استخدام معولية نظام التوازي لتحديد (K) من (N) القابلوات الساندة للجسر المعلق

أ.م.د. طالب شريف جليل /قسم الاحصاء/كلية الادارة والاقتصاد/ جامعة صلاح الدين
م.د. بيستون ميرزا عبدالكريم /قسم الاحصاء/كلية الادارة والاقتصاد/ جامعة صلاح الدين

الملخص

يهتم هذا البحث بتقدير الدالة المعولية لنظام K وحدات من N وحدات (K-out N system) حيث ان الدالة المعولية لتوزيع ويبل (Weibull Distribution) والسبب يكمن في الجانب التطبيقي لهذا البحث، وتم تقدير معلمات القياس (Scale parameter) والشكل (Shape parameter) لهذا التوزيع باستخدام أسلوب بيز التجريبي (Empirical Bayes).

أما الجانب التطبيقي لهذ ا البحث فهو دراسة حالة (Case study) لأحد الجسور المعلقة المشهورة (Golden Gate Bridge) في الولايات المتحدة الأمريكية ، وتم اختيار هذا الجسر لإمكان تطبيق النظرية على القبلوات الساندة للجسر ، ويهدف هذا البحث إلى إيجاد معولية القابلوات الساندة ومعولية الجسر بالاعتم اد على معولية القابلوات الساندة ، وللوصول إلى الأهد اف السابقة يجب إيجاد النتائج الأتية:-

١. الأحمال الكلية على الجسر.
٢. المتانة التي تمتلكها هذه القابلوات.
٣. القوة التي تمتلكها هذه القابلوات.
٤. عدد القابلوات الضرورية التي يحتاجها الجسر.
٥. العلاقة بين المتانة وعدد الدورات.

وقد تم استخدام البرامج الجاهزة الآتية:
(Excel 2003, Statistical Table, Statgraphics+4, MATLAB2008a)

Using Reliability Parallel System to Determine (K) of (N) Retaining Cables for Suspension Bridge

Abstract

Interest of this paper to estimate reliability function of the system (K) units of (N) units (K-out-of system), where reliability was considered to be a function for the distribution (Weibull Distribution) and the reason lies in the application side of this thesis. The scale and shape parameters of this

distribution are estimated by using the method of experimental (Empirical Bayes).

As applied by this paper is a case study to one of the famous suspension bridges (Golden Gate Bridge) in the United States, were selected for this bridge because theory can be applied to the suspender cables of the bridge. The aim of this thesis is to find the reliability for suspender cables and find the reliability of the bridge by depending on the reliability of suspender cables as well as identify maintenance periods for the bridge, for access to the above objectives, we must find the following results:

1. Total loads on the bridge.
2. Durability owned suspender cables of the bridge.
3. Force cables owned by the suspender of the bridge.
4. The necessary number of cables that you need the bridge.
5. The relationship between the durability and number of cycles.

The software was used the following in the thesis:
(Excel 2003, Statistical Table, Statgraphics+4, MATLAB R2008a)

١.١ : المقدمة (Introduction)

إن المعولية علم ذو قواعد تهتم با لدراسة والتعامل مع الأعمار سواء أكانت للوحدات أم للكائنات الحية حيث أن النظرية المعولية (Reliability Theory) ونظرية البقاء(Survival Theory) لها نفس المبدأ بحيث أن نظرية البقاء تهتم بدراسة أعمار ال كائنات الحية و النظرية المعولية تهتم بدراسة أعمار المعدات من حيث كفاءة أداء هذه الأجهزة.

بعد حصول التطورات الواسعة في حقول الصناعة وبازدياد التعقيدات التي أدت إلى ذلك الاهتمام الواسع في النظريات المعولية في القرن الماضي ،قبل عام ١٩٤٠ كانت البحوث تقتصر على السيطرة النوعية وصيانة المكائن ولم تشخص المعولية كعلم مستقل ولكن بحلول الحرب العالمية الثانية وازدياد المعدات الحربية المعقدة أصبح لعلم المعولية أسس ومبادئ أدت إلى ظهور المعولية.

تم في هذا البحث عرض مقدمة عن الجسور وأخذنا الجسر المعلق الذهبي في أمريكا كحالة تطبيقية لكون الجسر المعلق ينطبق عليه نظام (k وحدات من N) بصورة واضحة وقمنا بتقدير الدالة المعولية للقابلوات الساندة وبالتالي تقدير معوليه الجسر لسنين عديدة.

١.٢ : هدف البحث (Aim of the Research)

إن هدف هذا البحث هو تقدير الدالة المعولية لنظام من نوع (k-out-of N system) وتم تطبيق هذا النظام على دراسة الحالة (Case - Study) لجسر البوابة الذهبية المعلق (Golden Gate Bridge) في الولايات المتحدة الأمريكية مع الملاحظة أن عدد القابلوات الساندة الكلية للجسر تم

تحديدها من قبل مصمم الجسر مع اخذ عوامل السلامة بنظر ا لاعتبار وتتضمن الأهداف (تحديد الأحمال الكلية على الجسر وتحديد المتانة التي تمتلكها هذه القابلوات ، تحديد عدد القابلوات الضرورية التي تحتاجها الجسر وتحديد العلاقة بين المتانة وعدد الدورات، تحديد معولية القابلوات الساندة التي تمتلك توزيع ويبل وتأثيراتها بمرور الزمن وتحديد معولية الجسر بالاعتماد على معولية القابلوات الساندة وتأثيراتها بمرور الزمن).

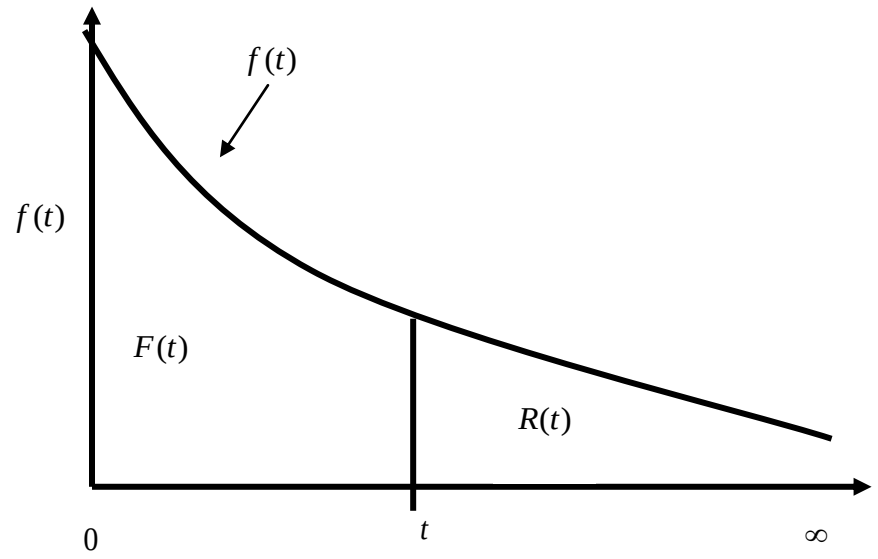
١.٣: دالة المعولية (Reliability function)

تعرف المعولية بأنها احتمال أي جهاز أو منتج أن يعمل بكفاءة (بدون فشل) خلال مدة زمنية محددة وتحت شروط عمل محدد ويرمز لها بـ $R(t)$.

يفترض أن T متغير عشوائي مستمر يمثل الزمن لحين الفشل بدالة كثافة ا حتمالية $f(t)$ لأى مفردة أن احتمال عدم فشل المفردة قبل الوقت T يمثل المعولية أي أن:

$$R(t) = p(T > t)$$

يمكن أن نوضح دالة المعولية ودالة الفشل كمساحة تحت منحني الدالة $f(t)$ وكما يأتي:-



الشكل (١)

دالة المعولية ودالة الفشل باستخدام مساحة تحت منحني

٣. إن عمل الجهاز (أو مفردة) مؤكدة في زمن الصفر، ويعبر عن هذه الخاصية بـ $R(t=0)=(1)$.

٤. لا يوجد جهاز (أو مفردة) يعمل باستمرار. ويعبر عن هذه الخاصية بـ $R(t)=(0)$ عندما $t \to \infty$.

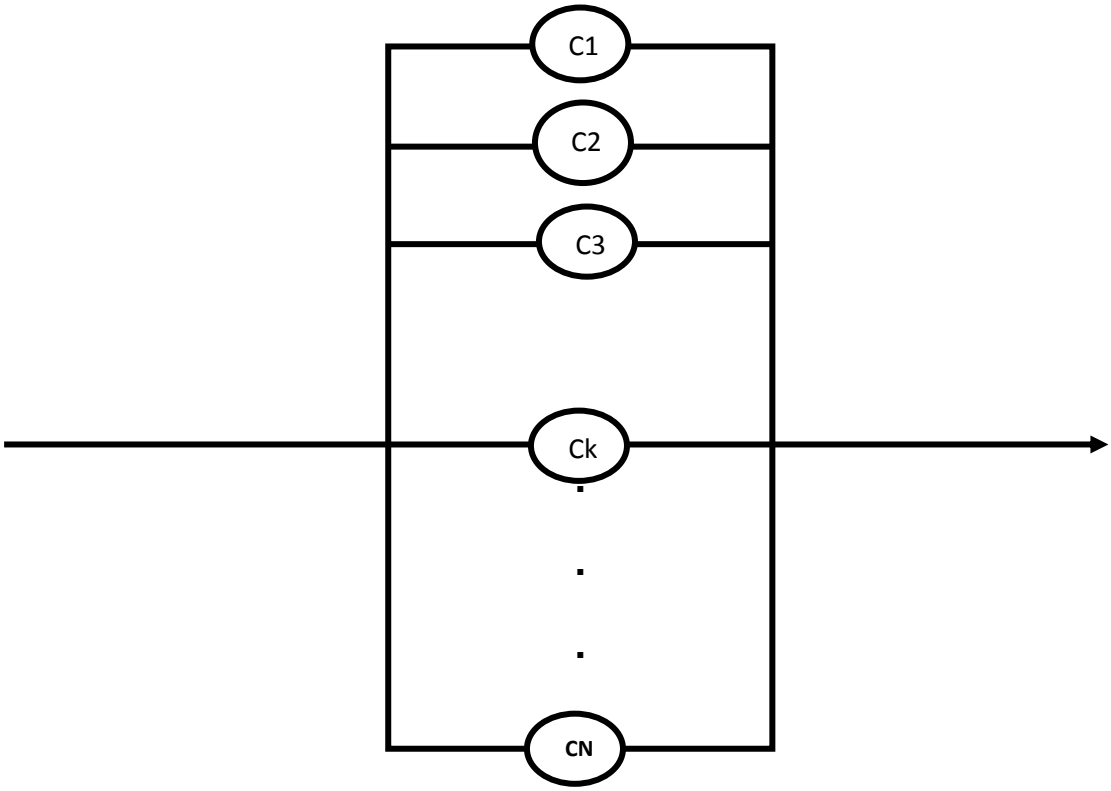
١.٤: أنظمة k الوحدات من(N((k) out of (N) systems

إن هذه الأنواع من الأنظمة تحتاج لتعمل بكفاءة عالية على الأقل إلى (k) من الوحدات تعمل من أصل (N) من الوحدات. وان الربط على التولي والربط على التوازي هي حالات خاصة من هذه الأنظمة وكما يأتي:-

١. إذا كان $k \geq 1$ فان النظام يكون الربط على التوازي.

٢. إذا كان $k = n$ فان النظام يكون الربط على التوالي.

ويمكن أن نوضح هذا النوع من الربط كما في الشكل الآتي:-



الشكل (2)

النظام (k وحدات من N).

في حالة التماثل والاستقلالية في التوزيع (Independent Identical Distribution) فإن احتمالية الضبط k من الوحدات من مجموع N من الوحدات الكلية تعمل بنجاح هي توزيع ذي حدين وتحسب كالآتي:-

$$R(r,k,N)=\sum_{r=k}^{N} C_r^N R^r (1-R)^{N-r}$$

حيث أن:

$R(r,k,N)$:تمثل معوليه النظام.

R : تمثل معوليه كل مكون (Component).

وبفرض أن جميع الوحدات لها نفس المعولية ومستقلة فيما بينها فتوصل إلى أنه:-

للمفردة الواحدة:-

$$R+Q=1$$

وان لـN من المفردات:-

$$\Rightarrow (R+Q)^N = 1$$

$$\Rightarrow (R+Q)^N = R^N + N R^{N-1}Q + \frac{N(N-1)}{2!}R^{N-2}Q^2 + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!}R^{N-3}Q^3 + \ldots + Q^N = 1$$

عندما $k \geq 1$

$$P(k \geq 1) = 1 - P(K=0)$$

$$= 1 - (1-R)^N$$

$$P(k \geq (N-1)) = R^N + N R^{N-1}Q$$

$$P(k \geq (N-2)) = R^N + N R^{N-1}Q + \frac{N(N-1)}{2!}R^{N-2}Q^2$$

$$P(k \geq (N-3)) = R^N + N R^{N-1}Q + \frac{N(N-1)}{2!}R^{N-2}Q^2 + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!}R^{N-3}Q^3.$$

وعندما $(K=n)$

$$P(k=n) = R^n$$

$$= \prod_{i=1}^{n} R_i$$

2.١: الجسور المعلقة (Suspension bridges)

تكون هذه الجسور أكثر أنواع الجسور إثارة للإعجاب، بباعها الرئيسي (Main span) الشاسع الامتداد، ومظهرها الرائع إذ تتميز بطريق الحمل على قابلوات من الفولاذ ومشدودة إلى برجين شاهقين على طرفي الجسر.

تستخدم الجسور المعلقة لتمتد باعاتها عبر مساحات شاسعة، قد يصل الباع الواحد منها في معظم الحالات على أكثر من ٣٠٠م، كما أن لبعضها باعات رئيس ة ممتدة لأكثر من 1,200 م. ويتم تشييد هذه الجسور أيضاً لتمتد فوق المساحات المائية العميقة، أو الوديان شديدة الانحدار، كما تستخدم

في مواقع أخرى يكون فيها بناء الدعامات بالغ الصعوبة وباهظ التكاليف . وهي لا تحتاج لأكثر من دعامتين تسند كل واحدة منهما على إحدى الأبراج.

ويمتد الباع الرئيسي للجسر المعلق بين هذين البرجين. كما يمتد كل من الباعين الجانبيين بين برج ومرساة. ومعظم هذه المراسي مشيدة من كتل خراسانية ضخمة على طرفي الجسر .

تسمى القابلوات المدعمة للأبراج بالقابلوات الرئيسة(Main cables)، ولكل جسر معلق مجموعتان من هذه القابلوات على الأقل، يمتد كل منهما بين طرفي الجسر، حيث يتم تأمين ربطها بمرساة. كما أن القابلوات الرئيسة متصلة بالنهايات الطرفية العليا للقابلوات المعلقة الرأسية التي يتصل كل كبل منها، عند نهايته الطرفية السفلى بالطريق الممتد على الجسر.

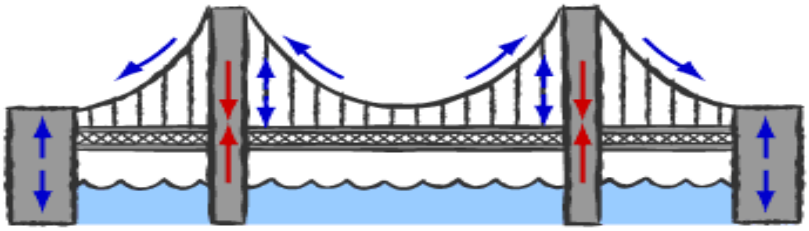
وتحدث الرياح الشديدة اهتزازات في الجسور المعلقة، مما يؤدي إلى إغلاقها في الحالات الاضطرارية القصوى. ويتم تزويد معظمها بتركيبات سميكة تسند طرقاتها لتقليلا لاهتزاز، تعرف الواحدة منها باسم عارضة التثبيت أو جمالون التثبيت.

تمتلك معظم الجسور المعلقة نظام التقييد تحت الطريق، وذلك لمقاومة قوى الانحناء والفتل التي يتعرض لها الجسر باستمرار.

٢.٢: توازن القوى في الجسور المعلقة:

يعلق الجسر بوساطة قابلوات فولاذية ضخمة تتدلى من فوق برجين رئيسين و ترتبط وتوثق بكتل إسمنتية ضخمة تدعى المراسي (Anchorages) ، تقعان في كلتا نهايتي الجسر .تؤثر السيارات في الطريق بقوة نحو الأسفل، وبما أن الطريق معلق تقوم القابلوات من خلال هذا التصميم الهندسي بتحويل القوى أو الأحمال إلى قوى انضغاط في كلا البرجين، حيث يقوم كلا البرجين بدعم معظم وزن الجسر.

كما مبين أدناه:



الشكل(3) توازن القوى في الجسور المعلقة

٢.٣ : حسابات الحملِ في الجسور المعلقة(Determination Load on Suspension bridge)

يمكن حساب الحمل المحتمل أوالقوى المتوقعة على الجسر التي لها علاقة بمكان الجسر وغرض بنائه. وتؤخذ بنظر الاعتبار ثلاثة أنواع رئيسة من الأحمال كالآتي:-

٢.٣.١: الأحمال الميتة(Dead Loads)

تتضمن وزن الجسر إضافة إلى إي جسم آخر دائم ومثبت على الجسر (الكشك على الطريق، الإشارات المرورية، الحواجز، البوابات، سطح الطريق الخراساني. ويرمز لها بالرمز (.*D.L*).

٢.٣.٢: الأحمال الحية(Live Loads)

وتتضمن الأحمال المؤقتة على الجسر مثلا (السيارات، الشاحنات، القطارات أو المشاة) ويرمز لها برمز (.L.L).

٢.٣.٣: الأحمال البيئية(Environmental Loads)

تتضمن الأحمال المؤقتة على الجسر التي يسببها الطقس وتأثيرات بيئية أخرى، مثل الرياح التي تأتي بسبب الأعاصير، أو الرياح العالية، الثلج والزلازل...، ويرمز لها برمز (.E.L).

إن هذه الأحمال معتمدة على غرض الاستعمال وموقعِ الجسر . الأمثلة على ذلك: الأعمدة(columns) والجسور الصغيرة (beams) المتعددة المستويات المصممة للقطارات والعربات والمشاة يجب أن تكون قادرة على تحمل هذه الاستعمالات التي صمم من اجلها الجسر.على سبيل المثال إن حمل الثلج المتوقع على الجسر في كولورادو (Colorado) سيكون أعلى بكثير من تلك الحمل في جورجيا (Georgia). الجسر في كارولينا (Carolina) الجنوبية يجب أَن يصمم لمقاومة الأحمال الناتجة من الأعاصير والزلازل، بينما الجسر نفسه في نبراسكا (Nebraska) يجب أَن يصمم لأحمال ريح الإعصار.

٢.٤ : مركبات الحمل (Load Combinations)

في أثناء تصميم جسر ، من أهم الخطوات مراعاة مجموع الأحمال.لذا نستعمل عِدة طرق لإنجاز هذه المهمة. إن الطريقتين الأكثر شيوعاً هما ((The Uniform Building Code (UBC) و(The American Society of Civil Engineers (ASCE)).

١) طريقة (رمز البناية المنتظم) (UBC)

هناك عدد من الحالات التي تمثل رمز البناية المنتظم، يعرف بتكوّنه من خمس مركبات من الحمل. بهذه الطريقةِ فإن مجموعة الحمل التي تنتج ا لحمل الأعلى أَو الأكثر تأثيراً تستعمل لتخطيط التصميم وإن مجموعات حمل رمز البناية المنتظمة الخمس هي:

- الحمل الميت + الحمل حي + حمل الثلج.

- الحمل الميت + الحمل حي + حمل الريح (أو حمل الزلزال).
- الحمل الميت + الحمل الحي + حمل الريح + (حمل ثلج ÷ ٢).
- الحمل الميت +الحمل الحي + حمل الثلج + (حمل ريح ÷ ٢).
- الحمل الميت + الحمل الحي + حمل الثلج + حمل الزلزال.

٢) طريقة (الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين) (ASCE)

تعرف ست مركبات بأنها تمثل الحمل كما هو الحال مع طريقة (UBC)،مركبات الحمل التي تنتج الحمل الأعلى أو الأكثر تأثير اً أو إحراجا هي التي تستعمل لتخطيط تصميم الجسر على أية حال فحسابات الحمل للمجتمع الأمريكي من المهندسين المدنيين أكثر تعقيداً من حسابات الحمل بطريقة (UBC). لأغراضِ الدراسة ونحن سنستعمل خمس مجموعات حمل(UBC).

بعد أن يحدد المهندس مجموعة الحمل الأعلى أو الأكثر حرجاً .يحدد حجم الأجزاء، أي جزء من الجسر وأي قطعة رئيسية فردية من تركيب الجسر، مثل الأعمدة (أرصفةpiers) أو الجسور الصغيرة (عوارضgirders).مع العلم إن حجوم الجسور الصغيرة والعمود محسوب بشكل مستقل . وإن وحدة قياس الحمل هي الكيلوغرام(kg) ، الرطل(Ib) أو الكيلو نيوتن (KN).

٢.٥ : عوامل السلامة(Safety Factors)

إن عامل السلامة يستخدم لتقليل فرص الفشل في التركيب،وبهذا الأسلوب نقلل خطر الخسارة التي تتعلق بالتركيب .وهي نسبة (.)الفعلية للمواد إلى(.) المطلوبة وكما يأتي:-

$$S.F. = \frac{\text{Actual (.)}}{\text{Required (.)}}$$

حيث أن:

(.)Actual: (.) الفعلية.

(.)Required: (.) المطلوبة.

إن أنماط الفشل تختلف باختلاف التركيب الهيكلي للأجزاء،لذلك غالبا ما يستعمل عديد من عوامل السلامة باختلاف الأجزاء.

٢.٥.١ : تحديد عامل السلامة (Determination of safety Factor)

هناك عدد من النقاط يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند اختيار عوامل الأمان:-

١. عامل الأمان يجب أن يكون اكبر من ١.٠ لمنع الفشل.

٢. إذا كان عامل الأمان كبيراً جداً،تصبح الزيادة عن الحاجة (احتياطي).

٣. إذا كان عامل الأمان صغيراً جداً، يصبح الأمان في مشكلة.

وهناك أنشطة أخرى تتأثر أنشطتها بعوامل السلامة، وان وضع عامل السلامة يختلف من مشروع إلى مشروع آخر، كذلك هناك متغيرات تكون مجهولة في بعض الأحيان، مثل تأثير الوقت، حيث يجب أن تضاف إلى عوامل الأمان.

أن تأثيرات الوقت وكذلك البيئة لا يمكن السيطرة عليها بسهولة، ولكن المصمم يجب أن يبذل قصارى جهده للتمييز بينهما.

عندما يستخدم عامل الأمان بشكل مناسب فان فرصة الفشل تقل وبالتالي تزداد قابلية النظام. وان الخسارة البشرية والاقتصادية تتناقص عندما يكون تصميم منحنى كل من المتانة والإجهاد ذا اختلاف قليل.

نستنتج أن في كل جزء من النظام يجب أن يؤخذ عامل السلامة بنظر الاعتبار . ومن الممكن حساب الأحمال الكلية مع أخذ عامل السلامة بنظر الاعتبار وكما يأتي:-

$$T.L.(Factored) = S.F_1 \times D.L. + S.F_2 \times L.L. + S.F_3 \times I.L. + S.F_4 \times E.L.$$

حيث إن:

$T.L.(Factored)$: الأحمال الكلية مع عامل السلامة.

$S.F_1$: عامل السلامة للحمل الميت. $S.F_2$: عامل السلامة للحمل الحي.

$S.F_3$: عامل السلامة للأحمال المثبتة على الجسر. $S.F_4$: عامل السلامة للعوامل البيئية.

٢.٦ : تحديد تحمل القابلوات الساندة(Determination force of suspender cable)

يمكن حساب تحمل (Force) للقابلوات الساندة وذلك بضرب المساحة بالمتانة (Durability) بحيث إن التحمل يقاس بالرطل (lbs) والمتانة تقاس بالرطل لكل بوصة مربعة (lb/in2). وان وحدة قياس المساحة هي البوصات المربعة(in^2).وكما يأتي:-

$$F1 = Fy * A.$$

حيث إن:

F1: تحمل القابلوات الساندة.

Fy: المتانة.

A.: مساحة القابلوات الساندة.

حيث يمكن حساب مساحة القابلوات الساندة التي تعتمد على قطر هذه القابلوات وكما يأتي:-

$$A = \Pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

وان: D: قطر القابلوات الساندة. Π: النسبة الثابتة ($\Pi = 3.14$) .

٢.٧ : تحديد عدد القابلوات الساندة (Determination number of suspender cables)

إن عدد القابلوات الساندة الكلية يحدد من قبل الطاقم المصمم للجسر.

لحساب عدد القابلوات الضرورية (k) التي يسند عليها الجسر،نستخدم القانون الآتي:-

$$k = \frac{T.L(factored)}{F1}$$

حيث إن:-

$T.L(factored)$: الأحمال الكلية مع أخذ عامل السلامة بنظر الاعتبار.

ولحساب عدد القابلوات الاحتياطية (Redundant) نقوم بطرح عدد القابلوات الكلية بأخذ عوامل السلامة بعين الاعتبار مع عدد القابلوات الضرورية وكما يأتي :

$$N.S.(factored) = N - k$$

حيث إن: $N.S.(factored)$:عدد القابلوات الاحتياطية.

N : عدد القابلوات الكلية. k :عدد القابلوات الضرورية

٢.٨ : جسر البوابة الذهبية المعلقة (Suspension Golden gate bridge)

يقع هذا ا لجسر في الولايات المتحددة الامريكية أحد أروع الأمثلة في هندسة تصميم وإنشاء الجسور على مستوى العالم، حيث يمثل تحدياً لكل من التصميم الإنشائي والجاذبية الفنية، وقد أعلن سابقا أنه أحد عجائب الدنيا من قبل الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين .ويعد جسر البوابة ا لذهبية (Golden Gate Bridge) أشهر المعالم الإبداعية في ولاية كاليفورنيا وأشهر الأعمال الهندسية في الولايات المتحدة كلها سابقاً . وبسبب جماله ولونه البرتقالي أو القرمزي الخاص، أصبح جسر البوابة الذهبية من أشهر الجسور.

بدأ العمل في بناء جسر البوابة الذهبية في ٢/ كانون الثاني / ١٩٣٣ م ، كجزء من برنامج "إدارة العمل والمشاريع" خلال عصر الرئيس فرانكلين دالنو . وتم الانتهاء من أعمال البناء سنة ١٩٣٧ م، وبدأت حركة المركبات خلاله في تمام ٢٧ / مايو من العام نفسه ، حين قام الرئيس الأمريكي فرانكلين بإطلاق إشارة انطلاق سير المركبات على الجسر الجديد.

٢.٨.١ : أنواع ومجموعات الحمل

إن أهم أنواع الأحمال الذي يمكن تحديدها للجسر هي:-

١. الحمل الميت Dead load.

٢. أي حمل اخر مثبت على الجسر Super imposed load.

٣. الحمل الحي Live load.

٤. الحمل بسبب الرياح Wind load.

Cases	Actual Load(Mpa)	Required Load(Mpa)	S.F.
Dead load	187	161.904762	1.155
Imposed load	38.5	20	1.925
Live load	100	69.930070	1.430
Wind load	9.6	7.933884	1.210

نقوم بإيجاد الحمل الكلي وذلك بأخذ حاصل جمع الأحمال في أعلاه فنجد أن مجموع الأحمال مع عدم وجود عامل السلامة تبلغ259.768716 KN/m وبعد وجود عامل السلامة يبلغ335.1 KN/m وان الاحتياط يبلغ75.331284 KN/m وهكذا... وكما يأتي:-

$$T.L.\,(Factored) = S.F_1 \times D.L. + S.F_2 \times L.L. + S.F_3 \times I.L. + S.F_4 \times E.L.$$

$$= 1.155 * 161.904762 \text{ KN/m} + 1.925 * 20 \text{ KN/m} + 1.210 * 69.930070 \text{ KN/m}$$

$$+ 1.430 * 7.933884 \text{ KN/m} = 335.1 \text{ KN/m}$$

ونحسب الحمل بدون أخذ عامل السلامة وذلك باستخدام المعادلة نفسها بمساواة

$$S.F_1 = S.F_2 = S.F_3 = S.F_4 = 1$$

وكما يأتي:

$$T.L.\,(Unfactored) = 161.904762 \text{ KN/m} + 20 \text{ KN/m} + 69.930070 \text{ KN/m}$$

$$+ 7.933884 \text{ KN/m} = 259.768716 \text{kN/m}$$

حيث إن

$T.L.\,(Unfactored)$:الأحمال الكلية بدون عامل السلامة.

ويمكن تلخيص مجموع الأحمال فى الجدول الآتى:-

أحمال الجسر	KN/m	KN
الحمل الكلي مع عدم وجود عامل السلامة	259.768716	259.768716*1280= 332503.956649
الحمل الكلي مع وجود عامل السلامة	335.10	335.10*1280= 428928
مقدار الحمل الزائد عن الحاجة	75.331284	75.331284*1280= 96424.043351

الجدول(٢) مجموع الأحمال.

إن تحديد التحمل يعتمد على قطر القابلوات(D) أو المساحة لان مساحة المقطع تعتمد أيضاً على (D) وكذالك على المتانة وكما يأتي:-

$$D = 2\frac{11}{16}in = 68mm \qquad r = \frac{D}{2}$$

حيث أن:

D : تمثل قطر القابلو الواحد الساند.

r :تمثل نصف قطر القابلو.

A :مساحة المقطع للقابلو.

ويمكن إيجاد مساحة المقطع وكما يأتي:-

$$A = \Pi r^2$$

$$A = 3.14 * \left(\frac{68}{2}\right)^2 = 3631.68 \,\mathrm{m\ m^2}$$

ونجد أن المتانة هـ ي معروفة (فيزيائياً) لدى مصمم ي الجسر، لذلك فان متانة القابلوات الساندة تساوي $182{,}600\,\mathrm{psi} = 1260\mathrm{MPa}$.

قمنا بتحويل وحدة المتانة من وحدة (psi) إلى وحدة (Mpa).

لتحديد تحمل القابلوات تم تطبيق:-

$$\mathrm{F1} = 1260\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m\ m^2}} * 3631.68\,\mathrm{m\ m^2} = 4575916.8\,\mathrm{N} = 4575.9168\,\mathrm{KN}$$

قمنا بتحويل وحدة التحمل من وحدة (N) إلى وحدة (KN).

إن عدد القابلوات الكلية هي ٥٠٠ قابلو معلق.

يمكن حساب عدد القابلوات الضرورية يمكن حسابها وكما يأتي:-

$$k = \frac{428928\,\mathrm{KN}}{4575.9168\,\mathrm{KN}} \approx 94$$

ويمكن لتحديد عدد القابلوات الاحتياطية (Redundant) وكما يأتي:-

$$N.S(Safety) = 500 - 94 = 406$$

٢.٩ : العلاقة بين الدورة والمتانة (Relation between Cycle and Durability)

إن الجسور المعلقة عند مرور المركبات والأجسام عليها تولد تذبذبات حركية بتعبير آ خر يتحرك الجسر إلى الأسفل عند مرور المركبات وبعدها يتحرك إلى الأعلى (يرجع إلى وضعه الطبيعي)وان هذه الحركة تسمى الدورة (Cycle)، بحيث إن هذه التذبذبات تؤثر في متانة القابلوات الساندة عكسياً (بزيادة عدد الدورات يفقد مقدار المتانة).

إن لكل جسر معلق معدل حركة سنوية معينة ((Annual Average Daily Truck (AADT)
حيث بحسب السنوات(أو بمرور السنوات) يفقد متانة(المعولية) القابلوات الساندة وكما في الجدول الآتي:-

Redundant Load Path Structures				
Allowable Range of Stress, Fsr(Ksi)				
Category	***For 100000 cycle***	***For 500000cycle***	***For 2000000cycle***	***Over 2000000***
A (Ksi)	***49***	***29***	***18***	***16***
Mpa	***(49*6.9)=338.1***	***(29*6.9)=200.1***	***(18*6.9)=124.2***	***(16*6.9)=110.4***
B (Ksi)	***39***	***23***	***14.5***	***12***
Mpa	***(39*6.9)=269.1***	***(23*6.9)=158.7***	***(14.5*6.9)=100.05***	***(12*6.9)=82.8***
C (Ksi)	***35.5***	***21***	***13***	***10***
Mpa	***(35.5*6.9)=244.95***	***(21*6.9)=144.9***	***(13*6.9)=89.7***	***(10*6.9)=69***
D (Ksi)	***28***	***16***	***10***	***7***
Mpa	***(28*6.9)=193.2***	***(16*6.9)=110.4***	***(10*6.9)=69***	***(7*6.9)=48.3***
E (Ksi)	***22***	***13***	***8***	***4.5***
Mpa	***(22*6.9)=151.8***	***(13*6.9)=89.7***	***(8*6.9)=55.2***	***(4.5*6.9)=31.05***
F (Ksi)	***16***	***9.2***	***5.8***	***2.6***
Mpa	***(16*6.9)=110.4***	***(9.2*6.9)=63.48***	***(5.8*6.9)=40.02***	***(2.6*6.9)=17.94***
G (Ksi)	***15***	***12***	***9***	***8***
Mpa	***(15*6.9)=103.5***	***(12*6.9)=82.8***	***(9*6.9)=62.1***	***(8*6.9)=55.2***

الجدول(٣)

الأنواع والمتانة (Durability) بحسب القابلوات الفولاذية وبحسب معدل الحركة السنوية.

A,B,C,D,E,F,G هي أنواع القابلوات الفولاذية.

وان Ksi(Kilo Square Inch) و Mpa(Mega Pascal) هي وحدات لقياس المتانة.

قمنا بتحويل وحدة المتانة من وحدة (Ksi) إلى وحدة (Mpa).

ونظرا لعدم معرفة نوع القابلو الفولاذي الساند المستخدم في جسر البوابة الذهبية لذا افترضنا نوع A لكونه النوع المستخدم لأنه لا يوجد اختلاف في تغير المتانة بالنسبة لأنواع القابلوات الفولاذية.

إن مقدار المتانة (Durability) مقابل عدد السنوات ومعدل الحركة السنوية *(AADT)*مبين كما في الجدول الآتي:-

Durability(Mpa)	*AADT(Cycle)*	*Year*
338.1	*100000*	*1*
200.1	*500000*	*5*
124.2	*2000000*	*20*
110.4	*>2000000*	*>20*

الجدول (٤)

فقدان المتانة بازدياد عدد السنوات.

يعني ذلك أن المدى المسموح به (متانة القابلو الفولاذي تقع ضمن مدى من (338.1*Mpa*) (الحد الأعلى)إلى(110.4*Mpa*) (الحد الأدنى). إن إقلال في المتانة لمدة الاستخدام (5) و(١٥) سنوات معطاة في الجدول الآتي:-

Change(Mpa)	***AADT(Cycle)***
138 (338.1-200.1)	***100000-500000***
75.9 (200.1-124.2)	***500000-2000000***
13.8 (124.2-110.4)	***over 2000000***

الجدول (٥)

كمية فقدان المتانة حسب زيادة عدد الدورات.

وهذا يعني أن في مدة ٤ سنوات من الاستخدام المستمر تتناقص متانة القابلو الواحد بمقدار (138*Mpa*)وحدة ومن ٥ سنوات إلى ٢٠ سنة(١٥ سنة) تقل بمقدار (75.9*Mpa*)وحدة ومن ٢٠ سنة فأكثر تقل بنسبة (13.8*Mpa*) وحدة . وان مقدار التغير السنوي كما هو موضح في جدول الآتي:-

AADT(Cycle)	***100000 cycle***	***Total***
100000-500000	***(138/5)=27.6 Mpa***	***138Mpa***
500000-2000000	***(75.9/15)=5.06Mpa***	***75.9Mpa***
over 2000000	***(13.8/١٠)=1.38Mpa***	***13.8 Mpa***

الجدول (٦)

كمية الفقدان السنوي من المتانة إذا كان(*Cycle* 100000)=AADT.

إن المتانة تتناقص بمقدار (٢٧.٦Mpa)وحدة خلال خمس سنوات الأولى من الاستخدام المستمر، ومن خمس سنوات إلى عشرين سنة يتناقص بمقدار ثابت وقدره(٥.٠٦Mpa)وحدة وبعد أكثر من عشرين سنة يتناقص بمقدار (١.٣٨Mpa) وحدة إذا كانت المدة المسموحة بها لصلاحية القابلو الفولاذي هي ١٠ سنة.

نلاحظ إن التغير في متانة القابلو الفولاذي يختلف باختلاف الحمل الذي تحمله. فكلما زاد عدد الدورات يزداد مقدار الفقدان في المتانة. فإذا ازدادت عدد الدورات من (118000Cycle-١٠٠٠٠٠)سنوياً فان التغير يكون كما في الجداول الآتية:-

(27.6/355)= 0.077746479Mpa/Day	**فقدان المتانة لكل يوم خلال الخمس سنوات الأولى.**
(100000*5)/(5*355)=282 Cycle/Day	**عدد الدورات لكل يوم خلال الخمس سنوات الأولى.**
(0.077746479/281.6901408)=0.000276Mpa/Cycle	**فقدان المتانة لكل دورة خلال الخمس سنوات الأولي.**
(27.6+0.000276 *18000)=32.568Mpa	**فقدان المتانة لكل سنة خلال الخمس سنوات الأولى.**
(32.568*5)=162.84Mpa	**فقدان المتانة للخمس سنوات الأولى.**

الجدول (٧)

كمية الفقدان السنوي من المتانة خلال الخمس سنوات الأولى إذا كان ١١٨٠٠٠Cycle=AADT.

(5.06/355)=0.0142535Mpa/Day	فقدان المتانة لكل يوم خلال ١٥ سنة الثانية.
(100000*15)/(15*355)=281.69014 Cycle/Day	عدد الدورات لكل يوم خلال ١٥ سنة الثانية.
(0.0142535/281.69014)=0.000051Mpa/Cycle	فقدان المتانة لكل دورة خلال ١٥ سنة الثانية.
(5.06+0.000051*15)=5.9708Mpa	فقدان المتانة لكل سنة خلال ١٥ سنة الثانية.
(5.9708*15)= 89.562Mpa	فقدان المتانة لـ ١٥ سنة الثانية.

الجدول (٨)

كمية الفقدان السنوي من المتانة خلال ١٥ سنة الثانية إذا كان AADT=١١٨٠٠٠Cycle.

(1.38/355)=0.000485915Mpa/Day	فقدان المتانة لكل يوم خلال ١٠ سنوات الثالثة.
(100000*10)/(10*355)=281.6901408 Cycle/Day	عدد الدورات لكل يوم خلال ١٠ سنوات الثالثة.
(0.000485915/281.6901408)=0.000001725Mpa/Cycle	فقدان المتانة لكل دورة خلال ١٠ سنوات الثالثة.
(1.38+0.000001725*10)=1.٣٨٠١٣٨Mpa	فقدان المتانة لكل سنة خلال ١٠ سنوات الثالثة.
(1.٣٨٠١٣٨*10)=13.80١٣٨Mpa	فقدان المتانة لـ١٠ سنوات الثالثة.

الجدول (٩)

كمية الفقدان السنوي من المتانة خلال ١٠ سنوات الثالثة إذا كان AADT=١١٨٠٠٠Cycle.

AADT	*١١٨٠٠٠ cycle*	*Total*
100000-500000	*(162.84/5)=32.568* Mpa	*162.84* Mpa
500000-2000000	*(89.562/15)=5.9708*Mpa	*89.562*Mpa
over 2000000	*(13.80١٣٨/10)=1. ٣٨٠١٣٨*Mpa	**1.380138**Mpa

الجدول (١٠)

كمية الفقدان السنوي من المتانة إذا كان AADT=١١٨٠٠٠.

إن مقدار الفقدان للمتانة عندما تزداد عدد الدورات من (100000 Cycle) إلى (118000 Cycle) هي كما يأتي:-

AADT	*100000 Cycle*	*118000 Cycle*	*Change*
100000-500000	***138***Mpa	***162.84*** Mpa	***24.84*** Mpa
500000-2000000	***75.9***Mpa	***89.562*** Mpa	***13.662*** Mpa
over 2000000	***13.8*** Mpa	***١٣.٨٠١٣٨***Mpa	٠.٠٠١٣٨Mpa

الجدول (١١)

مقدار التغير في المتانة عندما يتغير AADT.

من خلال الجدول في أعلاه يتضح انه خلال السنوات الخمس الأولى فان المتانة تفقد بمقدار (٢٤.٨٤ Mpa) وحدة عندما يزداد عدد الدورات من ١٠٠٠٠٠ إلى ١١٨٠٠٠ وهكذا... .

٢.١٠ : متانة القابلوات الساندة للجسر البوابة الذهبية (Durability of Suspender cable of Golden Gate Bridge)

إن الجسور المعلقة عادةً تبنى لمدة ١٠٠ سنة مع اخذ عامل السلامة بنظر الاعتبار . وان المعلومات المستخدمة لإيجاد المتانة موضحة في الجدول الآتي:-

Year	Decreasing of Durability	Change Durability	Cumulative of Durability
1	**1260.000**Mpa	**0** Mpa	**0.000**Mpa
5	**1097.160**Mpa	**(162.84-0)=162.84** Mpa	**162.840**Mpa
20	**1007.598**Mpa	**(252.402-162.84)=89.562**Mpa	**252.402**Mpa
100	**236.000**Mpa	**(1024-252.402)=771.598** Mpa	**1024.000**Mpa

الجدول(١٢)

المتانة بحسب السنوات لجسر البوابة الذهبية.

أن تغير المتانة سنويا من سنة (١-٥) كما هو مبين في الجدول(٧) ومن سنة (٥-٢٠) كما هو مبين في الجدول (٨) ومن سنة (٢٠-١٠٠) مبين كما في الجدول في أدناه:-

(9.6449/355)=0.027169Mpa/Day	فقدان المتانة لكل يوم خلال٨٠ سنوات الثالثة.
(100000*80)/(355*80)=281.690141 Cycle/Day	عدد الدورات لكل يوم خلال٨٠ سنوات الثالثة.
(0.027169/281.690141)=0.00009645Mpa/Cycle	فقدان المتانة لكل دورة خلال٨٠ سنوات الثالثة.
(9.6449+(0.00009645*80)=٩.٦٤٥٠٧١٤٤٩٧٥Mpa	فقدان المتانة لكل سنة خلال٨٠ سنوات الثالثة.
(9.64507144975*80)=771.605716Mpa	فقدان المتانة لـ ٨٠ سنة.

الجدول (١٣)

كمية فقدان السنوي من المتانة خلال ٨٠ سنة الثالثة إذا كان AADT=١١٨٠٠٠Cycle.

والجدول التالي يبين تغير المتانة سنوياً

Clase	change Durabilityper year	Total
1-5	**32.5680**Mpa	**162.84**Mpa
5-20	**5.9708**Mpa	**252.402**Mpa
20-100	**9.644975**Mpa	**268.686**Mpa

الجدول(١٤)

تغير المتانة سنوياً

من خلال الجدول(١٢) نجد إن الحد المسموح به للمتانة هو من ١٢٦٠ إلى ٢٣٦ وحدات ويزداد الفقدان من ٠ إلى ١٠٢٤ وحدات، حيث خلال السنوات٥ الأولى يفقد بمقدار ١٦٢.٨٤ وحدة وبعد ١٥ سنة يفقد بمقدار ٨٩.٥٦٢ وحدة وعند ٨٠ سنة يفقد بمقدار٧٧١.٥٩٨، وان مقدار التغير في المتانة سنويا مبين كما في الجدول (١٤) . مع العلم أن معدل الحركة السنوية لجسر البوابة الذهبية (AADT)هي ١١٨٠٠٠ دورة.

ولقد تم تبديل القابلوات الساندة في السبعينات لذلك سوف نحسب مقدار الفقدان في المتانة ابتدءا من سنة ١٩٨١ إلى سنة ٢٠٧٦ وكما في الجدول الآتي:-

T	S (Mpa)	AADT	K
1981	162.8400	590,000	108
1986	192.6940	1,180,000	111
1991	222.5480	1,770,000	114
1996	252.4020	2,360,000	117
2001	300.6269	2,950,000	123
2006	348.8518	3,540,000	130
2011	397.0766	4,130,000	137
2016	445.3015	4,720,000	145
2021	493.5264	5,310,000	154
2026	541.7513	5,900,000	164
2031	589.9761	6,490,000	176
2036	638.2010	7,080,000	190
2041	686.4259	7,670,000	206
2046	734.6508	8,260,000	225
2051	782.8756	8,850,000	248
2056	831.1005	9,440,000	275
2061	879.3254	10,030,000	310
2066	927.5503	10,620,000	355
2071	975.7751	11,210,000	416
2076	1024.0000	11,800,000	500

الجدول (١٥)

المتانة حسب السنوات.

من خلال الجدول في أعلاه نجد انه كلما قلت المتانة ازداد العدد الضروري من القابلوات الساندة التي يحتاجها الجسر.

في السنة الأولى فان الجسر يحتاج إلى ٩٤ قابلو من أصل ٥٠٠قابلو وبعد مرور خمس سنوات فان المتانة تفقد بمقدار ١٦٢.٨٤ وحدة وان هذا الفقدان يؤدي إلى زيادة العدد الضروري من القابلوات الساندة التي يحتاجها الجسر إلى ١٠٨ قابلو من أصل ٥٠٠ قابلو وهكذا... .

٢.١١: معولية جسر البوابة الذهبية(Reliability for Golden Gate Bridge).

إن معولية جسر البوابة الذهبية تأخذ بنظر الاعتبار معولية القابلوات الساندة للجسر وعد د القابلوات الضرورية وكذلك عدد القابلوات الفعلية للجسر ، باستخدام البرنامج الإحصائي الجاهز (StatisticalTables) وحصلنا على معولية النظام (R(k,N وبذلك تقسم البيانات كما هو في أدناه على قسمين:-

القسم الأول: تم تقدير معولية الجسر من سنة ١٩٧٦ إلى سنة ٢٠٠٨ كما في الجدول (١٦) ونحسب معولية الجسر للسنة المذكورة كما يأتي:-

$$R(r,94,500)=\sum_{r=94}^{500} C_r^{500} R_i^{\,r}(1-R_i)^{500-r} \qquad i=1,2,3,...,100$$

من خلال التحليل الاحصائي وجدنا أن متانة القابلوات الساندة تتبع توزيع ويبل

$$f(S;\alpha,\beta)=\alpha\beta\, S^{\beta-1} e^{-\alpha S^{\beta}} \qquad S\geq 0 \quad , \quad \alpha,\beta>0$$

تم تقدير معلمة القياس (α) ومعلمة الشكل (β) بطريقة بيز والنتائج كالأتي:

$$\hat{\beta}=3.7$$

$$\hat{\alpha}=3.39\mathrm{E}-11$$

وتم تقدير دالة معولية القابلوات الساندة بتعويض قيم المعلمات التقديرية

$$\hat{R}(t)=e^{-3.39\mathrm{E}-11S^{3.7}}$$

حيث ان S تمثل (Durability) متانة القابلوات.

تبين لنا في الجدول أدناه أن المعولية في سنة ١٩٧٦ هي ١٠٠% حيث أن عدد القابلوات الضرورية التي يحتاجها الجسر هي على الأقل ٩٤ قابلو، أي ان الجسر يعمل بكفاة عالية جداً في (١٩٧٦-٢٠٣٤).

T	k	$R(t_s)$	$F(t_s)$	R(k,N)	Q(k,N)
1976	94	1.0000	0.0000	1.000000	0.000000
1977	96	1.0000	0.0000	1.000000	0.000000
1978	99	0.9998	0.0002	1.000000	0.000000
1979	102	0.9992	0.0008	1.000000	0.000000
1980	105	0.9977	0.0023	1.000000	0.000000
1981	108	0.9948	0.0052	1.000000	0.000000
1982	108	0.9941	0.0059	1.000000	0.000000
1983	109	0.9933	0.0067	1.000000	0.000000
1984	109	0.9924	0.0076	1.000000	0.000000
1985	110	0.9914	0.0086	1.000000	0.000000
1986	111	0.9904	0.0096	1.000000	0.000000
1987	111	0.9893	0.0107	1.000000	0.000000
1988	112	0.9880	0.0120	1.000000	0.000000
1989	113	0.9867	0.0133	1.000000	0.000000
1990	113	0.9852	0.0148	1.000000	0.000000
1991	114	0.9837	0.0163	1.000000	0.000000
1992	115	0.9820	0.0180	1.000000	0.000000
1993	115	0.9802	0.0198	1.000000	0.000000
1994	116	0.9783	0.0217	1.000000	0.000000
1995	117	0.9763	0.0237	1.000000	0.000000
1996	117	0.9741	0.0259	1.000000	0.000000
1997	118	0.9703	0.0297	1.000000	0.000000
1998	120	0.9662	0.0338	1.000000	0.000000
1999	121	0.9616	0.0384	1.000000	0.000000
2000	122	0.9566	0.0434	1.000000	0.000000
2001	123	0.9512	0.0488	1.000000	0.000000
2002	124	0.9453	0.0547	1.000000	0.000000
2003	126	0.9390	0.0610	1.000000	0.000000
2004	127	0.9321	0.0679	1.000000	0.000000
2005	128	0.9248	0.0752	1.000000	0.000000
2006	130	0.9169	0.0831	1.000000	0.000000
2007	131	0.9085	0.0915	1.000000	0.000000
2008	132	0.8995	0.1005	1.000000	0.000000

الجدول (١٦)

تقدير معولية الجسر للمدة (١٩٧٦-٢٠٠٨).

القسم الثاني : تم التنبؤ بمعولية الجسر للمدة (٢٠٠٩-٢٠٤٠) كما في الجدول الآتي:-

T	k	$R(t_s)$	$F(t_s)$	R(k,N)	Q(k,N)
2009	134	0.8900	0.1100	1.000000	0.000000
2010	135	0.8799	0.1201	1.000000	0.000000
2011	137	0.8693	0.1307	1.000000	0.000000
2012	138	0.8580	0.1420	1.000000	0.000000
2013	140	0.8462	0.1538	1.000000	0.000000
2014	142	0.8338	0.1662	1.000000	0.000000
2015	143	0.8208	0.1792	1.000000	0.000000
2016	145	0.8073	0.1927	1.000000	0.000000
2017	147	0.7931	0.2069	1.000000	0.000000
2018	148	0.7784	0.2216	1.000000	0.000000
2019	150	0.7632	0.2368	1.000000	0.000000
2020	152	0.7474	0.2526	1.000000	0.000000
2021	154	0.7311	0.2689	1.000000	0.000000
2022	156	0.7143	0.2857	1.000000	0.000000
2023	158	0.6970	0.3030	1.000000	0.000000
2024	160	0.6793	0.3207	1.000000	0.000000
2025	162	0.6611	0.3389	1.000000	0.000000
2026	164	0.6426	0.3574	1.000000	0.000000
2027	167	0.6237	0.3763	1.000000	0.000000
2028	169	0.6045	0.3955	1.000000	0.000000
2029	171	0.5850	0.4150	1.000000	0.000000
2030	174	0.5653	0.4347	1.000000	0.000000
2031	176	0.5454	0.4546	1.000000	0.000000
2032	179	0.5253	0.4747	1.000000	0.000000
2033	181	0.5051	0.4949	1.000000	0.000000
2034				00	0.000000

الجدول (١٧)

تنبؤ معولية الجسر للمدة (٢٠٠٩-٢٠٤٠)

الاستنتاجات:Conclusions

١ –إن معولية القابلوات الساندة R(t) للمدة (١٩٧٦-٢٠٠٨) تتناقص مع ازدياد الزمن ةأت الفشل تزداد ببطء ولكن معولية الجسر R(K,N) تبقى ثابتة وتساوي واحد خلال تلك المدة.

٢ –إن معولية الجسر التنبؤية ثابتة من سنة ٢٠٠٩ الى سنة ٢٠٣٤ وبعدها تتناقص ببطء حتى سنة ٢٠٣٧ ثم تزداد شدتها الى سنة ٢٠٤٠.

٣ –من خلال التحليل يتبين أن عدد القابلوات الضرورية (k) هي تقريبا خمس عدد القابلوات الحقيقية (N) أي أن $k = N/5$.

المراجع الأجنبية: Foreign References

1- American Association of State Highway and Transportation Officials, (1996),"Standard Specification for Highway Bridge", Sixteen Editions, table10.3. IA

2- Beer, Ferdinand P., and E. Russell Johnston, Jr, (2006)," Mechanics of Materials", Fourth Edition, Texas Tech University, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

3- Chen, Wai-Fah, Duan, Lian,(2000)"Bridge engineering handbook" CRC Press LCC, New York.

4- Dhillon, B.C., (1999), "Design Reliability: Fundamentals and Application", CRC press LLC, London, UK.

5- Kececioglu, Dimitri B., (2002), "Reliability Engineering Handbook", volume1, DEStech Publications, Inc., USA.

6- Singer F.I. and Pytel .A, (1980),"Strength of materials", third edition, Harper international.

7- Smith, Charles O., (1976), "Introduction to Reliability in Design". McGraw-Hill, Inc., Tokyo, Japan.

مصادر الانترنيت

1- Jonathan S. Good & Joe Friedriches, (2007),"Designing Bridges", Integrated Teaching and Learning Program and Laboratory, University of Colorado.
Date of downloading: 25/8/2009
http://www.teachengineering .org/view lesson.php?url=http://www.teachengineering.org/collection/cub/lesson/cub brid/cub brid lesson02..xml#pererq

2- Kei Fung sameul, Kwan, (2007), "THE STUDY ON SAN FRANCISCO GOLDEN GATE BRIDGE", University of Bath, UK.
Date of downloading: 25/8/2009.

http://www.bath.ac.uk/ace/uploads/StudentProjects/Bridgeconferenc
e2007/conference/mainpage/Kwan Golden Gate.pdf

3- Annual Average Daily Truck Traffic on the Califonia State Highway System, (2008), "Annual Average Daily Truck Traffic", USA.
Date of downloading:25/8/2009.
http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/saferesr/trafdata/truck2006final.pdf