in load bearing walls).
4	50-60 Vibrar	Destruction of buildings

وقد اقترح سيور Sior عام ١٩٦١ أن بداية الدرجات ( ٣ ، ٤ ) فى مقياس فيبرار يمكن أن تتغير حتى تصل إلى (٥٥) فيبرار .

ج - الضغط Stress :

ضغوط العمل المسموح بها على مواد البناء الأساسية هي كما يلي:

Steel	140 N.mm <sup>2</sup>
Concrete	6-15 N.mm <sup>2</sup>
Timber	12 N/mm <sup>2</sup>

علما بأن 1Kg = 10 N

وقد بين جاش Gasch عام ١٩٦٨ م علاقة مبنية على التجربة بين النهاية العظمى للضغوط الديناميكية ( max ) وسرعة الاهتزاز (V) توضحها المعادلة التالية :

$$\delta_{max} = KV E \rho$$

علما بأن :

معامل ينح لقياس المرونة = E

كثافة الكتلة للمادة =  $\rho$

مقدار الأبعاد = K

والأخير يعتمد على القطاع المعتمد لمادة البناء .

والقيم النموذجية  $K E \rho$  في القطاعات المربعة أو المستطيلة

للعديد من المواد موضحة فيما يلي :

Steel	0.07 N.S/mm <sup>3</sup>
Cast Iron	0.046
Granite	0.022
Concrete	0.015
Brick Masonry	0.0038
Timber	0.0039÷0.0054

\*\*\*\*\*