دراسة مقارنة بين شروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية وشروط الفيديك- الكتاب الأحمر

Mustafa Abdullah Hilal
University Of Baghdad

Zaid Jamel Musa AL-Najar
University Of AL- Kufa

خلاصة

تحتاج حركة الإعمار في العراق إلى أطراً قانونيةً محكمة، قادرة على التفصيل الدقيق لحدود صلاحيات ومسؤوليات وواجبات الأطراف المشاركة في مشاريع الإعمار، على اختلاف أنواعها ونظم تنفيذها. تعتبر شروط المقاولة إحدى أهم تلك الأطر القانونية. استقصى البحث مدى ملائمة شروط المقاولة العراقية للتطبيق في مشاريع الإعمار، ومدى مرونتها في استيعاب الأنواع المتعددة من نظم التنفيذ المستخدمة، مقارناً إياها بالشروط الصادرة عن الاتحاد الدولي للمهندسين الاستشاريين (الفيديك). حرص البحث على عدم الاكتفاء بمجرد المقابلة بين المواد المتناظرة في كلتا الشروط، بل وتفحص الأهداف والمبادئ الحاكمة لها، محاولاً تفسير فلسفة التقنين التي وضعت على أساسها، ومدى مرونتها، وتحريها لإنصاف طرفي العقد الرئيسين. كذلك دقق البحث في صلاحية كلتا الشروط للتطبيق في أنواع نظم التنفيذ المتعددة، وفيما إذا كانت الشروط العراقية قابلة للتطبيق أصلاً على تلك الأنواع المتعددة. أيضاً حرص البحث على المقارنة بين هيكلية كلتا الشروط لتحديد مدى تأثير ترتيب وتنظيم وعرض وتفصيل المواد القانونية على فعاليتها وكفاءة تطبيقها. كما قارن البحث بين عدد من المواد القانونية المتعلقة بالأطراف المشاركة في المشروع لأجل توضيح التباين في كفاءة كلتا الشروط. استنتج البحث أن شروط المقاولة العراقية بشكلها الحالي تسببت وستتسبب بوضع العديد من العراقيل في وجه عملية الإعمار، وإهدار الكثير من الأموال المخصصة لها، إضافة إلى التسبب في تردي مخرجات تلك المشاريع.

كلمات رئيسية: شروط ، فيديك ، مقاولة، مقارنة ، العراقية

Comparison Study between Iraqi Conditions of Contract and FIDIC Conditions- The Red Book

Abstract

Reconstruction in Iraq requires coherent legitimate frameworks that are able to detail obligations, rights and responsibilities of the parties participating in reconstruction projects, regardless their type or delivery system. Conditions of Contract can be considered an important component of these frameworks. This paper investigates flexibility and appropriateness of the application of Iraqi conditions of contract in reconstruction projects. These conditions were compared to FIDIC Conditions. The objective wasn't comparing individual clauses, but rather exploring the principles and philosophy laying behind each conditions, and to what extent each conditions care about realizing equity between main contract parties. Validity of application on various project delivery systems was also investigated. The structure of Iraqi and FIDIC conditions were compared to determine how the efficiency of use will be effected by the layout, presentation, organization, and detailing of the contents of each conditions. Moreover, some clauses related to the project parties were compared in order to further illustrate the disparity in efficiency of each conditions. The paper concludes that Iraqi conditions of contract in its current state was, and will continue, hindering the reconstruction efforts in Iraq, as well as being a cause of money waste and bad quality of project outputs.

مقدمة

تعتبر صناعة الإنشاءات بصفة عامة، ومقاولات البناء والتشييد بصفة خاصة، من أهم مجالات الإنفاق والتعاقدات في العراق في الوقت الحاضر. فبالنظر لما تعانيه البنية الأساسية المدنية والاقتصادية في العراق، من دمار واسع وحاجة كبيرة إلى إعادة الإعمار، يمكن تصور حجم التطوير، وبالتالي حجم الأموال التي يمكن أن تستثمر في مشاريع البناء والتشييد. هذه المشاريع قد تشكل فرصة عمل ممتازة لشركات المقاولات العالمية، إذ أن عشرات المليارات في سبيلها إلى أن تنفق على مشاريع البنية التحتية في العراق، وهنالك العديد من العقود المهمة التي تم أو سيتم إبرامها في الفترة القليلة القادمة. إن هذا المزيج المال والمشاريع والشركات الأجنبية بحاجة إلى وجود أطر قانونية تؤمن أحكام تفصيلية وصورة واضحة عن حدود الالتزامات والمسؤوليات والصلاحيات والواجبات والحقوق لكل طرف من الأطراف المشاركة في المشاريع الإنشائية، دون أن تكون تلك العقود تشتمل على إجبار أو إذعان من طرف لآخر، وبما يمنح الثقة للمستثمرين وأصحاب رؤوس الأموال في مصداقية الأطر القانونية في العراق. ورغم وجود عدد من الأطر القانونية في هذا المجال، إلا أن العديد منها بحاجة إلى التحديث أو حتى التغيير الكلي [النجار 2008].

هدف البحث ومنهجيته

يهدف البحث لدراسة أهلية الشروط العامة لمقاولات لأعمال الهندسة المدنية بقسميها الأول والثاني، والتي سنشير إليها اختصاراً من الآن فصاعداً باسم "شروط المقاولة العراقية"، لأن تحكم مشاريع الإعمار واسعة النطاق التي أخذت حيزها في العراق منذ عدة سنوات، وذلك عن طريق مقارنة تلك الشروط مع شروط الاتحاد الدولي للمهندسين الاستشاريين (منظمة الفيديك) الصادرة عام 1999 بعنوان:

Conditions of Contract for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer

والتي سنشير إليها اختصاراً من الآن فصاعداً باسم "شروط الفيديك- الكتاب الأحمر ". يسعى البحث لتحقيق هذا الهدف من خلال الإجابة على التساؤلات التالية:-

- هل يستطيع العراق استخدام شروط المقاولة العراقية الحالية في إدارة العقود التي يبرمها، بما فيها العقود الكبيرة في مقدارها، أو العقود الدولية مع الشركات العالمية؟
- هل هنالك حاجة لتحديث تلك الشروط؟ وما مدى أهمية ذلك التحديث؟
- هل سيكون لهذا التحديث أثر على جودة مخرجات مشاريع الإعمار الواسعة النطاق التي بدأ أو سيبدأ العراق القيام بها لتحديث بناه التحتية، ولتطوير قاعدة صناعية تضمن له اقتصاداً مستقراً؟ بعبارة أخرى، هل أن لشروط المقاولة العراقية بصيغتها الحالية تأثيرات سلبية على جودة مخرجات مشاريع الإعمار.
- هل أن تحديث الأطر القانونية التي تحكم المشاريع الإنشائية، وفي مقدمتها شروط المقاولة العراقية، يمكن أن يوفر على العراق مقداراً من المبالغ الواجب تخصيصها لتلك المشاريع؟
- هل يمكن أن يدور ذلك التحديث عجلة الاستثمار في العراق بشكل حقيقي، ويخرجها من حالة الجمود التي تعانيها؟

لأجل تحقيق أهدافه، اعتمد البحث المنهجية التالية:-

- التعريف بإصدارات منظمة الفيديك من شروط المقاولة بأنواعها المختلفة، وكذلك التعريف بما صدر من شروط مقاولة عراقية، ثم استعراض الأعمال السابقة التي قارنت بين شروط الفيديك- الكتاب الأحمر وشروط المقاولة العراقية، أو تلك التي انتقدت الأخيرة.
- توضيح الأهداف والمبادئ الحاكمة لشروط كلتا الجهتين، حيث أن العقلية التي كتبت بها كل من تلك الشروط لها تأثير كبير في تحديد مدى فعاليتها.
- شرح صلاحية كل من تلك الشروط، لأجل تقصي مدى صلاحية شروط المقاولة العراقية لمشاريع الإعمار، وأثر ذلك على نجاح تلك المشاريع.

- المقارنة بين هيكلية كل من تلك الشروط، وبيان أثر ذلك في فعاليتها وكفاءة استخدام كل منها.
- مقارنة مختصرة لأغراض التوضيح بين بعض من الحقوق والالتزامات والواجبات والصلاحيات الخاصة بالأطراف الرئيسية المشاركة في المشروع وهي: "صاحب العمل" و "المقاول" و "المهندس".

مقدمة تاريخية عن شروط الفيديك وشروط المقاولة العراقية

تأسس الاتحاد الدولي للمهندسين الاستشاريين عام 1913 من تجمع ثلاث جمعيات أوربية للمهندسين الاستشاريين هي البلجيكية والفرنسي والسويسرية. عرف الاتحاد اختصاراً باسمك الفيديك (تجميع الأحرف الأولى للتسمية الفرنسية للاتحاد). وضعت منظمة الفيديك على عاتقها القيام بإصدار شروط مقاولات لمختلف أنواع المشاريع.

أصدرت منظمة الفيديك أولى إصداراتها من شروط المقاولات لأعمال الهندسة المدنية عام 1957، والتي عرفت تداولاً بالكتاب الأحمر [Shnookal 2010]. اعتمدت تلك الشروط في هيكليتها وصياغتها على الشروط القياسية لأعمال الهندسة المدنية (ICE 4thedition) الصادرة في المملكة المتحدة عام 1955. كانت تلك الشروط موجهة بالأساس لمشاريع الهندسة المدنية حيث معظم أعمال التنفيذ تجري في موقع المشروع. ونظراً لوجود أنواع أخرى من المشاريع تحتاج إلى تصنيع جزء كبير منها خارج الموقع، فقد أصدرت منظمة الفيديك شروط جديدة في العام 1963 أسمتها شروط المقاولة لأعمال الهندسة الميكانيكية والكهربائية، وعرفت تداولاً بالكتاب الأصفر.

في العام 1987 أصدرت منظمة الفيديك تحديثاً على إصداراتها السابقة وعلى النحو التالي:

1- شروط المقاولة لأعمال مشاريع الهندسة المدنية (الكتاب الأحمر/الطبعة الرابعة).

2- شروط المقاولة لأعمال الهندسة الميكانيكية والكهربائية المتضمنة التنصيب في الموقع (الكتاب الأصفر/الطبعة الثالثة).

مع ازدياد استخدام نظم تنفيذ (Delivery Systems) مثل تصميم/بناء (Design/Build) وتسليم المفتاح (Turnkey)، أصدرت منظمة الفيديك شروطاً جديدة خاصة بهذا النوع من نظم التنفيذ عام 1995 أسمتها شروط المقاولة لمشاريع تصميم/بناء وتسليم المفتاح، وعرفت تداولاً بالكتاب البرتقالي [Overview 05].

في العام 1999 أصدرت منظمة الفيديك مجموعة جديدة من الشروط القياسية لأنواع متنوعة من المقاولات والعقود الهندسية. تتضمن هذه المجموعة أربعة شروط قياسية هي [FIDIC 1999 a]:-

1- شروط المقاولة لأعمال إنشاء المباني والأعمال الهندسية المصممة من قبل صاحب العمل (عرفت تداولاً بالكتاب الأحمر).
Conditions of Contract for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer (Red Book).

2- شروط المقاولة لمشاريع المصانع ومشاريع تصميم/بناء. تناسب هذه الشروط المشاريع الصناعية الميكانيكية أو الكهربائية أو مشاريع البناء أو الأعمال الهندسية الأخرى، والتي يكون المقاول مسؤولاً عن تصميمها وتنفيذها (عرفت تداولاً بالكتاب الأصفر).
Conditions of Contract for Plant and Design/Build Contract (Yellow Book).

3- شروط المقاولة لمشاريع تسليم المفتاح. تناسب هذه الشروط المشاريع الصناعية الكبيرة، ومشاريع البنية التحتية، والتي يكون المقاول مسؤولاً عن تصميمها وتنفيذها وتجهيزها بما تحتاجه من معدات ومكائن لأجل التشغيل، وتكون مداخلة صاحب العمل فيها على نطاق ضيق ومحدود (عرفت تداولاً بالكتاب الفضي).
Conditions of Contract for EPC/Turnkey Projects (Silver Book).

4- شروط المقاولة المختصرة، والتي تناسب مشاريع البناء والأعمال الهندسية ذات المبالغ الصغيرة نسبياً (عرفت تداولاً بالكتاب الأخضر).
Short Form of Contract (Green Book).

لقد اعتبرت منظمة الفيديك هذه المجموعة من الشروط مجموعة جديدة تختلف عن إصداراتها السابقة في نواحٍ عديدة، ولذا فقد اعتبرت كل منها "الطبعة الأولى"، وبذا فهي ليست تحديثاً أو إضافةً للإصدارات السابقة منها. فالكتاب الأحمر الجديد ليس تحديثاً على الكتاب الأحمر القديم بالمعنى الحرفي للتحديث، ولهذا الأمر علاقة بصلاحية الشروط، وهو ما سنتناوله لاحقاً في هذا البحث تحت عنوان "صلاحية الشروط".

لمنظمة الفيديك إصدارات أخرى من شروط العقود، إذ أنها في العام 2005 أصدرت نسخة معدلة من الكتاب الأحمر لتتناسب مع المشاريع الممولة من قبل البنوك المانحة للمساعدات والقروض (من ضمنها البنك الدولي والبنك الآسيوي للتنمية)، والتي كانت قد بدأت باستخدام شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، ولكن واجهتها بعض الصعوبات في التعامل مع عدد من الفقرات التي لم يكن من السهل أن تتناغم مع طبيعة المشاريع الممولة من قبل تلك البنوك. يضمن البنك الدولي، على سبيل المثال تلك الشروط في وثائق عقوده. سميت تلك النسخة من الشروط

"Conditions of Contract for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer- Multilateral Development Banks (MDB) Harmonized Edition"

وقد صدرت آخر نسخة منها عام 2010. كما أن منظمة الفيديك أصدرت في العام 2008 شروط المقاولة لمشاريع تصميم/بناء/تشغيل والتي عرفت تداولاً بالكتاب الذهبي. إضافة لعدد آخر من شروط عقود المقاولات والممارسات القياسية (Standard Practices) [FIDIC Bookshop 2010].

بالنسبة للعراق، فقد جرت محاولة مواكبة مسيرة منظمة الفيديك في إصدار شروط المقاولات، إذ أصدرت وزارة التخطيط الملغاة وهيئة التخطيط الملغاة ترجمات لشروط منظمة الفيديك، جرى تعديلها لتتناسب بالدرجة الأساس وطبيعة النظام السياسي والاقتصادي الذي كان يحكم العراق في العقود السابقة. صدرت الطبعة الأولى عام 1972، ثم الطبعة الثانية عام 1987 والتي كانت مماثلة إلى حد كبير للكتاب الأحمر الصادر عن منظمة الفيديك.

كما تم إصدار شروط المقاولة لأعمال الهندسة الكهربائية والميكانيكية والكيماوية، وهو ترجمة للكتاب الأصفر الصادر عن منظمة الفيديك، مع إجراء بعض التعديلات الثانوية عليه.

إلا أن العراق انقطع عن مواكبة التطورات التي أجرتها منظمة الفيديك على شروطها منذ تسعينات القرن الماضي. فلم يصدر العراق شروطاً لمقاولات مشاريع تصميم/بناء وتسليم المفتاح مماثلة لكتاب فيديك البرتقالي الصادر عام 1995. كما لم يواكب العراق التغييرات الكبيرة التي شهدتها شروط الفيديك في إصدارها الجديد عام 1999. ولعل التراجع الكبير في كم ونوع المشاريع المقامة في العراق في ذلك الحين كان سبباً أساسياً في عدم ظهور حاجة ملحة لتحديث شروط المقاولة العراقية. لكن بعد عام 2003 ، ومع الزخم الكبير الحاصل في كم ونوع المشاريع في العراق، برز للعيان عمق الفجوة التشريعية والقانونية التي تعيشها صناعة الإنشاءات في العراق، وظهر جلياً الحاجة الملحة لتطوير شروط المقاولة العراقية. وهذا ما حدا وزارة التخطيط إلى إعادة طباعة شروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية عام 2006، لكن دون إجراء أية تغييرات على الإطلاق في تلك الشروط، مما قلل من أهمية عملية إعادة الطباعة تلك.

كمحاولة أخرى لمواكبة التطور الحاصل في الجوانب التشريعية والقانونية في عقود المقاولات، أصدرت وزارة التخطيط وثائق قياسية للعقود التي تبرمها الحكومة العراقية. هذه الوثائق هي الترجمة الرسمية للوثائق القياسية التي يستخدمها البنك الدولي في عقوده، وهي تحتوي ضمناً على شروط منظمة الفيديك المذكورة أعلاه، والخاصة بالبنوك المانحة الدولية (MDB Harmonized Addition).

الأعمال السابقة

تطرق عدد من الباحثين إلى نقد شروط المقاولة العراقية و/أو مقارنتها مع شروط أخرى كشروط الفيديك- الكتاب الأحمر. إلا أن اهتمام هؤلاء الباحثين كاد أن ينحصر بمقارنة مواد قانونية بعينها في كلتا الشروط. بل أن تلك المقارنة اقتصرت في بعض الأحيان على مجرد المقابلة

بين المواد القانونية في كلتا الشروط، والإشارة فيما إذا كان هنالك نقص في جملة أو فقرة أو إلزام قانوني ناتج عن ذلك النقص.

تناول الباحث محمد هاشم في الفصل الخامس من أطروحة الدكتوراه [عبد المجيد 2008] موضوع مقارنة شروط المقاولة العراقية بشروط الفيديك- الكتاب الأحمر وشروط المقاولة البريطانية الصادرة عن معهد المهندسين المدنيين (Institution of Civil Engineers). ورغم الجهد المبذول من قبل الباحث إلا أنه اعتمد في مقارنته على شروط الفيديك الصادرة في العام 1987 فذكر أن الكتاب الأحمر هو لأعمال الهندسة المدنية، والكتاب الأصفر لأعمال الهندسة الميكانيكية والكهربائية، والكتاب البرتقالي لمقاولات تسليم المفتاح، وهو ما كان صحيحاً قبل العام 1999، ولكنه تغير جذرياً بعد ذلك (وكما سنوضح في العنوان الفرعي التالي). إن مقارنة شروط المقاولة العراقية مع شروط الفيديك المنسوخة يقلل من وجهة نظرنا من فائدة تلك المقارنة، ومقترحات التغيير التي قد تترتب على أساسها.

كما أن الباحث قارن فقرات متفرقة في كلتا الشروط، مبتدئاً من المادة 57 وحتى المادة 68، يعتقد أن تلك المواد لها علاقة ببحثه. كانت المقارنة عبارة عن مقابلة بين المواد المتشابهة، ولم تتجاوزها إلى تتبع أسباب الاختلاف بين كلتا الشروط، ودون أن يظهر بشكل جلي اهتماماً بتطوير شروط المقاولة العراقية.

كما أن الدكتور زياد سليمان محمد خالد تناول في بحثه [محمد خالد 2010] شروط المقاولة العراقية بالنقد، ولكن دون منهجية واضحة ، كما لم يكن من الواضح أسباب اختياره لبعض المواد لغرض نقدها دون الأخرى. علاوة على ذلك، فقد اقترح إعادة تبويب الشروط على خمسة أبواب دون ذكر أسباب هذا الاقتراح، سارداً مجموعة من الإشكالات الإملائية واللغوية التي يجب تعديلها من قبيل استبدال "ألف وتسعمائة" بـ"ألفين" وكلمة "المخططات" بـ"بالخرائط" ، وكلمة "المقدار" بكلمة "المبلغ" وهكذا.

لا يرى الباحث أن أفق تلك الدراسات امتد ليشمل تحديد مدى القصور الذي تعاني منه شروط المقاولة العراقية في مواكبة تطور احتياجات مشاريع الإعمار في العراق، وأثر ذلك القصور على سير تلك المشاريع، وفيما إذا كان لذلك القصور تبعات سلبية أخرى كتردي جودة مخرجات تلك المشاريع. كما أن النقد أو المقارنات التي أجرتها تلك الدراسات كانت محدودة في توضيح أثر التباين بين شروط المقاولة العراقية وشروط الفيديك- الكتاب الأحمر على صعيد الحقوق والالتزامات والواجبات والصلاحيات والمسؤوليات الخاصة بكل طرف من الأطراف الرئيسية المشاركة في المشروع.

الأهداف والمبادئ الحاكمة

إن الأهداف والمبادئ الحاكمة لشروط المقاولات، سواء أكانت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر أو شروط المقاولة العراقية، تعبر عن عقلية واضعيها، وفلسفة التقنين التي يراد أن تتناغم معها تلك الشروط. إن استقصاء تلك الأهداف والمبادئ الحاكمة في كل من شروط الفيديك- الكتاب الأحمر وشروط المقاولة العراقية سيمكننا من معرفة مدى ملائمة شروط المقاولة العراقية لمشاريع الإعمار في العراق، ومدى حاجتها للتحديث.

شروط الفيديك- الكتاب الأحمر

- طورت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر بالأساس للعقود الدولية، كما مذكور في تصدير شروط الفيديك 1999- الكتاب الأحمر، ولكن واضعوها حرصوا على إعطائها من المرونة وقابلية التعديل ما يجعلها ممكنة التطبيق في العقود المحلية.
- بنيت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر على أساس الإقرار بأن المشاريع، سواء أكانت إنشائية أو صناعية لا تتشابه تماماً مع بعضها البعض، وبالتالي فلا يمكن وضع شروط قياسية واحدة تلتزم بتطبيقها حرفياً كل المشاريع على اختلاف أنواعها وخصائصها. عوضاً عن ذلك، يجب إعطاء المرونة الكافية لإجراء بعض التغييرات والتعديلات على المواد والبنود الفرعية، وبما يتناسب وطبيعة العمل في المشروع الذي يراد أن تطبق عليه تلك الشروط.

لقد بدأ تصدير شروط الفيديك 1999- الكتاب الأحمر بإيضاح هذا الاتجاه مع وضع توجيهات عامة لكيفية

إجراء تعديلات وتغييرات على مواد وبنود تلك الشروط. على أن دليل إعداد الشروط الخاصة الوارد في نهاية شروط الفيديك- الكتاب الأحمر يتضمن تفصيلات أكثر دقة حول كيفية التعديل، تشمل كل المواد القانونية في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، بل وحتى أمثلة حول كيفية حذف واستحداث بعض المواد القانونية الواردة في الشروط العامة، لأجل جعل الشروط تناسب العقد موضع الاهتمام.

مثال على ذلك هي التوجيهات الواردة في دليل إعداد الشروط الخاصة المتعلقة بالباب الرابع من شروط الفيديك- الكتاب الأحمر المعنون، وبالتحديد المادة القانونية (4.4) المتعلقة بالمقاولين الثانويين. ففي قسم الشروط العامة المادة (4.4-ب)، وجهت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر المقاول لضرورة الحصول على موافقة المهندس للمقاولين الثانويين الذين يقترحهم للعمل في المشروع. وفصلت المواد الفرعية (4.4-ج) و (4.4-د) الإجراءات الواجبة إتباعها لأجل ذلك. لكن في الجزء المخصص للتعليق على هذه المواد في دليل إعداد الشروط الخاصة، بينت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر أن تلك المواد الفرعية هي التي عادة ما تستخدم، وأنه بالإمكان التخفيف من قيد الحصول على موافقة المهندس على المقاولين الثانويين، بحذف بعض أو كل الفقرات الفرعية من (4.4-أ) إلى (4.4-د) أو إجراء تغييرات عليها. بل لقد ذهبت توجيهات دليل إعداد الشروط الخاصة أبعد من ذلك فضربت أمثلة على الإجراءات التي يمكن إجراؤها من قبيل جعل شرط الحصول على موافقة المهندس على المقاول الثانوي في حالة كان عقد المقاولة الثانوية أكبر من 0.01% من قيمة المقاولة ككل، والرقم هنا لأجل التوضيح وليس أكثر.

- مع إصدار المجموعة الجديدة من شروط الفيديك عام 1999، فإن ما أصبح يفرق بين أنواع شروط عقود المقاولات هو نظام التنفيذ وليس نوع المشروع،
- سعت شروط الفيديك، على امتداد إصدارات الكتاب الأحمر والكتاب الأصفر والمجموعة الجديدة الصادرة عام 1999، إلى أن تكون عادلة ومنصفة لطرفي العقد، صاحب العمل والمقاول. إذ أن تلك العدالة والإنصاف سيكون لهما الأثر الإيجابي الأفضل على مصلحة طرفي العقد. لذا فقد كانت تلك الشروط تحرص على التوزيع العادل والمتوازن للمخاطر والمسؤوليات. تحديداً فإن منهجية شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في توزيع المخاطر كانت تنطلق من منطلق أن المخاطر يجب أن تحمل للطرف الأقدر على حملها والسيطرة عليها [Wade 2005]. ولذا نجد أن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر الجديدة أفردت باباً خاصاً عنونته "المخاطر والمسؤوليات"، إضافة لعدد من المواد القانونية التي توزع المخاطر والمسؤوليات بالشكل الأمثل.
- تجاوزت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في إصدار 1999 المعضلة المنطقية المتمثلة بوجوب "حيادية المهندس"، وكما سنبين الأمر لاحقاً في هذا البحث في العنوان الفرعي المهندس.

شروط المقاولة العراقية

- على العكس من شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، لم تتمتع شروط المقاولة العراقية بأية مرونة فيما يتعلق بتطبيقها. يمكن أن يلمس هذا جلياً في شروط التطبيق الخاص، إذ أن مرونة تلك الشروط كانت محصورة فقط في نسبة خطاب الضمان من مبلغ المقاولة، وموعد تقديم منهاج العمل، والحد الأدنى للتأمين على مسؤولية الغير، ومقدار الغرامة التأخيرية، والحد الأدنى للسلف المرحلية، ونسبة التحميلات الإدارية. عدا عن ذلك، فإن شروط المقاولة العراقية، بقسميها الأول والثاني، كانت نصوص جامدة لا تقبل التغيير أو التعديل.
- رغم أن شروط المقاولة العراقية يفترض أن تكون قابلة للتطبيق في مختلف أنواع المشاريع الإنشائية في العراق، بصرف النظر عن هوية صاحب العمل، إلا أن الواقع الملموس من نصوصها يشير صراحة إلى أنها وضعت وفي ذهن واضعيها أن صاحب العمل هو

الحكومة، فهي تناسب المشاريع التي تكون الحكومة طرفاً فيها، وهي بالتالي تناسب المنظومة الإدارية التي تسير بها الحكومة مشاريعها، والأمثلة على ذلك كثيرة.

فعلى سبيل المثال، تعتبر المادة الثامنة والعشرون أن "جميع المسكوكات والمتحجرات والمواد الثمينة أو الأثرية والمنشآت أو المخلفات الأخرى أو الأشياء ذات الأهمية الجيولوجية المكتشفة في الموقع ملكاً لصاحب العمل وحده". من الواضح هنا أن المقصود بصاحب العمل هو الحكومة، إذ ليس من المعقول بغير هذه الحالة اعتبار الآثار المكتشفة في موقع العمل ملكاً لصاحب العمل الذي يمتلك أرض المشروع، وإلا لأعطينا الحق القانوني لأي صاحب عمل خاص، أو مستثمر، في امتلاك الآثار المكتشفة في موقع العمل الذي يمتلكه.

مثال آخر يظهر في المادة الحادية والسبعين التي تنص على أن "تستحصل الديون المترتبة بذمة المقاول الناشئة عن إخلال المقاول بأحكام المقاولة بموجب قانون **تحصيل الديون الحكومية**"، وهو ما يعني صراحة أن صاحب العمل هو الحكومة.

وعلى ما يبدو أن هذه الذهنية أخذت بنظر الاعتبار أيضاً طبيعة التداخل بين دوري صاحب العمل والمهندس في المشاريع الحكومية في العراق، فعندما يكون صاحب العمل جهة رسمية، وزارة مثلاً أو إدارة مدنية لمحافظة، يكون المهندس، باستثناء حالات محدودة، دائرة هندسية تابعة لصاحب العمل. ولذا يمكن ملاحظة خلط في الصلاحيات والمسؤوليات بين صاحب العمل والمهندس في عدد من مواد شروط المقاولة العراقية. على سبيل المثال، فإن المادة الأولى من شروط المقاولة العراقية (1-هـ) تعطي حق تعيين "ممثل المهندس"، والذي قد يكون مهندساً مقيماً أو مساعداً للمهندس، لـ"صاحب العمل" أو "المهندس". ولا نعلم كيف يمكن أن يحدث هذا إذا ما كان صاحب العمل جهة غير حكومية والمهندس دائرة تابعة له، إذ من غير المعقول أن يعين "صاحب العمل" في غير تلك الحالة نيابة عن "المهندس" ، والذي غالباً ما يكون مكتب أو شركة استشارات هندسية، مهندساً مقيماً. كما لا نعلم ما هي آلية إدارة العمل في تلك الحالة.

إذاً فشروط المقاولة العراقية لا تناسب إلى حد كبير المقاولات الخاصة التي لا تكون الحكومة طرفاً فيها. ولا تناسب المشاريع التي تتعاقد فيها الحكومة مع شركات مقاولات أجنبية، إذ أن تلك الشركات لا يمكن أن تقبل بأن تحكم بتلك الشروط التي تعتبر ديون صاحب العمل، وهو الحكومة في حالتنا، ديوناً ممتازة، بموجب قانون تحصيل الديون الحكومية. كما أنها لا تقبل بطبيعة الحال أن يختار لها صاحب العمل فريقاً لإدارة العمل في الموقع!

- يعتقد الباحثان أن العدالة والإنصاف لطرفي العقد لم يكونا موضع حرص من قبل واضعي شروط المقاولة العراقية. والأمثلة التالية يمكن أن تكون إثباتاً لهذا الرأي..

تتناول المادة الحادية والأربعون من شروط المقاولة العراقية مسألة التوقف الوقتي للعمل، والذي يأمر به المهندس ويعتبره ضرورياً. في البند الثاني من هذه المادة تعالج شروط المقاولة العراقية مشكلة التوقف طويل الأمد "الذي يستمر أكثر من تسعين يوماً" على النحو التالي:

"إذا أوقف سير الأعمال أو أي جزء منها بأمر التوقف لمدة متصلة تتجاوز تسعين يوماً يقوم صاحب العمل والمقاول ببحث جميع السبل والطرق الممكنة لاستئناف العمل في الأعمال أو تبني صيغة جديدة للعمل."

من الواضح أن هذه المعالجة غير منصفة ولا عادلة في توزيع المخاطر على طرفي العقد، إذ أنها لا تعطي للمقاول حقه القانوني في تجنب المخاطر والخسائر الناتجة عن هذا التوقف طويل الأمد، حتى وإن كان البند الأول من هذه المادة يعطي المقاول الحق المشروط في المطالبة بالنفقات الإضافية التي تكبدها نتيجة أمر التوقف. فمن المعلوم لذوي الاختصاص أن التوقف طويل الأمد ينتج عنه، عدا

عن النفقات المباشرة، نفقات وخسائر غير مباشرة، تتزايد قيمتها مع تزايد مدة التوقف، والتي تركت مفتوحة في شروط المقاولة العراقية. إن الباحثين لا يعتبران "بحث جميع السبل والطرق الممكنة لاستئناف العمل أو تبني صيغة جديدة للعمل" حلاً منصفاً، بقدر ما هو **تلاعب في الألفاظ ليس له أثر قانوني**.

لتوضيح حجم عدم الإنصاف بصورة أفضل يمكن مقارنة هذه المادة بنظيرتها في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، المادة (8-11) المعنونة: التوقف طويل الأمد، والتي وضعت إطار عمل منصف في حال استمر التوقف لأكثر من 84 يوماً..

1- فقد وجهت تلك المادة المقاول ابتداءً لأن يطلب من المهندس الإذن بالاستمرار في العمل.
2- إذا لم يعط المهندس الإذن بالاستمرار خلال 28 يوماً من استلامه طلب المقاول، فللمقاول، بعد إعطاء تنبيه للمهندس، اعتبار جزء الأعمال المتأثر بأمر التوقف مشمولاً بأحكام المادة (13)، ومحذوفاً من العمل.
3- إذا كانت الأعمال ككل مشمولة بأمر التوقف، فإن للمقاول الحق بالبدء بإجراءات إنهاء العقد، وبحسب المادة (16-2)، على أن يسبق ذلك إعطاء تنبيه للمهندس حول نية المقاول البدء بتلك الإجراءات.

من الواضح التفاوت الواسع بين عدم الوضوح الحاصل في معالجة شروط المقاولة العراقية لمسألة التوقف طويل الأمد، ووضوح معالجة شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، وبالتالي مقدار تحقيق كل منهما لمبدأ العدالة والإنصاف في توزيع المخاطر على طرفي العقد.

- مثال آخر حول عدم مراعاة العدالة والإنصاف في توزيع المخاطر على طرفي العقد تتمثل في كيفية معالجة تأخر صاحب العمل في تسديد سلف المقاول، والتي تناولتها المادة الثانية والستون (1-ط). ففي "حالة تأخر الدفع لفترة تزيد على ثلاثين يوماً لأسباب تعزى إلى صاحب العمل أو المهندس فعلى صاحب العمل والمقاول التباحث حول الموضوع بهدف الاتفاق على صيغة حل".

مرة أخرى نجد أن شروط المقاولة العراقية تتجه إلى التلاعب بالألفاظ غير ذي الأثر القانوني، لأجل **مساعدة صاحب العمل على التنصل من التزامه بتعويض المقاول** عن الأضرار التي تلحق به نتيجة تأخر سلفه، وهو الأمر الذي يمكن أن يضر بشكل كبير بإمكانية المقاول على توفير التدفق المالي للمشروع بالكم والتوقيت المناسبين.

أما شروط الفيديك- الكتاب الأحمر فإنها أعطت المقاول في المادة (14.8) حق الحصول على فائدة مركبة شهرياً على المبالغ المتأخرة وفقاً لإجراءات الدفع المرحلي. ومن الواضح تماماً أن معالجة شروط المقاولة العراقية للأمر منحازة وغير منصفة، ولا مشجعة للشركات الأجنبية على الدخول في مشاريع في العراق تكون محكومة بهذه الشروط، إذ أنها ستكون عرضة لتأخير مفتوح المدة لاستلام مستحقاتها.

صلاحية الشروط

لأي أنواع من العقود، ولأي أنواع من نظم التنفيذ تصلح شروط المقاولة العراقية وشروط الفيديك- الكتاب الأحمر؟ بطبيعة الحال، إن التنوع الكبير في أنواع العقود ونظم التنفيذ يجعل من غير الممكن، بل من غير المنطقي، أن تصلح شروط مقاولة معينة لكافة أنواع العقود ونظم التنفيذ. من المهم جداً لأجل تطبيق ناجح لشروط مقاولة على مشروع ما، أن يكون واضحاً مدى صلاحيتها للتطبيق في ذلك المشروع. إن أسوأ ما يمكن أن يواجه المشاريع، وبالأخص عندما تكون تلك المشاريع إستراتيجية ذات كلفة عالية وتعقيد كبير، هو أن تطبق عليها شروط لا تصلح لها، وهذا ما يعتقد الباحثان أنه جارٍ في مشاريع الإعمار في العراق حالياً، وكما سيتم إثباته فيما يلي.

منهجية منظمة الفيديك بالنسبة لصلاحية الشروط

رصدت منظمة الفيديك التغير في اتجاهات السوق فيما يتعلق بنظم تنفيذ المشاريع المستخدمة [Delivery Systems]، فشكلت في بداية التسعينات فريق عمل لأجل

وضع شروط مقاولة لمشاريع تصميم/بناء وتسليم المفتاح التي كانت قد بدأت تأخذ حيزاً مهماً في سوق الأعمال الإنشائية [Wade 2005] فكان أن أصدرت في عام 1995 شروط المقاولة لمشاريع تصميم/بناء وتسليم المفتاح (الكتاب البرتقالي).

على أن إصدار الكتاب البرتقالي يمكن أن يعد تحولاً في فهم منظمة الفيديك لطبيعة المشاريع التي يـتطلب منها أن تضع شروطاً لها. فقد كانت منظمة الفيديك حتى ذلك الحين تصنف المشاريع حسب أنواعها، فتضع شروطاً لمشاريع الهندسة المدنية وشروطاً لمشاريع الهندسة الميكانيكية والكهربائية. انطلاقاً من الكتاب البرتقالي فقد بدأت منظمة الفيديك تصنف المشاريع حسب نظام التنفيذ الذي تتبعه [Project Delivery System]، فتضع شروطاً لمشاريع تصميم/بناء وتسليم مفتاح، وهو ما يختلف مع تصنيفها السابق للمشاريع.

لقد تنبهت منظمة الفيديك، على ما يبدو، لهذا الأمر سريعاً! لذا فقد سارعت بعد إصدار الكتاب البرتقالي إلى تشكيل فريق عمل بهدف إعادة صياغة شاملة لشروط المقاولات الصادرة عن المنظمة. وبعد سنوات من الدراسة والاستقصاء واستطلاع آراء المختصين في كافة أنحاء العالم أصدرت منظمة الفيديك المجموعة الجديدة من شروط المقاولات عام 1999 والمشار إليها أعلاه. وكتنبيه من منظمة الفيديك على أنها بدأت حقبة جديدة من شروط المقاولات، فقد وسمت كل من تلك الشروط بوسم "الطبعة الأولى". بشكل عام، وبقدر تعلق الأمر بصلاحية شروط الفيديك، فإن المجموعة الجديدة من تلك الشروط تختلف عن سابقاتها بالأساس في أن كل منها تناول نظام تنفيذ بعينه..

- فالكتاب الأحمر تناول المشاريع التي تتبع نظام التنفيذ تصميم/عطاء/بناء (Design/Bid/Build) وليس للأمر علاقة بنوع المشروع، سواء أكان مشروع بناء أو تصنيع أو توليد طاقة كهربائية..الخ. المهم في الأمر أن التصميم يوضع بالأساس من قبل صاحب العمل، ومسؤولية المقاول بالأساس هي التنفيذ. ولهذا فقد حذفت من عنوان الكتاب الأحمر عبارة (أعمال الهندسة المدنية)، وعوضاً عنها وضعت (الأعمال الهندسية). كما أنها أضافت للعنوان عبارة "المصممة من قبل صاحب العمل".
- أما الكتاب الأصفر، فلم يعد فقط مخصصاً فقط لمشاريع الأعمال الميكانيكية والكهربائية كما كان سابقاً، وإنما أصبح يخص تلك الأعمال الميكانيكية والكهربائية، وكذلك أعمال البناء، وكافة الأعمال الهندسية الأخرى، والتي يتحمل المقاول فيها مسؤولية وضع التصاميم وصحتها. لقد أشار الكتاب الأصفر القديم إلى هذا الأمر في طياته، ولكنه قصر تطبيق تلك الشروط على أنواع مشاريع محددة، هي مشاريع الأعمال الميكانيكية والكهربائية. أما الكتاب الأصفر الجديد، فقد وسع نطاق صلاحية الشروط ليشمل كافة المشاريع الهندسية شرط أن يكون نظام التنفيذ تصميم/بناء.
- أما الكتاب البرتقالي فقد اختفى، إذ أن نطاقه كان يشمل نظامي تنفيذ هما تصميم/بناء وتسليم المفتاح، وبما أن المنهجية الجديدة لمنظمة الفيديك في وضع الشروط ترتبط بنظم التنفيذ، لذا فقد كان من الأفضل أن تفصل بين نظامي التنفيذ هذين.. وهذا سبب اختفاء الكتاب البرتقالي.
- عوضاً عن الكتاب البرتقالي، فقد ظهر الكتاب الفضي، والخاص بمشاريع تسليم المفتاح، وهو نظام التنفيذ الذي يشبه في بعض جوانبه نظام تصميم/بناء، ويختلف في جوانب أخرى، وهو ما استدعى إفراد شروطاً خاصة به.
- واستمرارية لهذا المنهج، فقد أصدرت منظمة الفيديك في العام 2008 الكتاب الذهبي، كما أسلفنا، وهو الخاص بمشاريع نظام التنفيذ تصميم/بناء/تشغيل، وهو نظام التنفيذ الذي ظهر حديثاً في ثمانينات القرن الماضي، ومن أهم أنواعه بناء/تشغيل/نقل ملكية (BOT).

شروط المقاولة العراقية والصلاحية

إن الزمن قد توقف ابتداءً من تسعينات القرن الماضي عند المشرع العراقي للأطر القانونية للمشاريع الإنشائية، فبقي

مقتبساً لشروط المقاولة الخاصة التي تصنف المشاريع حسب أنواعها. لذا كانت شروط المقاولة العراقية هي "لأعمال الهندسة المدنية" كما ورد في عنوانها. وكانت هنالك شروط أخرى للأعمال الميكانيكية والكهربائية.

إن المشرع العراقي أغفل في شروط المقاولة العراقية موضوع صلاحية الشروط تماماً، فلم تشر شروط المقاولة العراقية من قريب أو بعيد لنطاق صلاحيتها. لم يبين واضعها فيما إذا كان من الممكن تطبيقها على عقود من نوع "المبلغ المقطوع" أو "الكلفة زائداً نسبة"، أو فيما إذا كان من الممكن تطبيقها في نظم تنفيذ أخرى عدا عن "تصميم/عطاء/بناء".

إن تلك الغفلة قد تسببت، وما زالت تتسبب، بالكثير من الإشكاليات لمشاريع الإعمار في العراق. لقد بدأت الوزارات وهيئات الإعمار في المحافظات في العراق بالاتجاه نحو نظام التنفيذ "تصميم/بناء" في تنفيذ مشاريعها، والذي يعتمد على كون المصمم والمنفذ هما جهة واحدة يتعاقد معها صاحب العمل. على أن تلك الوزارات وهيئات الإعمار، رغم ذلك، استمرت في اعتماد شروط المقاولة العراقية التي لم تتناول على الإطلاق كيفية التعامل مع المقاول، إذا ما كان عمله يتطلب إعداد تصاميم المشروع. تسبب هذا الخلل في وجود ثغرات قانونية كبيرة في متابعة التزامات وحقوق وواجبات وصلاحيات الأطراف المشاركة في المشاريع التي تنفذ بطريقة "تصميم/تنفيذ"...

- فمسؤولية المقاول في مشاريع تصميم/عطاء/بناء تختلف بشكل جذري عن مسؤوليته في مشاريع تصميم/بناء ؛
- كما أن آليات وضع التصاميم واعتمادها وتغييرها تختلف أيضاً في كلا النظامين؛
- إضافة إلى الاختلاف في جوانب أخرى عديدة مثل آليات الصرف، وآليات اعتماد التغييرات، ...الخ.

على أن مما زاد الأمر تعقيداً الخلط الكبير الذي يحصل في الشروط القانونية التي تضعها الجهات الحكومية العراقية في العديد من مشاريعها، وبخاصة الإستراتيجية منها. إذ أنها تخضع العقد المبرم مع المقاول إلى الالتزام بشروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية وكذلك شروط المقاولة لأعمال الهندسة الميكانيكية والكهربائية!! الغريب في الأمر أن تلك الجهات الحكومية لم تنتبه لحقيقة أن شروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية لا تحمل المقاول مسؤولية الأخطاء في التصاميم، أو تلقي على عاتقه عبأ التحقق من تلك التصاميم، لأنها مقتبسة من شروط الفيديك-الكتاب الأحمر القديم. أما شروط المقاولة للأعمال الميكانيكية والكهربائية، والمقتبسة عن شروط الفيديك-الكتاب الأصفر القديم تلزم المقاول، في المادة الرابعة منها، والمعنونة "نطاق المقاولة"، بالإقرار...

"بأن المخططات أو المواصفات أو البيانات المزودة إليه من "صاحب العمل" أو "المهندس" (سواء في "مستندات المقاولة" أو غيرها) قد لا تكون متكاملة وعليه فإن "المقاول" يقر بأن التزاماته في "المقاولة" هي أن يصمم وينفذ "الأعمال" بحيث يمكن تشغيلها بموجب "مستندات المقاولة" وتعليمات "المهندس" بالرغم من أي نقص أو حذف أو سوء وصف في أي من تلك المخططات أو المواصفات أو البيانات" [هيئة التخطيط 1987].

وهذا ما يتعارض تماماً مع شروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية، إذ أن تلك الشروط تعتبر في المادة العشرين: العناية بالأعمال (البند ب-2) أن من المخاطر المستثناة من تحمل المقاول مسؤولية العناية بالأعمال هي "تصميم المهندس للأعمال". في حين أن شروط المقاولة لأعمال الهندسة الكهربائية والميكانيكية والكيمياوية في المادة المناظرة، وهي المادة السادسة عشرة: العناية بالأعمال والتأمين والتعويضات (البند ب-2)، لم تعتبر أن تصميم المهندس للأعمال ضمن المخاطر المستثناة من تحمل المقاول مسؤولية العناية بالأعمال، وهذا بديهي بالنظر إلى النص المذكور أعلاه، والمقتبس من المادة الرابعة من تلك الشروط.

إن الباحثين، وبحسب متابعتهما ومشاركتهما في عدد من المشاريع ذات نطاق العمل والكلف العالية، قد رصدا تسبب هذا الخلط الكبير في إهدار مليارات الدنانير العراقية، وتضييع الكثير من الوقت في توقفات وتلكؤات في تلك المشاريع. إذ أن هذا الخلط يؤدي إلى ضياع المسؤولية القانونية عن صحة التصاميم وقابليتها للتنفيذ. ولعل

مشاريع محطات معالجة الصرف الصحي ومحطات معالجة مياه الشرب الجاري تنفيذها في كثير من محافظات العراق، من أبرز الأمثلة على ما نقصده.

كذلك فإن المشرع العراقي لم يستفد من الكتاب الفضي، أو سلفه المنسوخ (الكتاب البرتقالي)، رغم أن تعليمات تنفيذ الموازنة الفيدرالية، وتعليمات تنفيذ العقود الحكومية قد أشارت لمقاولات تسليم المفتاح. بدلاً من ذلك، فقد استمرت الجهات الحكومية في العراق بتطبيق شروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية على عقود تسليم المفتاح المعلنة في العراق، رغم أن تلك الشروط خلت تماماً من تبيان كيفية وضع المقاول للتصاميم التفصيلية، عدا عن إشارة عابرة إلى أن الأعمال قد تتضمن التصميم "حسب مقتضى الحال"، وكما ورد في المادة الأولى: التعاريف والتفسير (البند 1- و). وهي الإشارة التي لا تفيد أي شيء بالنظر إلى أنها لا تفصل الإجراءات التي يجب إتباعها لوضع ومصادقة تلك التصاميم، كما لا تبين الصلاحيات والمسؤوليات والواجبات والالتزامات المترتبة على وضع تلك التصاميم من قبل المقاول.

إضافة لما سبق، أشارت شروط الفيديك في تصدير الطبعة الأولى من الكتاب الأحمر (1999) إلى أن الشروط العامة تم إعدادها على أساس أن الدفعات المرحلية والنهائية تحسب على أساس المقايسة (الذرعة) وباعتماد الأسعار الواردة في جداول الكميات. بعبارة أخرى فإن هذه الشروط وضعت على أساس أن العقد هو من نوع تسعيرة الوحدة. إلا أنه في دليل إعداد الشروط الخاصة تم بيان كيفية تغيير بعض المواد والبنود الفرعية المتعلقة بطريقة الدفع بحيث يمكن أن تصبح شروط المقاولة مناسبة لعقود من نوع "المبلغ المقطوع" (Lump Sum) أو حتى "الكلفة زائداً نسبة/أجر" (Cost Plus Percentage/fee)، وهو ما سنأتي على ذكره لاحقاً في هذا البحث. أما شروط المقاولة العراقية، فرغم أن طريقة حساب الدفعات للمقاول تدل على أن العقد من نوع تسعيرة الوحدة، إلا أن هذا الأمر لم يشر له صراحة في تلك الشروط. كما أن تلك الشروط أغفلت تماماً كيفية التعامل مع عقود المبلغ المقطوع.

إذاً فقد بينت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر بوضوح نطاق صلاحيتها وإمكانية تطبيقها في نظم التنفيذ أو أنواع العقود المختلفة. وهذا ما أغفلته شروط المقاولة العراقية تماماً، وكان من تبعات ذلك أن استخدمت شروط المقاولة العراقية بعشوائية في مشاريع لا يمكن منطقياً ولا قانونياً أن تستخدم فيها. وهو ما نعتقده يكلف الحكومة العراقية غالياً في إطار تنفيذ مشاريع إعادة الإعمار.

الهيكلية

اختلفت شروط المقاولة العراقية عن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في الهيكلية اختلافاً جذرياً، إذ أن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر تضمنت أقساماً وملاحقاً أكثر تنوعاً وتفصيلاً وترتيباً من الشروط العراقية. يمكن تلخيص هذا الاختلاف على النحو التالي:-

مخططات التتبع

تضمنت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في بدايتها مخططات أساسية لتتابع أحداث العقد، والفواصل الزمني بين تلك الأحداث ، والتي قد تكون إجبارية في بعض الأحيان. هذه المخططات تساعد بشكل ممتاز في استيعاب عدد من المفاهيم والمصطلحات ومعالم المشروع، وعلاقة بعضها ببعض. لقد خلت شروط المقاولة العراقية من أي من تلك المخططات.

قسم الشروط العامة

لعل من أهم الاختلافات في الهيكلية بين شروط الفيديك- الكتاب الأحمر وشروط المقاولة العراقية هي طريقة عرض المواد القانونية في قسم الشروط العامة في كل منهما. ففي حين تضمن قسم الشروط العامة في شروط المقاولة العراقية على (72) مادة يحتوي بعضها مواد فرعية، لا تتبع ترتيباً أو نسقاً معيناً في طريقة عرضها، فإن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر قد قسمت على (20) باباً، جمعت في تلك الأبواب سويةً المواد القانونية التي تعني جهة معينة، أو تتناول مسؤوليات أو صلاحيات طرف من أطراف المشروع، أو تختص بموضوع معين..الخ. هذا الاختلاف في عرض مواد قسم الشروط العامة يمكن اعتباره اختلافاً جوهرياً للأسباب التالية:-

- إن تجميع المواد القانونية المتشابهة سوية في أبواب موحدة يسهـل من الرجوع إليها والاستدلال بها، وربط الأحكام ذات التأثير المشترك بعضها ببعض، مما يساعد في فهم أفضل للمتطلبات والمسؤوليات والواجبات والالتزامات القانونية لأطراف المشروع، حتى من قبل غير المختصين.
- في المقابل نجد شروط المقاولة العراقية قد تبعثرت موادها القانونية، حتى تلك المتشابهة منها، أو المتقاربة في الاهتمام، على امتداد اثنتان وسبعين مادة قانونية، مما صعب في بعض الأحيان اقتفاء أثر المسؤوليات القانونية وتوزيع الصلاحيات والواجبات على الأطراف المشاركة في المشروع الإنشائي.
- هذا التبعثر يزداد وضوحاً في مواضيع أخرى، كالحقوق والمسؤوليات والواجبات القانونية المتعلقة بالمقاول. ففي حين جمعتها شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في الباب الرابع تحت عنوان عريض هو "المقاول" ، فإن شروط المقاولة العراقية تناثرت فيها المواد المتعلقة بواجبات وحقوق المقاول على نحو مربك، وبالتالي فإن وجود رؤية شاملة لتلك الحقوق والواجبات والالتزامات القانونية تجاه مختلف الحالات والنزاعات التي يكون المقاول طرفاً فيها خلال المشروع، قد يلتبسها الغموض في بعض الأحيان.

التعاريف

لقد كان تبويب شروط الفيديك- الكتاب الأحمر للتعاريف مختلفاً أيضاً عن نظيره في شروط المقاولة العراقية، إذ أن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر جمعت في بداية قسم الشروط العامة منها كافة التعاريف التي يمكن أن يحتاجها المستخدم في أربعة صفحات. فوق هذا، فإن تلك التعاريف كانت مبوبة حسب تشابهها، أو المواضيع التي تتناولها، وعلى النحو التالي:-

- العقد، ويتضمن (10) تعاريف.
- الأطراف والأشخاص المشاركون، ويتضمن (10) تعاريف.
- المواعيد والفحوصات والمدد والإنهاء، ويتضمن (9) تعاريف.
- المبالغ والدفعات، ويتضمن (12) تعريفاً.
- الأعمال واللوازم، ويتضمن (8) تعاريف.
- تعاريف أخرى، ويتضمن (9) تعاريف.

وبما مجموعه (58) تعريفاً.

أما الشروط العراقية، فإنها ابتداءً لم تفرد للتعاريف باباً خاصاً بها، وإنما أدرجتها كلها في المادة الأولى المعنونة التعاريف والتفسير. كما أن عددها كان قليلاً، ولم يتجاوز (17) تعريفاً. ولعل من أسباب الفرق الكبير بين عدد التعاريف في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر وعددها في شروط المقاولة العراقية هو أن العديد من التعاريف في شروط المقاولة العراقية قد توزعت على المواد الخاصة بتلك المواضيع، ولم تعرض بشكل مستقل في مادة التعاريف، وبالتالي فقد تناثرت في طيات إحدى وأربعين صفحة، هي عدد صفحات الشروط العامة من الشروط العراقية.

إن تبويب التعاريف على النحو المعتمد في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر يسهل مهمة كل من أراد الرجوع إليها، واسترجاع المعلومات منها بشكل سريع، وبحسب حاجته، مما يجعل مستخدميها أكثر تآلفاً معها.

الجدول رقم (1) يقارن بين موضع ورود التعاريف في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، وموضع ورودها في الشروط العراقية. يمكن ملاحظة أن عدد كبير من التعاريف الواردة في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر غير واردة في شروط المقاولة العراقية، لا تصريحاً مباشراً ولا تلميحاً أو إشارةً، وهو ما يجعل شروط الفيديك- الكتاب الأحمر متفوقة من حيث سهولة الاستخدام والاستفادة.

حزمة النماذج القياسية والفهرس الأبجدي

- تضمنت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر **حزمة من النماذج** والصيغ القياسية التي تنظم العديد من المعاملات والمخاطبات الرسمية التي أشارت لها تلك الشروط. من تلك النماذج: خطاب ضمان تقديم العطاء، خطاب ضمان حسن الأداء، خطاب ضمان الدفعة المقدمة (السلفة التشغيلية)، استمارة تقديم العطاء، نموذج اتفاقية العقد، اتفاقية التحكيم. فيما عدا استمارة تقديم العطاء ونموذج اتفاقية العقد، فإن شروط

المقاولة العراقية خلت من أي من تلك النماذج القياسية. إن تنظيم المعاملات والمخاطبات عبر نماذج قياسية سيساهم بالتأكيد من تقليل الأخطاء والاجتهادات والاختلافات بين طرفي العقد.

- تضمن قسم شروط الفيديك- الكتاب الأحمر العامة **فهرس أبجدي** للمواد الفرعية التي احتوتها شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في أبوابها العشرين. إن هذا الفهرس، على بساطته، يوفر أداة مفيدة لمستخدم شروط الفيديك- الكتاب الأحمر تمكنه من استرجاع المعلومات بشكل أسرع، والرجوع إلى المواد الفرعية بدقة، والتنقل السلس بين مواد شروط الفيديك- الكتاب الأحمر لأجل الإحاطة التامة بالأبعاد القانونية لتلك المواد.

قسم الشروط الخاصة

لم تضع شروط الفيديك- الكتاب الأحمر **نموذجاً قياسياً** ثابتاً للشروط الخاصة للعقد، كما فعلت شروط المقاولة العراقية، وذلك كي تتيح أكبر قدر من المرونة لواضعي العقد لجعل ذلك العقد متناغماً مع طبيعة المشروع وكذلك مع متطلبات صاحب العمل. رغم ذلك، لم تترك شروط الفيديك- الكتاب الأحمر واضع الشروط الخاصة دون مساعدة، فقد وضعت له دليلاً خاصاً لإعداد الشروط الخاصة، بل وضربت له الأمثلة على كيفية صياغة تلك الشروط، وهو ما جعل شروط الفيديك- الكتاب الأحمر متميزة بحق في مرونتها وقابليتها للتطبيق في مختلف أنواع المشاريع الدولية والحكومية والخاصة، وبغض النظر عن حجمها ودرجة تعقيدها، وقد أوردنا سابقاً في العنوان الفرعي: الأهداف والمبادئ الحاكمة، مثالاً عن كيفية حرص شروط الفيديك- الكتاب الأحمر على مساعدة مستخدمها على وضع شروط خاصة مرنة إلى أكبر درجة ممكنة ومناسبة.

إن الهيكلية التي اعتمدتها شروط الفيديك- الكتاب الأحمر لها أثر كبير في زيادة فعالية تلك الشروط، وتسهيل الرجوع إليها. وليس من الغريب على الإطلاق أن تؤدي بعثرة المواد والبنود القانونية في شروط المقاولة العراقية إلى إرباك مستخدمها، أو تجاوزه لمادة أو بند فرعي له صلة بالموضوع الذي يبحث في جوانبه القانونية.

المقاول

- شمل تعريف الكلفة كل ما يصرفه المقاول، داخل الموقع وخارجه، بما في ذلك النثريات. هذا التعريف منصف للمقاول بشكل كبير، ولا يوجد له نظير، ليس فقط في شروط المقاولة العراقية، بل في مجمل التشريعات العراقية ذات الصلة.
- أوضحت المادة (4.1) أن من التزامات المقاول "تصميم (إلى الحد المنصوص عليه في العقد)، وتنفيذ وإكمال الأعمال...الخ" . إن هذه المادة تعطي المرونة لكلا الطرفين، صاحب العمل والمقاول، لإعداد أو إكمال بعض أجزاء التصميم، التي قد تتداخل مع طرق الإنشاء أو مواصفات المعدات (كما في محطات معالجة الصرف الصحي مثلاً). على هذا النحو فإن كلا الطرفين قد يتجنبان الكثير من الإشكالات الناجمة عن النقص في بعض تفاصيل التصميم، أو التعارض المحتمل بين بعض أجزاء التصميم والمواصفات المعتمدة لدى مصنعي المعدات المعتبرة جزءاً من الأعمال الدائمة.

لم تشر شروط المقاولة العراقية إلى ذلك إلا عند تعريفها للأعمال الدائمة، ودون أي تفصيل عدا عن ذكر كلمة التصميم. ولعله كان من الأفضل لو تم توضيح ذلك الالتزام بشكل أفضل.

- أعطت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر من خلال المادة (2.4) الحق للمقاول بأن يطالب صاحب العمل بتقديم الأدلة المقنعة بأنه قد اتخذ التدابير المالية اللازمة لدفع التزاماته المالية بموجب العقد. إن هذا الحق الممنوح للمقاول له أهمية كبيرة في طمأنة المقاول حول ثبات واستقرارية التدفق المالي اللازم لتمويل المشروع، إذ من المعروف أن العديد من المشاريع في دول عديدة يتعرقل إنجازها بسبب تلكؤ صاحب العمل في منح المقاول استحقاقاته المالية ضمن السياقات والمدد المحددة في العقد. لم يظهر في الشروط العراقية أي أثر لذلك الالتزام، فالمقاول ليس

من حقه التأكد من قدرة صاحب العمل على تمويل المشروع.

- فيما يتعلق بالاعتراض على المقاول الثانوي، فإن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر (5.2) أعطت المقاول مجال أكبر مما أعطته شروط المقاولة العراقية (المادة الستون-أ). فإذا كان للمقاول شكوك منطقية مدعمة بالأدلة في أن المقاول الثانوي لا يمتلك القدرة المالية أو الموارد اللازمة لأداء الفقرات المراد إعطاؤه إياها، فليس من حق أحد أن يجبره على التعاقد مع هذا المقاول الثانوي.

المهندس

- من الانتقادات التي طالما رافقت شروط الفيديك- الكتاب الأحمر في إصداراتها السابقة مسألة ازدواجية دور المهندس، ففي حين يتلقى المهندس أجره من قبل صاحب العمل، فإنه يعتبر بشكل أساسي طرفاً محايداً في المشروع.
- عالجت شروط الفيديك في إصداراتها الجديدة (1999) هذا الأمر، فالمهندس هو مستخدم عند صاحب العمل، وبالتالي لا يمكن أن يكون طرفاً محايداً لأنه يجب أن يعمل للحفاظ على مصالح صاحب العمل، كما توجه لذلك المادة (3.1-أ) من الكتاب الأحمر [Bunni 2005].
- على أن المادة (3.5) استثنت من ذلك أنه في حال طلبت أي مادة من مواد شروط الفيديك- الكتاب الأحمر من المهندس أن يحكم في مشكلة لها علاقة بالعقد، فإن حكمه يجب أن يكون منصفاً، وآخذاً بنظر الاعتبار كافة الظروف المتعلقة بالمشكلة.
- رغم ذلك فإن هذا التحول الكبير لم يقلل من أهمية قرارات "المهندس" ، ولم يعفي المهندس من وجوب تحري الدقة والعدالة في التعامل مع طرفي العقد، صاحب العمل والمقاول [Bateson 2000] .
- كان من تبعات هذا التحول أن أصبح بإمكان المقاول إنهاء العقد في حال فشل المهندس في إصدار الدفعات المرحلية خلال المدة المحددة. إن هذا أصبح ممكناً لأن المهندس في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر هو من "مستخدمي صاحب العمل" وبالتالي فإن عدم إصدار الدفعات المرحلية خلال المدة المحددة يمكن عده إخلالاً من قبل صاحب العمل ببنود العقد.

صاحب العمل

- كما ذكرنا سابقاً، أعطت شروط المقاولة العراقية لصاحب العمل صلاحية تعيين ممثل المهندس (المادة الأولى- هـ)، في حين أن شروط الفيديك- الكتاب الأحمر لم تعط لصاحب العمل مثل هذا الحق (3.2). ويبدو للباحثين أن إعطاء صاحب العمل حق التدخل في أمر مهني مثل اختيار ممثل المهندس قد يكون معوقاً لأداء المهندس لصلاحياته على النحو الأمثل، مما يؤثر على سير العمل في الموقع.
- في المادة الثانية والخمسين من شروط المقاولة العراقية: التغييرات وأوامر التغيير، نلاحظ غياب كلي لرأي صاحب العمل فيما يتعلق بإحداث تغييرات، أو باحتساب قيمة تلك التغييرات، رغم أنه من البديهي أن يكون لصاحب العمل، الجهة الممولة للمشروع، رأي في تغيير أي فقرة من فقرات المشروع، أو في احتساب قيمة تلك التغييرات، خاصة أن بعض التغييرات قد يكون "مرغوب فيها" لا "ضرورية". كما أن إشراك صاحب العمل في اتخاذ القرار بشأن التغييرات له أهمية كبيرة في الحفاظ على متطلبات صاحب العمل، والتأكد من أن تلك التغييرات تنسجم معها. ولعل الدمج الحاصل بين صاحب العمل و"المهندس"، في مشاريع القطاع العام بالأخص، هو السبب في تغييب رأي صاحب العمل. بطبيعة الحال فإن مثل هذا التغييب لرأي صاحب العمل غير موجود في شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، والتي توجه بأخذ رأي صاحب العمل فيما يتعلق بتقدير قيمة التغييرات.
- أعطت شروط المقاولة العراقية لصاحب العمل، بالإضافة إلى المهندس، الحق في تسمية المقاول الثانوي المسمى. وهذا ما لم تفعله شروط الفيديك- الكتاب الأحمر، والتي أعطت هذا الحق للمهندس حصراً.

الاستنتاجات والتوصيات

- ✓ شروط المقاولة العراقية، سواء أكانت الخاصة بأعمال الهندسة المدنية، أو الخاصة بأعمال الهندسة الكهربائية والميكانيكية والكيمياوية، متقادمة، وضعت في وقت كان النظام السياسي والاقتصادي في العراق يختلف كلياً عن الحالي، وبالتالي فإن فلسفة التقنين التي وضعت على أساسها تلك الشروط لا تصلح في كثير من الأحيان للتطبيق في مشاريع الإعمار الحالية.
- ✓ وضعت شروط المقاولة العراقية على أساس أنواع المشاريع، ولكن حاجة العراق لاستخدام نظم تنفيذ جديدة، مثل تصميم/بناء وتسليم المفتاح، تجعل من غير الممكن تطبيق تلك الشروط على المشاريع التي تنفذ وفق طرق التنفيذ الجديدة. على العكس، فإن شروط الفيديك قد جرى تحديثها عام 1999 لتنطبق على نظم التنفيذ المتنوعة، عوضاً عن أنواع المشاريع، وهذا ما وسع من صلاحية تطبيق شروط الفيديك بإصداراتها الجديدة.
- ✓ شروط المقاولة العراقية كانت متحيزة لصاحب العمل، وهو الحكومة كما افترض واضعوها، وعلى العكس، فإن شروط الفيديك حرصت على أن تكون عادلة ومنصفة فيما يتعلق بتوزيع المخاطر على الطرفين الرئيسيين في العقد، صاحب العمل والمقاول.
- ✓ لم تتمتع شروط المقاولة العراقية بالمرونة الكافية لجعلها ملائمة وقابلة للتطبيق على الطيف الواسع من مشاريع الإعمار التي يحتاجها العراق، بعكس شروط الفيديك التي حرص واضعوها على إعطائها من المرونة ما يكفي لإمكانية تطبيقها ليس فقط على مختلف أنواع المشاريع، بل وكذلك على المستويين الدولي والمحلي.
- ✓ تتمتع شروط الفيديك بهيكلية أفضل ترتيباً وتنظيماً بكثير من شروط المقاولة العراقية، وبما يسهل من استخدامها والرجوع إليها والاستدلال بها بشكل سريع في مختلف أنواع العقود والمشاريع.
- ✓ تتضمن شروط الفيديك مخططات تتبع وحزم نماذج قياسية وتفصيلات وأطر زمنية واضحة تجعلها أكثر فعالية وشمولية من شروط المقاولة العراقية.
- ✓ شروط الفيديك أكثر وضوحاً وتفصيلاً من شروط المقاولة العراقية في تحديد صلاحيات والتزامات وواجبات ومسؤوليات الأطراف المشاركة في عقود المقاولات.
- ✓ بناءً على ما سبق، فإن شروط المقاولة العراقية بحاجة إلى تغيير جذري يطال، فيما يطال، فلسفة التقنين والهيكلية والتفصيل، لجعلها تتناسب ومتطلبات مشاريع الإعمار في العراق في الوقت الحالي.
- ✓ إن بقاء شروط المقاولة العراقية على وضعها الحالي سيتسبب ليس فقط في عرقلة تقدم عملية الإعمار في العراق، وإنما أيضاً في هدر أموال طائلة نتيجة التأخر في إنجاز تلك المشاريع، وأوامر التغيير الناتجة عن التطبيق العشوائي لتلك الشروط على مشاريع تنفذ وفق أنظمة تنفيذ عدا عن تصميم/عطاء/بناء. بالإضافة إلى التقليل من إمكانية المتابعة الفعالة لإنجاز مشاريع الإعمار، وما ينجم عن ذلك من سوء مخرجات تلك المشاريع.

المصادر

1) النجار، زيد جميل، (2008). "الأطر القانونية المستحدثة والمحدثة ذات العلاقة بالمشاريع الإنشائية في العراق وأثرها في إنجاح تلك المشاريع". مجلة جامعة الكوفة، النجف، العراق.

2) عبد المجيد، محمد هاشم، (2008). "إدارة المخاطر لمشاريع التشييد وفقاً للالتزامات القانونية والتعاقدية". رسالة مقدمة لنيل شهادة الدكتوراه من جامعة بغداد، بغداد، العراق.

3) محمد خالد، زياد سليمان، (2010). "دراسة تحليلية نقدية لشروط المقاولة لأعمال الهندسة المدنية الصادرة عن وزارة التخطيط والتعاون الإنمائي عام 2007". مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28، العدد 5، بغداد، العراق، ص140-157.

4) هيئة التخطيط، جمهورية العراق، (1987). "شروط المقاولة لأعمال الهندسة الكهربائية والميكانيكية والكيمياوية بقسميها الأول والثاني". بغداد، العراق.

5) وزارة التخطيط والتعاون الإنمائي، جمهورية العراق، (2006). "الشروط العامة لمقاولات لأعمال الهندسة المدنية بقسميها الأول والثاني". بغداد، العراق.

6) Bateson, D., (2000). "FIDIC- New 1999 Edition of Red Book: Impartiality of the Engineer". Captured on July, 8th, 2010 from: http://www1.fidic.org/resources/contracts/bateson_aug00.asp

7) Bunni, N., (2005). "The FIDIC Forms of Contract" 3rd Ed., Blackwell Publishing, UK.

8) FIDIC (International Federation for Consultant Engineers) (1999a). " Conditions of Contract for Construction for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer". Switzerland.

9) FIDIC (International Federation for Consultant Engineers) (1999b). "Conditions of Contracts for Plant and Design-Build". Switzerland.

10) FIDIC (International Federation for Consultant Engineers) (1999c). "Conditions of Contracts for EPC/Turnkey Projects". Switzerland.

11) FIDIC Bookshop (2010). POBox 86, CH-1000 Lausanne 12, Switzerland. http://www.fidic.org

12) Shnookal, T., (2010). "Standard Form Contracting: The Role for FIDIC Contracts Domestically and Internationally". Proceedings of the Society Law conference, 30ps.

13) Wade, C., (2005). "An Overview of FIDIC Contracts". Proceedings of International Construction Contracts and Dispute Resolution ICC-FIDIC, Cairo, Egypt, 9 ps.

14) Nobbs, R., and Masons, P., (2004). "The NEC Engineering and Construction Contract- Some Issues for the 3rd Edition". Captured on March 25th, 2010 from:

http://www1.fidic.org/resources/contracts/ibc_feb2004/nobs_feb04.asp

الجدول رقم (1) موضع ورود التعاريف في كلاً من شروط الفيديك والشروط العراقية

	شروط الفيديك	شروط المقاولة العراقية		شروط الفيديك	شروط المقاولة العراقية
العقد	1.1.1.1 العقد	المادة الأولى (1-ط)	المبالغ والدفعات	1.1.4.1 قيمة العقد المقبولة	المادة الأولى (1-ي)
	1.1.1.2 اتفاقية العقد	لا تعريف بل صيغة تعاقد		1.1.4.2 سعر العقد	لا يوجد لها نظير
	1.1.1.3 خطاب القبول	لا يوجد لها نظير		1.1.4.3 الكلفة	لا يوجد لها نظير
	1.1.1.4 خطاب العطاء	لا تعريف بل استمارة عطاء		1.1.4.4 شهادة الدفعة الختامية	لا يوجد لها نظير
	1.1.1.5 المواصفات	المادة الأولى (1-ع)		1.1.4.5 كشف الحساب النهائي	لا يوجد لها نظير
	1.1.1.6 المخططات	المادة الأولى (1-س)		1.1.4.6 العملة الأجنبية	إشارة في القسم الثاني (9)
	1.1.1.7 الجداول	لا يوجد لها نظير		1.1.4.7 شهادة الدفعة المرحلية	إشارة في المادة (62)
	1.1.1.8 العطاء	لا يوجد لها نظير		1.1.4.8 العملة المحلية	لا يوجد لها نظير
	1.1.1.9 ملحق العطاء	لا يوجد لها نظير		1.1.4.9 شهادة الدفع	إشارة في المادة (62)
	1.1.1.10 جدول الكميات والمياومة	المادة الأولى (1-م)		1.1.4.10 المبلغ الاحتياطي	ضمناً في المادة (59)
الأطراف والأشخاص المشاركون	1.1.2.1 طرف العقد	لا يوجد لها نظير		1.1.4.11 المبالغ المحتجزة	ضمناً في المادة (62)
	1.1.2.2 صاحب العمل	المادة الأولى (1-أ)		1.1.4.12 كشف الحساب	ضمناً في المادة (62)
	1.1.2.3 المقاول	المادة الأولى (1-ب)	الأشغال واللوازم	1.1.5.1 معدات المقاول	المادة الأولى (1-ل)
	1.1.2.4 المهندس	المادة الأولى (1-د)		1.1.5.2 اللوازم	لا يوجد لها نظير
	1.1.2.5 ممثل المقاول	إشارة في المادة (15)		1.1.5.3 المواد	لا يوجد لها نظير
	1.1.2.6 مستخدمو صاحب العمل	لا يوجد لها نظير		1.1.5.4 الأعمال الدائمة	المادة الأولى (1-ز)
	1.1.2.7 مستخدمو المقاول	ضمناً في المادة (35)		1.1.5.5 الآليات	لا يوجد لها نظير
	1.1.2.8 المقاول الثانوي	المادة الأولى (1-ج)		1.1.5.6 قسم الأعمال	المادة الأولى (1-ن)
	1.1.2.9 لجنة فض الخلافات	ضمناً في المادة (69)		1.1.5.7 الأعمال المؤقتة	المادة الأولى (1-ح)
	1.1.2.10 الفيديك	لا يوجد لها نظير		1.1.5.8 الأعمال	المادة الأولى (1-و)
المواعيد والفحوصات والمدد والإنهاء	1.1.3.1 التاريخ الأساس	لا يوجد لها نظير	تعاريف أخرى	1.1.6.1 وثائق المقاول	لا يوجد لها نظير
	1.1.3.2 تاريخ المباشرة	ضمناً في المادة (42)		1.1.6.2 الدولة	لا يوجد لها نظير
	1.1.3.3 مدة الإنجاز	المادة الأولى (1-ك)		1.1.6.3 معدات صاحب العمل	لا يوجد لها نظير
	1.1.3.4 الفحوصات عند الإنجاز	لا يوجد لها نظير		1.1.6.4 القوة القاهرة	ضمناً مع الاختلاف (20، ب-2)
	1.1.3.5 شهادة الاستلام	ضمناً في المادة (49)		1.1.6.5 القوانين	لا يوجد لها نظير
	1.1.3.6 الفحوصات بعد الإنجاز	لا يوجد لها نظير		1.1.6.6 ضمان الأداء	ضمناً في المادة (10)
	1.1.3.7 فترة الصيانة	ضمناً في المادة (50، ا)		1.1.6.7 الموقع	المادة الأولى (1-ف)
	1.1.3.8 شهادة الأداء	ضمناً في المادة (64، 1)		1.1.6.8 غير المنظور	ضمناً في المادة (12)
	1.1.3.9 اليوم	لا يوجد لها نظير		1.1.6.9 التغيير	ضمناً في المادة (52)

Implementation of Digital Image processing in Calculating Normal Approach for Spherical Indenter Considering Elastic/Plastic Contact

Rana Abdul Rahman Lateef and **Ahmed Abdul Hussein**
Baghdad college of economics **university of Baghdad**
Science university **mech. engineering department**
Dep. Of computer science

Abstract:

In this work a study and calculation of the normal approach between two bodies, spherical and rough flat surface, had been conducted by the aid of image processing technique. Four kinds of metals of different work hardening index had been used as a surface specimens and by capturing images of resolution of 0.006565 mm/pixel a good estimate of the normal approach may be obtained the compression tests had been done in strength of material laboratory in mechanical engineering department, a Monsanto tensometer had been used to conduct the indentation tests.

A light section measuring equipment microscope BK 70x50 was used to calculate the surface parameters of the texture profile like standard deviation of asperity peak heights, centre line average, asperity density and the radius of asperities.

A Gaussian distribution of asperity peak height was assumed in calculating the theoretical value of the normal approach in the elastic and plastic regions and where compared with those obtained experimentally to verify the obtained results.

الخلاصة:

في هذا البحث تم دراسة التقارب العمودي بين جسمين ، كروي وسطح مستوي خشن، باستخدام تقنية المعالجة الصورية . أربع انواع من المعادن أستخدمت كل منها له معامل تصليد بالتشغيل مختلف عن الآخر لأجل استخدامها كعينات سطوح، ومن خلال ألتقاط صور بدقة 0.006565ملم لكل نقطة ضوئية(pixel) يمكن حساب التقارب العمودي بدقه مقبوله. اختبار الضغط تم اجراءه في مختبر مقاومة المواد في قسم الهندسه الميكانيكيه وباستخدام جهاز (tenso-meter Monsanto) تم أجراء فحص الخرق .

أستخدم جهاز ميكروسكوب قياس الأسقاط المقطعي (BK.70X50) في ايجاد متغيرات ومواصفات السطح مثل الأنحراف المعياري لأرتفاعات النتؤات ومعدل الخط المركزي وكثافة النتؤات وكذلك أنصاف أقطارها.

تم افتراض التوزيع العشوائي لأرتفاع النتؤات في أحتساب القيم النظرية للتقارب العمودي في منطقتي المرونه واللدونه وتمت مقارنتها مع تلك المحسوبه عملياً.

Introduction:

Digital image correlation (DIC) is a non –contacting measuring technique that has been developed to obtain full field surface displacements and their gradients (strains) of objects under stress. The DIC method has evolved over the last decade and its usefulness for measuring small displacements as occurs in engineering materials in tension and compression has been demonstrated by several investigators. The theory of digital image correlation has been described in detail by several researchers but a detailed treatment of the subject can be found in Sutton etal, 1983 the underling principle of DIC and its application to obtain displacement fields can be found in Samarasingle and kvlasiri, 2000.

All surfaces are microscopically rough. Therefore when two surfaces are in contact the load is borne by the discrete spots at the tip of surface asperities and the real contact area is only a small function of the apparent contact area.

The phenomena of contact surfaces are of fundamental importance in the study of tribology and other applications [Halling, J and Nuri.K.A 1988]. Therefore there have been numerous efforts to relate surface roughness to the stresses and deformation when two surfaces are pressed together. The Hertz elastic contact mechanics governs the deformation of each asperity. An experimental study conducted by Powierza et.al.1992 verified the theoretical results of the Greenwood model for elastic deformation and for isotropic surfaces. However, when there are substantial amount of asperities deformed plastically the theoretical results deviate distinctly from the experimental data.

Several investigations have been conducted to deal with the plastic deformation of asperities Pullen and Williamson 1972 showed that for the plastic deformation of asperities, volume is conserved by a uniform rise in the non-contacting part of the surface.Results from finite element analysis performed by Kucharski et.al. 1994 for an asperity with elasto-plastic deformation agree well with the observation of Pullen and Williamson. Zhao etal.2000 proposed a model that considers the continuity and smoothness of variables across different modes of deformation. Their results show that this model is more complete in describing the contact of rough surfaces and is consistent with experimental observation and physical intuition.

The deformational models deal with rough surfaces with isotropic contacts. However rough surfaces can have elliptical contacts because engineering surfaces have asperities with various curvatures for various directions.

The present study propose a spherical micro contact model taking in account the elastic, elsto-plastic and fully plastic deformation.

In the proposed model, every asperity is assumed to have the same radii just as Greenwood model like many other models which assume that all asperities are circular. The proposed model is useful for surface with a pronounced grain in one direction.

Analysis Based on Constant Indenter Radius

It is necessary to define the normal approach of a sphere to the normal load and the consequent deformation, considering the contact of a sphere and a plane, fig.1.
It is easily seen that the separation u of the surfaces at a distance r from the centre of the contact zone is given by

$$u = R - (R^2 - r^2)^{1/2} = R - R\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{1/2} = R - R + \frac{r^2}{2R} + \cdots$$

If r is small compared to R then

$$u = \frac{r^2}{2R}$$

If a is the radius of the contact zone and w is the displacement of the sphere at the boundary of this zone then the normal approach δ will be given by

$$\delta = u + w = \frac{a^2}{2R} + w$$

At the center of the contact zone δ is given by the degree of deformation and it is therefore reasonable to assume that the normal approach will be proportional to the flattening of the sphere. In other words

$$\delta \propto \frac{a^2}{R}$$

From the results given by Hertzian contact [Halling J. 1975]

$$a \propto \left(\frac{N R}{\acute{E}}\right)^{1/3} \quad or \quad a = \left(\frac{3}{4}\frac{N \acute{R}}{\acute{E}}\right)^{1/3}$$

Where $\frac{1}{\acute{E}} = \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_1^2}{E_2}$

So that $\delta \propto \left(\frac{N^2}{\acute{E}^2 R}\right)^{1/3}$

The exact result show that [Halling J. 1975]

$$\delta = \left(\frac{9N^2}{16\acute{E}^2 R}\right)^{1/3}$$

Or $N = \frac{4}{3}\acute{E}\, R^{1/2}\delta^{3/2}$

The area of contact, A , will be given by

$$A = \pi a^2 = \pi R \delta$$

The theoretical analysis employed in the present work for determining the load-normal approach relationship of a sphere in contact with a rough plane is based on the model shape of the rough surface as shown in fig.2.

In this figure the flat surface is considered to be covered with similar asperities having randomly varying heights. The chosen asperity peak heights form a small sample from a large population of a random deviate following the Gaussian distribution about a mean plane, and the asperities are assumed to be spherical caps all with the same radius.

The elastic deformation of the surfaces will be neglected and the asperities will be assumed to deform with ideal plastic mode under a constant flow pressure. Each individual load will be taken as a point force acting on a semi-infinite plane and the collective effect of these forces is then considered

We shall use the results which ensue from the contact of a sphere of a material having a stress strain behavior of the form

$$\bar{\sigma} = B\bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

Where $\bar{\sigma}$ and $\bar{\epsilon}$ are the effective stress and strain values based on the assumption that the strain ratios are constant and that the principal axes do not rotate. This is admissible for spherical contacts if we assume a geometrical similarity of contact with its scale being defined simply by the size of the contact radius. Thus, [William F. Hosford1983]

$$\bar{\sigma} = \left[{}^1/_2 \, (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\bar{\epsilon} = {}^1/_3 \left[2\,(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

It is apparent that the $\bar{\sigma}$ is the yield stress in simple tension and that when n=0 the material behaves in a perfectly plastic fashion and B is the constant yield stress, Y. When n=1 the behavior may be considered as perfectly elastic and $B = E/(1+\nu)$.

For the contact of a material defined by eq. (1) with a rigid sphere of the same size we shall assume that $\bar{\sigma}$ is a linear function of the contact pressure, thus.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{c} \frac{p}{\pi a^2} \quad (4)$$

Where p is the load, a is the radius of the contact zone and c is a constant. For metals it is known that c has a value of about 2.8 being the relation between the current yield stress and the current hardness of the material, see fig.3.[Halling J. 1975]

The strain must be some function of α/β where β is the radius of the sphere. Expanding such a function as a power series and, since $\beta \gg a$, neglecting all but the first term gives,

$$\bar{\epsilon} = D\frac{a}{\beta} \quad (5)$$

Where D is some unknown constant. Combining eqn. (1), (4) and (5) yields

$$P\,\beta^{n}_{1/2} = K\alpha^{(2+n)} \quad (6)$$

Whence

$$\frac{K}{B} = \pi\, c\, D^n \quad (7)$$

We would therefore anticipate that K/B would be a constant for a given material characteristic n. Known solutions to eqn. (6) are the elastic case when n=1 and $K_e = 4/3\ \acute{E}$ where, $1/E' = (1 - \nu\text{^}2)/E$

And the perfectly plastic case when n=0 and $K_p = \pi H$ where H is the indentation hardness of the material. Equation (5) may now be written,

$$\bar{\epsilon} = \left(\frac{K}{\pi B c}\right)^{1/n} \left(\frac{a}{\beta}\right) \quad (8)$$

Finally we shall be interested in the normal approach δ of a loaded sphere so that we shall assume a relationship of the form,

$$a^2 = \lambda\beta\delta \qquad (9)$$

Since we know that $\lambda = 1$ for the elastic case when n=1 and $\lambda = 2$ for the perfectly plastic case when n=0. Equation (8) may be written in the more useful form.

$$\bar{\epsilon} = \left(\frac{K}{\pi Bc}\right)^{1/n}\left(\frac{\lambda\delta}{\beta}\right)^{1/2} \qquad (10)$$

In the foregoing sequence of equations we note that we require a knowledge of such constant as *c,B,n,K* and λ. These constants are determined in ref.[Halling J. 1975] and from those results may obtain the empirical relationship

$$\frac{K}{B} = \pi \cdot c(1 - 0.9n)$$

Or $$D = \frac{K}{\pi Bc} = (1 - 0.9n) \qquad (11)$$

The variation of λ for materials with various values of *n* may be obtained from the empirical expression mentioned in ref. [Halling J. 1975] which is shown in fig.5 [Halling J. 1975].

$$\lambda = 2 - n^{1/2} \qquad (12)$$

The Contact of Rough Surfaces

Consider a surface containing a point distribution of rigid spherical asperities against a rough surface consisting of an array of spherical asperities of a material defined by eq.(1). All the asperities are assumed to be spherical of radius $\beta$and it is tacitly assumed that an asperity on the upper surface is aligned with each asperity on the rough surface, Fig. (2). Following the arguments used by Greenwood and Williamson, but using the foregoing results we may define each discrete area of contact $A_i$as, [Powierza Z.H. et.al. 1992]

$$A_i = \lambda\pi R\delta = \pi a^2 \qquad (13)$$

Using eqns(6) and (9) defines the load at any contact as

$$P_i = K\lambda^{\left(1+\frac{n}{2}\right)}\delta^{\left(1+\frac{n}{2}\right)}\beta^{1-\frac{n}{2}} \qquad (14)$$

Let the surfaces be separated by a distance *d* at any total load P where d is measured from some datum in the rough surface to the tips of the rigid spherical asperities. For any contacting asperity on the rough surface of initial height *z* above the datum the normal approach will be $= z - d$. The probability of contact for any asperity of height z is,

$$prob.(z > d) = \int_d^\infty \varphi(z) \cdot dz \qquad (15)$$

Where $\Phi(z)$ is the probability function of the heights and the number of asperity contacts will be,

$$N\int_d^\infty \Phi(z)dz \qquad (16)$$

N being the total number of asperities within the contact region. The total real area of contact A and the total load P thus become.[Nuri K.A. 1974]

$$A = \lambda\pi\beta N\int_d^\infty (z - d)\Phi(z)dz \qquad (17)$$

$$P = K\lambda^{1+\frac{n}{2}}\beta^{1-\frac{n}{2}}N\int_{d}^{\infty}(z-d)^{1+\frac{n}{2}}\Phi(Z)dz \quad (18)$$

Equation (17) and (18) reduce to the well known solution for the spherical case of *n=0* and *n=1*, i.e. perfectly plastic or perfectly elastic contact.

Point Detection in Image Processing:

Digital image detection is a measuring technique has been used to obtain full field surface displacements. This is done by applying two white points on the specimens under test and applying the point detection technique on the image of interest, according to this a distance or a displacement between these two points are calculated using Euclidean distance between two n-dimensional (row or column) vector x and y to evaluate the normal approach between the spherical smooth surface and rough flat surface.

In this work, an image with size (2700 × 2300) pixel JPEG format has been captured by a Ginex CCD (charge Couple Device) video camera and a lens with ×8 magnifications.

A calibration process has been done to estimate the precision of the measurement by capturing picture for bodies with defined dimension.

The result shows that a precision of 152 pixels per 1 mm have been achieved, this equals to 0.006565 mm/pixel.

Experimental Procedure:

Four kinds of test metals had been used in this work namely steel ck45, Aluminum and two types of Brass. Their chemical composition analysis is given in table (1).

The test specimens were polished with emery paper having different grades 200,400 and 600 to have their surfaces smooth, those specimens where fully annealed in an oven under the temperature of $650C^0$ for steel , $550C^0$ for Brass and $400C^0$ for Aluminum for about 1.5 hour. The specimens were kept in the oven for one day to cool down slowly and evenly to room temperature. The annealing process had been done in the mechanical engineering laboratory for metals.

A Monsanto tensometer had been used where a hand driven gear box of high mechanical advantage applies a force of up to 20kN to the test piece. The tensometer can be used for compression and indentation tests simply by using the compression cage shown in fig (6)

Precision alignment enables the dies used for the compression to be mounted directly to the tables of the compression cage.

For many ductile metals which have not been cold worked prior to the tensile test (i.e. that are fully annealed) the behavior from initial yield to ultimate load is adequately described by an expression of the form [William F. Hosford 1983]

$$\sigma = B\,\epsilon^{n} \quad (19)$$

Where for an induced strain ϵ, the corresponding value of σ is the new yield strength caused by the degree of

cold working that induced the strain . The tensile results are, in fact, descriptive of an effective stress-strain plot. For that reason eq(19) can be written as

$$\bar{\sigma} = B\bar{\epsilon}^{n} \qquad (20)$$

The numerical values of B and n are determined in ref. [Ahmed A.A. 1993] where the same test specimens had been used in this work. The following relation ships were found to correlate with the experimental results

Steel ck 45 $\bar{\sigma} = 2387.76\ \bar{\epsilon}^{0.73085}$

Brass1
$\bar{\sigma} = 691.498576\ \bar{\epsilon}^{0.43764}$

Brass 2 $\bar{\sigma} = 545.8925\ \bar{\epsilon}^{0.5336}$

Aluminum
$\bar{\sigma} = 184.7311\ \bar{\epsilon}^{0.25456}$

Alight section measuring equipment (microscope BK70X50) shown in fig. (7) had been used to measure tip heights of asperities for the specimens under test. The BK 70x50 measuring microscope operates on the basis of Pof-schamaltz light section method. A thin light strip is brought to section at 45^0 with the horizontally arranged surface to be measured so that the generated profile of intersection between light strip and surface to be checked becomes visible, the visible light strip had been captured using digital camera with a resolution of 7 megapixel a sample of this picture are shown in fig. (8)

Lenses of magnification of 30x12.5 had been used in BK 70x50 microscope which enable to capture photos with precession of 0.00004347 mm/pixel and with lenses of 60x12.5 a precession of 0.0000224 mm/pixel may be achieved . The first set of lenses had been used to study the surface texture height and distribution while the second set of lenses is used to calculate the radios of asperities for the various test specimens surfaces.

A Hough transform method for edge detecting and linking had been applied on images obtained from microscope BK 70x50, to detect the tips and valleys of the rough surface in the test specimens.

A Hough transform in this work used to detect curves or peaks. Because of the quantization in space of the digital images, the quantization in parameter space of Hough transform as well as the fact that edges in typical images are not perfectly straight. Hough transform peaks tend to lie in more than Hough transform cell.

The algorithm or the strategy is as follows:

1- Find the Hough transform cell containing the highest value and record its location.
2- Suppress (set to zero) Hough transforms cells in the immediate neighborhood of the maximum found in step 1.
3- Repeat until the desired number of peaks has been found, or until a specified threshold has been reached.

Once a set of candidate peaks has been identified in Hough transform, it remains to be determined if there are line segments associated with those peaks, as well as where they start and end. For each peak, the first step is to find the location of all nonzero pixels in the image that contributed to that peak.

As the pixels associated with the location found it must be grouped into line segments with the following steps:

1- Rotate the pixel locations by $90^0 - \theta$ so that they lie approximately along a vertical line.
2- Sort the pixel location by their rotated *X*-values.
3- Merging adjacent line segments. That is separated by a small space.

The procedure for obtaining the normal approach in this work experimentally is based on taking several images for the two approaching bodies (spherical and specimen) using LCD camera for each step of loading with a resolution of 0.006565mm/pixel and by calculating the distance between two specific points one on the specimen and the other on the spherical indenter, for each loading case, the normal approach between the approaching bodies may be specified.

Calculating the normal approach is based on the application of Euclidean distance between two points which is defined as [Gonzalez R. C. 2008]

$$D_e(p,q) = [(x-s)^2 + (y-\tau)^2]^{1/2}$$

Where *(x,y)* are the coordinates of the two pixels *p* and *q* so, by taking arbitrary two points each of lies on one of the approaching bodies the distance between these points are calculated using the equation mentioned above.

The distance between those points in the first image for the case of no load is compared with the other cases for the step loading and the difference between the distances for each step of loading is compared with the first case of no load. A typical kind of the images used in calculating the normal approach is shown in fig.(9)

Results and Discussion:

From the analyzed images of the four test specimens may obtain the parameters shown in table 2 which are used in calculating the theoretical relation between the applied load and deformation (normal approach) which were used for comparison with the experimental results. A Gaussian distribution of asperity heights had been assumed in plotting theoretical curves with a limit of 3σ, those curves are shown in figs.(10-17). Two steel balls of diameter 10mm and 5mm had been used in the indentation tests for calculating normal approach the results of tests for the four kinds of metals used are shown as crosses in figures (10-17).

In figs. (10-17) the normal approach for 5mm diameter spherical indenter is bigger than for 10mm diameter sphere having the same load, this is due to the high pressure at the contact zone which causes deformation of asperities.

Metals that have low work hardening index, like aluminum, deforms plastically compared with those having higher work hardening index, like steel, at the same load as shown in fig.(10-17) where the normal approach decreases while the work hardening index increases for the same load.

Surfaces having a high center line average (C.L.A.) of asperity height and high standard deviation of all ordinate height deformed more than those having lower C.L.A. and lower standard deviation as shown when comparing between fig.(12) and fig.(14) for 10mm diameter indenter and between fig.(13) and fig.(15) for 5mm diameter indenter

Conclusions:

Experimental results seems to lie between the theoretical curves of elastic and plastic regions even though the load applied is higher than the load needed for plastic deformation which means that the theoretical analysis for predicting the normal approach did not conform the experimental results. These results agree with the work of Powerza et.al. 1992 where in their experimental study they showed that when there are substantial amount of asperities deformed plastically the theoretical results deviate distinctly from experimental data.

The predicted theoretical elastic and plastic region limits depend on the assumed kind of distribution of asperity height which is assumed here as Gaussian distribution , this assumption plays a big rule in the deviation of the experimental results from the bands of elastic and plastic limits although most of the experimental results at high loads lie within those bands.

References:

Ahmed A.A. " Contact mechanics of rough engineering surfaces" a thesis submitted to the college of engineering university of Baghdad 1993.

Halling J. , and Nuri K.A. 1988 , "the elastic – plastic contact of rough surfaces and its relevance in the study of wear" Proc. Inst. Mech. Eng. Part c; J. Mech. Eng. Sci., 202(c4)pp. 269-274.

Halling J. "A contribution to the theory of mechanical wear" 1975,wear,34,pp239-249.

Halling J. "Principles of tribology" 1975, Macmillan press LTD.

Kucharski S., Kilmezak T., Palijanink J. and Kaczmarck J., 1994 " Finite element model for the contact of rough surfaces." Wear 177,pp1-13.

Nuri K.A., 1974, " The normal approach between curved surfaces in contact" Wear,30,pp.321-335.

Powierza Z.H., Klimezak T., and Polijanink A., 1992, " On the experimental verification of the Greenwood-Williamson model for the contact of rough surface" Wear,154,pp. 115-124.

Pullen J.,and Williamson J.B.P., 1972 " On the plastic

of rough surface" Proc. R. Soc. London Ser. A: A327 pp159-173.

Rafael C. Gonzalez , Richard E. Woods and Steven L. Eddins"digital image processing using Matlab" 2004, Pearson international edition.

Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods "digital image processing" 2008, Pearson international edition, third edition.

Samarasingle S., & Kvlasiri,G.D. 2000, displacement fields of wood in tension based on image processing . Silva Fennica 34(3);251-273.

Sutton , M.A., Wolters , W.J., Peters, W.H., Rawson , W.F. & Mc Neill, S.R., 1983, Determination of displacements using an improved digital image correlation method. Image and vision computing 1(3); 133-139.

William F. Hosford and Robert M. Caddel " Metal forming mechanics and metallurgy" 1983,Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs

Zhao Y., Maietia D.M. , and Chi I. , 2000 " An asperity micro contact model incorporating the transition from elastic deformation to fully plastic flow."ASME, J., Tribol., 122(1),pp.86-93.

Nomenclatures

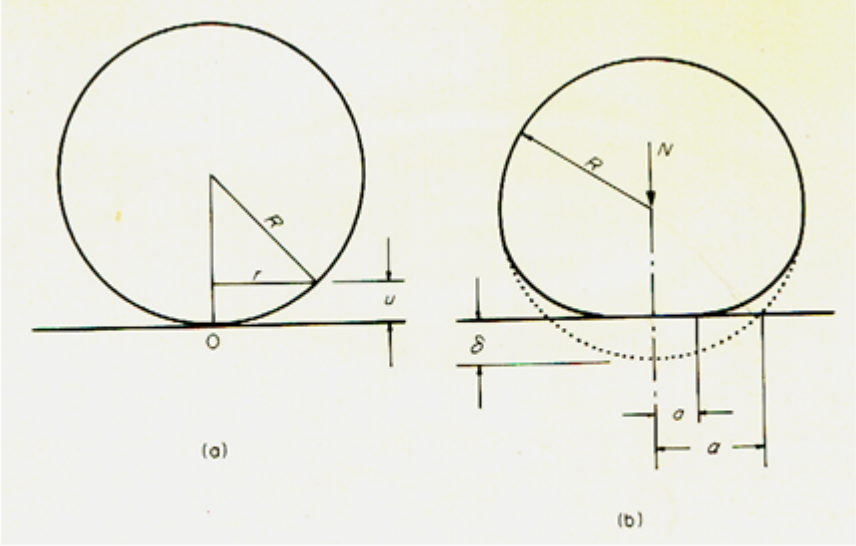
symbol	definition	units
u	Separation of the surfaces	mm
a	Radius of contact zone	mm
R	Radius of sphere	mm
δ	Normal approach	mm
A	Area of contact	Mm^2
β	Radius of asperity	mm
$\bar{\sigma}$	Effective stress	N/mm^2
$\bar{\epsilon}$	Effective strain	-
n	Work hardening index	-
p	load	N
υ	Poisons ratio	-
λ	Area factor	-
$\Phi(z)$	Probability function of height distribution	-
N	Total number of asperities within the contact zone	-

Table(1) chemical composition analysis of test specimens

Comp.	Steel ck45	Aluminum	Brass 1	Brass 2
C	0.42-0.5			
Si	0.15-0.35	0.235		
Mn	0.5-0.8	0.007		0.012
P	<0.035			
S	<0.035			
Cr				0.004
Fe	Remainder	0.174	0.021	2.333
Zn		0.008	0.192	26.31
Pb		0.003	21.69	
Mg		0.444		
Cu		0.013	remainder	69.45
Ni			0.351	0.069
Al		remainder		

Table(2) surface parameters obtained by image processing analysis

	Aluminum	Brass 1	Brass 2	Steel ck45
Density η asp./mm^2	255.178	399.408	175.78	285.714
Standard deviation of all height $\sigma \times 10^{-3} mm$	5.617	7.75	2.079	3.812
Radius of asperities $\beta \times 10^{-3} mm$	2.402	0.6207	1.741	0.5703
Center line average C.L.A. $\times 10^{-3}$	4.56978	5.71246	1.55	3.21147



Fig(1) Elastic contact between a sphere and a plane [Halling J. 1975]

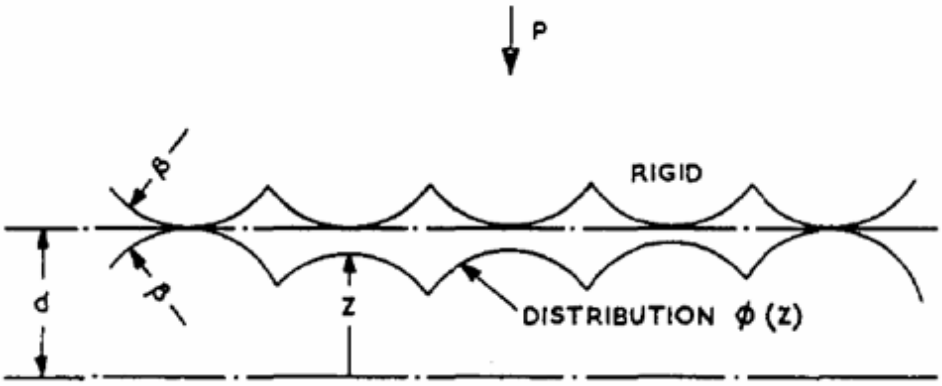


Fig.(2) Normal contact of rough surfaces.

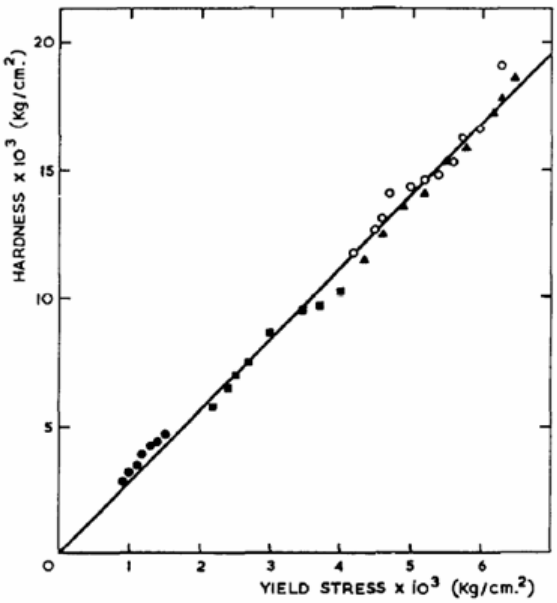
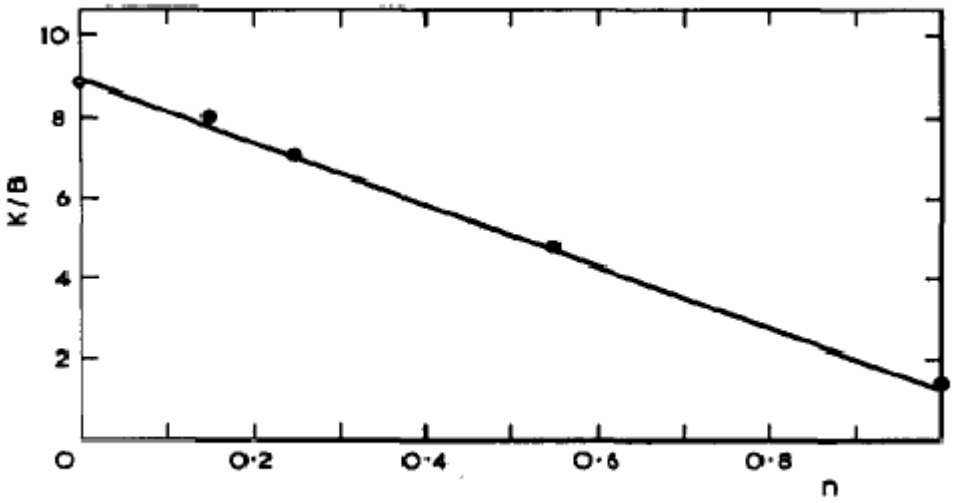


Fig.(3) Variation of the hardness with yield stress for various metals, · aluminum, ■ copper, *o* brass, Δ mild steel



Fig(4) Variation of K/B with degree of work hardening [3]

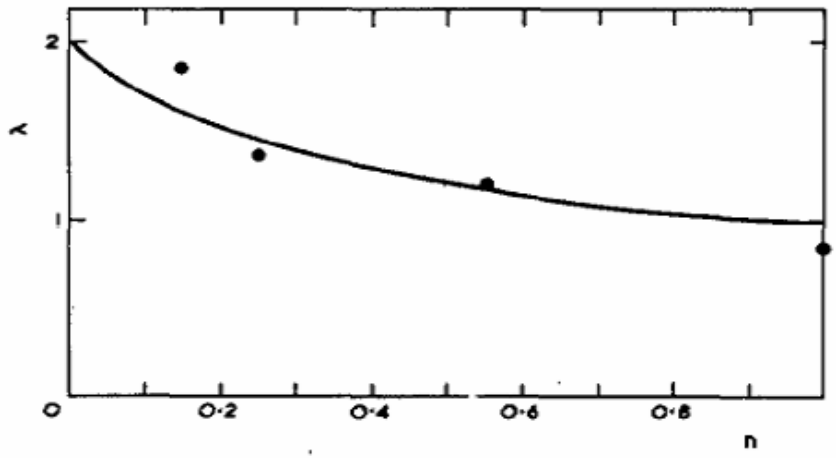
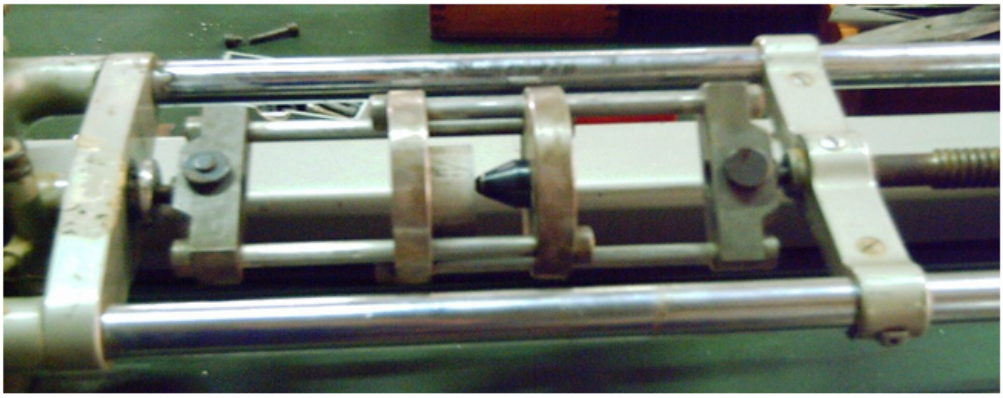


Fig.(5) Variation of the area factor with degree of work hardening. [3]



Fig(6) Monsanto tensometer and its compression cage.

Fig.(7) Light section measuring equipment (Microscope BK 70x50)

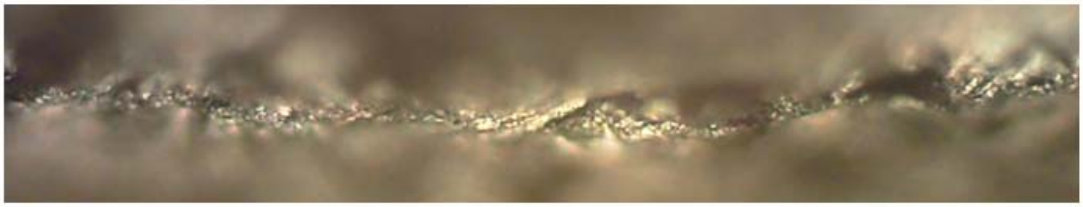


Fig.(8) Profile for Aluminum specimen magnified 375 times by microscope BK 70x50

Fig(9) Image for compression of a spherical indenter of diameter 10mm on a steel specimen to calculate the normal approach, image size 2976x2232 pixels.

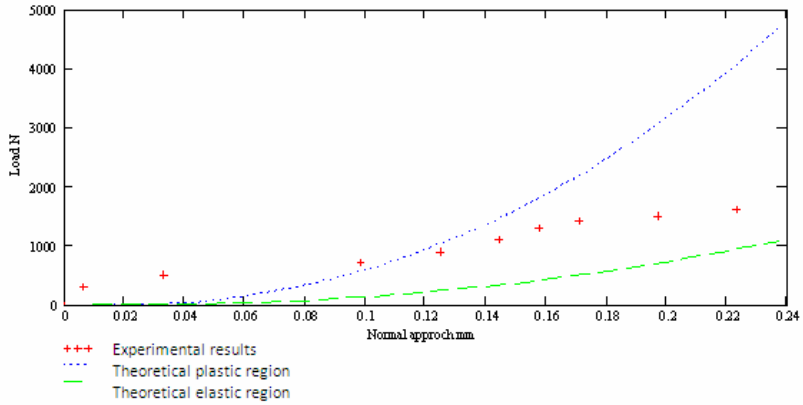


Fig.(10) Relation between applied load and normal approach for aluminum with spherical indenter (D=10mm)

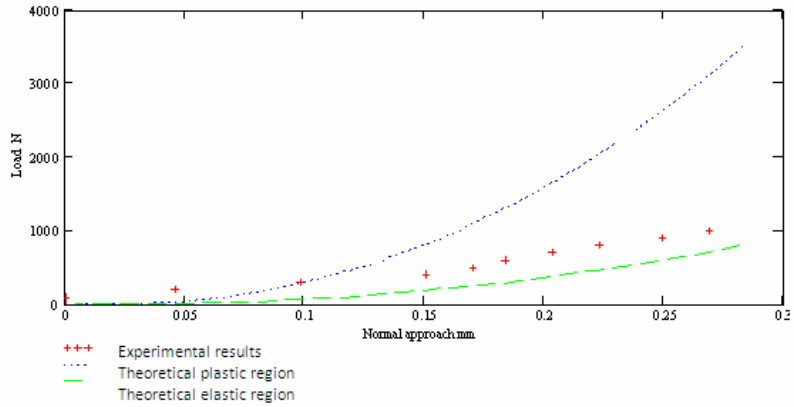


Fig.(11) Relation between applied load and normal approach for aluminum with spherical indenter (D=5mm)

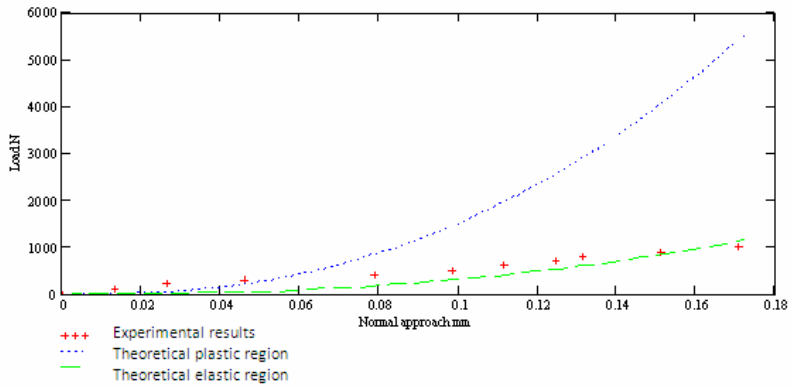


Fig.(12) Relation between applied load and normal approach for Brass2 with spherical indenter (D=10mm)

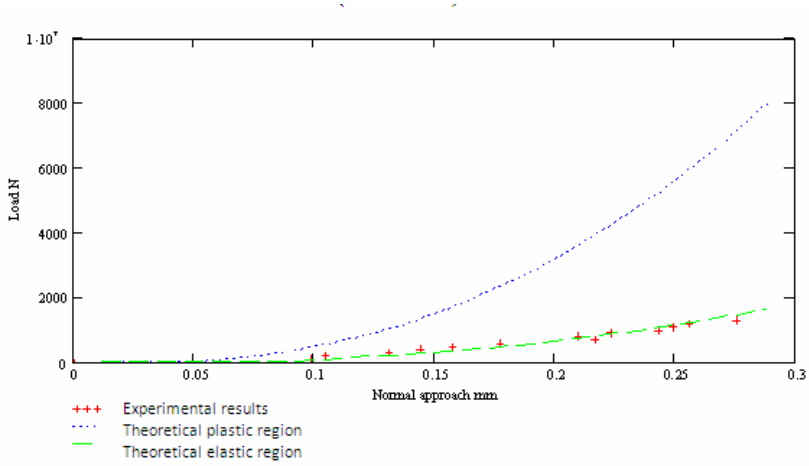


Fig.(13) Relation between applied load and normal approach for Brass2 with spherical indenter (D=5mm)

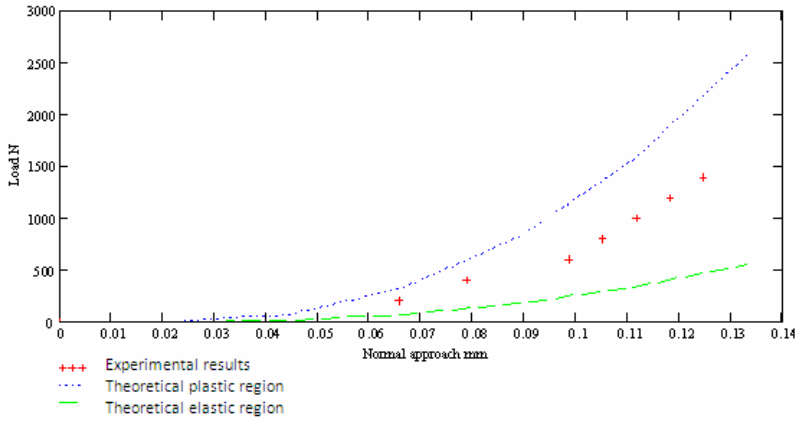


Fig.(14) Relation between applied load and normal approach for Brass1 with spherical indenter (D=10mm)

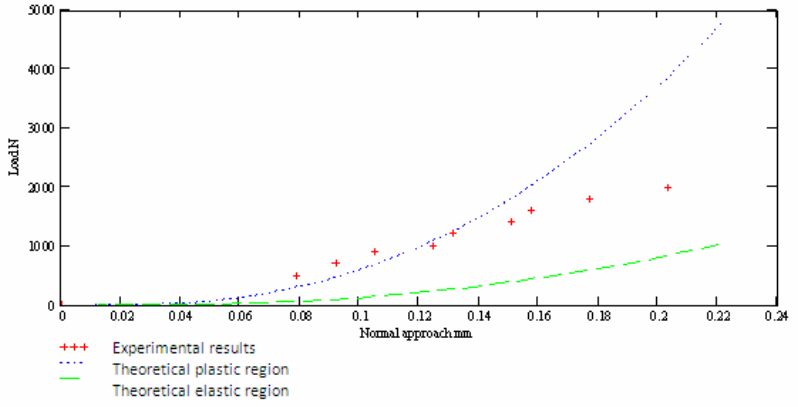


Fig.(15) Relation between applied load and normal approach for Brass1 with spherical indenter (D=5mm)

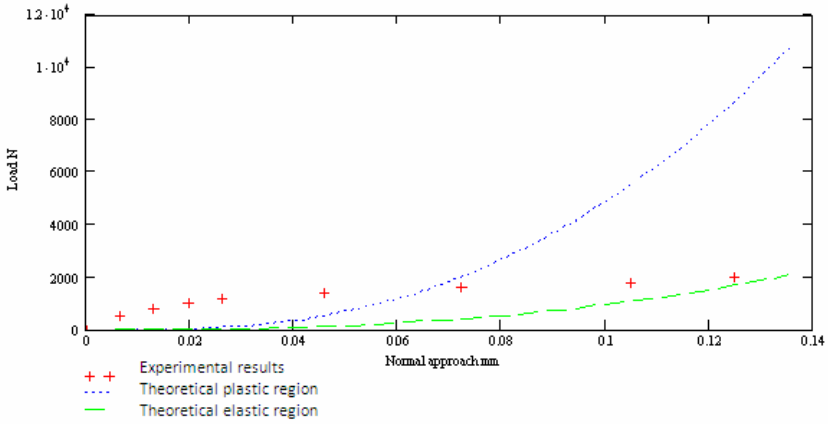


Fig.(16) Relation between applied load and normal approach for steel ck45 with spherical indenter (D=10mm)

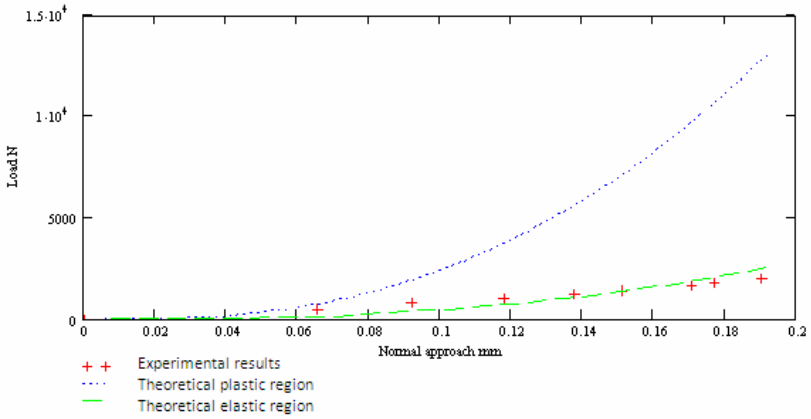


Fig.(17) Relation between applied load and normal approach for steel ck45 with spherical indenter (D=5mm)

دراسة عملية لتأثير الاهتزازات القسرية الشاقولية في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من صفيحة مستوية مسخنة نحو الأعلى

أ.م.د زينة خليفة كاظم المهندس عبد الحميد رافع سرحان*
الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المكائن والمعدات

الخلاصة

تم إجراء دراسة عملية لبيان تأثير الاهتزازات القسرية الشاقولية في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحـر من صفيحة مستوية مصنعة من الألمنيوم بأبعـاد(300 Length*100 Width*3 thickness mm) ، سخنت الصفيحة بفيض حراري ثابت نحو الأعلى يتراوح بين (250 – 1500W/m^2).أجريت الدراسة على الصفيحة في الوضع الافقي ولزوايا ميل عن الأفق (0^o،30^o,45^o,60^o, 90^o) .تمت دراسة تـأثير كل من التردد (f) لمدى (2 Hz – 16) وسعة اهتزاز (a) من(1.63 mm – 7.16), ولمـدى عـدد رايلي(138.991 < Ra < 487.275) . وتوصلت الدراسة إلى أن ازدياد معامل انتقال الحرارة بزيادة سعة الاهتزاز بشكل عام للزوايا من (0^o إلى60^o) حيث تكون أعلى زيادة في الوضع الأفقي ومقـدارها (13%) ما عدا الوضع الشاقولي ($\theta= 90^o$) إذ يكون تأثير الاهتزاز في معامل انتقال الحرارة سلبيا حيث يكون أعلى انخفاض مقداره (% 7.6) ، كما وجد أن معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتـزازي يقـل بزيادة عدد رينولدز الاهتزازي لزوايا الميل المعتمدة في البحث كافة .

ABSTRACT

The aim of this work is to perform an experimental study for the effect of forced vertical vibrations on free convection heat transfer coefficient, from flat plate made of Aluminum with dimension (300 Length*100 Width*3 thickness mm).It's heated under a constant heat flux of (250-1500 W/m^2) upward. The flat plate was located horizontally or inclined in multiple angles at rang of (0^o, 30^o, 45^o 60^o ، 90^o). The experimental study is carried out at a range of frequency (2-16 Hz) ، the amplitude at the range of (1.63-7.16 mm), and the Rayleigh number at the rang (138.991< Ra <487.275).

The results of this study show that, the relation between the heat transfer coefficient and the amplitude of vibration is incrementally for inclination angles from (0°-60°), and reaches a maximum ratio of (13%) in the horizontal position, except at the vertical position ($\theta=90^o$) the heat transfer coefficient decreases as the vibration response increases and the maximum decrease ratio occurs at (7.6 %).

الرمز	الدلالة	الوحدة
A_t	مساحة الصفيحة الكلية.	m^2
a	سعة الاهتزاز.	m
$acc.$	تعجيل الاهتزاز.	m/s^2
f	تردد الاهتزاز.	Hz
g	التعجيل الأرضي ويساوي (9.81).	m/s^2
h	معامل انتقال الحرارة بدون اهتزاز.	$W/m^2.C$
h_v	معامل انتقال الحرارة الاهتزازي.	$W/m^2.C$
$h_{av.}$	معامل انتقال الحرارة الإجمالي.	$W/m^2.C$
$hv_{av.}$	معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي.	$W/m^2.C$
I	التيار الكهربائي.	$Amp.$
k	معامل التوصيل الحراري للهواء.	$W/m.C$
k_p	معامل التوصيل الحراري للألمنيوم.	$W/m.C$
L	طول الصفيحة.	m
Nu	عدد نسلت الأجمالي.	_
P	محيط الصفيحة.	m
Pr	عدد برانتل.	_
Q	الفيض الحراري.	W/m^2
$Q_{conv.}$	الحرارة المنتقلة بالحمل الحر.	W
$Q_{gen.}$	الحرارة المتولدة نتيجة مرور تيار كهربائي.	W
$Q_{rad.}$	الحرارة المنتقلة بالإشعاع.	W
Ra	عدد رايلي.	_
Re_v	عدد رينولد الاهتزازي.	_
T_{air}	درجة حرارة المحيط.	K
T_f	معدل درجة حرارة الغشاء.	K
$T_{sur.}$	معدل درجة حرارة سطح الصفيحة.	K
u_v	سرعة الاهتزاز.	m/s
V	الفولتية.	$Volt$
w	عرض الصفيحة.	m
β	معامل التمدد الحراري	$1/K$

المقدمة:

أن لموضوع استعمال الاهتزازات لزيادة معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر أهمية كبيرة لأجراء الأبحاث العلمية في كافة الاختصاصات الهندسية لذا أنصبت الدراسات العلمية على هذا الموضوع في العقود السابقة ، حيث اهتمت بزيادة معدل انتقال الحرارة في الوحدات الصناعية لتجنب انتقال الحرارة فوق القيمة التصميمية للعناصر التي تتعرض للاهتزازات ، كما أن المتطلبات الحديثة في أداء الماكنة تحت ظروف تشغيلية قصوى مثل الصواريخ أكدت على عجز أو نقص في معرفة مبادئ ميكانيكية انتقال الحرارة بوجود الاهتزازات ، كما أن مشاكل المحركات والمركبات الفضائية هي التي استقطبت الباحثين إلى دراسة تأثير الاهتزازات في انتقال الحرارة ،ففي محرك الدفع الصاروخي عند السعة العالية يحدث عدم استقرار في احتراق الوقود ، فعندما يكون انتقال الحرارة أعظم ما يمكن بين المحرك وجداره فان درجة الحرارة تصل إلى نقطة الانهيار أي تحطم المحرك الصاروخي [1]. كما اتجهت البحوث نحو دراسة القوى المعقدة المؤثرة في الأجسام والتي يمكن أن تؤثر في زيادة انتقال الحرارة بالحمل الحر ، إذ أن تكنولوجيا الفضاء تتطلب دراسة مستفيضة في هذا المجال لمعرفة تأثير القوى الناتجة من الاهتزازات والمغناطيسية [2] . ومن الأسباب التي دعت إلى دراسة تأثير الاهتزازات على المعدات الصناعية هي عدم السيطرة على الذبذبات التدميرية التي تحصل بشكل تلقائي في بعض أجهزة ومعدات انتقال الحرارة بالإضافة إلى إن الاهتزازات والنبضات تزيد من معامل انتقال الحرارة . لذا درس عدد من الباحثين عملية انتقال الحرارة من نماذج مختلفة بالحمل الحر، و اوجدوا علاقات تجريبية وعددية تحدد العلاقة ما بين عدد رايلي (Ra) وعدد نسلت (Nu).

في عام (2003) قدم الباحثون (Rodrig, et al) [3] دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من صفيحة مستوية عمودية مـن الألمنيوم بأبعاد (315 mm height * 35 mm width) معرضة إلى فيض حراري ثابت (W/m^2 10000,5000,3000,2500,2000,1500,1000,560) موضوعة داخل خزان زجاجي(560 mm long * 470 mm height * 130 mm width) مملوء بالماء ولعدد رايلي (10^{12}) .وجد الباحثون أن عدد نسلت الموضعي لا يعتمد على معدل تغير الفيض الحراري للجريان الطباقي . وقد توصل الباحثون إلى المعادلة التجريبية الآتية :

$$Nu = \frac{2}{360^{1/5}} \times \left[\frac{Pr}{\frac{4}{5} + Pr}\right]^{1/5} \times Ra_y^{1/5} \quad (1)$$

وفي عام (2005) قدم الباحثان (**Fohanno & Polidori**)[4] دراسة نظرية لمعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر للجريان الطباقي والاضطرابي عند الجدران والنوافذ العمودية المعرضة إلى فيض حراري منتظم داخل غرفة

معينة ، توصل الباحثان إلى إن معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر يزداد مع زيادة معدل الفيض الحراري ومع زيادة طول الجدار.

وقد استنتجا المعادلة التجريبية لكل من الجريان الطباقي والأضطرابي على التوالي وكما مدرج ادناه .

$$Nu_x = 0.496(Ra_x)^{1/5} \qquad (2)$$

$$Nu_x = 0.073(Ra_x)^{2/7} \qquad (3)$$

$Ra_x > 6.3\times10^9$

وفي عام (2007) قدم الباحث (عدي شاكر) [5] دراسة عملية لبيان تأثير الاهتزازات العمودية في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك باستعمال اسطوانة مزعنفة حلقية ذات مقاطع مختلفة وبطول مزعنف مقداره (300mm) وبقطر داخلي مقداره (16mm) وبقطر خارجي مع الزعنفة مقداره (48mm) مصنوعة من الألمنيوم معرضة إلى فيض حراري ثابت يتراوح بين W/m^2(1500-500) ، وكانت هذه الاسطوانة أفقية أو مائلة عن الأفق بزاوية تتراوح بين (60^o-0^o) ، تمت دراسة تأثير التردد (f) ولمدى (20-2 Hz) وسعة الاهتزاز (a) من mm (-1.79 0) . وقد توصل الباحث إلى أن عدد رينولدز الاهتزازي (Re_v) يزداد مع شدة الاهتزاز ولمختلف الزوايا وتكون اكبر كلما كانت زاوية الميل اكبر ، وان معامل انتقال الحرارة الاهتزازي يقل بزيادة عدد رايلى (Ra) ويكون بأعلى مقدار عند اعلى مستوى للفيض الحراري . وقد استنتجت المعادلة التجريبية الآتية:

$$Nu = 118.6350 * Ra_v^n \qquad (8)$$

$$Nu = 118.6350 * Ra^{0.53506} * Re_v^{-0.11269} * \theta^{-1.30968} \qquad (9)$$

وفي عام (2009) قدم الباحث (فادي رياض) [6] إجراء دراسة عملية لبيان تأثير الاهتزازات على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من اسطوانة مزعنفة حلقيا قطرها الداخلي (16mm) وقطرها الخارجي مع الزعنفة (48mm) مصنوعة من الألمنيوم ، سخنت بفيض حراري ثابت وذلك بإمرار تيار كهربائي متناوب خلال مقاومة مثبتة داخل الحيز الداخلي لهذه الاسطوانة التي كانت إما أفقية أو مائلة عن الأفق بزوايا تراوحت بين (45^o, 0^o) ، وتمت دراسة تأثير كل من التردد (f) لمدى (16-2 Hz) وسعة اهتزاز (a) من (0 – 2.2 mm) ولمعدلات فيض حراري تراوحت بين ($W/m^2$1500-500). وقد توصلت الدراسة إلى ازدياد معامل انتقال الحرارة مع زيادة سعة الاهتزاز بشكل عام وتصل قيمة أعلى زيادة إلى (13.34%)، كما إن زيادة زاوية الميل تقلل من قيم معامل انتقال الحرارة الاهتزازي وذلك بسبب عرقلة الزعانف في الحالة المائلة عن الأفق لتيارات الحمل أما في الوضع الأفقي فتعمل الزعانف عمل مسارات تساعد في زيادة حركة تيارات الحمل ومن ثم تزيد من معدلات معامل انتقال الحرارة . وقد توصل الباحث إلى المعادلة التجريبية الآتية :

$$h = [(2 * 10^{-3}) - (2 * 10^{-5} * Re)] * \theta + 0.004 * Re + 3.98 \qquad (10)$$

الجهاز المستخدم:

تم تصنيع نموذج الاختبار من صفيحة مستوية من الألمنيوم مستطيلة الشكل بإبعاد (300mm long * 100mm width * 3mm height) ولغرض تثبيت المزدوجات الحرارية المستخدمة في قياس درجة حرارة السطح تم تثقيب النموذج بعدد من الثقوب (30 ثقب) من الجانب الأسفل غير نافذ قطر الثقب (1mm) وعمق (1.5mm)، كما موضح بالشكل (1). تثبت المزدوجات الحرارية في الثقوب المخصصة لها باستخدام مادة لاصقة تتحمل درجات حرارية عالية (super glue). ولتسخين سطح التبادل الحراري تستخدم المسخنات الكهربائية ، والتي هي عبارة عن شرائط رقيقة مصنوعة من النيكروم ذي عرض (0.3mm) وسمك (0.06mm) حيث جرت عملية تثبيت هذه الأشرطة طوليا على طبقة من المايكا (Mica) سمكها (0.5mm) بصورة متجانسة لضمان توزيع الحرارة بشكل متجانس على الصفيحة ، ثم تغطية الوجهين العلوي والسفلي للمسخن بطبقتين من المايكا أيضا لغرض ضمان العزل الكهربائي ، ثقبت طبقات المايكا (ثلاث طبقات) بعدد من الثقوب مكافئ لعدد توزيع الثقوب الخاصة بسطح التبادل الحراري وذلك لضمان مرور المزدوجات الحرارية من خلالها، وعزل سطح التبادل الحراري من الجهة السفلى بالصوف الزجاجي لغرض تقليل الخسائر الحرارية ،وثبت النموذج في إطار من الخشب بإبعاد (330mm*125mm) وبسمك (18mm) وتم عزله عن سطح التبادل الحراري باستخدام مادة التفلون(Teflon). ثم ثبت على مسند بشكل حرف (U) إذ صنعت الجوانب و القاعدة من مادة الحديد يتم تثبيت النموذج من الوسط وبذلك يمكننا تحريك النموذج بزوايا مختلفة ولغرض قياس الزوايا تم تثبيت منقلة لضبط الزاوية. سخن نموذج الاختبار بإمرار تيار كهربائي في ملف تسخين ذي مقاومة حرارية مقدارها (V*I) وقدرة (1000 W) يلف حول طبقة من المايكا ثم يوضع بين طبقتين من المايكا لضمان عزله بشكل تام و تتغير الفولتية عن طريق منظم الفولتية (Varic) وقياس فرق الجهد بواسطة مقياس فرق الجهد والتيار بواسطة اميتر تمكنا من الحصول على فيض حراري مختلف .كما تم قياس درجات الحرارة باستخدام (30) مزدوجا حراريا من نوع (K) ثبتت على نموذج الاختبار بواسطة مادة لاصقة مقاومة للحرارة حيث وصلت بمفتاح انتقائي (Selector Switch) ثم إلى محرار رقمي (Thermometer) وسجلت قيم درجات الحرارة بعد الوصول إلى حالة الاستقرار البالغة (3إلى 3.5 ساعة) . كما تم توليد الاهتزازات عن طريق جهاز مولد الإشارة (Random Function Generator)الذي يولد الإشارة الجيبية ذات التردد المطلوب ويرسلها إلى راسم الإشارة (Digital Oscilloscope) ومكبر القدرة (Power Amplifier) الذي بدوره يضخم هذه الإشارة ويرسلها إلى جهاز مثير الاهتزاز(Vibration Exciter) الذي يهتز وفقا للتردد المطلوب وبمقياس الاهتزاز Vibration (Meter) تقاس هذه الاهتزازات عن طريق

متحسس للاهتزاز يتم تثبيته بـصورة عموديـة على المسند. لإجراء التجارب الخاصة بالبحـث يتم ربط الأجهـزة أعـلاه كمـا فـي الـشكل المصور(2) و (3) ، تـم إتبـاع الإجـراءات الأساسية في التجارب المختبرية وتدوين النتائج لاعتمادها في تحليل تأثير الاهتزاز في معامـل انتقال الحرارة بالحمل الحر.

الحسابات :

إن كمية الحرارة المتولدة فـي المـسخن الكهربائي الكلية (Q_{gen}) تتحول إلى حرارة تنتقل عبر الصفيحة بالتوصيل والى المحيط الخارجي من سطح الصفيحة بالحمل الحر (Q_{conv}) إضافة إلى حرارة المفقودة بالإشعاع (Q_{rad}) .

$$Q_{gen} = Q_{conv} + Q_{rad} \qquad (11)$$

إن كمية الحرارة المتولدة الكليـة تحـسب كمـا يأتي:

$$Q_{gen} = I * V \qquad (12)$$

وان كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع تحسب كما يأتي:

$$Q_{rad} = \sigma * \varepsilon * S_{sur} * A_t * (T_{sav}^4 - T_{air}^4) \qquad (13$$

حيث ان ε : عامل انبعاثية الـسطح وتـساوي (0.04).

S_{sur} : معامل الشكل ويساوي (1) [7] .

وعليه فان معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر تم حسابه من المعادلة الآتية التي تعـرف بقـانون نيوتن للتبريد.

$$h = \frac{Q_{conv}}{A_t * \Delta T} \qquad (14)$$

حيث إن (A_t): تمثل مساحة الـصفيحة الكليـة لنموذج الاختبار المعرضـة للحمـل وتـساوي ($0.003\ m^2$)

$$A_t = W * L \qquad (15)$$

كما تم حساب معدل درجات الحرارة كما يلي :

$$T_{sav} = (T_1 + T_2 + \cdots\cdots + T_n)/N \qquad (16)$$

إما معدل درجة الطبقة المتاخمة (T_f) فقـد تـم حسابها كما يأتي:

$$T_f = \frac{T_{sav} + T_{air}}{2} \qquad (17)$$

اعتمدت هذه الدرجـة فـي حـساب الخـواص الفيزياوية للمادة العاملة (الهـواء) بعـد إيجـاد معادلات تمكننا من الحصول على أي خاصـية عند أي درجة حرارة . كما تم حـساب معامـل التمدد الحجمي من المعادلة الآتية:

$$\beta = 1/(T_f + 273) \qquad (18)$$

لغرض حساب الفيض الحراري المـسلط علـى نموذج الاختبار يتطلب حساب القدرة المتولـدة نتيجة مرور تيار كهربائي في مقاومة التـسخين بتطبيق المعادلـة (11) . حيـث أن المـساحة السطحية المعرضة لهذه القدرة هـي المـساحة السطحية للصفيحة وتحسب كما فـي المعادلـة (15).

الأعـداد اللابعديـة (Dimensionless Parameter)

اعتمدت درجة حرارة الغشاء (T_f) في حـساب الخواص الخاصة بالمائع الخارجي والتي يعتمـد عليهما في حساب القيم اللابعديـة الآتيـة عـدد رينولدز الاهتزازي (Vibration Reynolds

number)، عدد رايلي (Rayleigh number) ، عدد نسلت (Nusselt number) .

$$Re_v = \frac{2.\pi.f.a.\delta}{v} \quad (19)$$

$$Ra = \frac{\beta * g * (T_{sav} - T_{air}) * \delta^3}{v^2} * Pr \quad (20)$$

$$Nu = \frac{h * \delta}{k_f} \quad (21)$$

وفي حالة ميل النموذج عن الأفق بزاوية (θ) ضمن المدى المحدد يتم اعتماد مركبة التعجيل الأرضي في حساب المقادير اللابعدية وكما يأتي[5].

$$Ra = \frac{\beta * g \sin\theta * (T_{sav} - T_{air}) * \delta^3}{v^2} * \Pr \quad (22$$

أما إذا كان النموذج في وضع أفقي الطول المميز يكتب بالمعادلة المدرجة أدناه (8):

$$\delta = \frac{W * L}{2(W + L)} \quad (23)$$

إذا كان النموذج مائل عن الأفق بزاوية اكبر من (0^o) واصغر من (90^o):

$$\delta = \frac{W * L\cos\theta}{2(W + L\cos\theta)} \quad (24)$$

إذا كان النموذج بالوضع الشاقولي :

$$\delta = L = 300\ mm \quad (25)$$

حيث :

(δ)تمثل الطول المميز للصفيحة.

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{k_f} \quad (26)$$

أما سرعة الاهتزاز(Vibration Velocity) و سعة الاهتزاز تم حسابها كما في مدرج أدناه:

$$u_v = a \times f \quad (27)$$

$$a = \frac{acc. * \sqrt{2}}{(2\pi * f)^2} \quad (28)$$

مناقشة النتائج:

يتناول هذا الجانب من البحث تحليل النتائج العملية المستحصلة من (225) اختباراً لنموذج اختبار ذو مساحة مقطع ثابتة و لفيض حراري يساوي ($1500,1000,750,500,250\ W/m^2$) ، وازوايا ميل مقدارها ($90^o,60^o,45^o,30^o,0^o$) ، لذا تضمن هذا الجانب من البحث تأثير العناصر الآتية في معامل انتقال الحرارة بالحمل .

تأثير تردد الاهتزاز في سعة وسرعة الاهتزاز:

توضح الأشكال (5,4) تأثير الترددات القسرية في سعة الاهتزاز (Amp.) وسرعة الاهتزاز (u_v) ،لنموذج الاختبار في الوضع الافقي ولفيض حراري ($250W/m^2$) حيث يتضح أن سعة الاهتزاز تكون بأعلى مقدار عند الترددات الواطئة وتقل بزيادة التردد كما إن سرعة الاهتزاز تزداد مع ازدياد الترددات وتصل أقصى قيمة عند الترددات المتوسطة (6 Hz) وتتذبذب بين زيادة ونقصان بزيادة الترددات وتصبح بأعلى قيمة عند التردد (16 Hz).

تأثير عدد رينولدز الاهتزازي (Re_v) في معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي ($hv_{av.}$):

يوضح الشكل (6) تأثير زيادة عدد رينولدز الاهتزازي في معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي لزوايا الميل المعتمدة في البحث و لكافة الترددات القسرية (16,10,6,2 Hz)

ولمختلف مستويات الفيض الحراري المعتمدة في البحث، حيث نلاحظ أن قيمة معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي تقل مع زيادة عدد رينولدز الاهتزازي بشكل عام ولكافة زوايا الميل إلا أن أقصى زيادة تكون عند الزاوية صفر وللتردد (6 Hz) إلا أن هذه الزيادة تتباين عند الزاوية (30^o) حيث تكون بأعلى مقدار عند التردد (16 Hz) ويعزى ذلك إلى تأثير كل من سعة الاهتزاز و سرعة الاهتزاز ، حيث تعمل السعات الاهتزازية العالية على اختراق الطبقة المتاخمة الحرارية ويقل هذا التأثير عند السعات الاهتزازية الواطئة كما إن سرعة الاهتزاز تعمل على خلق جريان ثانوي يعمل بالاشتراك مع الجريان الرئيسي على تحسين معامل انتقال الحرارة .

تأثير عدد رايلي في عدد نسلت (Nu) الاجمالي بوجود وعدم وجود الاهتزاز:

توضح الأشكال (11,10,9,8,7) تأثير عدد رايلي في قيم عدد نسلت الاجمالي بوجود وعدم وجود الاهتزاز ولجميع زوايا الميل وللترددات القسرية المعتمدة (16,10,6 ,2 Hz) حيث يتضح من الأشكال زيادة عدد نسلت بزيادة عدد رايلي بشكل عام إلا أن هذه الزيادة تكون أعلى بوجود الاهتزاز وبالنسبة الموضحة في الجدول (1) ولزوايا الميل (60^o,45^o,30^o,0^o) ، وعندما يكون نموذج الاختبار في الوضع الشاقولي يكون تأثير الاهتزاز سلبياً في قيم عدد نسلت الاجمالي حيث تكون قيم عدد نسلت بوجود الاهتزاز أقل مما في حالة عدم وجود الاهتزاز ويعزى ذلك إلى تغير أتجاه الاهتزازت القسرية المسلطة على نموذج الاختبار من أهتزاز مستعرض الى أهتزاز طولي مما يؤدي الى خلق حركة دوامات هواء معاكسة لقوى الطفو والجريان الرئيسي مسببة إضافة مقاومة خارجية تعمل على تسخين نموذج الاختبار لنفسه مما يؤدي الى عدم تحسين معامل انتقال الحرارة.

العلاقات التجريبية المستنبطة:

تم التوصل في هذا البحث إلى وضع علاقة تجريبية تعبر عن قيم عدد نسلت الإجمالي مع عدد رايلي وعدد رينولدز الاهتزازي وزاوية الميلان كما في المعادلة الآتية:

$$Nu = C * Ra^m * \mathrm{Re}_v^n * \theta^l \quad (29)$$

حيث أن (C , m , l) ثوابت .إن العلاقات الآتية قد استنتجت لوصف البيانات العملية لهذا البحث ، حيث تم استخدام برنامج (DGA-V1) لإيجاد المعادلات ولكل حالة من حالات البحث علماً ان نسبة الخطأ لهذه المعادلات هي (1-2.5 %). هذا ويمكن وضع ثوابت هذه المعادلات في الجداول الآتية:

الجدول (2) يوضح قيم الثوابت للمعادلة (29) لمختلف مستويات الفيض الحراري ولترددات الاهتزازالمحدة في البحث.

الاستنتاجات

في ضوء تحليل النتائج العملية التي تم الحصول عليها من التجارب العملية ومناقشة العلاقات البيانية ودراسة تأثير المتغيرات

المدرجة أدناه والمحددة في البحث (زاوية الميل ، الفيض الحراري ، عدد رايلي ، الترددات القسرية) تم التوصل إلى ما يأتي :

1- هز الصفيحة المستوية بتأثير قوى قسرية عمودية يؤدي إلى زيادة معامل انتقال الحرارة وتكون أعلى زيادة في الوضع الأفقي ومقدارها (13%) نسبة إلى عدم وجود الاهتزاز.

2- هز الصفيحة الشاقولية بتأثير قوى قسرية عمودية يؤدي إلى نقصان معامل انتقال الحرارة بنسبة (7.6 %) نسبة إلى عدم وجود الاهتزاز.

3- السعات الاهتزازية الصغيرة محدودة التأثير في الطبقة المتاخمة الحرارية ، ومن اجل تحسين معامل انتقال الحرارة يجب اختراق الطبقة المتاخمة الحرارية بسعات اهتزازية كبيرة.

4- يقل معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي بزيادة عدد رينولدز الاهتزازي لجميع زوايا الميل المعتمدة في البحث.

5- يزداد عدد نسلت الإجمالي بوجود وعدم وجود الاهتزاز بازدياد عدد رايلي ولجميع الزوايا المعتمدة في البحث.

المصادر:

[1] حميد عبد العالي "تأثير الاهتزازات الميكانيكية الأفقية على متوسط معامل انتقال الحرارة بواسطة الحمل الطبيعي من سطوح الاسطوانات الأفقية " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل (1981).

[2] M.C.Charrier Mojtabi, Y.P.Razi, K.Maliwan and A.Mojtabi, "Heat transfer due to high frequency vibration ", Int. J. Heat and mass transfer, (2003).

[3] Rodrigo G.L. , Jose' A.F. And Douglas M.R. "Natural convection of Vertical flat plates" from Internet, (2003).

[4] S. Fohanno, G. Polidori "Modeling of natural convective heat transfer at an internal surface "from Internet, (2005) .

[5] عدي شاكر هادي "دراسة عملية لتأثير الاهتزازات في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة مزعنفة حلقيا" أطروحة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات الجامعة التكنولوجية، بغداد، (2007).

[6] فادي رياض شمعون "دراسة عملية لتأثير الاهتزازات على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من اسطوانة مزعنفة حلقيا " أطروحة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات الجامعة التكنولوجية، بغداد، (2009).

[7] K.L.Kumar, "Engineering Fluid Mechanics", 5th.Edition, Boston, 1990.

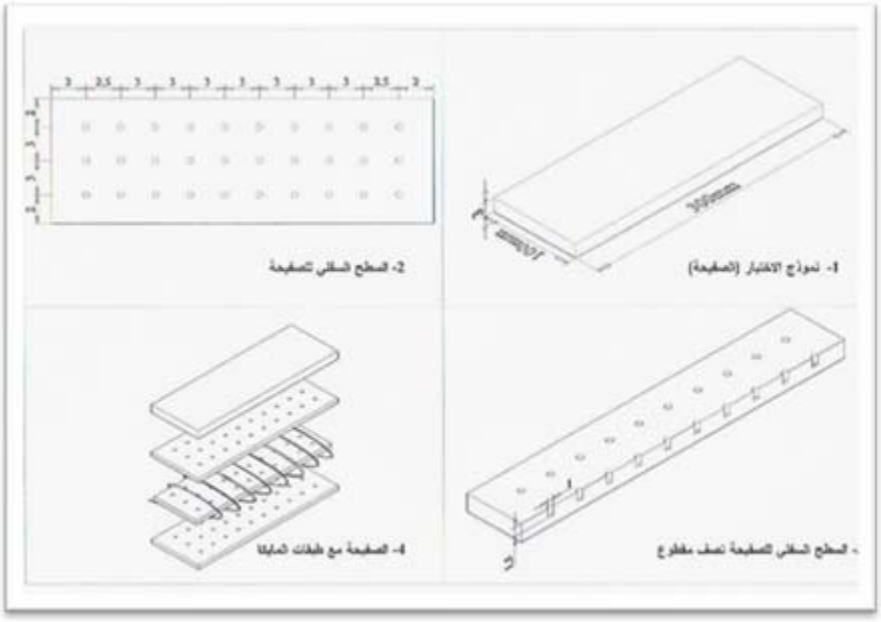
[8] P.K.Nag, "Heat and Mass Transfer", Second Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2007.

الجدول (1) يوضح النسب المئوية لقيم معامل انتقال الحرارة بوجود الاهتزاز إلى عدم وجوده.

θ	$f = 2\ Hz$	$f = 6\ Hz$	$f = 10\ Hz$	$f = 16\ Hz$
0^O	12.0977	13.2894	11.3854	11.4888
30^O	10.6678	4.0475	5.0203	5.386
45^O	0.967	1.3721	1.0203	3.0976
60^O	3.5358	2.5849	4.1174	5.3575
90^O	7.1267	6.6189	7.6475	7.049

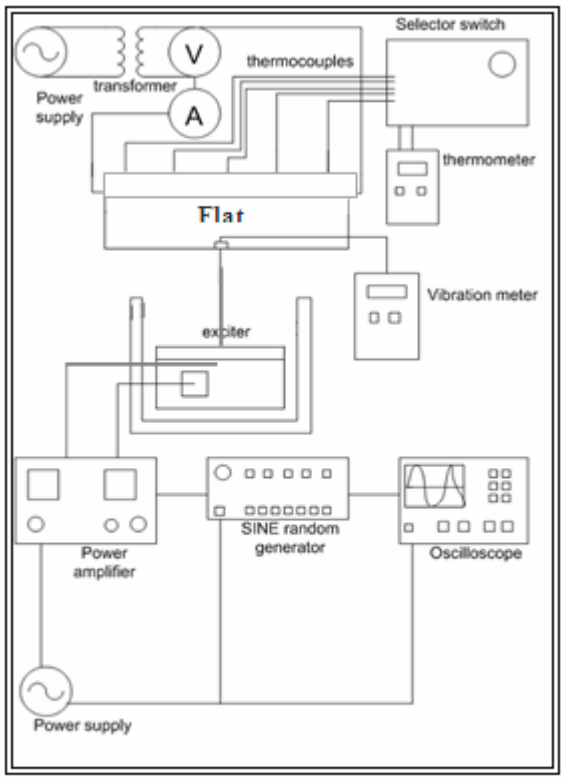
الجدول (2) يوضح قيم الثوابت للمعادلة (29) لمختلف مستويات الفيض الحراري ولترددات الاهتزازالمحدة في البحث.

		$f = 2\ Hz$		
$Q\ (W/m^2)$	C	m	n	l
250	1.433E-93	23.735	37.027	-0.8125
500	2.639	1.147	-0.693	6.92E-02
750	0.232	1.154	-0.703	-7.6325E-02
1000	11165.57	9.350E-02	-0.703	4.489E-02
1500	1.847E-12	4.53	4.42	-8.78E-02
		$f = 6\ Hz$		
$Q\ (W/m^2)$	C	m	n	l
250	2.2E+71	-13.968	-27.448	0.556
500	4.75E-25	8.095	7.595	-0.1711
750	5.6E-02	1.841	-0.369	-0.0762
1000	527.155	0.746	-1.8155	5.409
1500	1.327E-13	4.457	4.5127	-7.9744
		$f = 10\ Hz$		
$Q\ (W/m2)$	C	m	n	l
250	573.7996	-0.000977	-0.2709	0.000329
500	4.799E-25	7.917	8.166	-0.146
750	0.447	1.587	-0.673	-7.235
1000	53.23	0.891	-1.2522	1.035
1500	0.0338	1.187	0.7966	0.1559
		$f = 16\ Hz$		
$Q\ (W/m^2)$	C	m	n	l
250	8.65E-04	2.168	4.516	-6.485
500	3.127E-54	15.782	18.337	-0.939
750	0.4929	1.546	-0.601	-0.072
1000	0.276	1.67	-0.704	-1.667
1500	1.095E-11	4.044	3.75	-0.12155

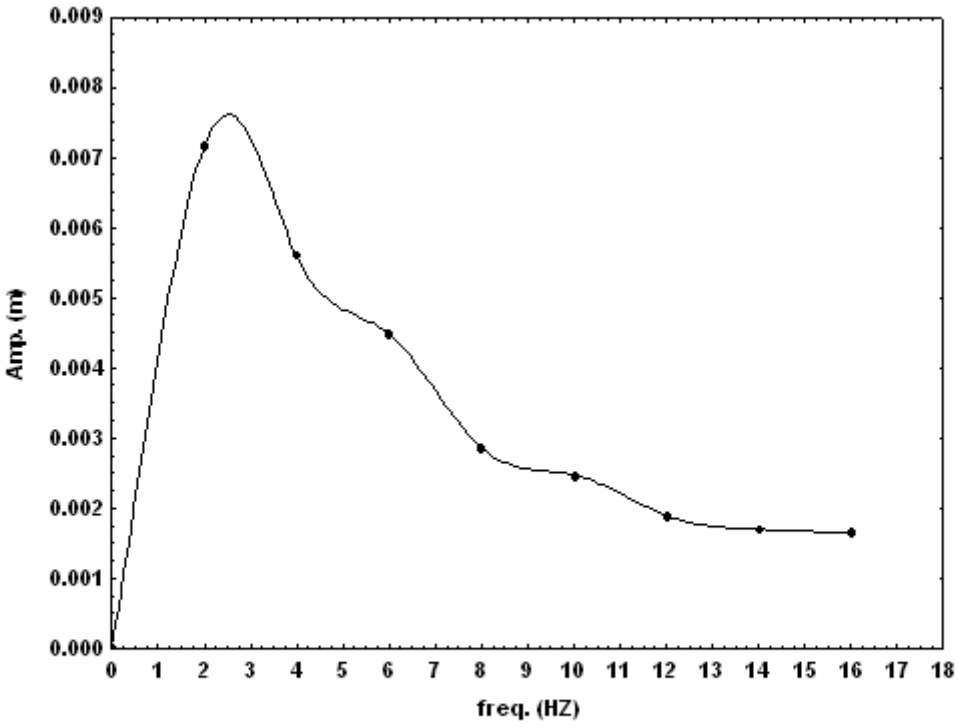


شكل (1) مخطط يوضح نموذج الاختبار المستخدم في البحث

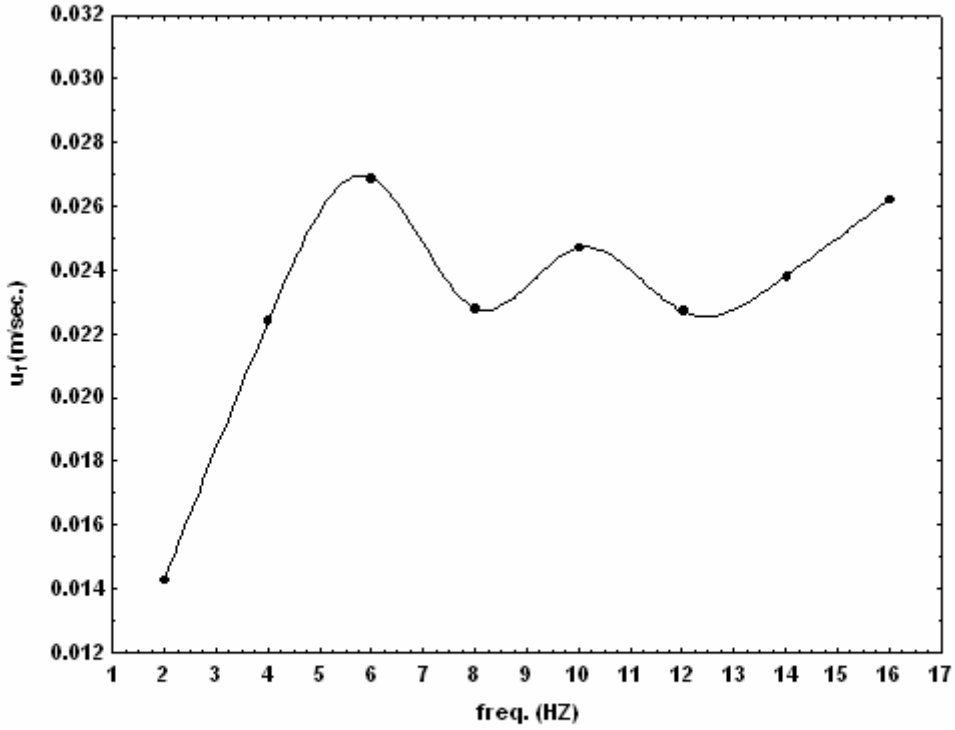
الشكل (2) صورة فوتوغرافية لمنظومة الاختبار



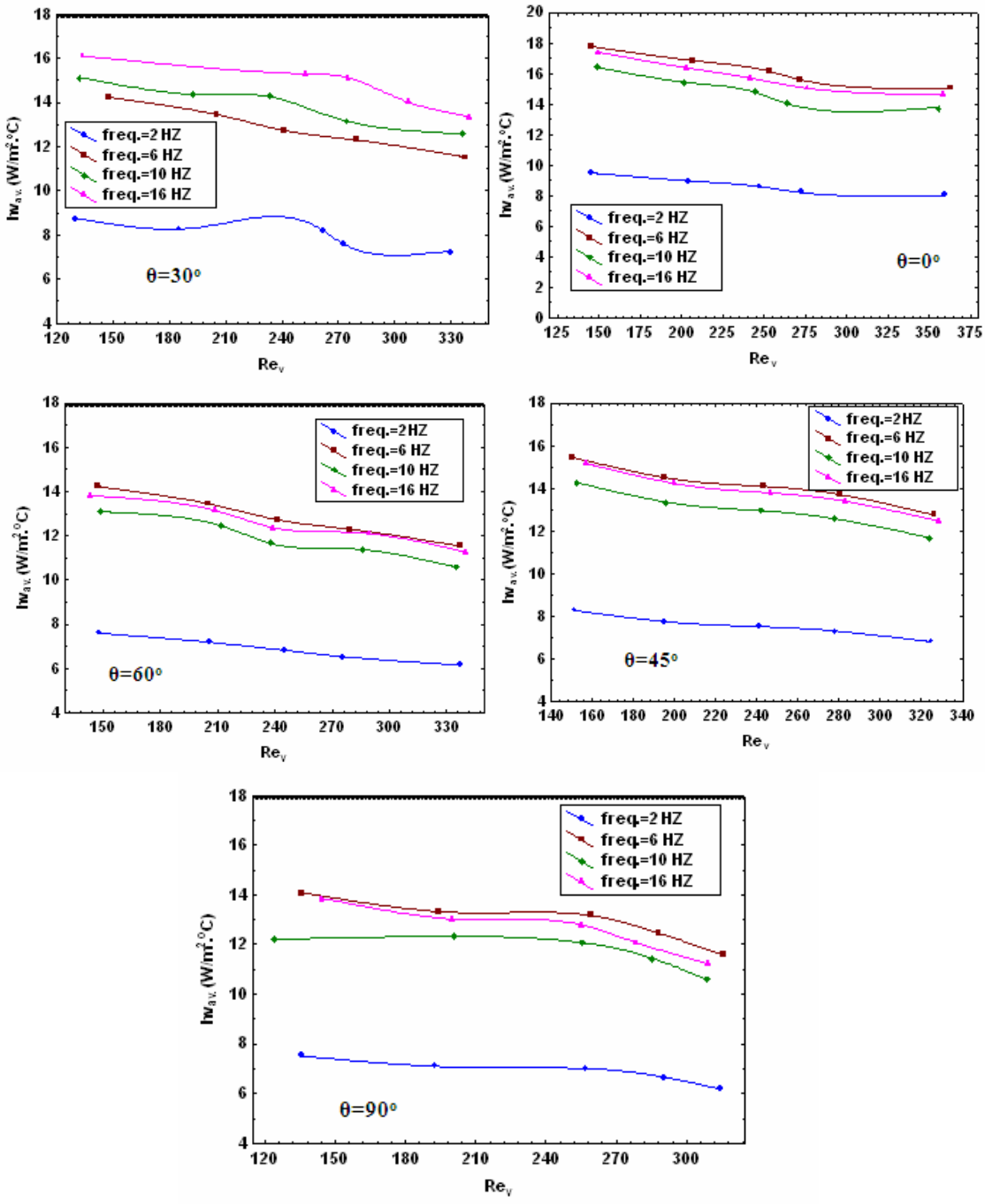
الشكل (3) يوضح منظومة الاختبار المستخدمة



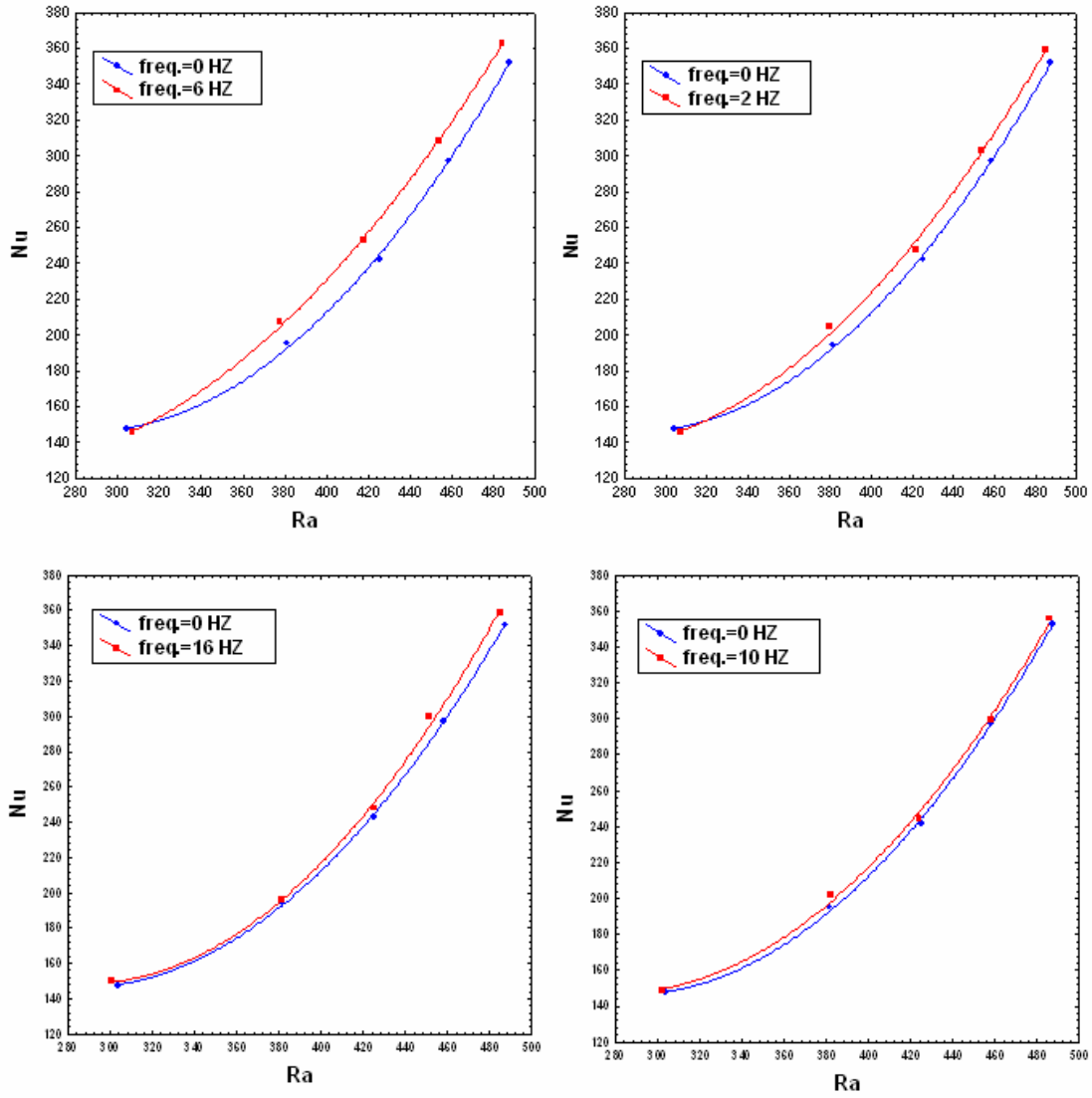
الشكل (4) يوضح تأثير تردد الاهتزاز في السعة لفيض حراري($250\ W/m^2$) ولزاوية ($\theta=0^o$)



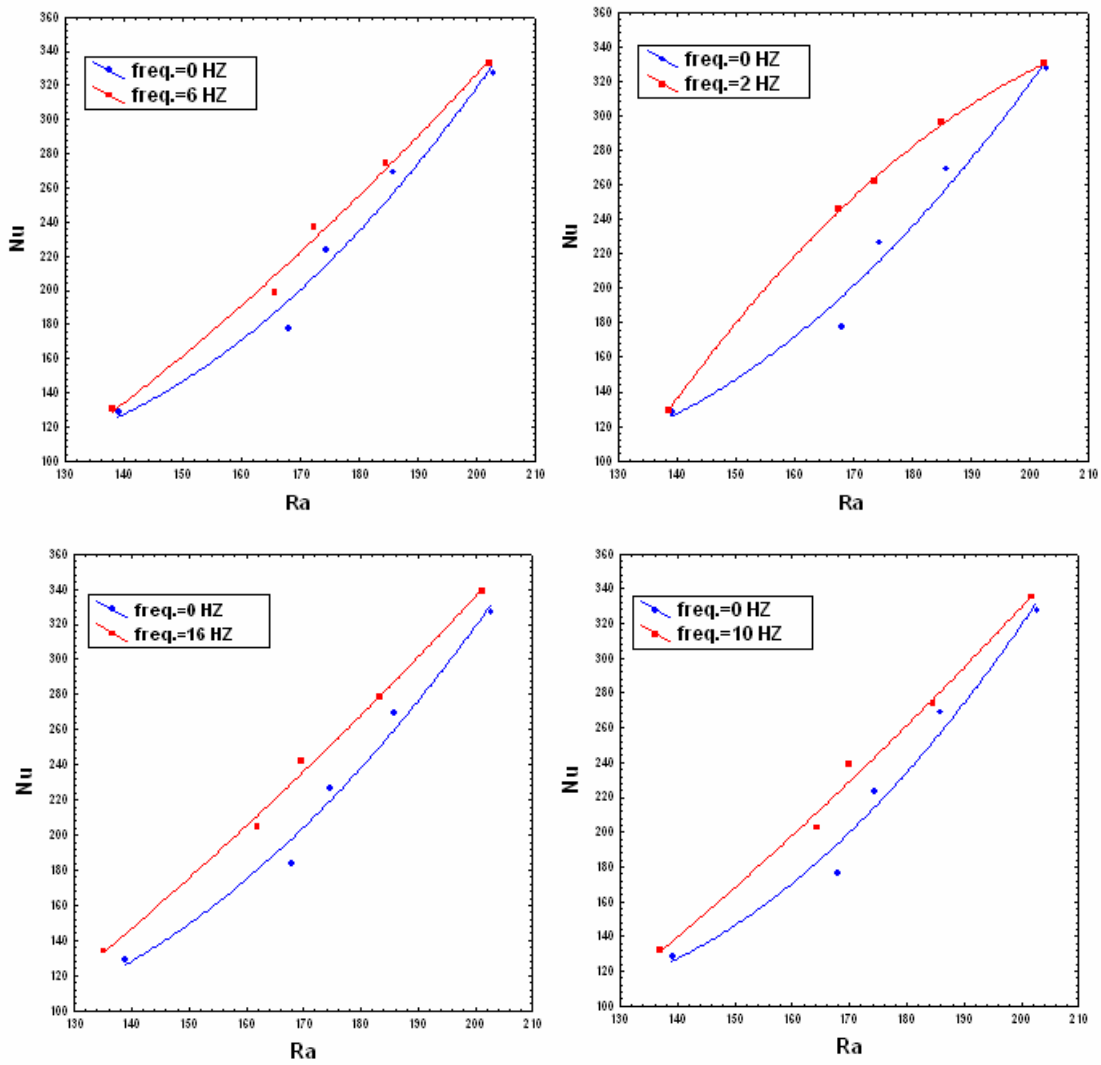
الشكل (5) يوضح تأثير تردد الاهتزاز في سرعة الاهتزاز لفيض حراري($250\ W/m^2$) ولزاوية($\theta= 0^o$)



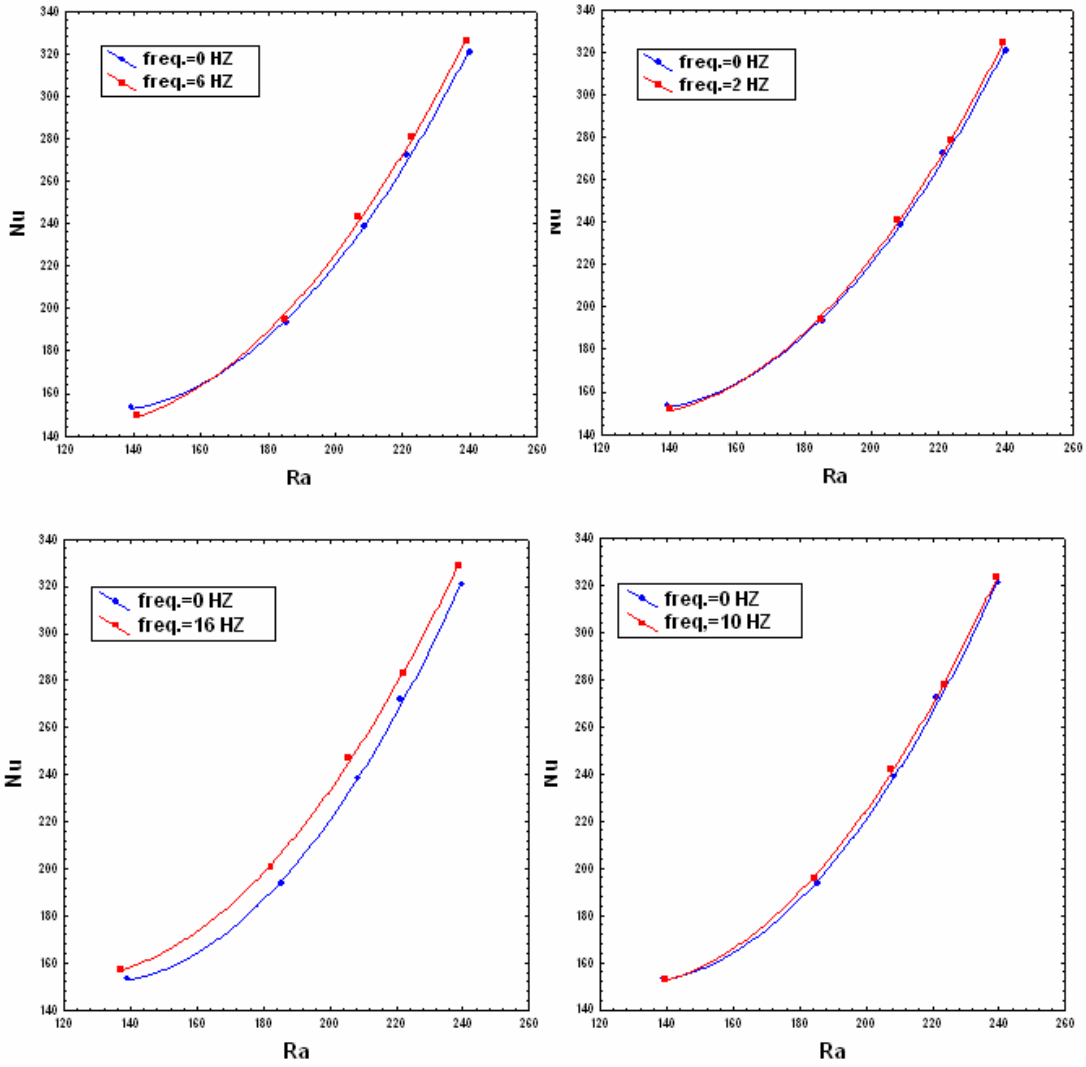
الشكل (6) يبين تأثير عدد رينولدز في معامل انتقال الحرارة الإجمالي الاهتزازي
لمختلف مستويات الفيض الحراري



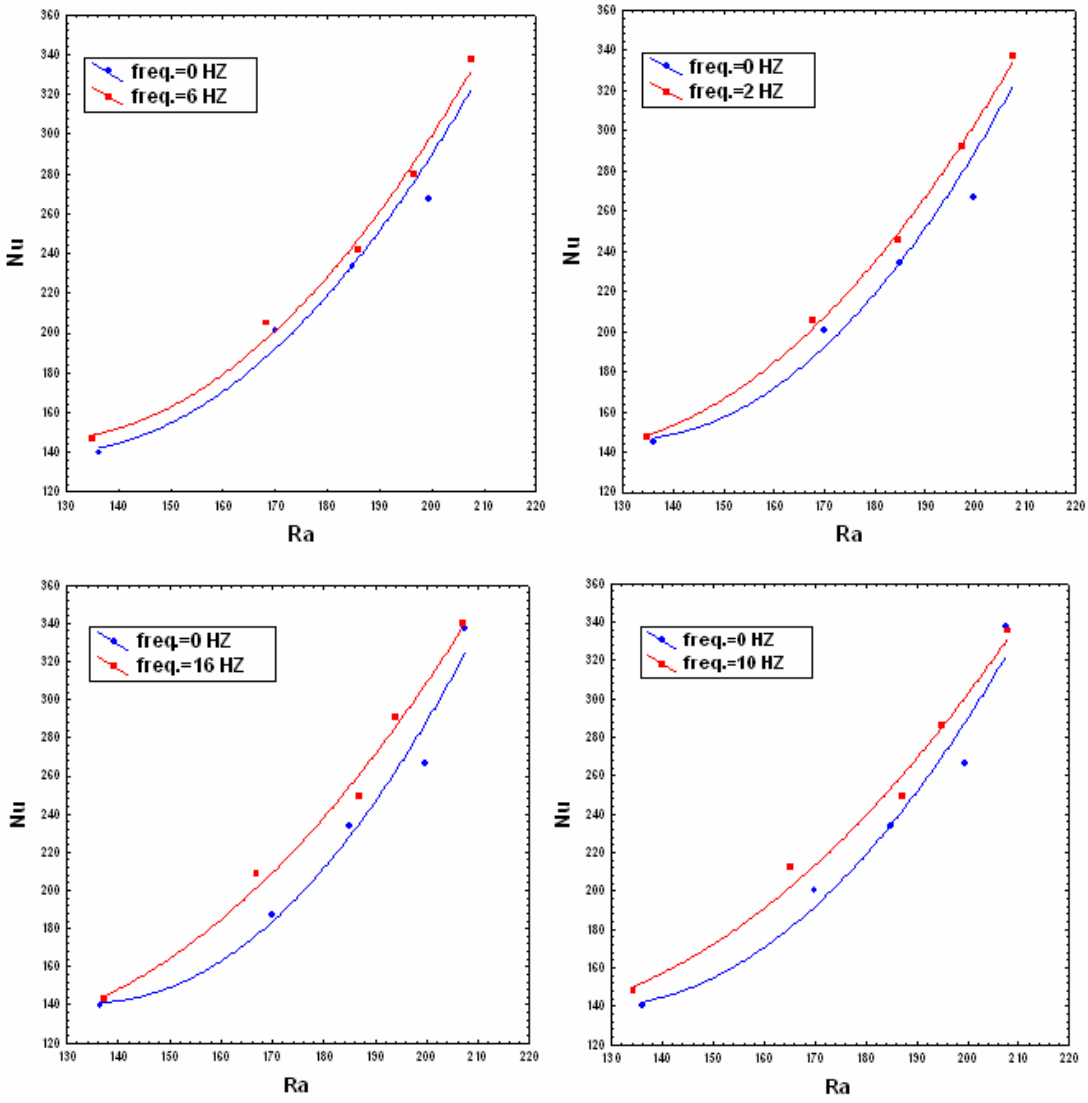
الشكل (7) يبين تأثير عدد رايلي في عدد نسلت الاجمالي بوجود وعدم وجود
الاهتزاز للزاوية $\theta=0^{o}$ ولمختلف مستويات الفيض الحراري



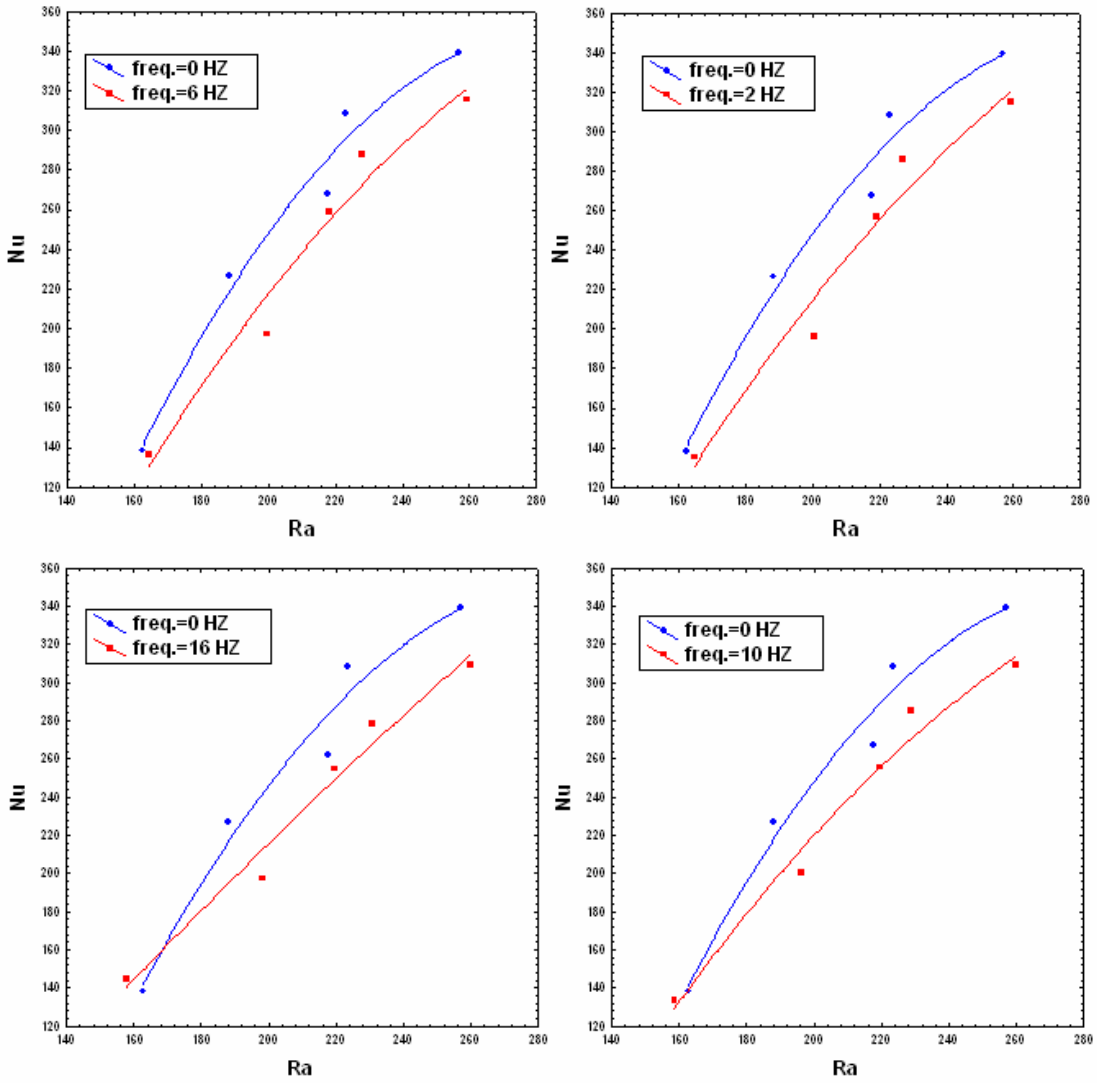
الشكل (8) يبين تأثير عدد رايلي في عدد نسلت الاجمالي بوجود وعدم
وجود الاهتزاز للزاوية $\theta=30^{o}$ ولمختلف مستويات الفيض الحراري



الشكل (9) يبين تأثير عدد رايلي في عدد نسلت الإجمالي بوجود وعدم وجود الاهتزاز للزاوية $\theta=45^{o}$ ولمختلف مستويات الفيض الحراري



الشكل (10) يبين تأثير عدد رايلي في عدد نسلت الإجمالي بوجود وعدم وجود
الاهتزاز للزاوية $\theta=60^{\circ}$ ولمختلف مستويات الفيض الحراري



الشكل (11) يبين تأثير عدد رايلي في عدد نسلت الإجمالي بوجود وعدم وجود الاهتزاز للزاوية $\theta=90^{\circ}$ ولمختلف مستويات الفيض الحراري

BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOOTINGS RESTING ON DUNE SAND

Dr. Bushra S. Albusoda
Lecturer, Civil Eng. Department
University of Baghdad
E-Mail: albusoda@yahoo.com

Lubna A. Kh. Salem
B.Sc. Civil Eng. Department
University of Baghdad
E-Mail: lubnasalem_1986@yahoo.com

ABASTRACT

As a result of the growth of economic, demographic and building activities in Iraq, that necessitates carrying out geotechnical investigations for the dune sand to study behavior of footings resting on these soils. To determine these properties and to assess the suitability of these materials for resting shallow foundation on it, an extensive laboratory testing program was carried out. Chemical tests were carried out to evaluate any possible effects of the mineralogical composition of the soil on behavior of foundation rested on dune sands. Collapse tests were also conducted to trace any collapse potential. Loading tests were carried out for optimum water content and different shapes of footing. Loading test recommends manufacturing of steel box and footing models with different shapes and dimensions. The results indicated that, Affek dune sand is predominantly fine sand with non-plastic fines. Because the content of sulphate (as SO_3) is only 0.05%, and the alkalinity of dune sand, which reduces the corrosion potential, ordinary Portland cement can be used in concrete foundation construction in/on dune sands. The results of collapsing tests showed that Affek dune sand exhibit a slight to moderate potential depending on stress level. Due to Soaking by water, the reduction in bearing capacity of optimum state was about 45%. The bearing capacity of square footing was greater than those of the circular and rectangular footings.

المستخلص

نتيجه للنمو الاقتصادي والبشري وفعاليات البناء في العراق، اصبح من الضروري اجراء تقييم لرمال الكثبان من النواحي الجيوتكنيكيه وكفايه تصرف هذه الرمال على تحمل الاسس الضحله. تم وضع برنامج للفحوصات المختبريه الاساسيه وشمل ايضا الفحوص الكمياويه لتحديد تاثير المحتوى المعدني للرمال على تصرف الاسس الضحله. اجريت كذلك فحوص الانهيار بطرق مختلفه. واجريت بعد ذلك فحوصات التحميل على اسس مختلفه الاشكال وبتربه محدوله لحاله الرطوبه المثلى. ان رمال الكثبان في منطقه عفك تتكون من رمال ناعمه ومواد غير لدنه انعم منها. واظهرت النتائج ايضا ان المحتوى الجبسي قليل جدا(SO_3=0.05%) وعليه فان رمال الكثبان المفحوصة ملائمه لانشاء الاسس من الخرسانه باستعمال السمنت العادي بدون اي ضرر. اظهرت نتائج فحوص الانهيار ان الرمل المفحوص قد ابدى إمكانية الانهيار تتراوح من ضئيله الى متوسطة حسب مستوى الاجهاد عليه واظهرت النتائج ايضا ان تحمل الاسس قد انخفض نتيجه الغمربالماء بحدود 45% وان تحمل الاساس المربع اعلى من تحمل الاسس الدائريه والمستطيله تحت نفس الظروف.

Keyword: bearing capacity, shallow footings, dune sand, loading test

INTRODUCTION

Dune sands usually have a single-sized grading curve. They occur frequently in loose state with low in situ densities. That is due to the poor packing of uniformly graded materials deposits in a sub-arid environment. They also have low bearing capacity and large settlement due to their low density. Das (2007) mentioned some of typical properties of dune sands as follows:

1. Grain size distribution of the sands at any particular location is uniform. The uniformity can be attributed to the sorting action of the winds

2. The general grain size percentages decrease with distant from the source, because the wind carries the small particles farther than the large ones.

3. The relative density of sand deposited on the windward side of the dunes is as high as (50-65) % and decrease to about (0-15) % on the leeward.

Ismael (1994) presented a review of the geotechnical properties, composition nature and spatial variability in three main soil deposits in Kuwait (surface windblown sands was one of them). The researcher concluded that:

1. The surface windblown dune sands are sensitive to saturation. It may collapse at some location due to ground wetting, and

2. The collapse will be evident for compacted sand at low relative density.

So, that research reflected how important is to determine the collapse potential for such soils

Al-Taie (2002) assessed the suitability of "real" sand and "pseudo" dune sand as a construction material. The results showed that the real sand dune is considered suitable for use in backfilling and embankments construction. On the other hand, for construction purposes on pseudo dune sands, a combination of placement densities in lower than the maximum values and placement moisture higher than the optimums are required. That is to insure low expansion and to reduce the loss of strength. It is worth to remind that the real sand dunes are defined as the dunes that their soil have more than 90% of sand, while pseudo-sand dunes have appreciable amount of clay and silt.

MATERIAL PROPERTIES

Dune Sand

Affek dune sand was chosen in this study. It is located between Diwaniya and Kut governorates, more precise, it is 15 km away from the town "Affek" or "Effech" as the local people use to call it. The grain size distribution curves of the soil sample are shown in Fig. 1

Affek dune sand is predominantly fine sand with non-plastic fines. According to the Unified Soil Classification System, the soil is classified as SP-SM material.

Physical properties, shear strength and compressibility parameters could be seen in Table 1, while the Chemical tests results are shown in Table 2. Chemical tests were done in the State Company for Geological Survey and Mining, and National Center for Construction Laboratories and Research (NCCLR).

Also, small difference can be noticed between the maximum and minimum unit weights, this may attributed to the poorly grading of dry soil. On the basis of permeability, the soil may be classified as low permeability soil (Terzaghi and peck, 1967).

Also, small difference can be noticed between the maximum and minimum unit weights, this may attributed to the poorly grading of dry soil. On the basis of permeability, the soil may be classified as low permeability soil (Terzaghi and peck, 1967).

The results showed that the silica is the main component in the dune sand. Because the low content of sulphate (as SO_3) and the alkalinity of dune sand, which reduces the corrosion potential, Ordinary Portland cement can be used in construction of foundations in/on the dune sand tested.

Collapse Tests

Collapse is a typical feature of unsaturated, loose and low plasticity soils, which are typical features of dune sand. Collapse is defined as the significant volume reduction observed when wetting an unsaturated sample under load. Janning and Knight discussed the problem in 1957. Then, in 1963, they proposed a test method by which they determined the collapse potential for one specimen under an applied vertical stress of 200 kPa, after one day of soaking. ASTM–D5553-00 were used to determine the magnitude of one-dimensional collapse that occurs when the soil inundated with fluid (water). The expended Knight's criterion, the Double Oedometer Method, was followed to estimate the amplitude of possible collapse as below:

$$C_p = \frac{\Delta e}{1 + e_o}$$

C_p =*collapse potential (%)*
e_o = *initial void ratio*
Δe = *change in void ratio due to soaking.*

The relation of collapse potential to the severity of foundation problems according to ASTM-D5333, is shown in Table 3

The results showed "slightly collapsible" trends of behavior as shown in Table 3 and Fig. 2. The results of single collapse tests on compacted soil following Janning and Knight (1975) procedure are shown in Figure 3. This Behavior may be attributed to two reasons: **first**, the effect of compaction, which decrease the void ratio of soil and make it more dense and **second**, the effect of initial water content of compacted specimens. It is clearly shown that an increase in collapse potential (C_p) with the decrease of initial water content.

In order to determine the collapse potential of the dune sand in loose and dense states, and to show the effect of compaction on such soils, single collapse tests were carried out. The results of these tests are shown in Fig. 4. The loose state specimens exhibited higher collapse potential than the dense state. In accordance with the Janning and Knight (1975) procedure the results show that "Moderate collapsing" behavior. The collapse potential was about 6%, while the collapse potential of dense state was about 2%. This collapse behavior could be attributed to the dry, uncompacted, cohesionless, natural state of the dune sand.

The results of double Oedometer tests are shown in Fig. 6, which indicate that the level of stress plays a major role compared to that of compaction, Fig. 5. The Figure also shows that the collapse potential increase with increase of level of stress for both dry and wet side conditions. While on the optimum, the collapse potential did not show the same trend. The effect of compaction is an accepted reason for that behavior.

LOADING TESTS

A shallow footing model tests were carried out in a test box having dimensions of (360 × 360) mm in plane and 250 mm in depth. The size of the box was decided suitable for the size of footing and the range of load influence. (Depending on Bossineq's approach; three footing models were used to fulfill the objectives of this work: square(S) 60*60 mm, circular (C) 60 mm in diameter, and rectangular(R) 30*60mm).

It is known that the method of sample preparation can have a major influence on the measured response of soil. To place the soil in the box reliable as much as possible, static compaction method was used by compression machine of (10,000 kg). The preparation of the soil was done in two stages:

(1) Soil was compacted in dense, dry unit weight as in (ASTM D2049-64T), then

(2) Layer with 1.5B thickness at three unit weights and the corresponding water contents, (Fig. 7).

Samples were tested and compacted as quickly as possible, to avoid losing the water. The inside of the box was lined by plastic sheets to lessen the friction between the soil and the box sides.

Through the preparation of soil and loading test performance, the following points were considered:

1. When soaking conditions were conducted, the box was left to soak for 24 hours to ensure that all the soil was completely soaked.

2. After the test completed, the sand was spread for air drying over night (It looked enough in hot Summer days where the temperature was more than 42Cº) and the soil lumps were crashed by rubber hammer.

Model loading tests were carried out on dune sand as given in the test program. To evaluate the bearing capacity in this work, the failure point considered at settlement equal to 10% of the width of footing (B) as ASTM (D1194-94) recommended. Also, the effects of the following factors were taken in consideration:

1. Effect of Soaking

It is important to carry out a model test in soaking condition to trace any susceptible collapse potential in soil. Model tests were carried out with optimum initial water content and different shapes of footing. Fig. 8

The results showed that the reduction in bearing capacity ratio of the dry side and optimum states were about 45%. It is further recommend that for non-cohesive soils, the values shall be reduced by 50% if the water table expected to be above or near the base of footing.

2. Effect of Shape of Foundation

From the Terzaghi equations, it's clear that for granular soil, the bearing capacity of square footing is greater than that of circular footing by 33%. These results coincide with the results of this research work (Fig 9) .The bearing capacity of square footing is greater than that of circular footing in the present work by about 12%-27%.

In addition, the rectangular footing showed a smaller bearing capacity than both of the circular and square footings. This behavior may be attributed to the scale effect that depends directly on B (width of footing). Since B= 60 mm for circular and square footings, while B= 30 mm for rectangular footing. Accordingly, the bearing capacity for rectangular footing was smaller, Fig. 10.

Comparison between the Ultimate Bearing Capacity from the Model Loading Test and Its Values From Well-known Theories

In comparison with the well known theories of ultimate bearing capacity determinations, the ultimate bearing capacity from the loading tests are shown in Table 4

The results showed a lack of agreement between theoretical and experimental findings. By re-examining Table (4-8), same trend can be seen between the different shapes and different initial water content. The large differences between theoretical and experimental finding, which may be attributed to:

1. It was found that theoretical solution based on plane strain angle of internal friction which is

higher than that based on direct shear. A variation in friction angle of only 2° may result in a variation in the value of N γ 50% (White, 2008). Consequently, the bearing capacity will be increased.

2. The above mentioned theories are more conservatives. Meyerhof (1963) and De Beer (1970) propose a conservative estimate for shape factor acceptable for design only for low internal friction angle and a small aspect ratios (Zhu and Michalowski, 2005).
3. The physical model for shallow footing have many short comings included: 1 the self weight variations between actual self weights of the model elements, 2 temperature also different to assess in different levels in the models, 3 moisture movements cannot model with time.

CONCLUSIONS

1. Affek dune sand is predominantly fine sand with non-plastic fines. Water effectively influenced the cementation agents between the particles.
2. The results showed that silica is the main component in Affek dune sand. Because the low content of sulphate (as SO_3) and the alkalinity of dune sand, which reduces the corrosion potential. Ordinary Portland cement can be used in construction of foundations in/on dune sand.
3. Compacted dune sand showed a slight collapse potential when tested by single collapse test, while it showed moderate collapse potential under high stress level .
4. The reduction in bearing capacity ratio due to soaking of the dry side and optimum states were about 45%.
5. The results showed a lack of agreement with theoretical and experimental findings, as these theories are more conservatives.

REFREANCES

1. Aiban, S. A. (1995): "Centrifugal Verification of Bearing Capacity and Shape Factors of Shallow Foundations on Sands", *The fourth Saudi Engineering Conference*, November, Volume 2, pp 361-367.
2. Al-Taie, A. J. (2002): "Properties and Behavior of Dune Sands as a Construction Material", M.Sc. thesis, Civil Engineering Department, University of Baghdad, Iraq.
3. ASTM D1194-94: "Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings", (Withdrawn 2003).
4. ASTM D2049-69: "Test Method for Relative Density of Cohesionless Soils". (Withdrawn 1993).
5. ASTM D2434-64T: "Standard Test Method for Permeability of Granular Soils, (Variable Head).
6. ASTM D3080-64T: **"Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Unconsolidated Undrained Conditions**".
7. ASTM D4253-00: **"Standard Test Method for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table"**.

8. ASTM D4254-00: **"Standard Test Method for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density".**

9. ASTM D5333-00: **"Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils**".

10. ASTM D698-00a: **"Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Using Standard Effort (600 kN-m/m^3)**".

11. ASTM D854-00: **"Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Pycnometer".**

12. Das, B. M. (2007): "***Principle of Foundation Engineering***", Sixth Edition, Adapted International Student Edition, Nelson a Division of Thomson Canada Limited.

13. Jannings, J. E. and Knight, K. (1975) : "**A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to 'Collapse' of Grain Structure**", *Proceedings, Sixth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and foundation Engineering Johannesburg*, South Affrica, pp 99-105.

14. Ismael, N. F. (1994): "**Properties and Behavior of Arid Climate Soil Deposits in Kuwait",** Civil Engineering Department, University of Kuwait.

15. Terzaghi, K. (1943): "***Theoretical Soil Mechanic*** ", John Wiley and Sons, New York.

16. Terzaghi, K. and Peck, R. (1967): ***"Soil Mechanics in Engineering Practice".*** Second Edition, John Wiley and Son, NY.

17. White, D. J. (2008): **"Contributions to G'eotechnique 1948-2008: Physical Modeling"**, *G'eotechnique* 58, No. 5, pp. 413-421.

SYMBOLS	DEFINITION
B	Width of Footing
c	Cohesion
C	Circular Footing
C_c	Compression Index
C_p	Collapse Potential
C_r	Rebound Index
e	Initial Void Ratio of Soil
Gs	Specific Gravity
k	Coefficient of Permeability
L.L	Liquid Limit
Nγ	Bearing Capacity Factors
NP	Not Plastic
R	Rectangular Footing
S	Square Footing
ø	Angle of Internal Friction
γ	Unite Weight of the Soil

Table 1 Physical properties, shear strength and compressibility parameters

Property	Value	Type of test	Standard
L.L	23%	Atterberg limits	BS 1377:1975 test No.2
PI	NP		
Gs	2.67	Specific Gravity of Solids	ASTM D-854
γ_{max}	15.9 kN/m^3	Maximum Unit Weights	ASTM D4253
γ_{min}	13.0 kN/m^3	Minimum Unit Weights	ASTM D4254
γ_{dmax}	18.5 kN/m^3	Standard Compaction	ASTM 698-70
k	1.6×10^{-4} cm/s	Coefficient of Permeability	ASTM D2434-64T
e_o	0.508	One-dimension Compression	ASTM D2435
C_c	0.120		
c	0	Direct Shear Tests	ASTM D3080-72
ø	42.7º		

Table 2 Results of Chemical Tests

Chemical Composition	Percentage (%)
SiO_2	41.25
CaO	16.39
MgO	6.70
SO_3	0.05
Cl^{-1}	0.11
$CaCO_3$	30.60
Gypsum Content	0.09
Organic Material	0.20
T.S.S	0.21
L.O.I	15.34
pH	8.7

Table 3 Relation of Collapse Potential to the Severity of Foundation Problems

Degree of Collapse	Collapse Potential %
None	0
Slight	0.1 to 2.0
Moderate	2.1 to 6.0
Moderately severe	6.1 to 10.0
Severe	>10

Table 4 Ultimate Bearing Capacity (kPa) from the Model Loading Test and Well-Known Theories

The Shape	Terzaghi	Meyerhof	Model Loading Tests
Square	107	154	400
Circular	80	154	350
Rectangular	-	64	335

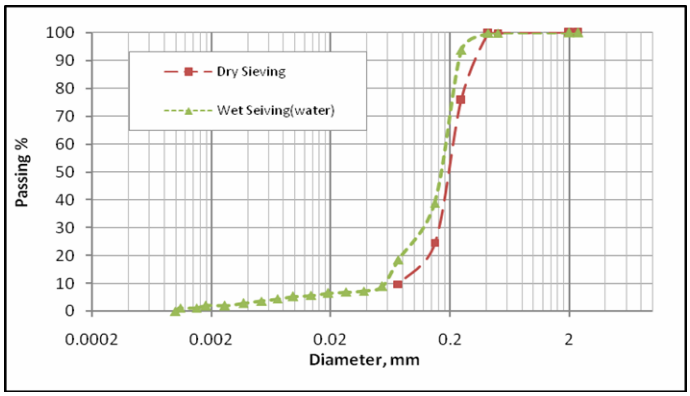


Fig. 1 Grain Size Distribution Curves

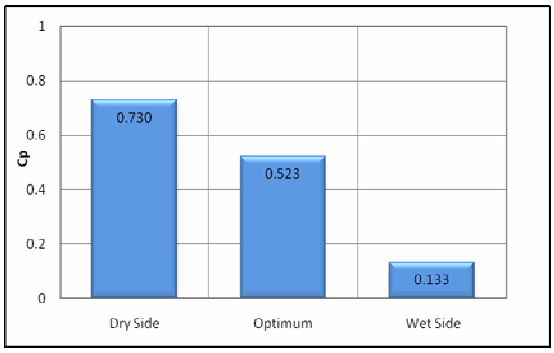


Fig 2 Results of Single Collapse Tests:
Variation of Collapse Potential with Initial water contents

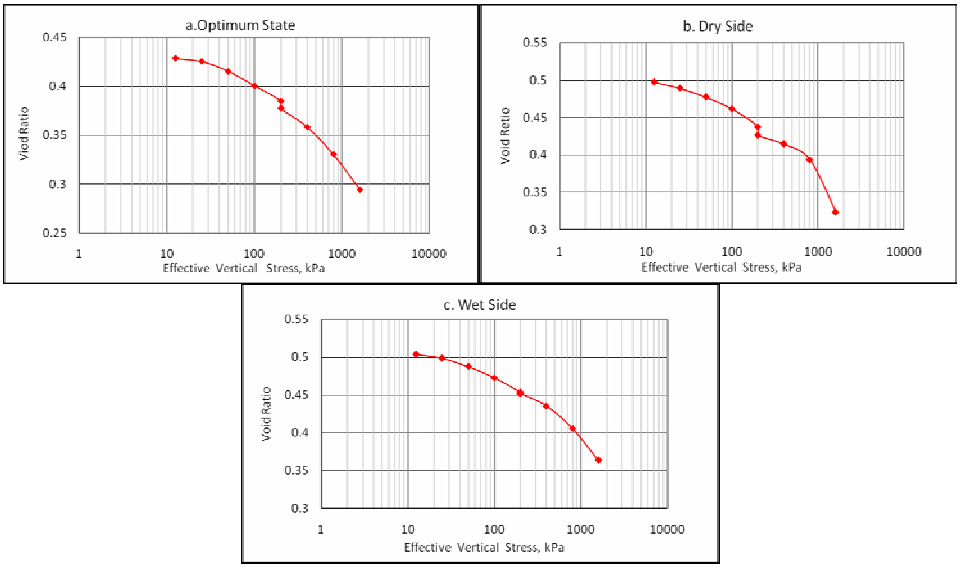


Fig. 3 Results of Single Collapse Tests at Different Initial Water Contents

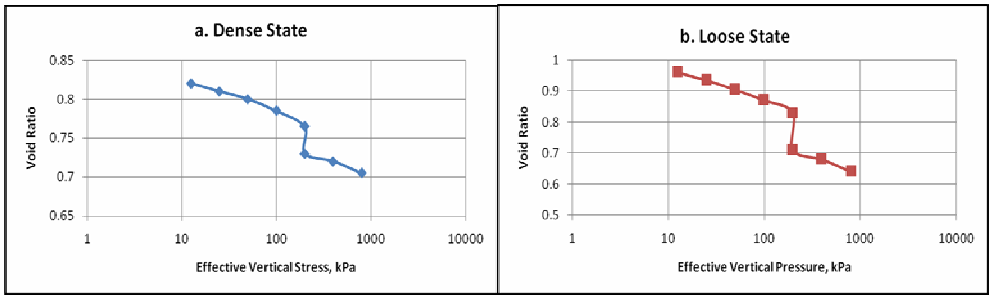


Fig. 4 Single Collapse Test Results of Dune Sand (**a.** Dense, **b.** Loose)

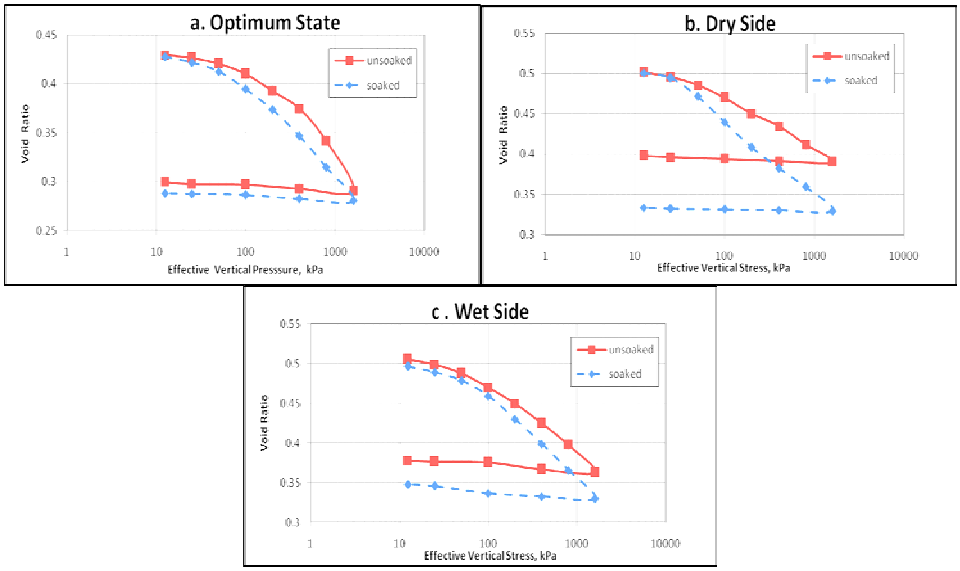


Fig. 5 Results of Double Oedometer Test at Different Initial Water Contents

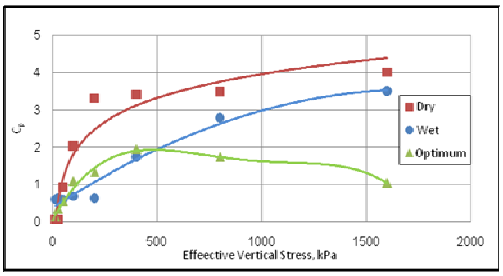


Figure 6 Results of Double Oedometer Tests: Variation of Collapse Po tential with Effective Stress Level at Different Initial Water Content

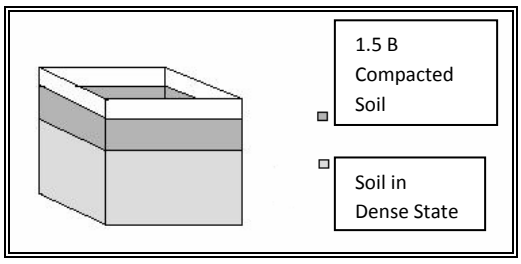


Fig. 7 Box Preparation

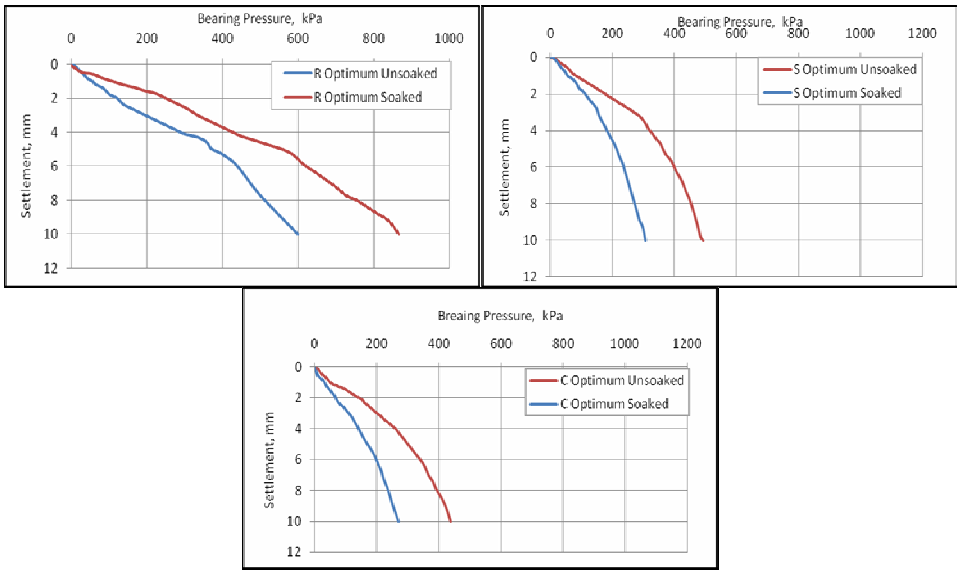


Fig. 8 The results of the Model Test on Soaked Soil in Relative with Unsoaked Soil (Optimum State)

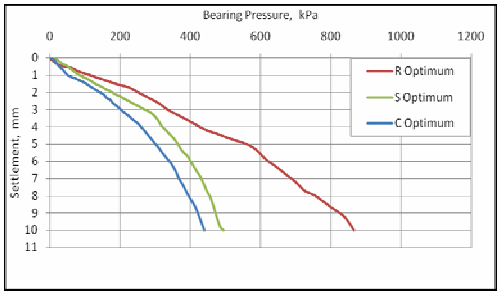


Fig. 9 Bearing Pressure-Settlement Curves for Different Shapes of Footing on Soil with Different Initial Water Contents

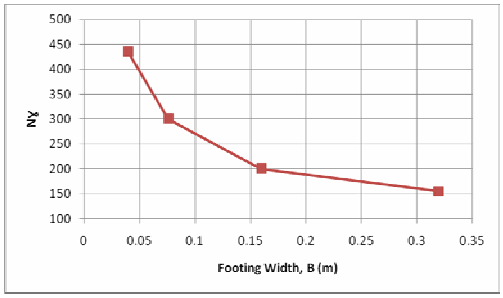


Fig. 10 Influence of Footing Size on Bearing Capacity Factors Nγ (From Cerato and Lutenegge, 2007)

DESIGN OF A VARIABLE GAIN NONLINEAR FUZZY CONTROLLER AND PERFORMANCE ENHANCEMENT DUE TO GAIN VARIATION

Omar W. Abdul-Wahab
University of Baghdad
College of Engineering
Computer Engineering Department

ABSTRACT
In this paper, variable gain nonlinear PD and PI fuzzy logic controllers are designed and the effect of the variable gain characteristic of these controllers is analyzed to show its contribution in enhancing the performance of the closed loop system over a conventional linear PID controller. Simulation results and time domain performance characteristics show how these fuzzy controllers outperform the conventional PID controller when used to control a nonlinear plant and a plant that has time delay.

الخلاصة
في هذا البحث تم تصميم مسيطرين ضبابيين لا خطيين ذوا ربح متغير الاول (تناسبي – تكاملي) والثاني (تناسبي – تفاضلي) وتم تحليل تأثير خاصية الربح المتغير واسهامه في تحسين عمل النظام الكلي مقارنة بمسيطر تقليدي (تناسبي – تكاملي – تفاضلي). النتتائج التمثيلية وخصائص العمل في مجال الزمن أوضحت كيف يتفوق هذان المسيطران الضبابيان على المسيطر التقليدي عند إستخدامهم للسيطرة على نظامين الاول نظام لا خطي والثاني نظام يمتلك زمن تأخير.

KEYWORDS
Variable gain nonlinear fuzzy controller, plant with time delay, nonlinear plant.

INTRODUCTION

Revealing explicit structure of fuzzy controllers is important primarily because it provides insightful information about what a fuzzy controller is, how it works, and how it relates to and differs from a classical controller. A fuzzy controller is not fuzzy anymore (i.e., not a black-box controller anymore) once its explicit structure is disclosed and it just becomes a conventional nonlinear controller (Ying 2000 -1) (Ying 2000 -2).

A fuzzy controller is called a linear (or nonlinear) fuzzy controller if its output is a linear (or nonlinear) function of its inputs. In most cases, whether or not a fuzzy controller is linear cannot be judged directly from its configuration. The explicit structure of the fuzzy controller must be derived to accurately determine its type (Ying 2000 -2).

There are three sources of nonlinearity in a fuzzy controller. First, the rule base. The position, shape, and number of membership functions on the premise side, as well as nonlinear input scaling, cause nonlinear characteristics. Even the rules themselves can express a nonlinear control strategy. Second, the inference engine. If the connectives are implemented as min and max respectively, they are nonlinear. The same applies to min-activation and max-accumulation. Third, the defuzzification method. Several defuzzification methods are nonlinear (Driankov, Hellendoorn, and Reinfrank, 1996).

Utilizing the nonlinear characteristics of a fuzzy controller is an important issue. The Type ACS201 P1.0 Intelligent Fuzzy Logic Control (IFLC) software product is part of the Advanced Control Solutions (ACS) from Fisher-Rosemount Systems, Inc. The IFLC product uses fuzzy logic algorithms to improve control loop performance. With autotuning functionality, the IFLC provides superior performance for a variety of applications. The nonlinearity built into the IFLC reduces overshoot and settling time, achieving tighter control of the process loop. Specifically, the fuzzy logic controller treats small control errors differently from large control errors and penalizes large overshoots more severely. It also severely penalizes large changes in the error, helping to reduce oscillation (www.emersonprocess.com).

Ultimately, the goal of tuning is to shape the nonlinearity that is implemented by the fuzzy controller. This nonlinearity, sometimes called the "control surface," is affected by all the main fuzzy controller parameters (Passino and Yurkovich 1998).

The fuzzy PD and PI controllers to be introduced in this paper are natural extensions of their conventional versions, which preserve the linear structures of the PID controllers, with simple and conventional analytical formulas as the final results of the design. Thus, they can directly replace the conventional PID controllers in any operating control systems (plants, processes). The main difference is that these fuzzy controllers are designed by employing fuzzy logic control principles and techniques to obtain new controllers that possess analytical formulas very similar to the conventional digital PID controllers. After the design is completed, all the fuzzy logic IF-THEN rules, membership functions, defuzzification formulas, etc. will not be needed any more in applications: what one can see is a conventional controller with a few simple formulas similar to the familiar PID controllers. Thus, in operations the controllers do not use any "look-up" table at any step, and so can be operated in real time. A control engineer who doesn't have any knowledge about fuzzy logic and/or fuzzy control systems can use them just like the conventional ones, particularly for higher-order, time-delayed, and nonlinear systems, and for those systems that have only vague mathematical models or contain significant uncertainties. The key reason, which is the price to pay, for such success is that these fuzzy controllers are slightly more complicated than the conventional ones, in the sense that they have variable control gains in their linear structures. These variable gains are nonlinear functions of the errors and changing rates of the error signals. The main contribution of these variable gains in improving the control performance is that they are self-tuned gains and can adapt to the rapid changes of the errors and the (changing) rates of the error signals caused by the time-delayed effects, nonlinearities, and uncertainties of the underlying system (plant, process) (Chen and Pham 2001).

Several researches had been made that utilizes the variable gain aspect of fuzzy controllers such as (Ying 2000 -1), which has proved that that the analytical structure of a (tow-input two-output) fuzzy PI/PD controllers is the sum of two nonlinear PI/PD controllers whose gains continuously change with system outputs. In (Brdys and Littler 2002), a

variable gain PI fuzzy controller was proposed to control a nonlinear servo system where traditional methods for controlling this system using linear control techniques are inadequate because of hard nonlinearities in the dynamics. The variable gain characteristics would compensate these nonlinearities. (Bonfe and Mainardi 2004) presents a variable gain fuzzy PID controller to control a robot arm and the experiments show the ability of this controller to greatly reduce the overshoot. (Miloudi, Draou, and AlRadadi 2002) presents an original variable gain PI controller for speed control of an induction machine drive. (Dash, Morris, and Mishra 2004) presents the design of a nonlinear variable-gain fuzzy controller for a flexible ac transmission systems device to enhance the transient stability performance of power systems.

NONLINEAR VARIABLE GAIN CONTROLLER

A variable gain PI controller (VGPI) is a generalization of a classical PI controller where the proportional and integrator gains vary along a tuning curve (Miloudi, Draou, and AlRadadi 2002). A variable gain PD controller has the same relation with the classical PD controller. In a linear PD controller, the control variable is given by

$$u = k_e e + k_{\dot{e}} \frac{de}{dt}$$

where k_e and $k_{\dot{e}}$ are constants representing the proportional and derivative gains, respectively. For convenience, let $\frac{de}{dt}$ and $k_{\dot{e}}$ be denoted by r and k_r, respectively. These gains can be considered as the sensitivity of the control variable u to e and r, respectively (i.e., $k_e = \frac{\partial u}{\partial e}$ and $k_r = \frac{\partial u}{\partial r}$) (Haines and Hittle 2006). The purpose is to design a nonlinear controller so that $\frac{\partial u}{\partial e}$ is not constant but an increasing function of e in the region $\{e \geq 0\}$ and a decreasing function of e in the region $\{e \leq 0\}$. This means that $\frac{\partial^2 u}{\partial e^2}$ must be nonnegative in the region $\{e \geq 0\}$ and nonpositive in the region $\{e \leq 0\}$. The same thing must hold for $\frac{\partial u}{\partial r}$ and r.

$$\frac{\partial u}{\partial e} = k_e + \frac{\partial k_e}{\partial e} e + \frac{\partial k_r}{\partial e} r \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{\partial k_e}{\partial r} e + k_r + \frac{\partial k_r}{\partial r} r \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial e^2} = 2\frac{\partial k_e}{\partial e} + \frac{\partial^2 k_e}{\partial e^2} e + \frac{\partial^2 k_r}{\partial e^2} r \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = 2\frac{\partial k_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 k_r}{\partial r^2} r + \frac{\partial^2 k_e}{\partial r^2} e \quad (4)$$

DESIGN OF A NONLINEAR VARIABLE GAIN FUZZY LOGIC CONTROLLER

A block diagram of a PD fuzzy controller is shown in Fig. 1 (Passino and Yurkovich 1998). The proposed fuzzy controller uses two identical input fuzzy sets, namely Positive $(\widetilde{P})$ and Negative $(\widetilde{N})$. The membership functions of these fuzzy sets are

$$\mu_{\widetilde{P}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{when } x < -1 \\ \frac{1}{2}(x+1) & \text{when } -1 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{when } x > 1 \end{cases},$$

$$\mu_{\widetilde{N}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{when } x < -1 \\ \frac{1}{2}(-x+1) & \text{when } -1 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{when } x > 1 \end{cases}$$

where x is the input variable $k_1 e$ or $k_2 \frac{de}{dt}$, where k_1 and k_2 are scaling factors.

Three output fuzzy sets, namely Positive $(\widetilde{P})$, Zero $(\widetilde{Z})$, and Negative $(\widetilde{N})$ are used. They are of singleton type and there nonzero values are at 1, 0, and -1, respectively. The input and output fuzzy sets are shown in Fig.2

The fuzzy controller uses the following four fuzzy rules:

IF e is Positive AND r is Positive THEN u is Positive
IF e is Positive AND r is Negative THEN u is Zero
IF e is Negative AND r is Positive THEN u is Zero
IF e is Negative AND r is Negative THEN u is Negative

Using the Zadeh fuzzy AND operator, the Lukasiewicz fuzzy OR operator, and the center-average defuzzification technique, the analytical structure of the fuzzy controller can be derived. To focus the analysis of the fuzzy controller to the region near the equilibrium point $(k_1 e, k_2 r) = (0,0)$, only the square region $[-1,1]\times[-1,1]$ of the $k_1 e - k_2 r$ phase plane will be considered. The controller output is

$$u = \begin{cases} \dfrac{1}{4 - 2k_1|e|}(k_1 e + k_2 r) & \text{When} \quad k_2|r| \le k_1|e| \\ \dfrac{1}{4 - 2k_2|r|}(k_1 e + k_2 r) & \text{When} \quad k_1|e| \le k_2|r| \end{cases}$$

The following analysis shows that for this fuzzy controller the partial derivatives in eq (3) and eq(4) are nonnegative in the region $k_2|r| \le k_1|e|$. A similar analysis can be carried out for the region $k_1|e| \le k_2|r|$.

$k_e = \dfrac{k_1}{4 - 2k_1|e|}$ and $k_r = \dfrac{k_2}{4 - 2k_1|e|}$ where k_e and k_r are positive in $[-1,1]\times[-1,1]$

$$\frac{\partial k_e}{\partial e} = \frac{2k_1^2\,\mathrm{sgn}(e)}{(4 - 2k_1|e|)^2}, \quad \frac{\partial k_r}{\partial e} = \frac{2k_1 k_2\,\mathrm{sgn}(e)}{(4 - 2k_1|e|)^2},$$

$$\frac{\partial^2 k_e}{\partial e^2} = \frac{8k_1^3\,\mathrm{sgn}^2(e)(4 - 2k_1|e|)}{(4 - 2k_1|e|)^4}$$

$$\frac{\partial^2 k_r}{\partial e^2} = \frac{8k_1^2 k_2\,\mathrm{sgn}^2(e)(4 - 2k_1|e|)}{(4 - 2k_1|e|)^4}$$

$$\frac{\partial k_e}{\partial r} = \frac{\partial k_r}{\partial r} = \frac{\partial^2 k_e}{\partial r^2} = \frac{\partial^2 k_r}{\partial r^2} = 0$$

Substituting the above expressions of the partial derivatives in eq(1) through eq(4) yields

$$\frac{\partial u}{\partial e} = \frac{k_1}{4 - 2k_1|e|} + \frac{2k_1\,\mathrm{sgn}(e)}{(4 - 2k_1|e|)^2}(k_1 e + k_2 r)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{k_2}{4 - 2k_1|e|}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial e^2} = 4\frac{k_1^2\,\mathrm{sgn}(e)}{(4 - 2k_1|e|)^2} + \frac{8k_1^2\,\mathrm{sgn}^2(e)(4 - 2k_1|e|)}{(4 - 2k_1|e|)^4} \times (k_1 e + k_2 r) \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = 0 \tag{6}$$

For $e > 0$, $\mathrm{sgn}(e) = 1 > 0$, $|e| = e$, and

$k_2|r| \le k_1|e| \;\Rightarrow\; k_2|r| \le k_1 e \;\Rightarrow\; -k_1 e \le k_2 r \le k_1 e$

$\Rightarrow\; 0 \le k_1 e + k_2 r \le 2k_1 e$

Since each term of the left hand side of eq.(5) is nonnegative, this implies that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial e^2}$ is nonnegative. It is clear from eq.(6) that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2} = 0$ implies that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2} \ge 0$, i.e., $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2}$ is nonnegative.

For $e < 0$, $\mathrm{sgn}(e) = -1 < 0$, $|e| = -e$, and

$k_2|r| \le k_1|e| \;\Rightarrow\; k_2|r| \le -k_1 e \;\Rightarrow\; k_1 e \le k_2 r \le -k_1 e$

$\Rightarrow\; 2k_1 e \le k_1 e + k_2 r \le 0$

Since each term of the left hand side of eq.(5) is nonpositive, this implies that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial e^2}$ is nonpositive. It is clear from eq.(6) that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2} = 0$ implies that $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2} \le 0$, i.e., $\dfrac{\partial^2 u}{\partial r^2}$ is nonpositive.

Fig. 3 and **Fig. 4** show the graphs of $\frac{\partial u}{\partial e}$ and $\frac{\partial u}{\partial r}$ as functions of $k_1 e$ and $k_2 r$, respectively (without loss of generality, k_1 and $k2$ were assumed to be 1). These surfaces are valid only above the region $k_2|r| \le k_1|e|$. It is obvious from **Fig. 3** that the surface of $\frac{\partial u}{\partial e}$ is discontinuous at $(k_1 e, k_2 r) = (0,0)$ because of the discontinuity of $\text{sgn}(e)$ at $e = 0$.

A block diagram of a PI fuzzy controller is shown in **Fig. 5** (Passino and Yurkovich 1998) (Reznik 1997).

The structure of the PI fuzzy controller is the same as that of the PD fuzzy controller except that the derivative input $\frac{de}{dt}$ in the PD fuzzy controller is replaced by the integral input $\int_0^t e dt$ in the PI fuzzy controller. Therefore, if $\frac{de}{dt}$ is replaced by $\int_0^t e dt$ in the above design and analysis, the result is a PI fuzzy controller.

SIMULATION RESULTS

Since fuzzy control has the potential to outperform linear control when nonlinear systems or systems that have time delay are involved (Ying 2000 –1), the above PD and PI fuzzy controllers are used to control such systems.

Controlling a Nonlinear Plant

Most real plants have nonlinear dynamics. A common nonlinear functions that appear in process dynamic models are enthalpy as a function of temperature, fluid flow as a function of pressure drop, radiation heat transfer rate as a function of temperature,…etc (Smith and Corripio 2005). The nonlinear plant that is used in this simulation is a nonlinear mass-spring-damper system shown in **Fig. 6** (Lam, Leung, and Tam 2001). The dynamic of this plant is given by

$$\ddot{x}(t) = -\dot{x}(t) - 0.01x(t) - 0.1x(t)^3 + (1.4387 - 0.13\dot{x}(t)^2)u(t)$$

Fig. 7 (**Fig. 8**) shows a step response comparison of this plant when a nonlinear PD (PI) fuzzy controller and a conventional PID controller are used. **Table 1** shows the time domain performance characteristics for these responses. The PI fuzzy controller has a large overshoot since it lacks the derivative term in its structure. However, the PD fuzzy controller still outperforms the PID controller.

Controlling a Plant with Time Delay

Many industrial processes can be approximated by first-order dynamics and a time delay (Astrom 1997) (Landau, and Zito 2006) (Chen and Pham 2001) (Ogata 1010) (Fadali 2009). The steering control of a moon vehicle is an example of a plant that has a time delay (Dorf and Bishop 2008). The dynamics of the plant is given by

$$0.2\dot{\theta}(t) + \theta(t) = 2u(t - 0.1)$$

Fig. 9 (**Fig. 10**) shows a step response comparison of this plant when a nonlinear PD (PI) fuzzy controller and a conventional PID controller are used. **Table 2** shows the time domain performance characteristics for these responses. It is obvious that the two fuzzy controllers outperform the PID controller.

CONCLUSIONS

Fuzzy control and conventional PID control produce the same control performance for linear systems. Therefore, using fuzzy control should be avoided in such cases since a fuzzy controller has many more design parameters than a PID controller which has only three design parameters and its design and implementation is effective and efficient. However, PID control may not generate satisfactory control performance if the plant is nonlinear, time varying, or has time delay. In such cases, fuzzy control can outperform PID control, especially due to its variable gain characteristics. Simulation results show two cases were fuzzy control gives better performance characteristics than PID control.

REFERENCES

Astrom, K. J. and Wittenmark, B., "Computer-controlled systems", Prentice Hall, 1997.

Bonfe, M. and Mainardi, E., "A non linear fuzzy pid controller for robotic visual-servoing", Proceedings of Sixth Portuguese Conference on Automatic Control CONTROLO, 2004.

Brdys, M. A. and Littler, J. J., "Fuzzy logic gain scheduling for non-linear servo tracking", Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., 2002, Vol.12, No.2, 209–219

Chen, G., and Pham, T. T., "Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems", CRC Press LLC, 2001.

Dash, P. K., Morris, S., and Mishra, S., "Design of a nonlinear variable-gain fuzzy controller for FACTS devices", IEEE Transactions on control systems technology, vol 12, issue 3, 2004.

Dorf, R. C. and Bishop, R. H., "Modern control systems", Pearson Prentice Hall, 2008.

Driankov, D., Hellendoorn, H., and Reinfrank, M., "An introduction to fuzzy control", Springer, 1996.
Fadali, M.S., "Digital control engineering", Elsevier, 2009.

Haines, R. W. and Hittle, D. C., "Control systems for heating, ventilating, and air conditioning", Springer, 2006.

Jantzen, J., "Foundations of fuzzy control", John Wiley and sons, 2007.

Lam, H. K., Leung, F. H. F., and Tam, P. K. S., "Nonlinear state feedback controller for nonlinear systems: stability analysis and design based on fuzzy plant model", IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 9, no. 4, August 2001.

Landau, I. D. and Zito, G., "Digital control systems", Springer, 2006.

Chen, C. "Analog and digital control system design", Oxford University Press, 2006.

Miloudi, A., Draou, A., and AlRadadi, E. A., "Variable Gain PI Controller Design For Speed Control and Rotor Resistance Estimation of an Indirect Vector Controlled Induction Machine Drive", in Proc. IECON.02, Sevilla, Spain, Nov. 5.8, 2002, pp. 323-328.

Ogata, K., "Modern control engineering", Prentice Hall, 2010.

Passino, K. M. and Yurkovich, S., "Fuzzy control", Addison-Wesley, 1998.

Reznik, L., "Fuzzy controllers", Newnes, 1997.

Smith, C. A. and Corripio, A. B., "Principles and practice of automatic process control", John Wiley and sons, 2005.

Ying, H., "TITO Mamdani Fuzzy PI/PD Controllersas Nonlinear, Variable Gain PI/PD controllers", International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 2, No. 3, September. 2000.

Ying, H., "Fuzzy control and modeling", IEEE Press, 2000.

http://www.emersonprocess.com/systems/support/documentation/provox/docvue/
index.asp?path=../docvue/Advanced%20Control/

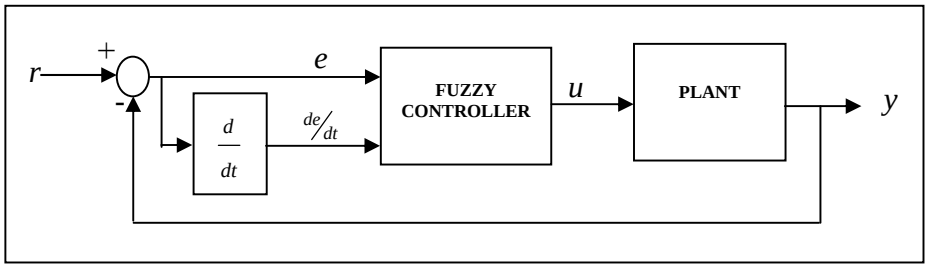


Fig. 1: A block diagram of a PD fuzzy controller.

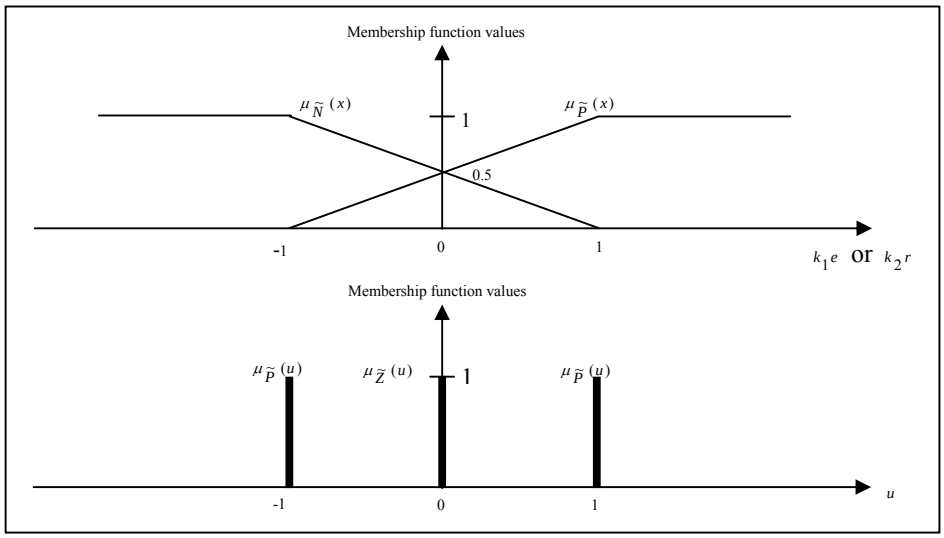


Fig. 2: The input and output fuzzy sets.

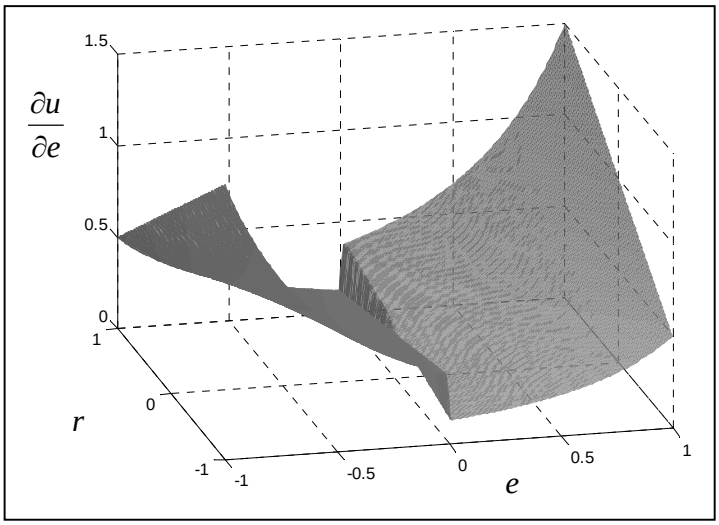


Fig. 3: Graph of $\frac{\partial u}{\partial e}$ as functions of $k_1 e$ and $k_2 r$.

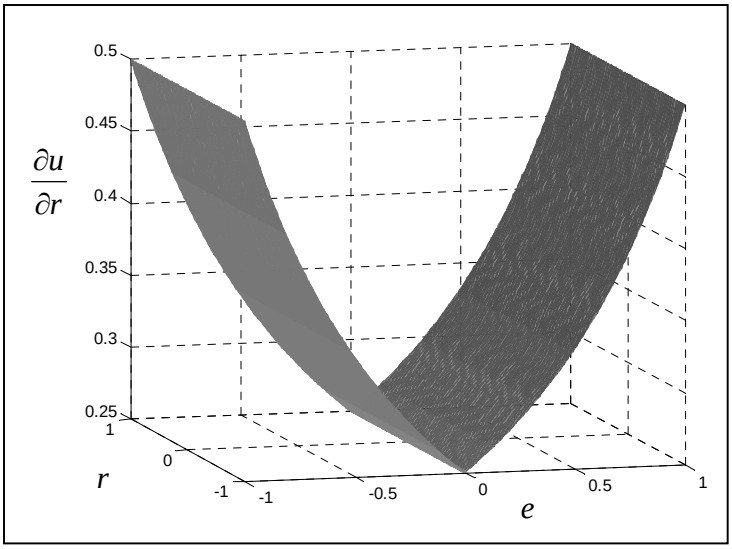


Fig. 4 Graph of $\frac{\partial u}{\partial r}$ as functions of $k_1 e$ and $k_2 r$.

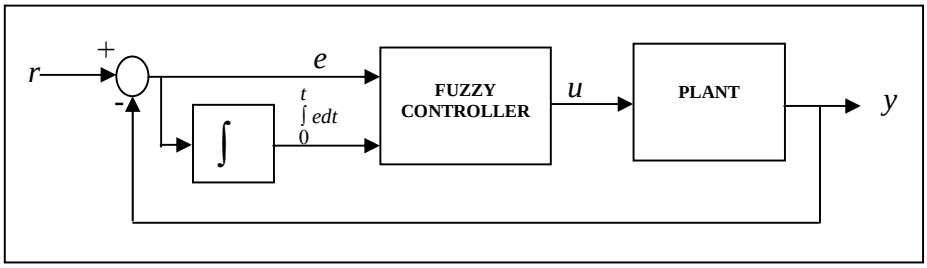


Fig. 5: A block diagram of a PI fuzzy controller (version 1)

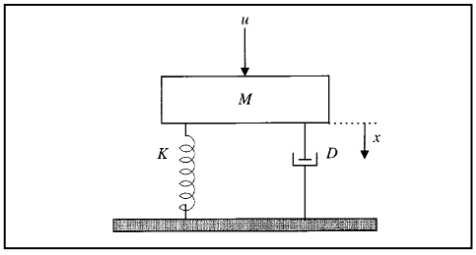


Fig. 6: A nonlinear mass-spring-damper system

Table 1: Time domain performance characteristics for the nonlinear plant

Type of controller Performance characteristics	PD fuzzy Fig. 7	PI fuzzy Fig. 8	PID
Rise time (sec)	0.92	0.48	1
Percentage overshoot	0	56.3944	6.7093
Settling time (2%) (sec)	2.4	11.76	3.38

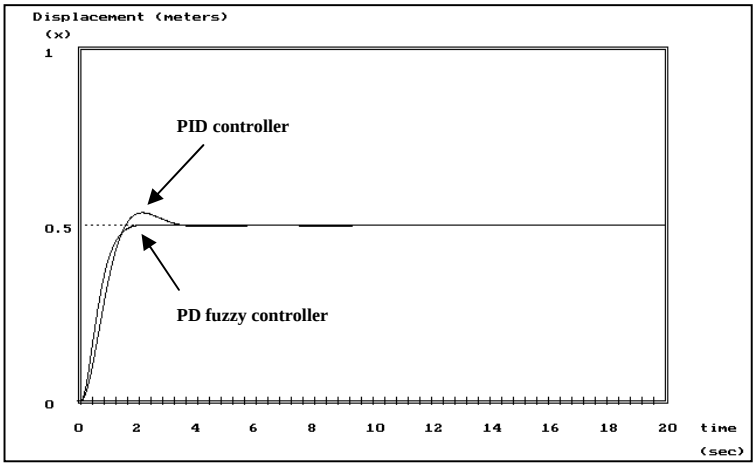


Fig. 7: Step response of the nonlinear plant using a nonlinear PD fuzzy controller and a conventional PID controller.

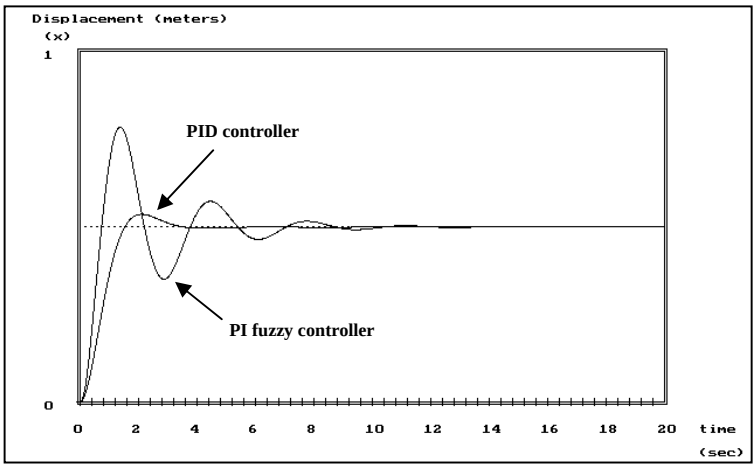


Fig. 8: Step response of the nonlinear plant using a nonlinear PI fuzzy controller and a conventional PID controller.

Table 2: Time domain performance characteristics for the plant with time delay

Type of controller **Performance characteristics**	**PD fuzzy Fig. 9**	**PI fuzzy Fig. 10**	**PID**
Rise time (sec)	0.46	0.38	1.08
Percentage overshoot	0	0	0.2505
Settling time (2%) (sec)	0.74	0.96	1.92

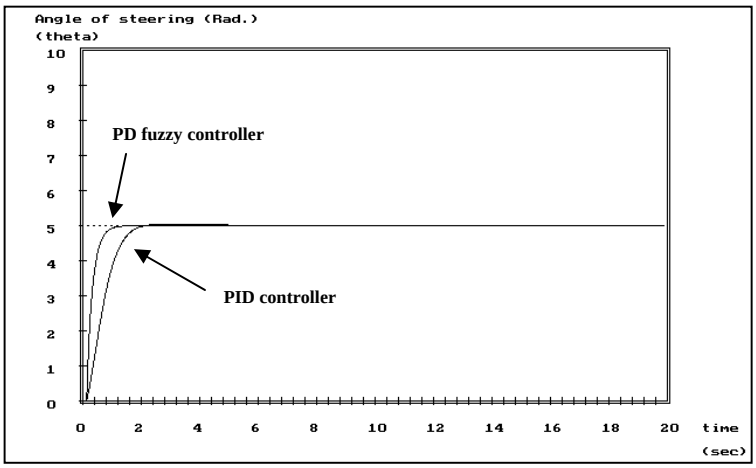


Fig. 9: Step response of the plant with time delay using a nonlinear PD fuzzy controller and a conventional PID controller.

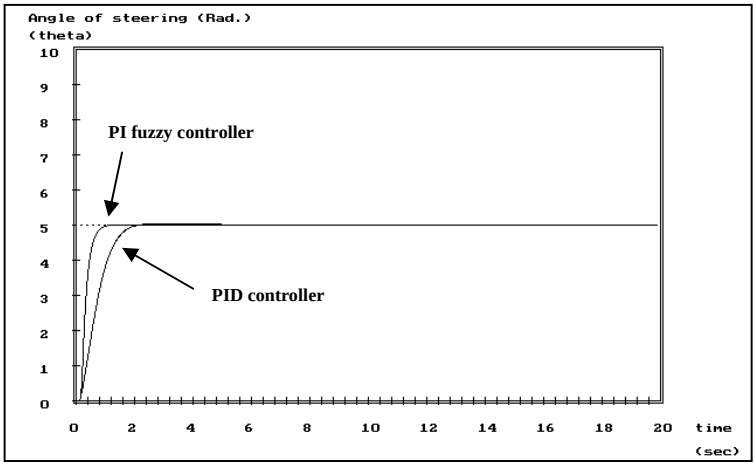


Fig. 10: Step response of the plant with time delay using a nonlinear PD fuzzy controller and a conventional PID controller.

GENERATION AND TOOTH CONTACT ANALYSIS (TCA) OF HYPOID GEAR DRIVE

Assist. Prof. Mohammad Q. Abdullah
Dep. Of Mech.
College of Engineering
University of Baghdad

Nassear R. Hmoad

ABSTRACT

The present work covers the Face-Hobbing method for generation and simulation of meshing of Face hobbed hypoid gear drive. In this work the generation process of hobbed hypoid gear has been achieved by determination of the generation function of blade cutter. The teeth surfaces have been drawn depending on the simulation of the cutting process and the head cutter motion. Tooth contact analysis (TCA) of such gear drive is presented to evaluate analytically the transmission error function for concave and convex tooth side due to misalignment errors. TCA results show that the gear is very sensitive to misalignment errors and the increasing of the gear teeth number decrease the transmission error for both concave and convex tooth sides and ensure smooth motion with low vibration.

الخلاصة

العمل الحالي يغطي طريقة توليد ومحاكاة التعشيق للتروس المخروطية ذات الاسنان الحلزونية الأسفينية. في هذا العمل تمت عملية توليد المسنن بأيجاد معادلة توليد شفرة القطع. رسمت اسطح السن اعتمادا على محاكاة عملية القطع وحركة شفرة القطع. تم تقديم الوصف التحليلي لتماس الاسنان لأيجاد دالة خطأ النقل لجانب السن المقعر والمحدب لهذا النوع من المسننات نتيجة عدم تطابق تعشيق التروس. نتائج تحليل تلامس السن تبين ان المسنن حساس جدا لأخطاء التطابق وأن زيادة عدد الاسنان تقلل اخطاء نقل الحركة وتضمن حركة سلسة مع تقليل الأهتزاز .

KEYWORD

Hypoid, Generation, Tooth Contact Analysis (TCA).

Introduction:

Generation of hypoid bevel gears depends upon the theory of derivation of gear and pinion tooth surface. The accurate geometrical representation of gear tooth surface is the first step to design a successful gear drive. This paper presents a mathematical model able to compute the tooth surface of hypoid gear drive cut by face-hobbing method (FH). At first a brief discussion about kinematic relationships of FH process and about the main characteristics of face-hobbed tooth cutting tools will be proposed. Then the cutting tools will be described analytically, after that according to the theory of gearing the cutting process will be simulated and gear tooth surface will be derived.

1- Face Hobbing Method:

In Fig. (1) FH process are shown schematically. The head cutter is provided with (N_c) groups of blade. Each group contains three blades, one for rough cutting and two finishing blades one for each tooth side [**F. L. Litvin , 1991**]. To accomplish continuous indexing, the head cutter and the being cut gear are rotated in opposite directions. While the head cutter is rotated by the angle ($2\pi/N_c$) the gear is rotated through the angle ($2\pi/N_i$), where (N_i) is gear or pinion teeth number. Thus the next group of blades will start to cut the next gear tooth after finishing the current tooth, according to that the rotation of the cutter (θ_c) is related to that of work piece(θ_i) by the ratio (R_b).

$$R_b = N_c/N_i = \theta_i/\theta_c \qquad (1)$$

2- Analytical Description of Cutting Blade Geometry:

The analytical description will be focused on the two finishing blades only, which shaped the gear tooth surfaces. Fig. (2) shows, from two different viewpoints, the location of one blade group in Gleason Tri-ac left-handed (LH) head cutter. A left-handed gear or pinion is cut by a (LH) head cutter [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**]. Fig. (3) shows the outer and inner cutting blades of straight edge without filet. There are three reference coordinate systems to specify the blade geometry as below.

1. S_e- Fixed at the pitch point (P) and its axes parallel to the edge of the tool blank.
2. S_b- Its origin at (P), (x_b) coinciding with (x_e) , (y_b) and (z_b) having hook angle (η_b) with(y_e) and (z_e).
3. z_t- Its origin has been setup at the tip of the blade and its

components parallel to (s_b)components.

(α_e) presents blade angle (pressure angle) between the projection of the cutting edge on ($x_e z_e$) plane and(z_e). The cutting edge lies entirely on a plane, called rake plane, which forms rake angle (k_e), usually equal to 12°, with tool blank plane having as normal the (y_e) axis. Hook angle (η_b), usually equal to 4.42°, represent the direction of cutting blade with respect to the head cutter rotation axis (z_h). The eccentric angle (ε_b) is the angle between (s_b) and (s_h) coordinate systems.

At first a vector (c_e) oriented along the cutting edge and pointing from point (P) to the blade tip will be defined in (s_h) system. The upper sign refers to the outer blade and the lower one refers to inner blade, [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**]

$$c_e = \begin{bmatrix} \pm sin\ (\alpha_e) \\ sin(\alpha_e)\ tan\ (k_e) \\ cos\ (\alpha_e) \end{bmatrix} \quad (2)$$

The normal unit vector to rake plane is.

$$n_e = \begin{bmatrix} \pm sin\ (k_e \\ -cos\ (k_e) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

The representations of c_e, n_e, α_e , and k_e in (s_b) system are [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**].

$$c_b = \begin{bmatrix} c_{bx} \\ c_{by} \\ c_{bz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\ (\eta_b) & -sin\ (\eta_b) \\ 0 & sin\ (\eta_b) & cos\ (\eta_b) \end{bmatrix} c_e \quad (4)$$

$$n_b = \begin{bmatrix} n_{bx} \\ n_{by} \\ n_{bz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\ (\eta_b) & -sin\ (\eta_b) \\ 0 & sin\ (\eta_b) & cos\ (\eta_b) \end{bmatrix} n_e \quad (5)$$

$$\alpha_b = tan^{-1}\ (\pm c_{bx}/c_{bz}) = f(\alpha_e, k_e, \eta_b) \quad (6)$$

$$k_b = tan^{-1}(\pm c_{by}/c_{bx}) = f\ (\alpha_e, k_e, \eta_b) \quad (7)$$

Eccentric angle found to be calculated as in Eq. (8), [**F. L. Litvin , 1989**]

$$\varepsilon_b = sin^{-1}(N_c\ r_i\ cos\ (\beta_i)/(N_i) * r_b) \quad (8)$$

Where (r_i) presents gear radius if (i =1) and pinion radius if (i =2), and (β) is spiral angle, r_b is the cutter radius. The measured c_b, n_b and α_b in s_h systems are.

$$c_h = \begin{bmatrix} c_{hx} \\ c_{hy} \\ c_{hz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon_b) & \sin(\varepsilon_b) & 0 \\ -\sin(\varepsilon_b) & \cos(\varepsilon_b) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} c_b \quad (9)$$

$$n_h = \begin{bmatrix} n_{hx} \\ n_{hy} \\ n_{hz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon_b) & \sin(\varepsilon_b) & 0 \\ -\sin(\varepsilon_b) & \cos(\varepsilon_b) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} n_b \quad (10)$$

$$\alpha_h = \tan^{-1}(\pm c_{hx}/c_{hz}) = f(\alpha_g, k_g, \eta_b, \varepsilon_b) \quad (11)$$

The above eq.s are the analytical description of cutting blade geometry. Fig. (4) shows more complex blade shape consists of four sections and these sections are.

(I)- Bottom: straight horizontal segment.

(II)- Fillet: circular arc of radius (r_g, fillet radius) and center at (R).

(III)- Toprem: straight inclined segment with length (L_T) and angle (τ).

(IV)- Curved blade: a circular arc with radius (ρ) and center at point (O).

The coordinates of (P) are [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**].

Where the upper sign refers to right side of the plade and the lower sign refers to the left side of the plade

$$\left.\begin{aligned} x_p &= \pm h_f \tan(\alpha_b) \\ y_p &= -h_f \tan(\alpha_b) \tan(k_b) \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

$$z_p = -h_f$$

Point (A) the intersection of (x_t) with the toprem section there for the distance of (OA) is

$$OA = \sqrt[2]{\rho_t^2 + L_T^2 - 2\,\rho_t\,L_T \cos\left(\frac{\pi}{2} - \tau\right)} \quad (13)$$

Where (ρ_t) is the projection of (ρ) on (x_t, z_t) plane and (τ) is toprem angle.

$$A\bar{O}B = \sin^{-1}(L_T \sin(\pi/2 - \tau)/OA) \quad (14)$$

The intersection of the circular arc with the Toprem occurs at point (B). The angle between (OA) and (x_t) is, [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**]

$$\lambda = \sin^{-1}(z_o/OA) \quad (15)$$

Then the coordinates of (A) are

$$\left.\begin{aligned} x_A &= x_O \pm OA\cos(\lambda) \\ z_A &= 0 \\ y_A &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

$$\delta = \lambda + A\hat{O}B \quad (17)$$

$$\gamma = \pi/2 - (\delta - \tau) \quad (18)$$

$$L_1 = r_e\,\gamma \quad (19)$$

$$\left.\begin{aligned} x_R &= x_A \pm r_e \tan(\gamma/2) \\ z_R &= -r_e \end{aligned}\right\} \quad (20)$$

Toprem length can be calculated as

$$L_2 = L_T - r_e \tan(\gamma/2) \quad (21)$$

The calculation of cutting edge in (s_t) system depends on the blade section to be calculated, Table (1) propose the calculation of blade sections in (s_t).

All points of cutting edge lie in the rake plane and (y_t^p) can be obtained as

$$y_t^p(s) = y_p z + \left[\left(x_p - x_t^p(s)\right)n_{bx} + \left(z_p - z_t^p(s)\right)n_{bz}\right]/n_{by} \quad (22)$$

And the cutting blade representation in head cutter center is

$$r_h^p(s) = \begin{bmatrix} r_b + \left(x_t^p(s) - x_p\right)\cos(\varepsilon_b) + \left(y_t^p(s) - y_p\right)\sin(\varepsilon_b) \\ -\left(x_y^p(s) - x_p\right)\sin(\varepsilon_b) + \left(y_t^p(s) - y_p\right)\cos(\varepsilon_b) \\ z_t^p(s) - x_p \end{bmatrix} \quad (23)$$

3- Simulation of FH Cutting Process:

Eq. (23) represents the principle point to start the simulation process. According to gearing theory the proper coordinate transformation able to simulate the cutting process and compute the gear drive teeth surfaces. Simulation process has two forms depending upon generating or non-generating cutting process.

3.1- FH Cutting Process Without Generation:

Fig. (5) show FH cutting machine which is setup to cut format gear member. A proper set of reference frames has to be introduced in order to describe the machine setting. There are three machine reference coordinate systems (s_h) which has been specified previously, (s_m) its origin at (o_m) and (z_m) parallel to (z_h), (s_w) which has been setup with its origin at $(o_w$, gear apex) where (z_w) coincides with the gear rotation axis. When the cutter rotates by angle (θ) gear rotation will be $(R_b\ \theta)$ condition of continuous indexing.

Gleason saved files (SAF) provides the details to properly locate, with respect to reference frame (s_m) machine root angle (γ_m) and machine center to back (Δx_p). The setting (H) and (V) found to be a function of gear drive shape parameters as in eq.s (24) and (25), [**F. L. Litvin etal, 1991**].

$$V = r_b \cos(\beta - \varepsilon_b) \quad (24)$$

$$H = (r_i / \sin(\gamma_m)) - r_b \sin(\beta - \varepsilon_b) \quad (25)$$

Finally the representation of gear tooth surfaces is

$$r_2^p(\theta, s) = M_{w2}\, M_{2m}\, M_{m1}\, M_{1h}\, r_h^p(s) \quad (26)$$

where

$$M_{m1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$M_{m1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H \\ \pm V \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{2m} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} - \gamma_m) & 0 & \sin(\frac{\pi}{2} - \gamma_m) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\frac{\pi}{2} - \gamma_m) & 0 & \cos(\frac{\pi}{2} - \gamma_m) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\Delta X_p \end{bmatrix}$$

,

$$M_{w2} = \begin{bmatrix} \cos(R_b\theta) & \sin(R_b\theta) & 0 \\ -\sin(R_b\theta) & \cos(R_b\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

In Fig. (6) a non-generated gear blank is drown depending upon eq. (26) by using the Gleason SAF details (γ_m, Δx_p).

The normal vector to these surfaces which is used to analyze tooth contact analysis is

$$n_2^p(\theta, s) = \frac{\partial}{\partial s} r_w^p(\theta, s) \times \frac{\partial}{\partial \theta} r_w^p(\theta, s) \quad (27)$$

3.2- FH Cutting Process with Generation Motion:

Theoretically FH with generation motion is based on a generalized concept of bevel gear generation in which the pinion is generated by a complementary generation crown gear. The tooth surfaces of the generating crown gear are kinematicly formed by the traces of the head cutter edge and the cradle rotation, [**Dr.Qi Fan, 2007**], cradle is a mechanical element centered at (o_m) and carrying the head cutter. In generated FH method there are two sets of related motion are defined. The first set was specified in eq. (1), the second set presents the rotation of the cradle and the pinion as below

$$R_a = N_g / N_1 = \theta_1 / \phi \quad (28)$$

(R_a) represents the roll ratio, (N_g) is the generating crown gear teeth number, (ϕ) is the crown gear rotation. Fig. (7) show FH cutting machine which is ready to cut the generated pinion. It is seen that the reference coordinate systems (s_h), (s_m) and (s_m) have been rigidly connected respectively to the head cutter, machine center and work piece. The (s_c) system rigidly connect to the cradle. The rotation of

pinion is a function of (θ) and cradle rotation (ϕ).

$$\theta_1 = R_b\,\theta + R_a\,\phi \qquad (29)$$

Radial setting (s_r) and cradle angle (q) can be computed as in eq.s (30) and (31).

$$s_r = \sqrt[2]{H^2 + V^2} \qquad (30)$$

$$q = tan^{-1}(V/H) \qquad (31)$$

The Gleason SAF kept the values of (R_a) and of all the setting to properly locate, with respect to the reference frame (s_m), the pinion setting

E_m: pinion offset ,γ_m: machine root angle ,Δx_b: sliding base , i : tilt angle ,j : swivel angle

The cutting edges representation in (s_w) is derived in eq. (32)

$$r_1^p(\theta,\phi,s) = M_{w5}\,M_{54}\,M_{4m}\,M_{mc}\,M_{c3}\,M_{32}\,M_{21}\,M_{1h}\,r_h^p(s) \qquad (32)$$

Where

$$M_{1h} = \begin{bmatrix} cos\,\theta & sin\,\theta & 0 \\ -sin\,\theta & cos\,\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$M_{21} = \begin{bmatrix} cos\,i & 0 & sin\,i \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin\,i & 0 & cos\,i \end{bmatrix},$$

$$M_{32} = \begin{bmatrix} cos\,j & \mp sin\,j & 0 \\ \pm sin\,j & cos\,j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{c3} = \begin{bmatrix} cos\left(\frac{\pi}{2}-q\right) & \mp sin\left(\frac{\pi}{2}-q\right) & 0 \\ \pm sin\left(\frac{\pi}{2}-q\right) & cos\left(\frac{\pi}{2}-Aq\right) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \mp s_r \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$M_{mc} = \begin{bmatrix} cos\,\phi & sin\,\phi & 0 \\ sin\,\phi & cos\,\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{4m} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \pm E_m \\ -\Delta X_b \end{bmatrix},$$

$$M_{54} = \begin{bmatrix} cos(\frac{\pi}{2}-q) & 0 & sin(\frac{\pi}{2}-q) \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin(\frac{\pi}{2}-q) & 0 & cos(\frac{\pi}{2}-q) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\Delta X_p \end{bmatrix}$$

$$M_{w5} = \begin{bmatrix} cos(R_b\theta + R_b\phi) & sin\,cos(R_b\theta + R_b\phi) & 0 \\ -sin\,cos(R_b\theta + R_b\phi) & cos\,cos(R_b\theta + R_b\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Eq. (32), unlike eq. (26), is not surface but represents family of surfaces. In order to drive the tooth surfaces it is necessary to calculate the set of points for whom, the eq. (33), which represents the tooth surface points, satisfied [**F. L. Litvin etal, 1991**].

$$\frac{\partial}{\partial s} r_1^p(\theta,\phi,s) \times \frac{\partial}{\partial \theta} r_1^p(\theta,\phi,s)) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \phi} r_1^p(\theta,\phi,s)\right) = 0 \qquad (33)$$

By using a proper values that satisfy eq. (32) and (33) each part of the tooth surface is generated. The normal vector to these surfaces is obtain by eq. (34)

$$n_1^p(\theta,\phi,s) = \frac{\partial}{\partial s} r_1^p(\theta,\phi,s) \times \frac{\partial}{\partial \theta} r_1^p(\theta,\phi,s) \quad (34)$$

Fig. (8) shows hypoid pinion blank, the two meshed gears are shown in Fig. (9).

4 - Determination of Transmission Error:

The transmission function of an ideal gear drive is a linear one which is depends on ratio of gear teeth number

$$\theta_2 = \frac{N_1}{N_2}\theta_1 \quad (35)$$

Due to misalignment between the meshing gears the real transmission function $\theta_2(\theta_1)$ becomes piecewise periodic function with the period equal to the cycle of meshing of a pair of teeth. Due to The jump of angular velocity at the junction of cycles the acceleration approaches to large value of acceleration that cause large vibration and noise, for this reason it is necessary to predesign a parabolic function of transmission error that can absorb a linear function of transmission error and reduce the jump of angular velocity and acceleration [**F. L. Litvin and Yi Zhang, 1991**] and [**F. L. Litvin, 2006**]. The linear transmission function and the predesigned function are in tangency at the mean contact point and have the same derivative (m_{21}) at this point.

$$m_{12} = \partial\theta_2/\partial\theta_1 = N_1/N_2 \quad (36)$$

The predesigned transmission function is represented as

$$\theta_2 - \theta_2^{(0)} = F(\theta_1 - \theta_1^{(0)}) \quad (37)$$

Here ($\theta_1^{(0)}$) and ($\theta_2^{(0)}$) are the initial angles of rotation of pinion and gear that provide the tangency of gear tooth surfaces a mean contact point (M). By using the Taylor expansion up to the members of second order, [**F. L. Litvin, 2006**].

$$F(\theta_1 - \theta_1^{(0)}) = \frac{\partial}{\partial\theta_2} F(\theta_1 - \theta_1^{(0)}) + .5 \frac{\partial^2}{\partial\theta^2} F(\theta_1 - \theta_1^{(0)})$$

$$= m_{21}(\theta_1 - \theta_1^{(0)}) + .5\,\acute{m}_{21} \quad (38)$$

($\acute{m}_{21}$) is the to be chosen constant value: positive for the gear concave side, and negative for the gear convex side. The synthesized gears rotates with a parabolic function of transmission errors represented by

$$\Delta\theta_2(\theta_1) = .5\,\acute{m}_{21}(\theta_1 - \theta_1^{(0)})^2 \quad (39)$$

Where

$$-\pi/N_1 \le (\theta_1 - \theta_1^{(0)}) \le \pi/N_2$$

Eq. (39) enables the determination of ($\acute{m}_{21}$), considering as known the expected values of transmission errors [**F. L. Litvin, 1989**]. Eq. (39) has another form of second order

function [**Dr. Q. Fan and Dr. L. Wilcox, 2006**].

$$\Delta\theta_2(\theta_1) = a_t + b_t(\theta_1 - \theta_1^{(0)}) - c_t(\theta_1 - \theta_1^{(0)})^2 \quad (40)$$

5- Results and Discussions of Tooth Contact Analysis (TCA):

All the results of tooth contact that has been shown in Fig.s (11)--(19) specify the shape and magnitude of transmission errors for both tooth concave and convex side for different teeth number. These results are based on eq. (40) and by using the maximum transmission errors presented in [**T. J. Maiuri , 2006**], [**V. Simon and U. L. Hungary, 2000**]. The pinion has been shifted along its axis by $\pm\Delta P$ and also the misalignment can be achieved by changing the center distance ($\pm\Delta E$) which means the error of pinion shaft offset as shown in Fig. (9). The results show that the hypoid bevel gear is so sensitive to assembly errors, both misalignment procedures show that the transmission error functions have a linear or almost linear shape far away the mean contact point, the increasing of teeth number minimize the transmission error significantly and vibration will appear in every cycle of meshing. The misalignment for convex side is ΔE=0.508 mm, ΔP=-0.254 mm, and for concave side is ΔE=.254 mm, ΔP=-0.102 mm.

The gear and pinion machine- tool settings are shown in Table (3) and (4) respectively.

6- Conclusions:

The main conclusions obtained from the present work can be summarized as follow:

1. The modified mathematical model for tooth surface representation of face hobbed hypoid gear and its application for computerized design of these gears have been presented.

2. From tooth contact result its clear that:

   i. The hypoid gear drive is very sensitive to misalignment of their meshing.
   ii. The parabolic shape of transmission function have a linear shape far away the mean contact point.
   iii. The increasing of gear teeth number minimizes the transmission errors and ensure smooth transmission performance and low noise.

REFERENCES

F. L. Litvin, (Theory of gearing), NASA publication, 1212, AVSCOM technical report, 88-c-035, 1989.

F. L. Litvin, W.S. Chaing, C. Kuan, M. Lundy and W. J. Tsung, (generation and geometry of hypoid gear member with face-hobbed tooth of uniform depth), IVSL / ElSEVIER, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 31, No. 2, pp. 167-181, 1991.

F. L. Litvin and Yi Zhang, (Local synthesis and tooth contact analysis of Face-Milled spiral bevel gears), NASA, Technical report 4342,1991.

V. Simon, u. l. Hungary, (FEM stress analysis in hypoid gears), IVSL / PERGAMON, Mechanism and Machine theory, pp. 1197-1220, 2000.

Dr. Q. Fan and Dr. L. Wilcox, (New developments in tooth contact analysis (TCA) and loaded TCA for spiral bevel and hypoid gear drives), Journal, Available on line at WWW.geartechnology.com , 2006.

T. J. Maiuri. (Spiral bevel and hypoid Gear cutting technology update), WWW.geartechnology 2006.

F. L. Litvin, (Development of gear technology and theory of gearing), University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois.NASA RP-1406, taken at 2006.

Dr.Q. Fan, (Kinematical simulation of face hobbing and tooth surface generation of spiral bevel and hypoid gears), Journal, Avilable on line at WWW.geartechnology.com, 2007.

NOMENCLATURES

Symbol	Description	Unit
c_b	Cutting edge description in s_b system	---
c_e	Cutting edge description in s_e system	---
c_h	Cutting edge description in s_h system	---
E_m	Pinion offset	mm
h_f	Blade height	mm
H	Machine horizontal setting	mm
i	Tilt angle	degree
j	Swivel angle	degree
n_b	Cutting edge unit normal in s_b	---
n_e	Cutting edge unit normal in s_e	---
n_h	Cutting edge unit normal in s_h	---
$n_1^p(\theta,\phi,s)$	Normal of pinion tooth surfaces	---
$n_2^p(\theta,s)$	Normal vector of gear tooth surfaces	---
N_1	Pinion tooth number	---
N_2	Gear tooth number	---
N_c	Cutting blade number	---
N_g	Crown gear teeth number	---
r_b	Cutter radius	mm
r_e	Filet radius	mm
$r_h^p(s)$	Description of deferent cutting sections	mm
$r_1^p(\theta,\phi,s)$	Pinion toot surfaces	mm

$r_2^p(\theta, s)$	Gear tooth surfaces	mm
R_b	Ratio of gear drive rotation	---
V	Machine vertical setting	mm
α_b	Pressure angle in s_b	degree
α_e	Pressure angle	degree
α_h	Pressure angle in s_h	degree
β_1	Pinion spiral angle	degree
β_2	Gear spiral angle	degree
γ	Cutting blade filet angle	degree
γ_m	Pitch angle	degree
ε_b	Eccentric angle	degree
η_b	Hook angle	degree
$\theta_2^{(0)}, \theta_1^{(0)}$	Initial angle of rotation for gear and and pinion	degree
$\Delta\theta_2(\theta_1)$	Error transmission function	degree
τ	Toprem angle	degree

Table (1), calculation of different blade sections in (s_t) coordinate system.

Blade part	p	s^p	$\begin{Bmatrix} x_t^p(s) \\ z_t^p(s) \end{Bmatrix}$
Bottom	I	$s^1 \leq 0$	$\begin{Bmatrix} \pm s^I + x_R \\ 0 \end{Bmatrix}$
Fillet	II	$0 \leq s^{II} \leq L_1$	$\begin{Bmatrix} x_R \pm r_e \sin(s^{II}/r_e) \\ -r_e(1-\cos(s^{II}/r_e)) \end{Bmatrix}$
Toprem	III	$L_1 \leq s^{III} \leq L_1 + L_2$	$\begin{Bmatrix} x_R \pm r_e \sin(s^{III}/r_e) \pm (s^{III} - L_1)\sin(\delta - \tau) \\ -r_e(1-\cos(s^{III}/r_e)) - (s^{III} - L_1)\cos(\delta - \tau) \end{Bmatrix}$
Curved blade	IV	$L_1 + L_2 \leq s^{IV}$	$\begin{Bmatrix} x_O \pm \rho_t \cos(\delta + (s^{IV} - L_1 - L_2)/\rho_t) \\ z_O - \rho_t \sin(\delta + (s^{IV} - L_1 - L_2)/\rho_t) \end{Bmatrix}$

Table (2), Hypoid gear design data.

	Pinion	Gear
Number of teeth	12	30
Module (mm)	6	6
Running offset (mm)	15	
Outside diameter (mm)	72	180
Face width (mm)	31	27
Mean spiral angle (deg.)	30	20
Pitch angle (deg.)	18.5	71.5

Table (3), Gear machine- tool settings.

Cutter radius (mm).	75.184
Cutter blade angle (deg.)	17
Point width (mm)	2.032
Basic machine root angle γ_m (deg.)	64.5986
Machine center to back (ΔX_p) (mm)	2.358

Table (4), Pinion machine- tool setting,(for concave and convex side)

Setting	Value
Cutter radius (mm)	75.5
Cutter blade angle (deg.)	17
Machine root angle (deg.)	-3.44
Basic tilt angle (deg.)	21.22
Basic swivel angle (deg.)	-34.18
Basic cradle angle (deg.)	79.81
Sliding base setting (deg.)	16.498
Machine center to back (mm)	-1.117
Blank offset setting (mm)	23.411
Ratio of roll	3.5510

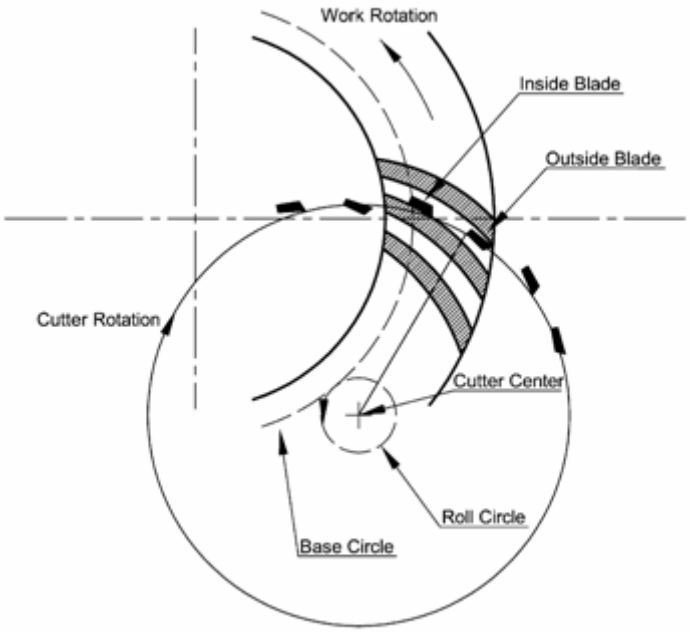


Fig. (1). Face Hobbing process

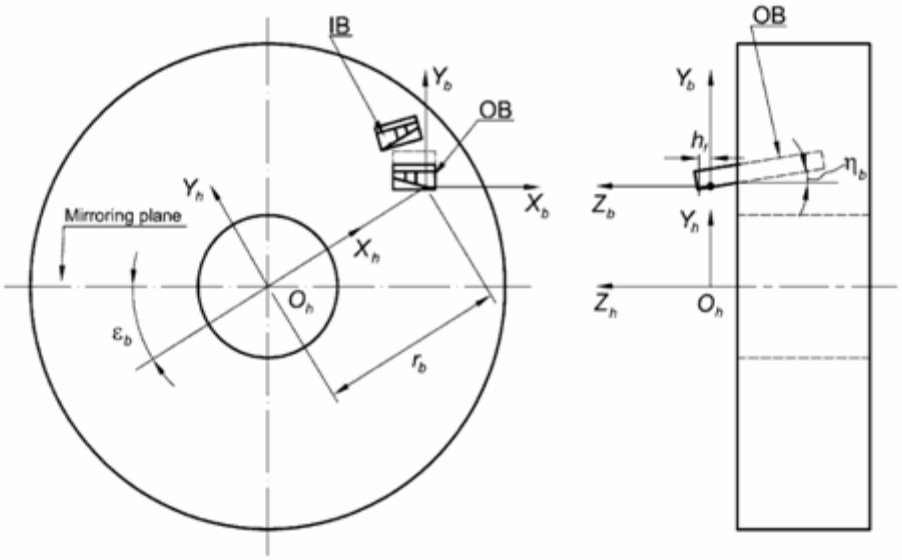
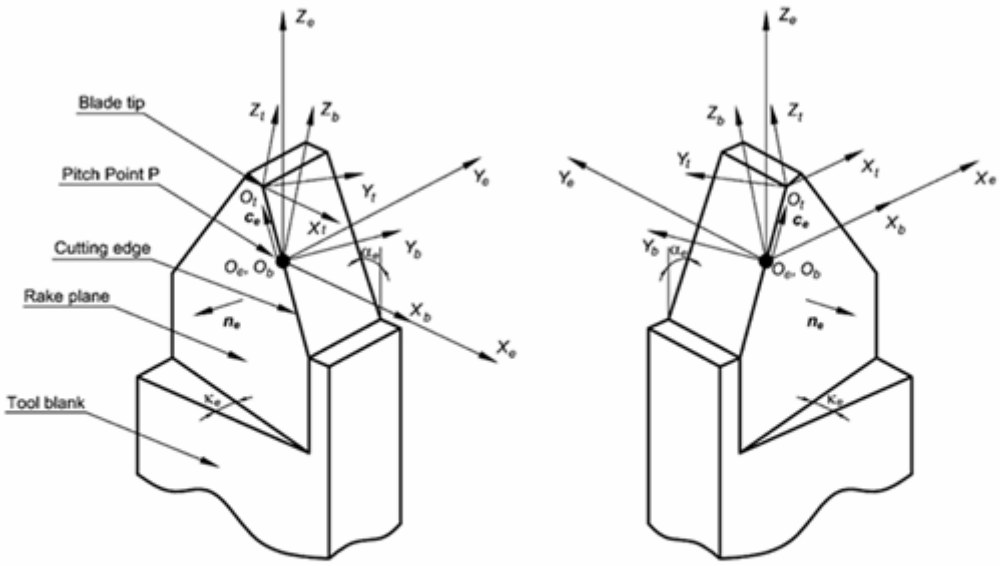
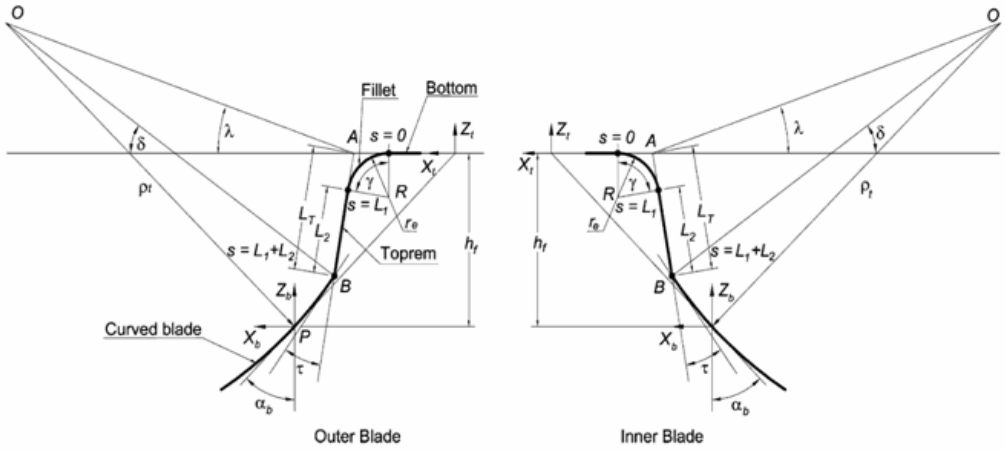


Fig. (2), LH blade group mounted in the head cutter .



LH outer blade LH inner blade

Fig. (3), LH group blades .



Outer blade Inner blade

Fig. (4) projection of the curved LH on x_t, z_t plane .

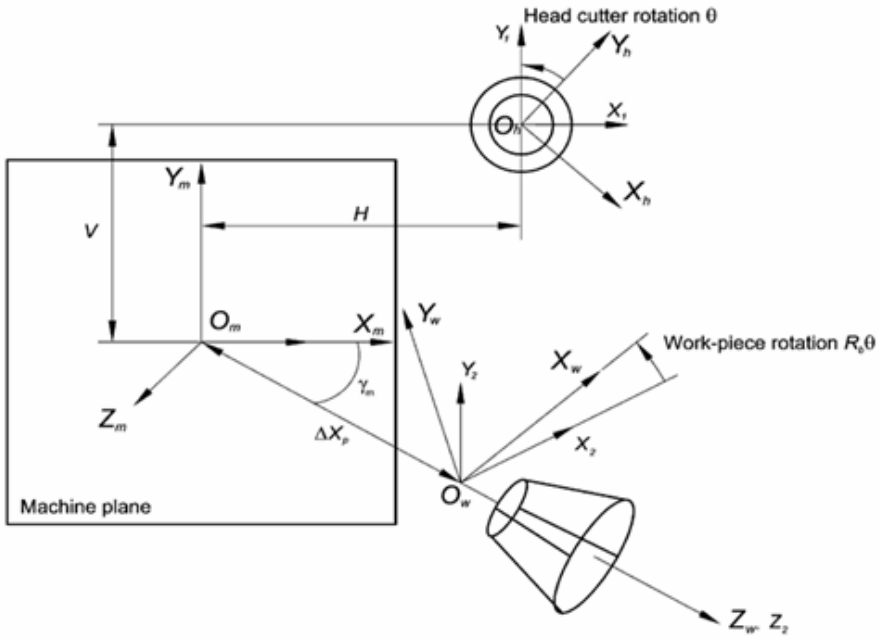
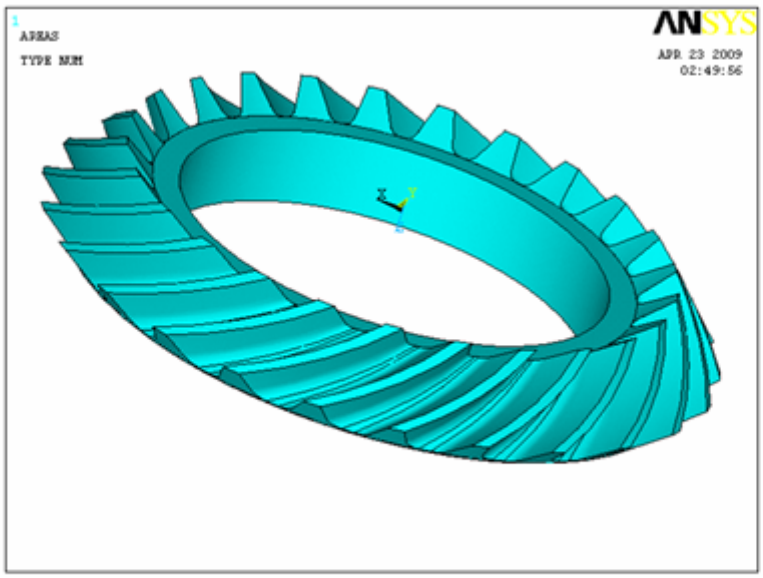


Fig. (5) cutting machine setup for cutting non-generated gear.



α = 22 degree

β = 30 degree

γ = 60 degree

r =90 mm

h_f = 4 mm

N_2 = 25

Fig. (6) (a), A non-generated gear blank

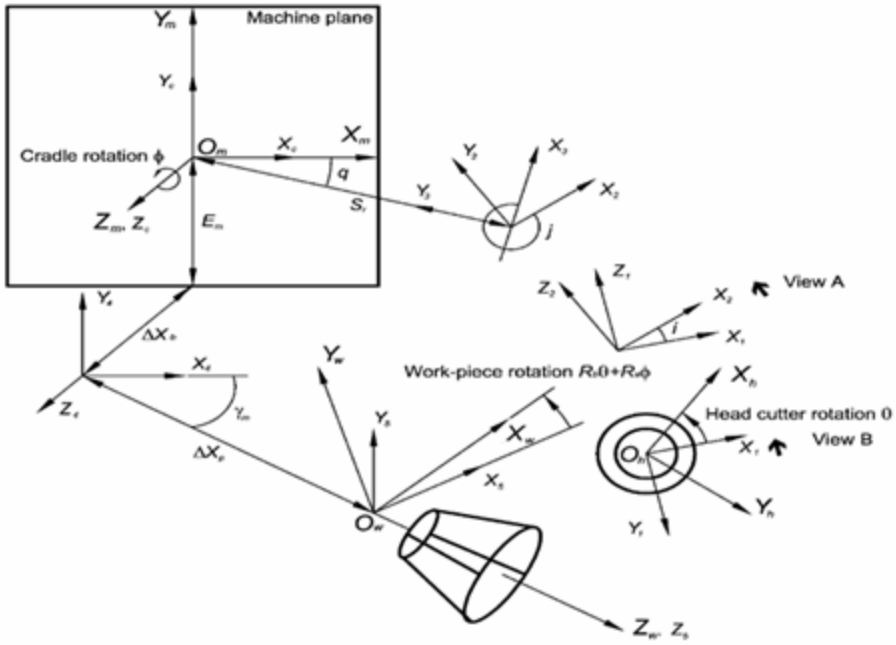
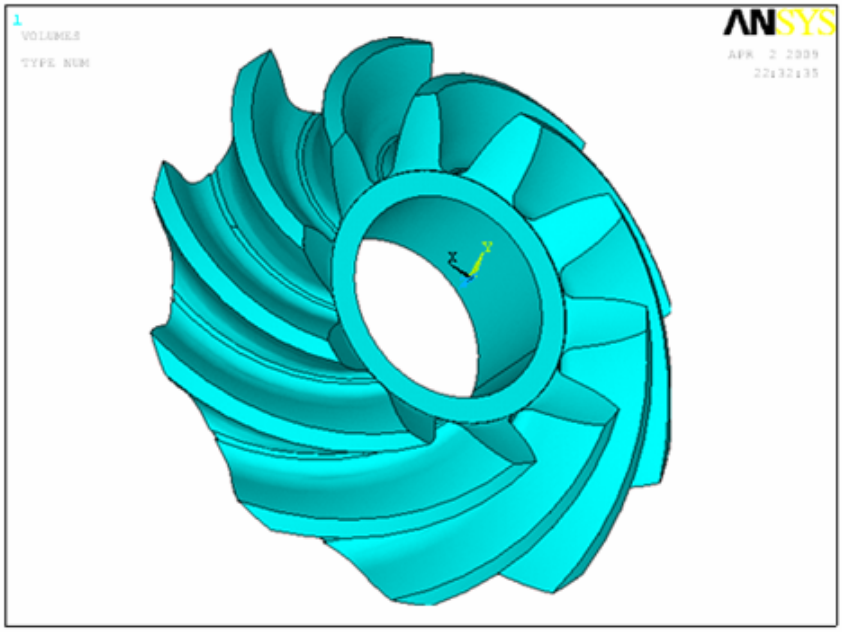


Fig. (7), Cutting machine setup for manufacturing a generated gear .



$\alpha = 22$ degree

$\beta = 37$ degree

$\gamma = 50$ degree

r =50 mm

$h_f = 4$ mm

$N_1 = 10$

Fig. (8), Hypoid pinion blank

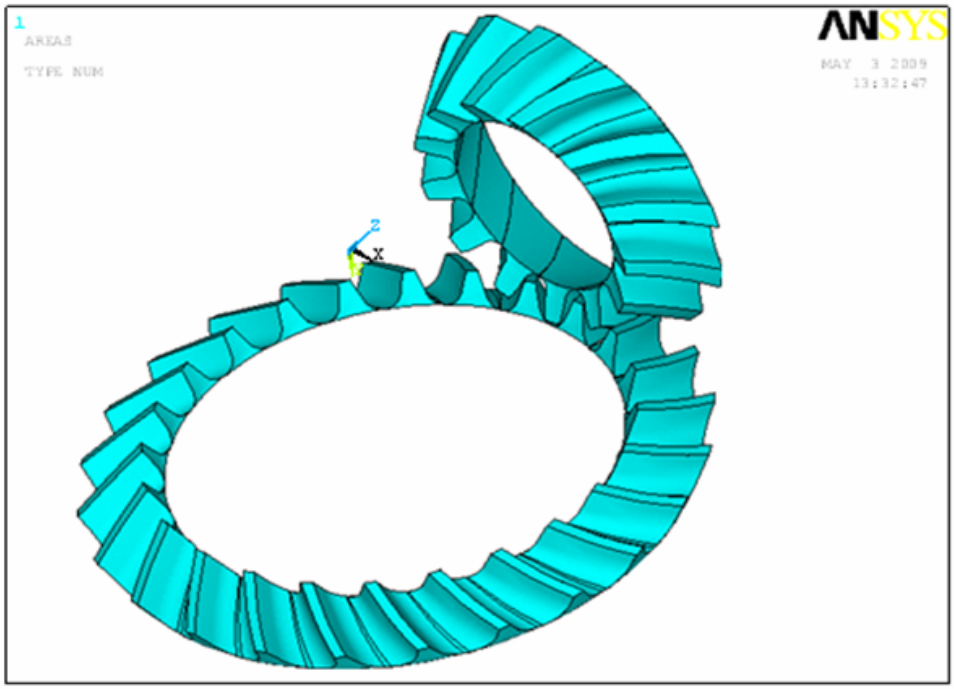


Fig. (9), Hypoid gear drive

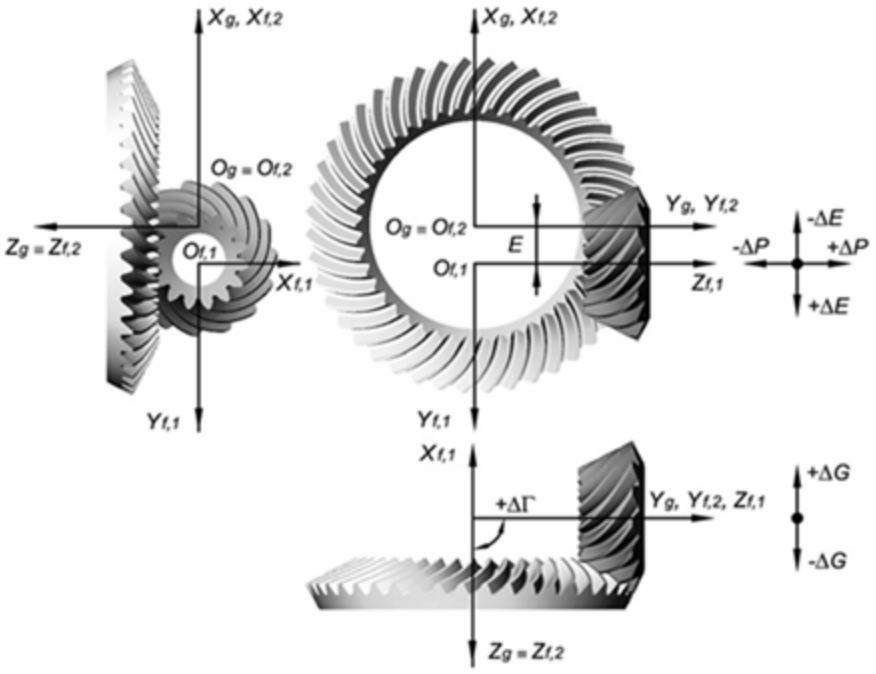


Fig. (10), Hypoid gear misalignment.

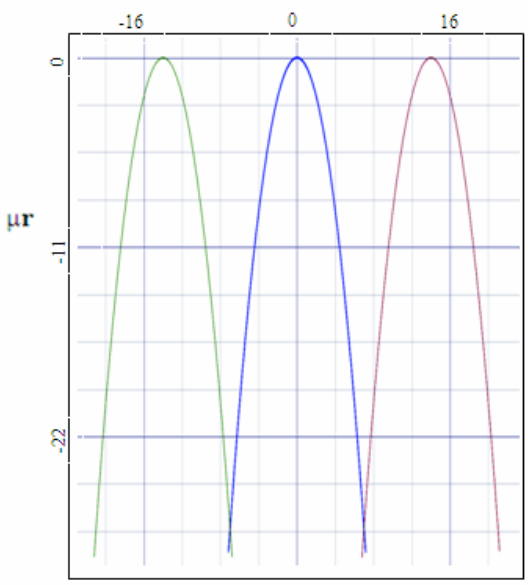


Fig. (11), Concave side transmission function, N_1=25

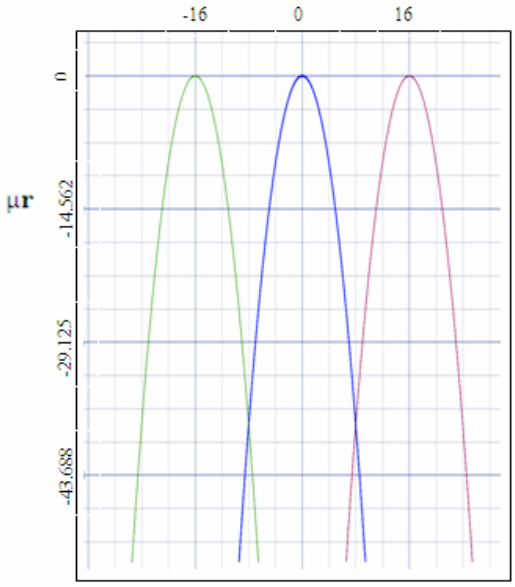


Fig. (12), Concave side transmission function, N_1=22

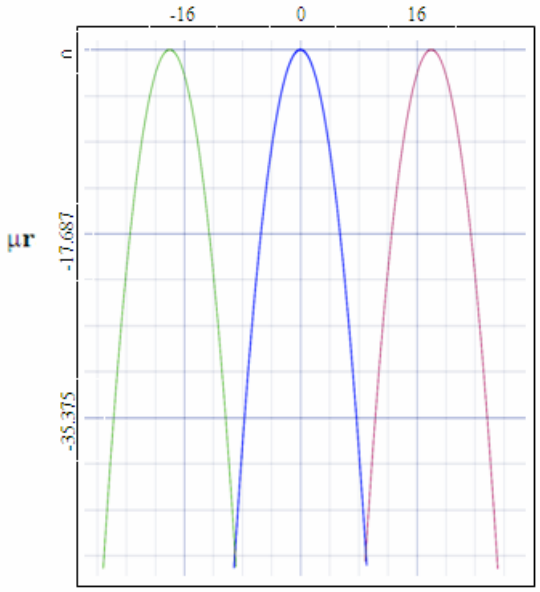


Fig. (13), Concave side transmission function, N_1=20

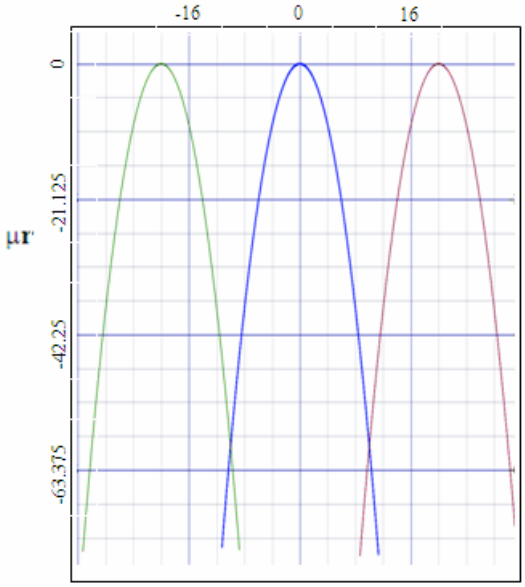
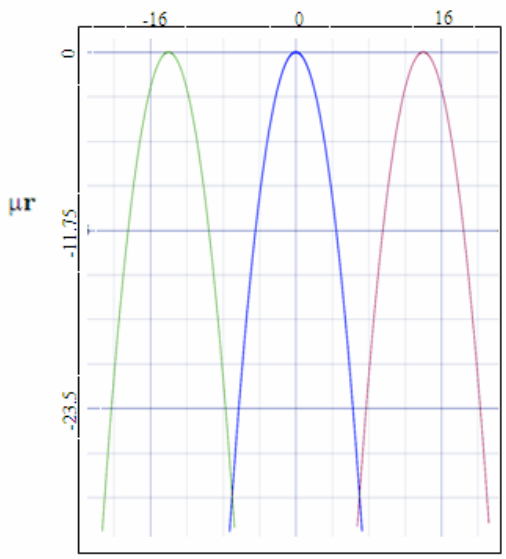
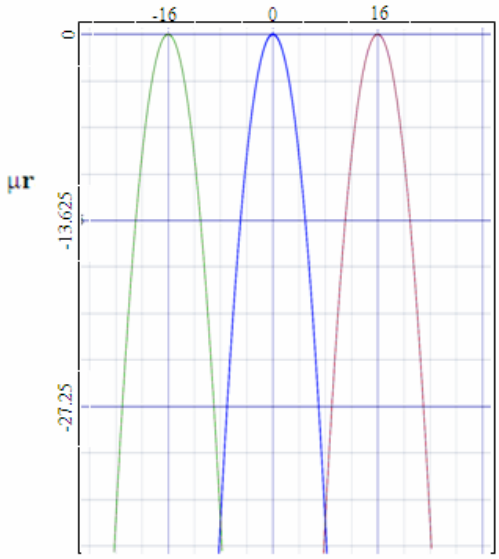


Fig. (14), Concave side transmission function, N_1=18



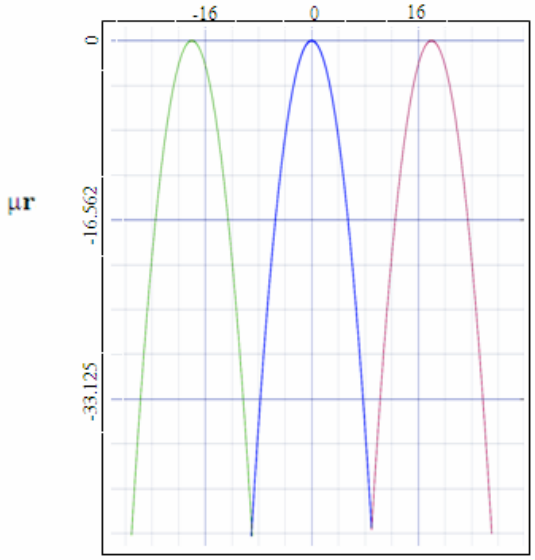
Pinion rotation angle (deg.)

Fig. (15), Convex side transmission function, N_1=25



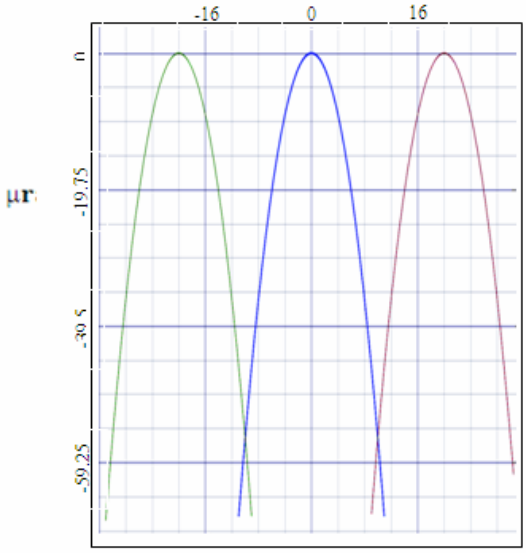
Pinion rotation angle (deg.)

Fig. (16), Convex side transmission function, N_1=22



Pinion rotation angle (deg.)

Fig. (17), Convex side transmission function, N_1=20



Pinion rotation angle (deg.)

Fig. (18), Convex side transmission function, N_1=18

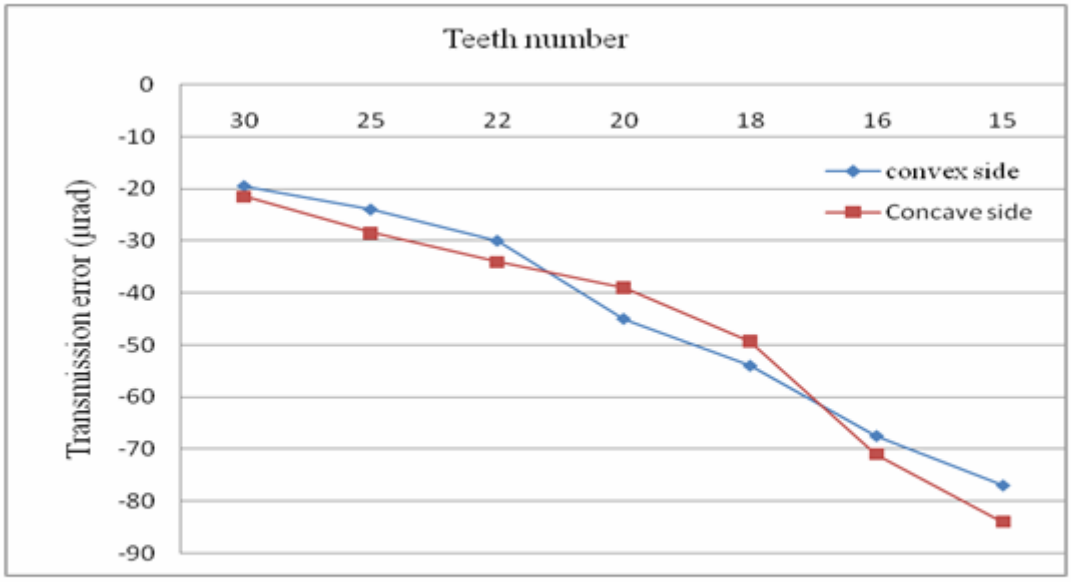


Fig. (19), Variation of transmission error with teeth number.

SIMULATION OF OPTIMAL SPEED CONTROL FOR A DC MOTOR USING LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)

Ruba M.K. Al-Mulla Hummadi
Mechanical Engineering Department
Baghdad University

ABSTRACT:

This paper describes DC motor speed control based on optimal Linear Quadratic Regulator (LQR) technique. Controller's objective is to maintain the speed of rotation of the motor shaft with a particular step response.

The controller is modeled in MATLAB environment, the simulation results show that the proposed controller gives better performance and less settling time when compared with the traditional PID controller.

السيطرة المثالية على سرعة محرك التيار المستمر باستخدام مقوم خطي من الدرجة الثانية

الخلاصة:

لقد تم تقديم مسيطر باستخدام تقنية المقوم الخطي ذو الدرجة الثانية LQR واستخدم هذا المسيطر للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر علما ان الهدف المرجو من استخدام المسيطرات هو الحفاظ على سرع مستقرة وثابتة للمحرك.

لقد تم التحليل باستخدام برنامج MATLAB حيث اثبتت النتائج ان هذا النوع من المسيطرات يعطي اداء احسن واستقرار الوقت فيه يكون اقل مقارنة مع المسيطر PID التقليدي.

Keywords: DC motor, Optimal Speed control, PID controllers, LQR

INTRODUCTION:

Due to the excellent speed control characteristics of a DC motor, it has been widely used in industry (such as cars, trucks and aircraft) even though its maintenance costs are higher than the induction motor. As a result, authors have paid attention to position control of DC motor and prepared several methods to control speed of such motors. Proportional–Integral-Derivative (PID) controllers have been widely used for speed and position control. [Neenu, 2009]

They designed a position controller of a DC motor by selection of PID parameters using genetic algorithm (GA) once and secondly by using Ziegler and Nichols method of tuning the parameters of PID controller. They found that the first method gives better results than the second one.

[Delavari Hadi, 2006], presented and compared two types of controllers which are PID controller and optimal controller. The PID compensator is designed using (GA), while the other compensator is made optimal and integral state feedback controller with Kalman filter. Computer simulations have been carried out. Finally they found that the second controller gives less settling, less overshoot and better performance encountering with noise and disturbance parameters variations.

Other authors like [Boumediene, 2009], used a particle swarm optimization (PSO) instead of (GA). They presented a PID controller based on (PSO) method of tuning controller parameters. They modeled their PID-PSO controller in MATLAB environment and compare the results with fuzzy logic controller (FLC) using PSO. They found that PID-PSO controller gives better performance and minimal rise time than FLC-PSO controller.

[Sharaf, 2007], presented a novel PID dual loop controller for a solar photovoltaic (PV) powered industrial permanent magnet DC (PMDC) motor drive. MATLAB/SIMULINK was used in the analysis for the GUI environment.

[Molavi and khaburi, 2008], introduced the optimal strategies for speed control of permanent magnet synchronous motor (PMSM) through the linear quadratic regulator (LQR) and linear quadratic Gaussian (LQG) methodologies.
The simulation results showed that the proposed controllers have better performance for the sake of design criteria like overshoot and settling time of the step response.

[Gwo, 2004], presented a novel optimal PID controller using (LQR) methodology in tuning the parameters of PID controller. The new PID controller is applied to control the speed of brushless DC motor (BLDC). Finally, the computer simulation and experimental results showed that the proposed controller gives better performance than the traditional controller.

This paper presents LQR controller which applied to control the speed of a DC motor. The rest of the paper is presented as follows: at first the plant model is described. The next section describes the PID technique and the design of LQR. Then simulation results are presented. Finally, the last section contains paper conclusion.

PLANT MODEL:

The speed of a DC motor is proportional to the voltage applied to it. While, its torque is proportional to the motor current. Speed control can be achieved by variable battery tappings, variable supply voltage, resistors or electronic controls.
A simple motor model is shown in Fig.1. The armature circuit consist of a resistance (Ra) connected in series with an inductance (La), and a voltage source (e_b) representing the back emf (back electromotive force) induced in the armature when during rotation. [Ogata, 1998 and 2002].

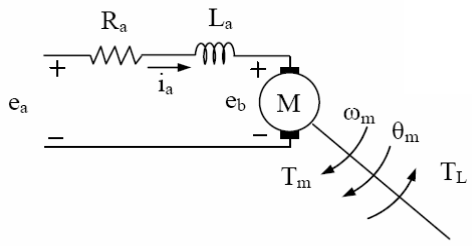


Fig.1 DC-Motor Model

The motor torque T_m is related to the armature current, i_a , by a torque constant K_i;

$$T_m = K_i i_a \qquad (1)$$

The back emf, e_b, is relative to angular velocity by;

$$e_b = k_b \omega_m = k_b \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

From Fig. 1 we can write the following equations based on the Newton's law combined with the Kirchoff's law:

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = e_a - K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} = K_i i_a \quad (4)$$

There are several different ways to describe a system of linear differential equations. The plant model will be introduced in the form of **state-space representation** and given by the equations:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du \quad (5)$$

According to eq.s from (2) to (4), the state space model will be:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{\omega}_m \\ \dot{\theta}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_a/L_a & -K_b/L_a & 0 \\ K_i/J_m & -B_m/J_m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e_a \quad (6)$$

$$\omega_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

with the block diagram as shown in Fig. 2

The DC motor data taken for this work are [Nguyen, 2006]:

Symbol	Value and unit
E	= 12volt
J_m	= 0.01kgm^2
B_m	= 0.00003kgm^2/s
K_i	= 0.023Nm/A
K_b	= 0.023V/rad/s
R_a	= 1Ω
L_a	= 0.5H

DESIGN OF THE LQR CONTROLLER [Firas, 2006]

LQR control that designed is classified as optimal control systems. This is an important function of control engineering. Fig.3 shows the designed LQR state-feedback configuration.

The purpose of the design is to realize a system with practical components that will provide the desired operating performance. The desired performance can be readily stated in terms of time domain performance indices. For example, the maximum overshoot and rise time for a step input are valuable time domain indices. In the case of steady state and transient performance, the performance indices are normally specified in the time domain.

The performance of a control system can be represented by integral performance measures. Therefore, the design of the system must be based on minimizing a performance index, such as the integral of the squared error (ISE).

The specific form of the performance index can be given as in eq.(8), where x^T indicates the transpose of the x matrix, then, in terms of the state vector, is

$$J = \int_0^{t_f} (x^T x) dt \quad (8)$$

Where x equals the state vector, and t_f equals the final time.

Then the design steps are as follows:

1- *Determine the matrix P that satisfies eq.(8-a), where H is known.*

$$\boxed{H^T P + PH = -I} \quad (8\text{-a})$$

2- *Minimize* ***J*** *by determining the minimum of eq.(8-b) by adjusting one or more unspecified system parameters* (Firas, 2006)

$$\boxed{J = \int_0^{\infty} x^T x dt = x^T(0) P x(0)} \quad (8\text{-b})$$

Upon examining the performance index (eq.8), recognizing that the reason the magnitude of the

control signal is not accounted for in the original calculation is that ***u*** (equals the control vector) is not included within the expression for the performance index. However, in many cases, the expenditure of the control signal energy are concerned. For example, in an electric vehicle control system, $(u)^2$ represents the expenditure of battery energy and must be restricted to conserve the energy for long periods of travel. To account for the expenditure of the energy of the control signal, it will be utilize the performance index

$$J = \int_0^\infty (x^T Ix + \lambda u^T u)dt \qquad (9)$$

Where λ is the scalar weighting factor and I = identity matrix. The weighting factor λ will be chosen so that the relative importance of the state variable performance is contrasted with the importance of the expenditure of the system energy resource that is represented by $u^T u$ as in the previous paragraphs, the state variable feedback will be represented by the matrix equation

$$u = -Kx \qquad (10)$$

And the system with this state variable feedback as

$$\dot{x} = Ax + Bu = Hx \qquad (11)$$

Now, substituting eq.(10) into eq.(9), then

$$J = \int_0^\infty (x^T Ix + \lambda(Kx)^T (Kx)dt$$

$$= \int_0^\infty [x^T (I + \lambda K^T K)x]dt = \int_0^\infty x^T Qxdt \quad (12)$$

Where Q= $(I + \lambda K^T K)$ is an $n \times n$ matrix.
postulating the existence of an exact differential so that

$$\frac{d}{dt}(x^T Px) = -x^T Qx \qquad (13)$$

Then, in this case, it is required that

$$H^T P + PH = -Q \qquad (14)$$

As before in eq.(8-a)

$$J = x^T(0)Px(0) \qquad (15)$$

Now, the design steps are exactly as for eq.(8-a) and eq.(8-b) with exception that the left side of eq.(14) equals –Q instead of –I. Of course, if $\lambda = 0$, eq.(14) reduces to eq.(8-b).
Consider the single-input, single-output (SISO) system with

$$\dot{x} = Ax + Bu \qquad (11)$$

and feedback

$$u = -Kx = -[k_1 \quad k_2 \ldots k_n]x$$

The performance index is

$$J = \int_0^\infty (x^T Qx + Ru^2)dt$$

or the performance index is

$$J = \int_0^\infty [(tracking \quad errors)^2 + (weighted \quad inputs)^2]dt$$

where *R* is the scalar weighting factor. This index is minimized when

$$K = R^{-1}B^T P$$

The $n \times n$ matrix p is determined from the solution of equation

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \qquad (16)$$

The two matrices ***Q*** and ***R*** are selected by design engineer by tray and error. Generally speaking, selecting ***Q*** large means that, to keep ***J*** small. On the other hand selecting ***R*** large means that the control input ***u*** must be smaller to keep ***J*** small. One should select ***Q*** to be *positive semi-definite* and ***R*** to be *positive definite*. This means that the scalar quantity $x^T Qx$ is always positive or zero at each time ***t***. And the scalar quantity Ru^2 is always positive at each time ***t*** .
eq.(16) can be easily programmed for a computer, or solved using MATLAB. eq.(16) is often called

the **Riccati Equation**. This optimal control called the **Linear Quadratic Regulator (LQR)** which is shown in state-space configuration in Fig. 3.
Combine Fig.2 with Fig.3 yields Fig.4, which shows the use of LQR controller with the DC motor.

SIMULATION MATLAB SCRIPT FILE AND RESULTS:

The simulation procedure may be summarized as follows:

- First input the DC motor data,
- Write the differential equations for the model then get the state space representation as in eq. (6)
- Get the open loop transfer function and the closed loop step response
- Finally performing the performance of PID controller and LQR controller and compare the results.
- The output will be taken as $\omega_m(s)$ from Fig.4.

MATLAB script file is:

```
% file name: DCM2.m
clear
clc
t = 0:0.001:10;
% DATA1=============
J = 0.01;
b = 0.00003;
K = 0.023;
R = 1;
L = 0.5;
A = [-b/J   K/J
     -K/L   -R/L];

B = [0
     1/L];
C = [1   0];
D = 0;
% sys = ss(A,B,C,D);
num=K;
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];
open=tf(num,den);
closed= feedback(open,1)
%============PID==============
Kp = 150;  %
Ki = 150;  % took by try
Kd = 0.4;  %
PID = tf([Kd Kp Ki],[1 0]);
PIDsys = feedback(PID*open,1);
% +++++++++++++++++++++++++++++++++%
  % Linear Quadratic Regulator design
                  LQR
% %+++++++++++++++++++++++++++++++%
Q=[.2 0;0 0.028];
R=[.2];
[KK,S,e] =lqr(A,B,Q,R)
ZZ=(A-B*KK);
LQR=ss(ZZ,B,C,D);
damp(LQR)
[num1,den1]=ss2tf(ZZ,B,C,D,1);
G=tf(num1,den1)    %ALWAYS den=1
BECAUSE ONLY u
%+++++++++++++++++++++++++++++++%
% Linear Quadratic Regulator design
         LQR Step
%+++++++++++++++++++++++++++++++%
figure(1)
step(closed,t),title('Closed Loop step
response')
xlabel('Time','FontSize',11);
ylabel('P.U. speed','FontSize',11);
figure(2)
step(PIDsys,t),title('PID step
response')
xlabel('Time','FontSize',11);
ylabel('P.U. speed','FontSize',11);
figure(3)
step(LQR,t),title('LQR step response')
xlabel('Time','FontSize',11);
ylabel('P.U. speed','FontSize',11);
figure(4)
step(PIDsys,LQR,closed,t),title('step
all')
xlabel('Time','FontSize',11);
ylabel('P.U. speed','FontSize',11);
```

Finding the poles and zeros for a transfer function in MATLAB :

To find the zeros use the command: `z=zero(g)`
To find the poles use the command: `p=pole(g)`
where g: is the transfer function.

After executing the previous script file the open loop transfer function of the DC motor according to the selected data is:

$$\frac{\omega_m(s)}{e_a(s)} = \frac{0.023}{0.005s^2+0.01002s+0.000559}$$

The two poles for the open loop transfer function are: (-0.0575+j0) and (-1.95+j0).

The closed loop for speed of the DC motor with unity feedback transfer function is:

$$\frac{\omega_m(s)}{e_a(s)} = \frac{0.023}{0.005s^2+0.01002s+0.02356}$$

with two poles: (-1+j1.92) and (-1-j1.92).

The closed loop step response for speed is shown in Fig.5, with settling time of 3.83sec. and peak amplitude of 1.17.

Now by using PID controller for a DC motor we get better settling time (2.76 sec) and the peak amplitude (1.84) than closed loop response as shown in Fig.6

Using LQR controller for a DC motor gives better settling time (1.99 sec) and peak amplitude (1) than PID controller response as shown in Fig.7 The LQR transfer function is:

$$\frac{\omega_m(s)}{e_a(s)} = \frac{4.6}{s^2 + 3.681s + 4.601}$$

The closed loop, PID and LQR step responses are plotted on the same figure as shown in Fig.8.

CONCLUSION

Speed control of a DC motor is an important issue, so this paper presents a design method to determine the optimal speed control using LQR method. The obtained results showed that the presented controller has shorter settling time and smaller overshoot than that of the traditional PID controller as shown in Table 1.

Table (1) Simulation Results

	Settling Time	Peak Amplitude	Over shoot
Closed Loop With Unity Feedback	3.83 sec	1.17	19.5%
PID Controller	2.76 sec	1.84	84.8%
LQR Controller	1.99 sec	1	0.525%

REFERENCES

Boumediene Allaoua, Barhim Gasbaoui and Barhim Mebarki, "Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy", Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, ISSN 1583-1078, Issue 14, January-June 2009, pp. 19-32

Firas Mohammed To'aima, "Optimal Control of Governor and Exciter for Turbogenerator using LQG", Baghdad University, College of Engineering, PhD Thesis, November 2006

Gwo-Ruey Yu and Rey-Chue Hwang, "Optimal PID speed control of brushless DC motors using LQR approach", Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on Vol 1, Issue , 10-13 Oct. 2004, pp: 473 – 478.

Hadi Delavari, Ghasem Alizadeh and Mohammad Bagher Bannane Sharifian, "Optimal Integral State Feedback Controller for a DC Motor", 2006, paper identification number 440.

Katsuhiko Ogata: System Dynamics; Prentice Hall International, Inc. Third Edition 1998.

Katsuhiko Ogata: Modern Control Engineering; Prentice Hall International, Inc. Fourth Edition 2002.

Neenu Thomas and Dr. P.Poongodi, "Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller", Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol. II, WCE2009, July 1-3, 2009, London, U.K.

Roozbeh Molavi, and Davood A. Khaburi, "Optimal Control Strategies for Speed Control of Permanent-Magnet Synchronous Motor Drives", World Academy of Science, Engineering and Technology 44, 2008, pp.428-432.

Sharaf, A.M., Elbakush, E., Altas, I.H., "Novel Control Strategies for Photovoltaic Powered PMDC Motor Drives', IEEE, 2007

Tutorial 12 about DC motor, instrumentation and process control by Hung Nguyen, 2006

LIST OF SYMBOLS:

A = n×n constant matrix
B = n×1 constant matrix
B_m = viscous friction coefficient (kgm^2/s)
C = 1×n constant matrix
D = constant
$e_a(t)$ = applied voltage (V)
$e_b(t)$ = back emf (V)
$i_a(t)$ = armature current (A)
J_m = moment of inertia of rotor (kg.m^2)
K_b = back emf constant (V/rad/s) (Kb =Ki)
K_i = torque constant (Nm/A)
L_a = armature inductance (H)
R_a = armature resistance (Ω)
t_f = final time(sec)
$T_L(t)$ = load torque (Nm)
$T_m(t)$ = motor torque (Nm)
u = control signal
x = state vector
y = output signal
$\theta_m(t)$ = rotor displacement (rad)
$\omega_m(t)$= rotor angular velocity (rad/s)

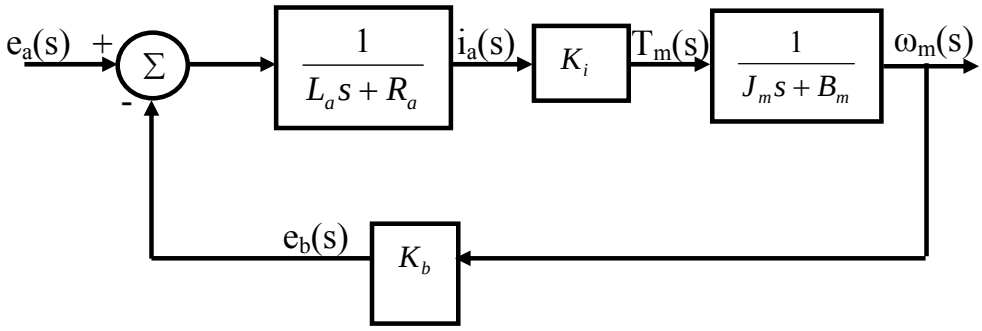


Fig. 2- DC-Motor System Block Diagram for speed (Plant System)

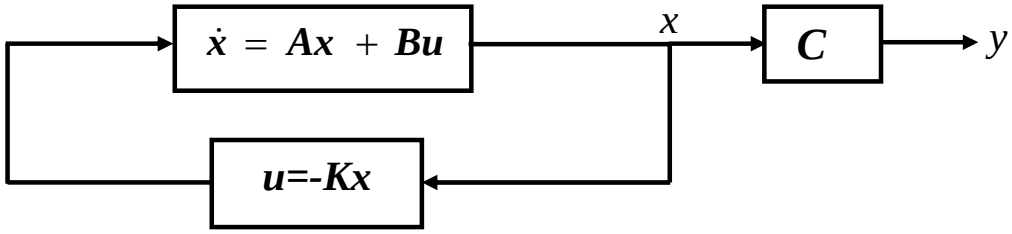


Fig. 3 Linear Quadratic Regulator Structure

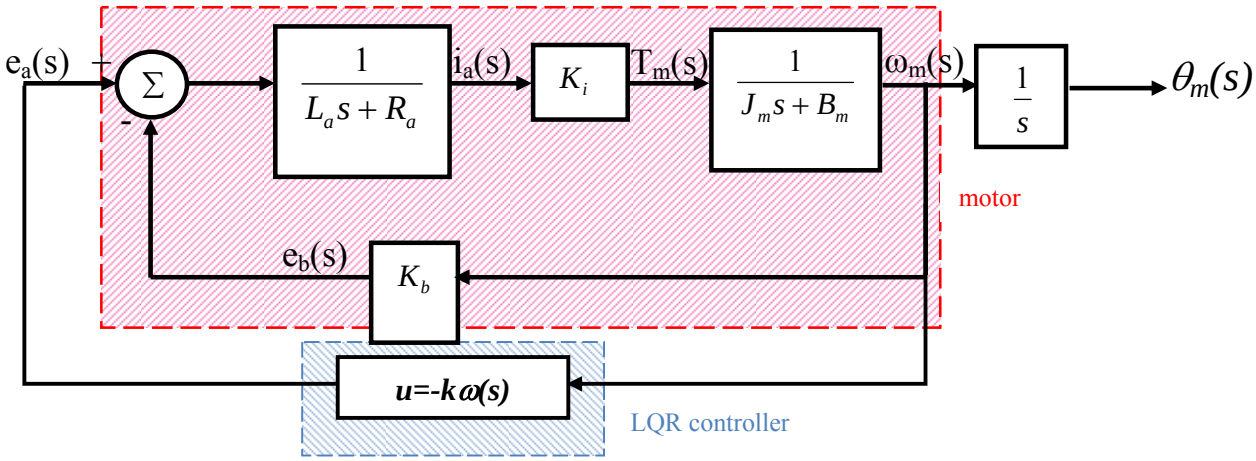


Fig. 4- DC-Motor System with LQR

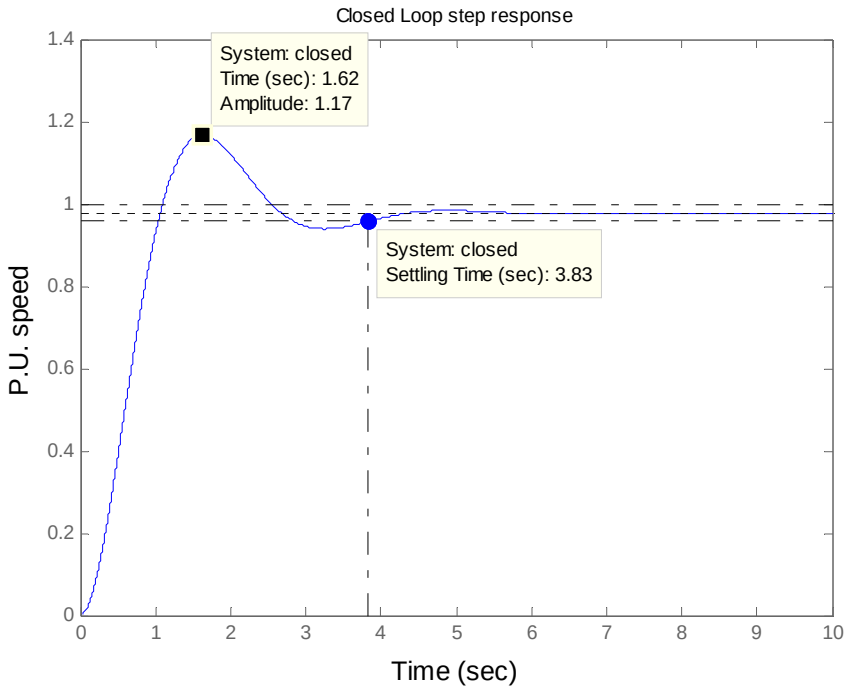


Fig. 5 Closed Loop Step Response

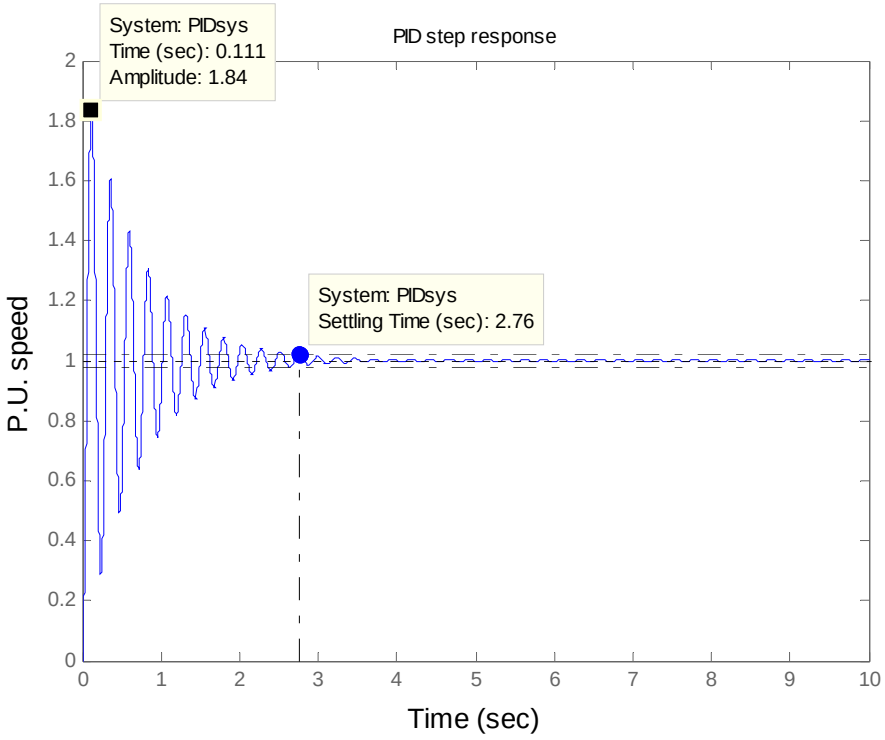


Fig.6 PID Step Response

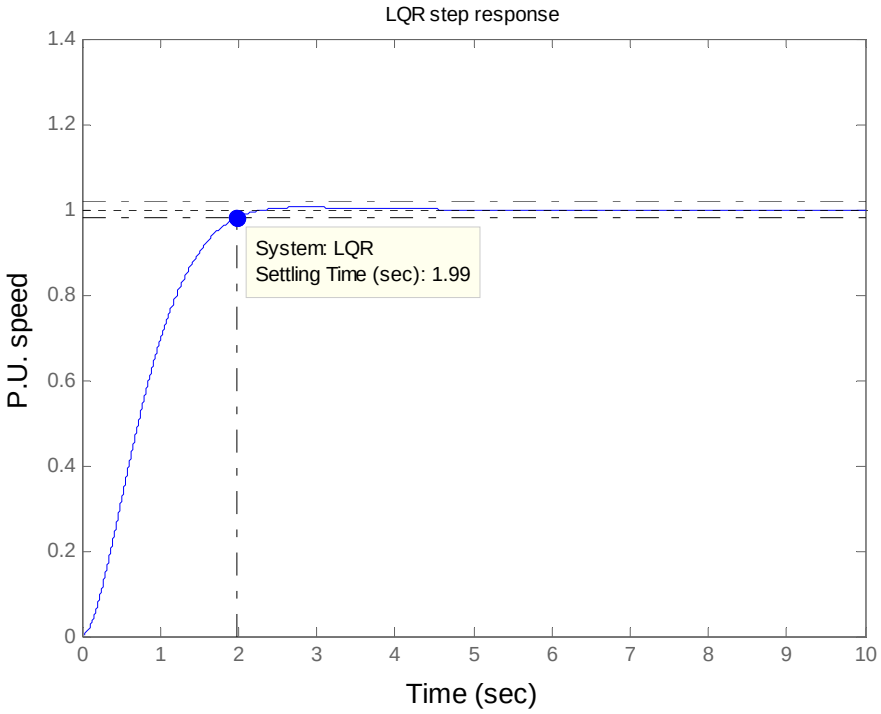


Fig.7 LQR Step Response

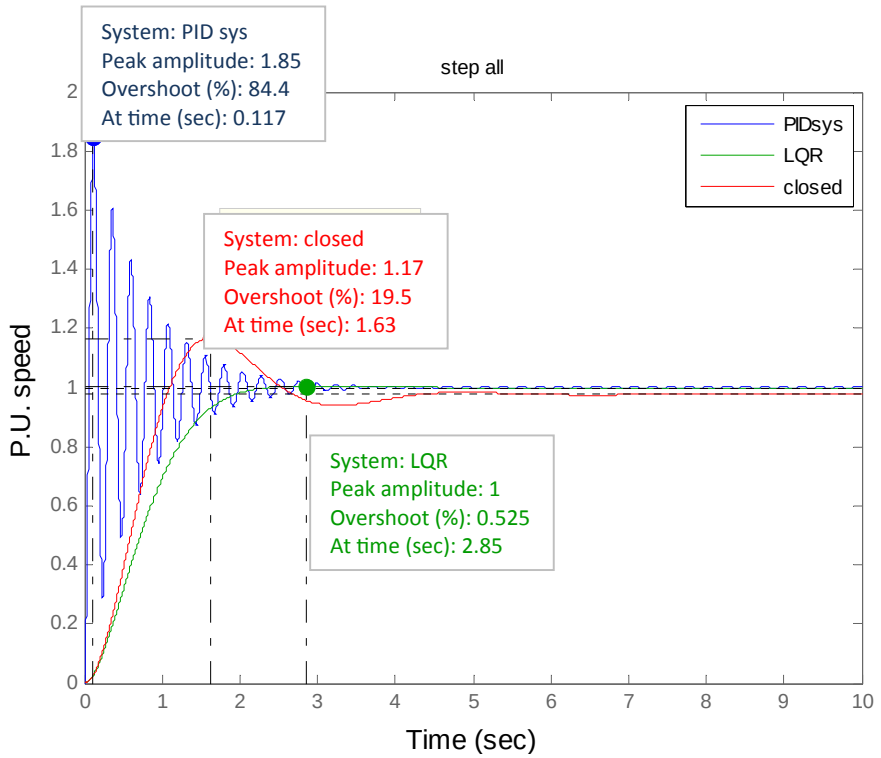


Fig.8 Closed loop, PID and LQR Step response

EFFCT OF HOOPS AND COLUMN AXIAL LOAD ON SHEAR STRENGTH OF HIGH-STRENGTH FIBER REINFORCED BEAM-COLUMN JOINTS

Jamal A. Farhan
Lecturer, Civil Engineering Dept. College of Engineering, University of Anbar

Zaid M. Kani
Lecturer, Dams Engineering Dept. College of Engineering, University of Anbar

Abstract

A reinforced concrete frame is referred as "RIGID FRAMES". However, researches indicate that the Beam-Column joint (BCJ) is definitely not rigid. In addition, extensive research shows that failure may occur at the joint instead of in the beam or the column. Joint failure is known to be a catastrophic type which is difficult to repair.

This study was carried out to investigate the effect of hoops and column axial load on the shear strength of high-strength fiber reinforced Beam-Column Joints by using a numerical model based on finite element method using computer program ANSYS (Version 11.0). The variables are: diameter of hoops and magnitude of column axial load.

The theoretical results obtained from ANSYS program are in a good agreement with previous experimental results.

تاثير الأطواق وحمل العمود المحوري على مقاومة القص لمفصل العتبة-العمود المصنّع من خرسانة عالية المقاومة والمسلحة بالألياف.

الخلاصة

يطلق على الهياكل في المنشات الخرسانية المسلحة مصطلح " الهياكل الجاسئة ". في حين أظهرت البحـوث بـشكل جلـي أن مفصل العتبة-عمود ليس جاسئا. بالاضافة الى ذلك فان البحوث المكثفة اوضحت أن الفشل قد يحدث في المفصل بـدلا مـن العمود أو العتبة وهذا النوع من الفشل يصعب أعادة تأهيله.

في هذه الدراسة تمت دراسة تأثير الاطواق والحمل المحوري للعمود على مقاومة مفاصل عمود- عتبة عاليـة المقاومـة ومسلحة بالالياف باستخدام نموذج عددي باعتماد طريقة العناصر المحددة وباستخدام برنامج (ANSYS) الاصـدار الحـادي عشر. وقد كانت المتغيرات قطر قضيب الطوق، مقدار الحمل المحوري.

لقد أظهرت النتائج المستحصلة من برنامج (ANSYS) والنتائج العملية من بحوث سابقة توافقا جيدا.

Keywords: Hoops, Column Axial Load, High Strength Concrete (HSC), Fiber Reinforced Concrete, Finite Elements, Beam-Column Joints (BCJ), ANSYS

1. INTRODUCTION

In building analysis and design, in general, the structures that contain slabs, beams and columns are referred as "Rigid Frames". However, researches indicate that, both reinforced concrete and structural steel frames, the beam-column joints are definitely not rigid; they are subjected to deformation under all types and stages of loadings. Moreover, extensive researches show that failure may occur at the joint instead of in the column or the beam. Thus, another way of looking at a joint is to be considered it as a member of the structure, as slabs, beams and columns etc [1].

In general, the adequate performance of beam-column joints depends primarily on providing the principal requirements for shear strength, confinement and anchorage of reinforcement passing through or terminating in the joint.

Some researchers studied the effect of using fiber reinforcement in the beam-column joints [2,3,4,5]. They show that the addition of fibers enhanced the ductility and strength of the beam-column joints.

With the production of High Strength Concrete, enhanced material properties such as higher compressive and tensile strength and elastic modulus.

This study was carried out to investigate the effect of hoops and column axial loads on the strength of high-strength fiber reinforced beam-column joints by using analytical model based on finite element method and using computer program ANSYS (version 11.0)[6]. The variables considered are: Diameter of hoops and magnitude of column axial load.

The comparison between the theoretical results obtained from the suggested model and the experimental results from previous research [1] shows a good agreement.

2. TESTING PROGRAM

The specimens are classified into three groups. Group.1 specimens includes three specimens with out fiber reinforcement, the first is without hoops while the others are reinforced with one hoop of (4 and 8mm) diameters. Group.2 includes three specimens having the same properties of group.1 except that they contain the optimum volume fraction of hooked fibers which equals 1% [1], all the two groups are tested under a constant column axial load equal to (100 kN). Group.3 includes two specimens contain 1% of fibers and without hoop reinforcement tested under (150 and 200 kN) column axial loads. **Table.1** shows the designation and properties of the specimens.

All the eight beam-column joints have identical beam and column sizes. **Fig.1** shows the details of the specimens, these dimensions were used previously by several investigators [7, 8, and 9]. The beams were 300mm depth by 150 mm width and the columns were 200 mm depth by 150 mm width.

All columns were reinforced with four 16 mm longitudinal bars and 8 mm closed ties at 85 mm centre to centre spacing. All beams were reinforced with three 18 mm bars on tension side and three 12 mm bars on compression side. This resulted in an under-reinforced beam with tension steel percentage slightly under 1.9%. Beam stirrups were 8 mm closed ones spaced at 130 mm centre to centre.

Ordinary Portland cement from Kubaysa factory was used. This cement conforms to Iraqi standards [10]. It has already been found that this cement was the most suitable for high strength concrete [11].

Fine aggregate passing through 4.75mm sieve conforming to ASTM C33 specifications [12] was used, the fineness modulus was 2.5 and the specific gravity was 2.6.

Natural coarse aggregate was used. Many references have shown that the smaller size aggregates produce higher strength values. Therefore maximum size was chosen to be 9.5 mm. Grading of these aggregates conforms to ASTM C33 specifications [12]. The bulk specific gravity of these aggregates was 2.7.

For high strength concrete production, water content of mix is reduced, and the associated reduction in workability is compensated for by using superplasticizer (Melment) which are chemical admixtures. The optimum dosage for this admixture was found to be 5% of weight of cement and the reduction of water for this dosage was 27.7%.

Three samples of reinforcing steel bars for each size of bars (8,12,16, and 18)mm were tested, the results of tests are shown in **Table.2**. Further tests on separate samples were made using the Instron testing machine. Results were automatically recorded by a plotter, which was attached to the testing machine. The purpose of these tests was to determine the stress strain relationship of the bars, which were used in the analytical model.

Cylindrical compressive strength (f'_c), modulus of rupture (fr), poison's ratio (v) and modulus of elasticity (Ec) for the concrete of the eight specimens are included in **Table.3**.

3. EXPERIMENTAL PROGRAM

The testing rig dimensions were (3x4)m with a depth of 1.1m. The testing rig consisted of a reinforced concrete mass with a special reinforcing bars used for fixing the large steel I-sections as reaction points for bracing the specimens and applying the loads. It was insured that the testing rig was stiff enough to resist all possible loadings [1].

The specimens were tested using two hand operating jacks; the first was used to apply the column axial load (N_u), while the second was used to apply the beam load (V). Ball and socket type hinges, designed and constructed especially for allowing rotation in the plane of the frame only, were used to brace the columns in the two sides and the bottom. However for the loading points under the two jacks, roller type hinges designed and constructed especially for allowing movement in the direction perpendicular to the applied load only, were used to eliminate fixity. All these details are illustrated in **Fig.2**.

4. ANALYTICAL MODELLING

Building the analytical model consists of:

4.1 Element Type

The beam-column joint was modelled in ANSYS 11.0 [6] with Solid 65, Solid 45 and Link 8 elements. Solid 65 element was used to model the concrete and Solid 45 was used to model steel plates at supports and under testing loads. These elements have eight nodes with three degrees of freedom at each node which is the translations in x, y and z directions. Link8 element was used to model reinforcement. This three dimensional bar element has two nodes with three degrees of freedom at each node which is translations in x, y and z directions.

4.2 Sectional Properties (Real Constants)

The real constants considered for Solid 65 were; volume ratio and angle of orientation of reinforcement. Since there was no smeared reinforcement, the real constants (volume ratio and orientation angles) were set to zero. No real constant sets exist for Solid 45 element. The real constant that considered for Link8 elements were sectional areas.

4.3 Material Properties

Parameters needed to define the material models are given in **Table.4**. As seen in this table, there are multiple parts of the material model for each element. Material model number 1 refers to Link8 element which is used to model reinforcing bars. Link8 requires linear and bilinear isotropic. **Fig.3** is used to define the bilinear stress-strain relationship which is important for the computer solution convergence[13]. For example the material properties of 12mm bar diameter are illustrated in **Table.2**, which are the modulus of elasticity, yield stress and ultimate strength.

Material model number 2 refers to solid65 element for specimen No.1 which was used to model concrete. Solid65 element requires linear isotropic and multi-linear isotropic material properties to properly model concrete. Ex is the modulus of elasticity of concrete (E_c), and PRXY is the Poisson ratio (v).For the normal weight concrete based on a dry unit weight (2200-2500 kg/m3); E_c was taken as in (ACI 318) [14]:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

According to Bangash [15], the value of poisons ratio can be taken equal to (0.2). In this study the values of the modulus of elasticity and poisons ratio are determined from tests and used in **Table.4**. According to Desayi and Krishnan [16], the compressive unixial stress-strain relationship for concrete model is obtained using equations (2), (3), and (4).

$$f = \frac{E_c\,\varepsilon}{1+\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}\right)^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_o = \frac{2f'_c}{E_c} \quad (3)$$

$$E_c = \frac{f}{\varepsilon} \quad (4)$$

Where:

f = stress at any strain ε, N/mm2. ε = strain at stress f. ε_o= strain at the ultimate compressive strength f'_c. E_c= Modulus of elasticity for concrete (equation 1)

The multi-linear isotropic stress-strain implemented requires the first point of the curve to be defined by the user. It must satisfy Hooks law defined by equation (4). The multi-linear curve is used to help with convergence of the nonlinear solution algorithm. In this study, the concrete stress-strain relationship was determined from tests and used in **Table.4**

Concrete material model in ANSYS [6] requires that different constants be defined. These 9 constants are:

1. Shear transfer coefficients for an open crack;
2. Shear transfer coefficients for a closed crack;
3. Unixial tensile cracking stress;
4. Unixial crushing stress (positive);
5. Biaxial crushing stress (positive)
6. Ambient hydrostatic stress state for use with constants 7 and 8;
7. Biaxial crushing stress (positive) under the ambient hydrostatic stress state (constant 6);
8. Unixial crushing stress (positive) under the ambient hydrostatic stress state (constant 6);
9. Stiffness multiplier for cracked tensile condition.

Typical shear transfer coefficients range from 0.0 to 1.0, with 0.0 representing a smooth crack (complete loss of shear transfer) and 1.0 representing a rough crack (no loss of shear transfer). The shear transfer coefficients for open and closed cracks were determined using the work of Kachlakev, et al. [17] as a basis. Convergence problems occur when the shear transfer coefficient for the open crack dropped below 0.2. The presence of steel fibers in concrete mixture affects the value of this factor significantly because it increases the shear strength of concrete, thus in this study different values for this factor were used for each specimen to simulate the effect of type and volume fraction of steel on the beam-column joint model.

The unixial cracking stress is based upon the modulus of rapture. This value can be determined using the equation ACI code [14]:

$$f_r = 0.62\sqrt{f'_c} \qquad (5)$$

In this study the cracking stress was determined from tests and used in **Table.4**. The unixial crushing stress in this model is based on the unixial unconfined compressive strength (f'_c). In this study a value of (-1) is given to the crushing coefficient to turn off the crushing capability of the concrete element and prevent local failure. The other five coefficients were given the value 0.0.

Material model number 3 refers to solid45 element which is used to model steel plates at supports and under testing loads. It requires linear isotropic properties only.

4.4 Modeling of Joint

The beam-column joint was modeled by two solid models. The block model was used to model concrete and steel plates while lines were used to model reinforcement. After the solid model was constructed, it will be meshed to form the finite element model. **Fig. 4, 5 and 6** shows the solid model of the beam-column joint, reinforcement and the finite element model after meshing respectively.

The loads were applied on the columns and beams through the steel plates, the axial load applied on the center of the column, while the transverse (shear) force was applied at (0.2m) from the beam end. For nonlinear solution, the shear force was divided in to small parts (time stepping).

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Failure Load

All specimens failed in the joint as a shear failure, **Fig.7**. **Table.5** shows the analytical and experimental failure load and the ratio of analytical to experimental result.

5.2 Effect of Hoops on the Joint Strength

Fig.8 illustrates the effect of including hoops of different diameters, (0, 4mm and 8mm), but with a single mid-depth layer in the joint, on ultimate load capacity of the joint for the experimental and analytical results. In this work it was found from experimental results that the addition of a single mid-depth 8mm hoop for the beam-column joint with out fiber reinforcement increase the joint load capacity. The addition of this hoop bar increased the load capacity for SP-3 (reinforced with 8mm deformed hoop bar) upon

SP-1 (unreinforced) by 44.9%. It seems from this work that a preferred solution for joint strengthening might be with a combination of two factors (1% volume fraction of hooked fibers plus single mid-depth 8mm hoop bar, e.g. SP-6). As can be seen from the test results, that latter led to 114% strengthening of the beam column joint upon SP-1.

Previous research [9,21] supports the recommendation in this work and indicates beyond doubt that more layers of hoops in the joint leads to less stress development in them. Therefore it is expected, if adequate bond and confinement conditions are provided, that for higher hoop contribution increasing the size of a central hoop is more advantageous than increasing the number of layers.

Fig. 8 also shows that the analytical model represents accurately the effect of diameter of hoops on joint strength for both plain and fiber reinforced concrete beam-column joints, and it was in good agreement with the experimental results.

5.3 Effect of Column Axial Load

One of the primary conditions in the design of beam-column joints is maintaining the required axial load capacity [22]. Tests [8, 23] showed that the presence of axial compression load results in an increase in the shear strength of a beam-column joint. Therefore in a given joint and beam moment capacity an increase in axial compression in the column resulted in less joint shear reinforcement requirements [24]. **Fig.9** shows the effect of axial load on the joint strength. The increase of the column axial load from 100kN to 200kN will increase the joint strength by 21%.

Fig. 9 also shows that the analytical model succeeded in representing the effect of column axial load on the strength of the joint only with the (150 kN) load while it gave an obvious overestimation and underestimation for the (100 kN) and (200 kN) load, respectively.

6. CONCLUSIONS

Based on the results obtained in this study, the following can be concluded:

1- The results predicted by the analytical model were in good agreement with the experimental results. The maximum difference in predicting the failure load is 9%. This indicates that the analytical model to predict the effect of hoops and column axial load on the beam-column joint strength can be used instead of experimental model which may be expensive and leads to time consumption.

2- Transverse reinforcement (hoops) in the joint improves the strength. If one 8mm hoop bar is added for the joint without fiber reinforcement the increase in strength is 44.9% while if it is added to a joint reinforced by fibers (with 1% volume fraction), the increase is 114%.

3- Increasing the column axial load leads to an increase in the joint strength, for example the increase of this load from 100kN to 200 kN increases the strength by 21%

7. REFERENCES

1- Kani, Z.M.,"**Capacity of High Strength Fiber Reinforced Beam-Column Joints**", M.Sc thesis, University of Technology, Baghdad, Iraq, 1997

2- Gefken, P.R and Ramey, M.R., "**Increased Joint Hoop Spacing in Type 2 Seismic Joints Using Fiber Reinforced Concrete",** ACI Structural Journal, Vol. 86, No.2, March-April ,1989, pp. 168-172.

3- Jindal, R.L. and Hassan, K.A., "**Behaviour of Steel Fibers Reinforced Concrete Beam-Column Connections**", Fibre Reinforced Concrete, ACI Publication, SP-81, 1984, pp. 107-123.

4- Craig, R. J.,Mahadev, S., Patel, C. C., Viteri, M. and Kertesz, C., "**Behaviour of Joints Using Reinforced Fibrous Concrete",** Fibre Reinforced Concrete, ACI Publication, SP-81, 1984, pp. 125-167

5- Henager, C. H., "**Steel Fibrous, Ductile Concrete Joint for Seismic-Resistant Structures** ", Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, ACI publication, SP-53, 1997, pp. 371-386.

6- ANSYS, "**ANSYS Help**", Release 11.0, Copyright 2007.

7- Taylor, H. P. J.,"**The Behaviour of Insitu Concrete Beam-Column Joints**", London,Cement and Concrete Association, May, 1974, Technical Report No. 42.492, 32 pp.

8- Sarsam, K. F.," **Strength and Deformation of Structural Concrete Joints**", Ph.D. Thesis, University of Manchester Institute of Science and Technology, 1983, 340 pp.

9- Hadi Tuamma Al-Jubbori, " **The Effect of Hoops on The Shear Strength of Concrete Beam-Column Joints**", M.Sc Thesis,

University of Technology, Baghdad, Iraq, 1986.

10- المواصفات القياسية العراقية/5 " سمنت بورتلاند الاعتيادي وسمنت بورتلاند سريع التصلب "، هيئة المواصفات والمقاييس العراقية ، مجلس التخطيط ، بغداد ، 1985، 8 صفحة .

11- Abdullah, A.M.,**" Shear Strength Of High-Strength Concrete Beams"**, M.Sc Thesis, University of Technology, Baghdad 1987, 120 pp.

12- ASTM Designation C 33-86., **"Concrete Aggregates"**, 1989 Annual Book of ASTM , Standard American Society for Testing & Materials , Philadelphia, Pennsylvania, Section4, Vol. 04-02, pp 10-15.

13- European Committee for Standardization (CEN), Eurocode 3, **"Design of Steel Structures"**, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, DD ENV 1993-1-1, EC3.

14- ACI Committee 318**, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-2008) and Commentary (ACI 318RM-2008)"**, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA, 2008.

15- Bangash, M.Y.H., **"Concrete and Concrete Structures: Numerical Modelling and Applications"**, Elsevier Science Publishers Ltd., London, England, 1989.

16- Desayi, P. and Krishnan, S., **"Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete"**, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 61, March 1964, pp. 345-350.

17- Kachlakev, D., Miller, T. and Yim, S., **"Finite Element Modelling of Reinforced Concrete Structures Strengthened with FRP Laminates"**, Final Report, SPR 316, May 2001, 99 p.

18- ACI-ASCE committee 352 Report; **"Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures";** ACI Journal, V.82, No.3, May-June, 1985, pp. 266-283.

19- Ehsani, M.R.,and Wight, J.K., **"Exterior Reinforced Concrete Beam –to- Column Connections Subjected to Earthquakes-type Loading",** ACI Journal, V.82, No.4, July-August, 1985, pp. 449-492.

20- Uzumeri, S. M., **"Strength and Ductility of Cast in Place Beam-Column Joints"**, Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, ACI Publications, SP-53, 1977, PP. 293-350.

21- Park, R., and Paulay, T., **"Reinforced Concrete Structures"**; John Wiley and Sons, 1975, 769 PP.

22- Lee, D. L. N., Wight, J. K., and Hanson, R.D.; **"RC Beam-Column Joints under Large Load Reversals"**, Journal of the Structural Division, V.103, No.ST-12, December, 1977, PP. 2337-2350.

23- Paulay, T., Park, R., and Pristley, M. J. M., **"Reinforced Concrete Beam-Column Joints under Seismic Actions"**, ACI journal, Nov., 1978, PP. 585-593.

24- Marques, J. G. L., and Jirsa, J. O., **"A Study of Hooked Bar Anchorage in Beam-Column Joints"**, ACI journal, V.72, No.5, May, 1975, PP. 198-209.

Table.1 Designation and Properties of Specimens

SP	Type; V_f %	D_H (mm)	N_u kN
1	0.0	-	100
2	0.0	4	100
3	0.0	8	100
4	H1.0	-	100
5	H1.0	4	100
6	H1.0	8	100
7	H1.0	-	150
8	H1.0		200

Table.2 Properties of Reinforcement

Diameter	Modulus of elasticity (GPa)	f_y MPa	f_u MPa
8	202.42	466	598
12	203.55	440	606
16	201.0	507	661
18	197.4	531	704

H = hooked fibers, V_f %= percentage of fiber volume fraction, D_H= Diameter of hoop and N_u= Column axial Load.

Table.3 Test Results of Material Samples

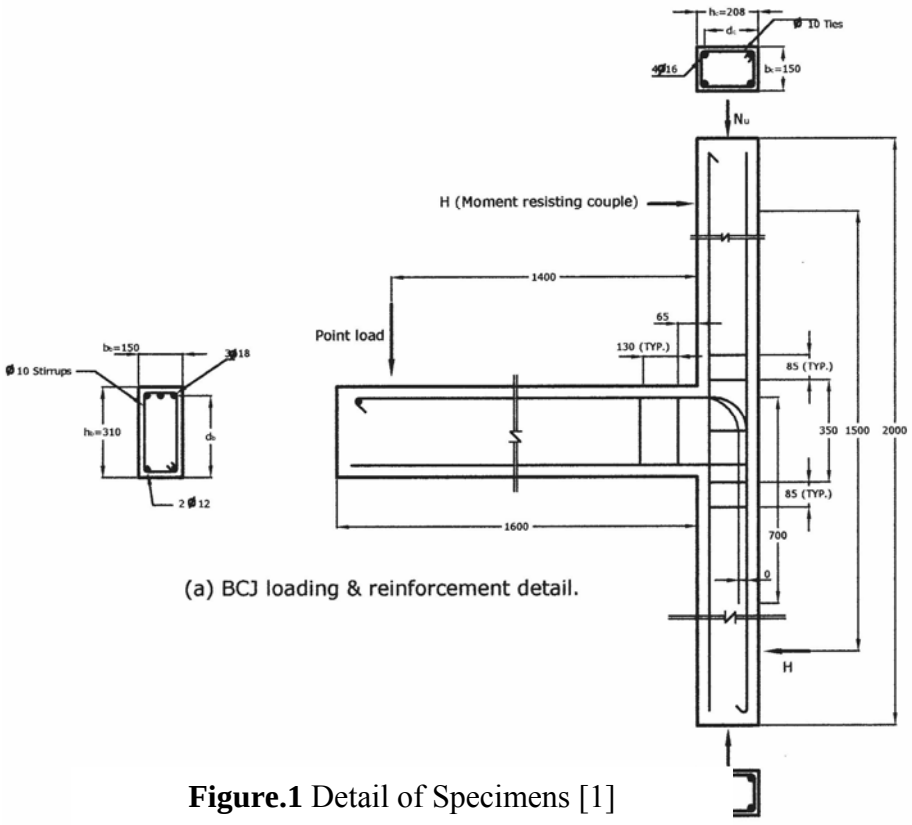
SP	$f'_c(MPa)$	$f_r(MPa)$	$\nu(mm/mm)$	$E_c\,(kN/mm^2)$
1	60.40	7.500	0.138	34.09
2	61.10	8.950	0.155	33.21
3	59.40	7.200	0.145	33.48
4	67.50	11.37	0.240	33.33
5	67.95	12.50	0.235	34.65
6	66.70	11.00	0.237	32.90
7	66.30	10.86	0.243	32.69
8	68.54	10.66	0.248	35.26

Table.4 Material Models For the Elements

<table>
<tr><th>Material Model Number</th><th>Element type</th><th>Material Properties</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Link8</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">Linear Isotropic</th></tr>
<tr><td>EX</td><td>203550MPa</td></tr>
<tr><td>PRXY</td><td>0.3</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th colspan="2">Bilinear Isotropic</th></tr>
<tr><td>Yield stress</td><td>440MPa</td></tr>
<tr><td>Tangent modulus</td><td>20.3MPa</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>2</td><td>SOLID65</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">Linear Isotropic</th></tr>
<tr><td>EX</td><td>34090MPa</td></tr>
<tr><td>PRXY</td><td>0.138</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th colspan="3">Multilinear Isotropic</th></tr>
<tr><td></td><td>Strain</td><td>Stress</td></tr>
<tr><td>Point1</td><td>0.0005</td><td>17.5MPa</td></tr>
<tr><td>Point2</td><td>0.001</td><td>34.5MPa</td></tr>
<tr><td>Point3</td><td>0.0015</td><td>48.5MPa</td></tr>
<tr><td>Point4</td><td>0.002</td><td>60.4MPa</td></tr>
<tr><td>Point5</td><td>0.003</td><td>60.4MPa</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th colspan="2">Concrete</th></tr>
<tr><td>ShrCF-OP</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>ShrCF-CL</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>UnTensSt</td><td>7.5MPa</td></tr>
<tr><td>UnCompSt</td><td>-1</td></tr>
<tr><td>BiCompSt</td><td>0</td></tr>
<tr><td>HydroPrs</td><td>0</td></tr>
<tr><td>BiCompSt</td><td>0</td></tr>
<tr><td>UnTensSt</td><td>0</td></tr>
<tr><td>TenCrFac</td><td>0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>3</td><td>SOLID45</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">Linear Isotropic</th></tr>
<tr><td>EX</td><td>200000MPa</td></tr>
<tr><td>PRXY</td><td>0.3</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Table.5 Test Results of Beam-Column Joint

SP	Type; V_f %	D_H (mm)	N_u kN	Ultimate Load (kN)		Analytical / Experimental
				Experimental	Analytical	
1	0.0	-	100	45.2	48.0	1.06
2	0.0	4	100	56.0	54.0	0.96
3	0.0	8	100	65.5	59.5	0.91
4	H1.0	-	100	77.5	82.0	1.06
5	H1.0	4	100	89.0	86.0	0.97
6	H1.0	8	100	96.5	90.0	0.93
7	H1.0	-	150	87.2	88.0	1.01
8	H1.0	-	200	93.5	88.0	0.94



(a) BCJ loading & reinforcement detail.

Figure.1 Detail of Specimens [1]

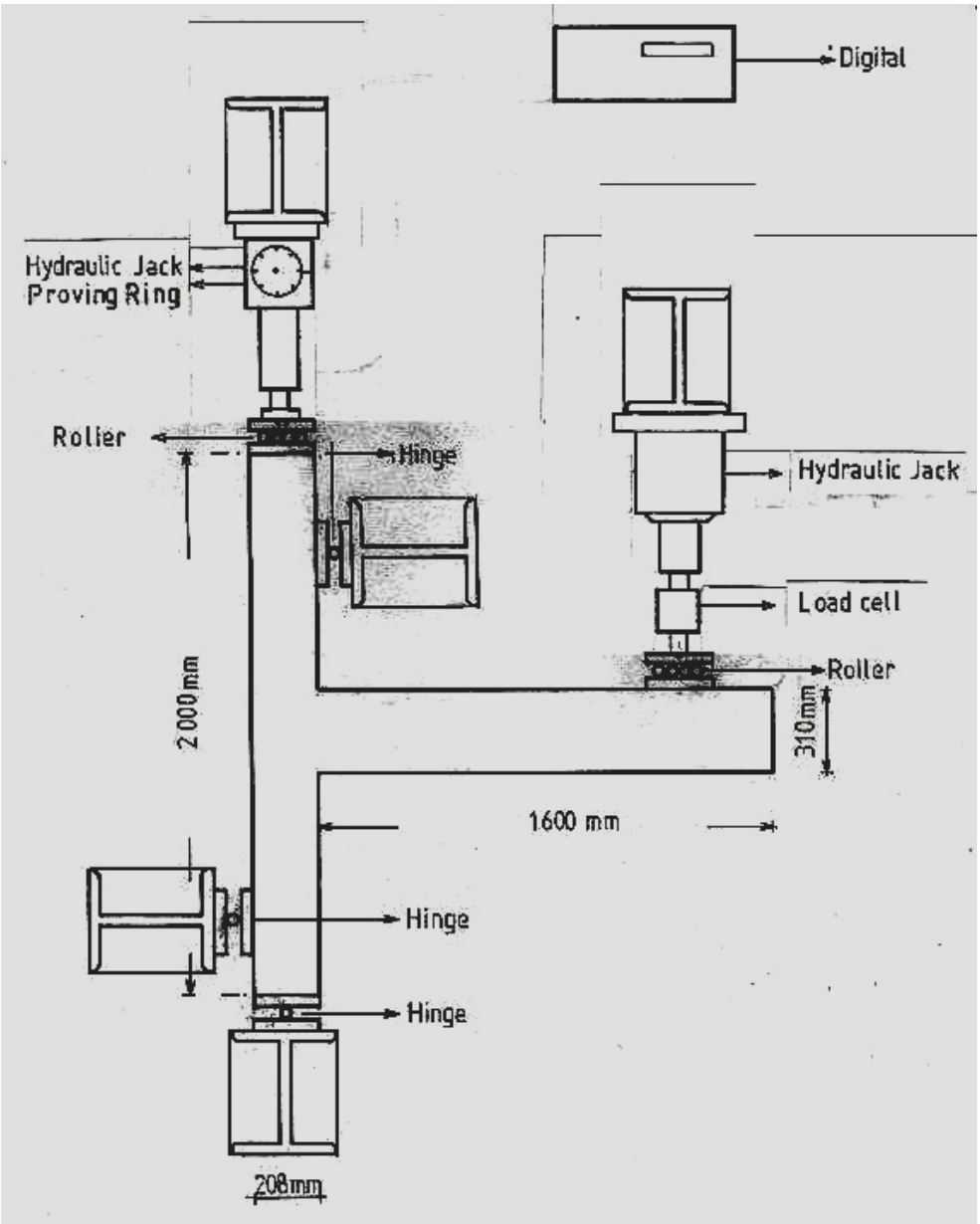


Figure.2 Testing Instrumentation [1]

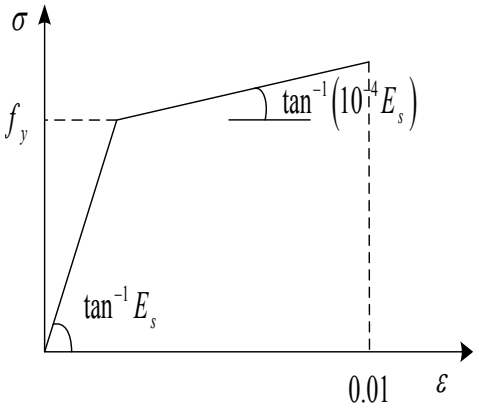


Figure.3 Bilinear stress-strain relationship of steel bars for computer calculations [13]

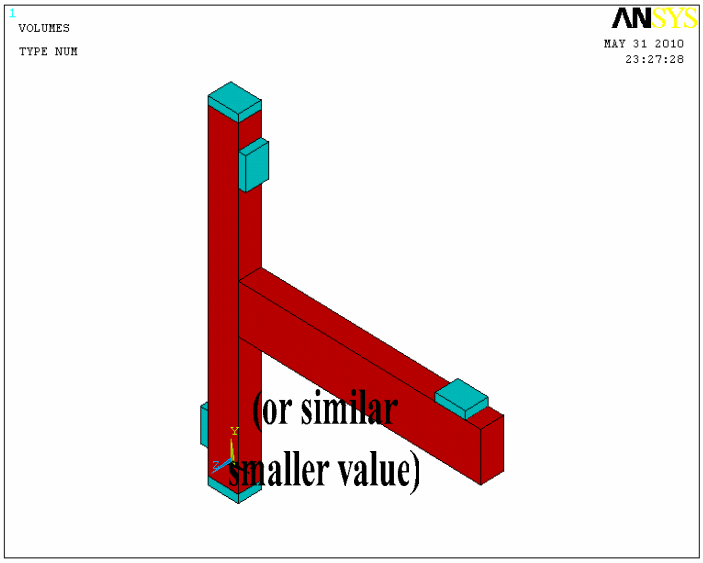


Figure.4 Solid model of beam-column joint

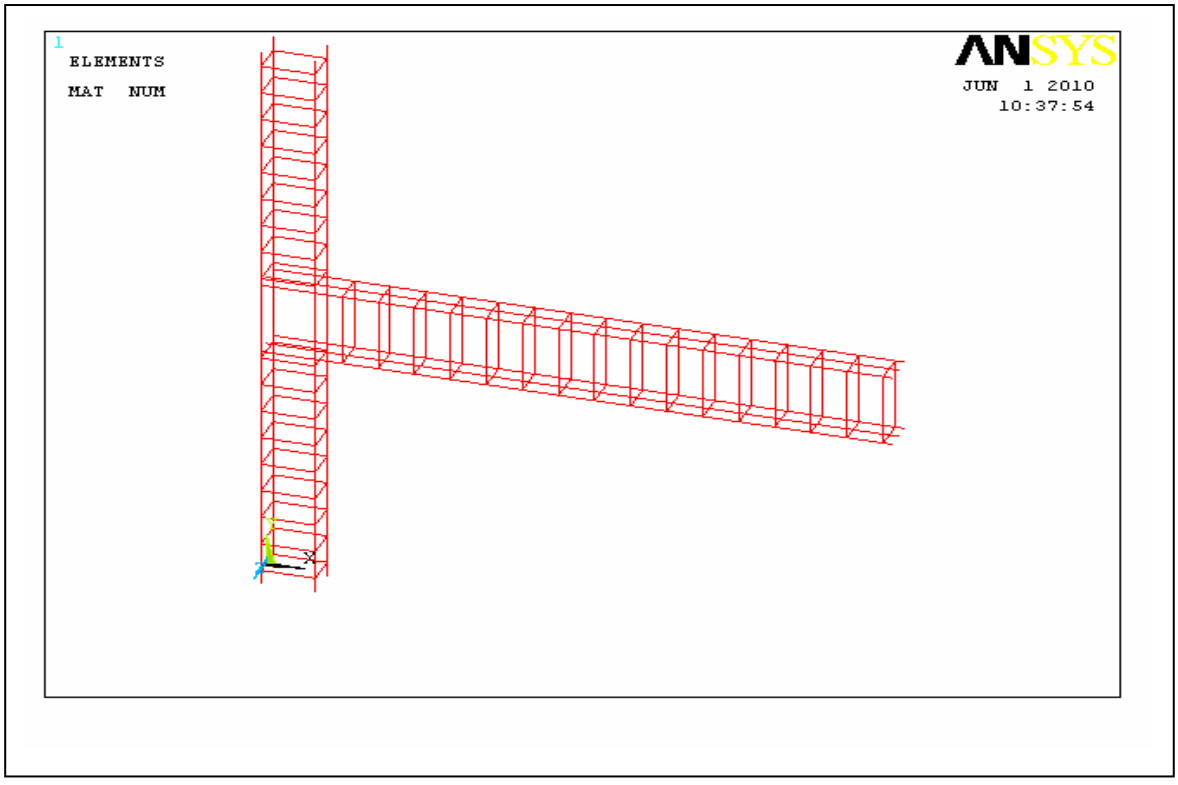


Figure.5 Solid Model of Beam-Column Reinforcement

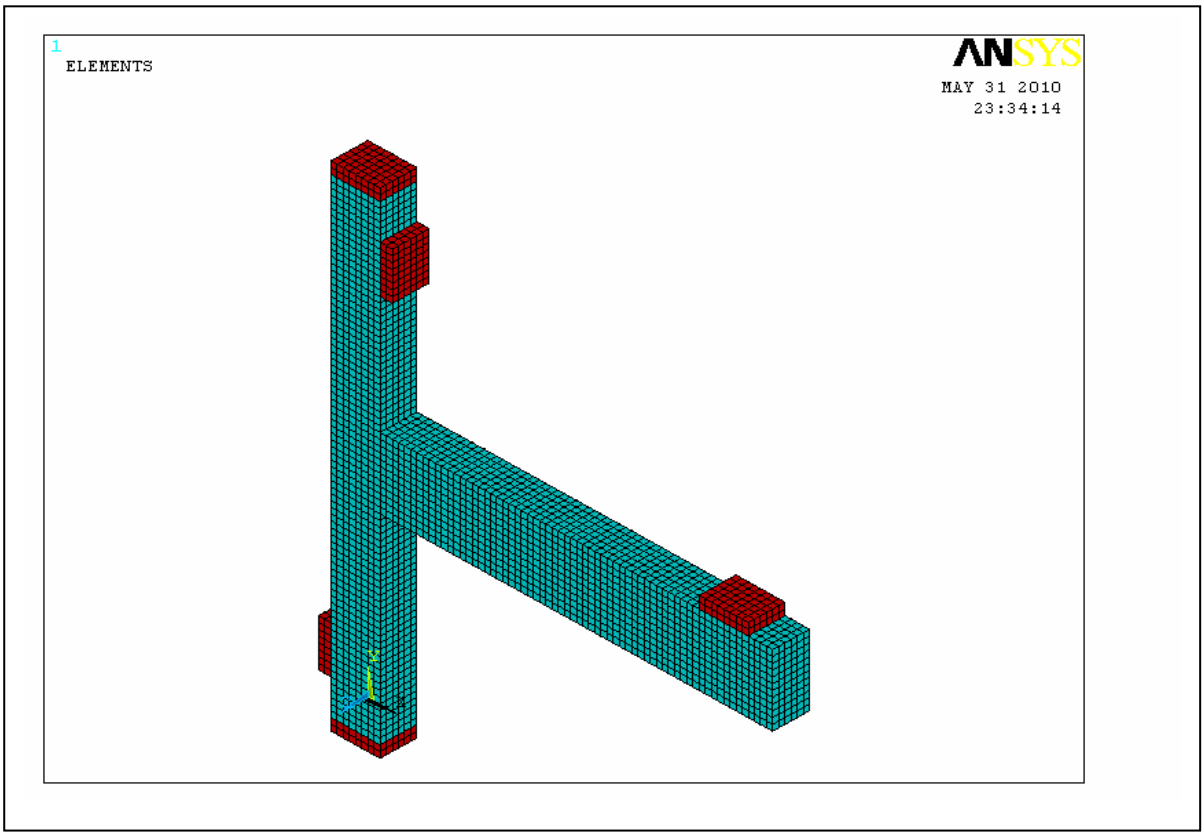


Figure.6 Finite Element Model of Beam-Column Joint

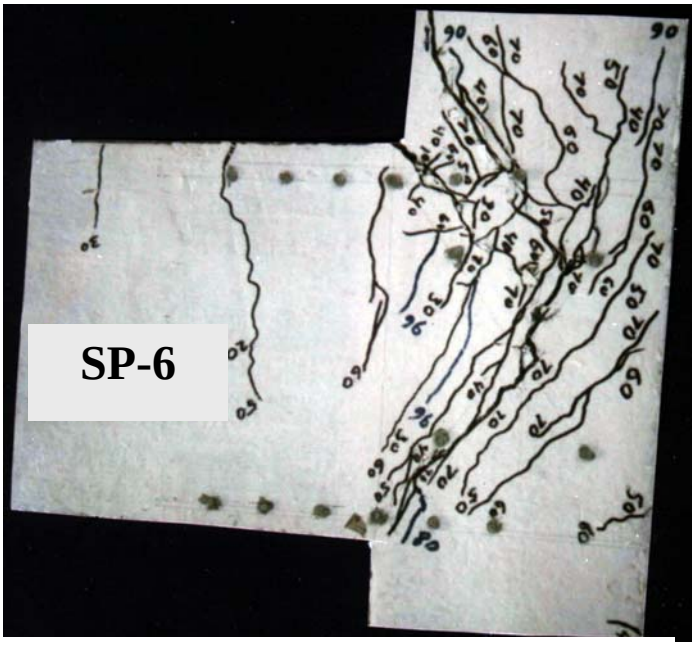


Figure.7 Cracked Specimen after Failure [1]

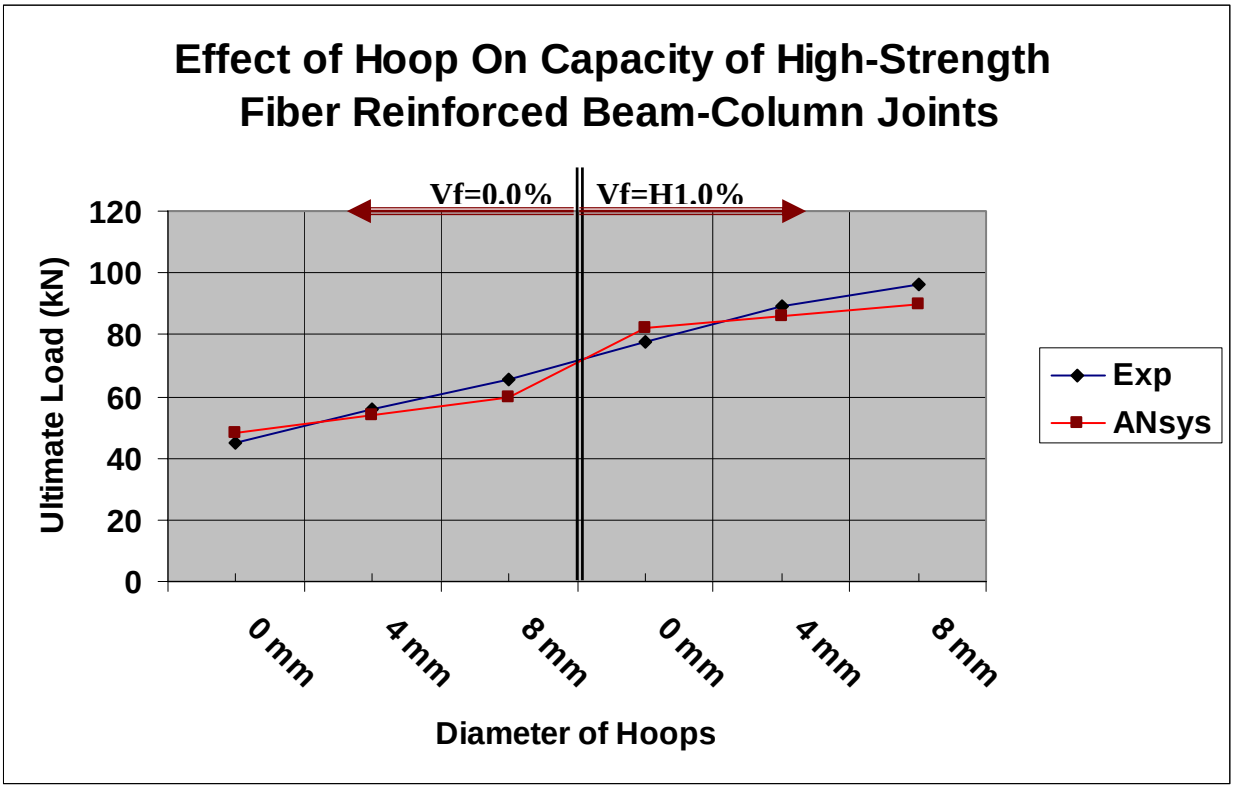


Figure.8 Effect of Hoop Diameter on Joint Strength

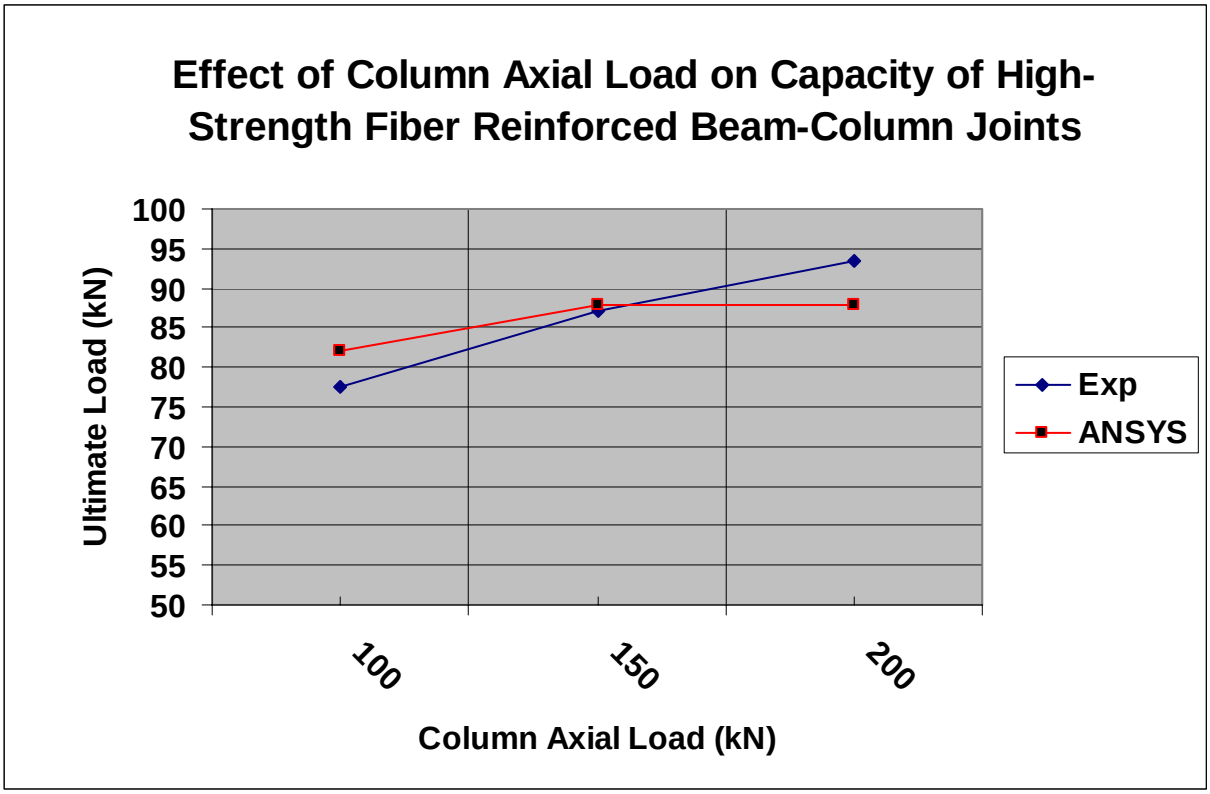


Figure. 9 Effect of Column Axial Load on Joint Strength

EVALUATION OF ELECTRONIC GOVERNMENT SECURITY ISSUES APPLIED TO COMPUTER CENTER OF BAGHDAD UNIVERSITY (CASE STUDY)

Ahmad O. Salman, Prof. Dr. Ghassan H. Abdul-Majeed, Ass. Prof. Dr. Tarik Z. Ismaeel

Abstract

Information security contributes directly to increase the level of trust between the government's departments by providing an assurance of confidentiality, integrity, and availability of sensitive governmental information. Many threats that are caused mainly by malicious acts can shutdown the e-government services. Therefore the governments are urged to implement security in e-government projects. Some modifications were proposed to the security assessment multi-layer model (*Sabri model*) to be more comprehensive model and more convenient for the Iraqi government. The proposed model can be used as a tool to assess the level of security readiness of government departments, a checklist for the required security measures and as a common security reference in the government organizations of Iraq. In order to make this model more practical, applicable and to represent the security readiness with a numerical value, evaluation modeling has been done for this model by using fuzzy logic tool of MATLAB R2010a program.

Since the risk assessment is considered as a major part in the information security management system, an effective and practical method to assess security risk is proposed by combining FEMRA (fuzzy expert model risk assessment) and Wavelet Neural Network (WNN). The fuzzy system is used to generate the training data set in order to make the required training for WNN. The proposed method is applied when a risk assessment case study is made at the computer center of Baghdad University. It is found from the numerical results that the risk levels obtained by WNN are (with maximum of 58.23) too close to these calculated from FEMRA (with maximum of 60), with an average error of 5.51%. According to these results, the proposed method is effective and reasonable and can provide the support toward establishing the e-government.

الخلاصة

تساهم أمن المعلومات بصورة مباشرة بزيادة مستوى الثقة بين الأقسام الحكومية عن طريق ضمان السرية، السلامة، وتوفير المعلومات الحكومية الحساسة.تسبب تهديدات عديدة ناشئة من أفعال خبيثة إيقاف خدمات الحكومة الألكترنية. لذلك تلح الحكومات على تنفيذ الأمنية في مشاريع الحكومة الألكترونية. تم أقتراح بعض التعديلات على نموذج تقييم أمن المعلومات ذو الطبقات المتعددة (نموذج صبري) لكي يكون نموذج شامل وملائم أكثر للحكومة العراقية. هذا النموذج من الممكن استخدامه كأداة لتقييم مستوى الأستعداد الأمني للأقسام الحكومية، وكقائمة جرد بالتدابير الأمنية المطلوبة وكمرجع عام للأمنية في المؤسسات الحكومية في العراق. لكي يتم جعل هذا النموذج عمليا وقابل للتطبيق بصورة أكثر ولكي يتم تمثيل الأستعداد الأمني بقيمة رقمية، فقد تم عمل نمذجة تقييم للنموذج المطور بأستخدام أداة المنطق المضبب في برنامج الماتلاب R2010a.

بما أن تقييم الخطر يعتبر جزء رئيسي ومهم في نظام أدارة أمن المعلومات لذا تم أقتراح طريقة فعالة وعملية لذلك عن طريق جمع تقييم الخطر بنظام الخبير المضبب مع الشبكة العصبية للمويجات.تم أستخدام النظام المضبب لتوليد مجموعة بيانات التدريب لغرض التدريب المطلوب للشبكة العصبية. تم تطبيق هذه الطريقة عندما تم عمل دراسة حالة تقييم الخطر في مركز الحاسبة لجامعة بغداد. لقد وجد من النتائج العددية لهذه الدراسة أن مستويات الخطر التي تم الحصول عليها بطريقة شبكة المويجات العصبية (أعلى مستوى خطر كان 58.23) كانت قريبة جدا لتلك النتائج التي تم حسابها بطريقة النظام المضبب (أعلى مستوى خطر كان 60) ، معدل الخطأ للنتائج كانت قيمته5.51%. النتائج التي تم الحصول عليها تبين أن هذه الطريقة فعالة ومعقولة ويمكن أن توفر الدعم بأتجاه تأسيس الحكومة الالكترونية.

KEY WORDS: E-Government, Security Model, Risk Assessment, Fuzzy Expert System, Wavelet Neural Network (WNN)

1. INTRODUCTION

E-Government is a kind of governmental administration, which is based on electronic information technology. The essence of e-government is using electronic information technology to break the boundary of administrative organizations, and build up a virtual electronic government [Zhitian and Congyang,2008]. The concept of an e-government system is to provide access to government services anywhere at anytime over open networks. This leads to issues of security and privacy in the management of the information systems [Salahduddin,Lauren and Kavoos,2008]. Governments are trying to deliver their services in ways that meet citizens, employees and businesses needs effectively and efficiently. The Internet allows a quick update and access to any information any time the user wants. E-Government is the most important accomplishment of Internet [Walid and Reem, 2008]. The information system security is an essential management responsibility for e-government that has as a target to fulfil the fundamental security properties of; confidentiality, integrity, availability, accountability and information assurance. A high level of confidence and trust among all users (citizens, businesses and government) will be the foundation of a successful e-government initiative [Costas, Stefanos, Fredj and Gunther, 2003]. The objective of information system security is to optimize the performance of an organization with respect to the risks to which it is exposed [Seymour and M.E. Kabay, 2002]. Without adequate protection or network security, many individuals, businesses, and governments are at risk of losing the assets [Salah, 2009]. A *security model* is a statement that outlines the requirements necessary to properly support and implement a certain security policy [Shon, 2009]. Models in the computer security field have generally been constructed as an aid in analyzing "security" properties of interest [D. Elliott, 1988]. Information security presents a lot of challenges and concerns to governmental and commercial organizations. Models are used as the best method for illustrating new concepts or architectures. It was noticed that all existing models were developed to address one aspect or a problem in the information security field. No comprehensive model was found, which addresses all aspects of security for any organization that offers e-services over Internet or a public network. This lead to develop a new model (multi-layer information security assessment model) which contains multilayer representing the technologies, policies, competencies, operational procedures and decision layer [Sabri, 2008]. This model is named Sabri model in this paper.

Risk assessment provides organizations with an accurate evaluation of the risks to their assets. It can help them prioritize and develop a comprehensive strategy to reduce risks. It is very important to make a study on the theory and practice of the assessment of security risks in the information systems [Ming, SHU and XIAO 2008]. The aim of this paper is:

- To modify the multi layer information security readiness assessment model developed by Sabri (Sabri model) and evaluate it by using fuzzy logic, in order to make it more practical and applicable to the organizations of e-government.
- To propose an effective and practical method of security risk assessment for e-government information system. This method is built by combining two engineering techniques, fuzzy expert system (FEMRA) with wavelet neural network.

2. MULTI-LAYER INFORMATION SECURITY ASSESSMENT MODEL (SABRI MODEL)

The objective of the new security model is to assist in visualizing the combination of different layers of security in order to come up with a mechanism of enhancing the security level of any e-enabled organization but specifically in using the e-governments as the research case. Having more than one dimension or layer of any model gives the model a robust structure and a better success rate in preventing organizations from various categories of threats related to a single or multiple e-services. Each layer will mitigate group of threats related to an e-services. The layers as depicted in **Fig. 1**are, the technology layer, the policy layer, the competency layer, the operational and Management layer and the decision layer. The layers were constructed from the bottom to the top based on the importance of the layers and how they complement each other.

Since each layer has more than one sub layer and to make the structure coherent and more understandable, the model evolved into a matrix oriented structure, where each layer was divided into multiple sub layers as indicated in **Fig. 2**. The division of these layers into sub layers gives the

new model a flexibility to expand into n-number of cells based on the need of the organization [Sabri , 2008].

2.1 Modifications for Sabri Model

Modifications for the Sabri model were done based on the conditions of Iraq, supervisor's experience and analysis of the published works. **Fig. 2** shows the original model of Sabri without the modifications, whereas **Fig. 3** shows the model after making the modifications (modified Sabri model). The modifications include the followingin :

1. Addition of two elements to the technology layer (***VLAN & non-repudiation***). VLANs are used to segment networks for multiple reasons, the primary reason is to group together common hosts for security purposes. VLAN can allow one broadcast domain to be split into two or more domains that restrict an access to certain network resources. This can be a handy addition to user management and security strategy for the company. [Joshura, 2008] [Todd,2003]. Non-Repudiation is an important security service needed for many e-government applications. It will increase the confidence for both citizens and the government departments on e-government applications. [Hasala, Lakshan and Rohana, 2008].
2. Dividing the competency layer into two sub layers called ***user sub layer*** and ***information security department sub layer.*** The users of an organization should be classified into two parts (common users and security specialist users). Therefore, this division for this layer will help the users to know their security tasks. Three elements have been added to the user sub Layer called:

- ***Training and awareness:*** Security awareness and training is an essential element of a comprehensive and effective security program, to keep staff aware of their responsibilities and role in implementing and maintaining security within the department [Parmar,2009].
- ***Security policies of department*****:** It is a set of rules and practices dictating how sensitive information is managed, protected, and distributed. Without a strong security policy that every employee must conform to, the organization may suffer from data loss, employee time loss, and productivity loss [Joseph,2005].
- ***Social engineering:*** It can be defined as any attempt to gain unauthorized access to systems or resources by means other than software or hardware hacking. A little bit of psychology and some insight into the victim's character or habits is usually enough to mount a successful attack, under the right circumstances [Todd, 2003].

Two elements have been added to the information security department sub layer called:

- ***cyber crime:*** A cyber crime is a crime like any other crime, except that in this case, the illegal act must involve a connected computing system either as an object of a crime, an instrument used to commit a crime or a repository of evidence related to a crime [Joseph, 2009].
- **Computer Security Incident Response Team (CSIRT)**: It is critical for the organization to have a fast and effective means of responding. When an incident occurs, the goal of the CSIRT is to control and minimize any damage, preserve evidence, provide quick and efficient recovery, prevent similar future events, gain insight into threats against the organization and lower the cost of recovery [Georgia, Klaus-Peter, Robin and Mark, 2003].

3. Introduce a new layer called ***physical layer***. Physical security is the term used to describe protection needed outside the computer system. Physical security is applied to prevent attackers from have a facility to gain data stored on servers, computers, or other mediums. **[**Charles and Shari, 2002] [Joshura , 2008]. Three elements have been added to this layer called ***site design***, ***access control devices*** and ***alarms and cameras***.
4. One element has been added to the decision layer called ***data sensitivity***. Some databases contain what is called sensitive data**.** Sensitive data are data that should not be made public. Obviously, some databases, such as a public library catalogue, contain no sensitive data, other databases, such as defence-related ones, are totally sensitive [Charles and Shari, 2002].
5. Replacing the element (technologies availability) in the decision layer by ***elements availability.*** Specific weight has been assigned to each layer, to take account the effect of all the layers during the decision making process, instead of depending on one layer (technology layer). Technology layer will take weight value 0.6, because it considers the important layer as recommended by Sabri model, and each of other layers will take 0.1 as a weight value. Therefore, the element (technologies

availability) is replaced by elements availability.

2.2 Evaluation of Modified Sabri Model Using Fuzzy Logic

In this section, the modified Sabri model will be evaluated using fuzzy logic. The fuzzification of input variables is based on three major elements (*cost, data sensitivity and elements availability*) in the decision layer of the model. The design is based on the Mamdani style inference system which is very good for the representation of human reasoning and effective analysis. The implementation is done using the fuzzy logic tool of MATLAB R2010a.

The aim of this work is to assess the level of security readiness of government organizations and make decisions by using fuzzy logic instead of human reasoning. Fuzzy logic-based evaluation modeling architecture is given in **Fig. 4**.

Linguistic values are assigned for the inputs, *cost* and *data_ sensitivity* as *Low*, *Medium*, and *High*, whereas the Linguistic value for the input (*elements _availability)* is assigned as *Bad*, *Good*, and *Excellent*. The Linguistic value for the output (*trend_ level*) is assigned as *Very low, Low, Medium, Rather high, High and Very high.* The universe of discourse of the input and output variables in this case ranges from 0 to 100. **Table 1** contains the linguistic variables and their ranges.

Fig. 5 displays information about FIS editor (decision). It shows the names of input and output variables. **Fig. 6** is used to add, change or delete rules.

2.3 Determine the Value of Elements Availability

The decision of launching or not launching an e-service using the fuzzy evaluation of the modified Sabri model depends on some elements. One of these elements is (*elements availability).* In order to determine easily the value of this element with more accurate, a function was written using the built-in editor of MATLAB R2010a. The name of this function is ***elements_avail***. It has two arguments (x1 and x2). The first argument (x1) is a row vector that represents the elements selected by security manager or designer from the modified Sabri model. The second argument (x2) is a row vector that represents the type of security service (*confidentiality, integrity, availability, authentication and non repudiation*) required for establishing an e-service. Each security service takes one value (1, 2, 3, 4 and 5 respectively) to represent it inside the function (*elements_avail)*. The output of this function is (*elements_ availability*) that represents the value of the element (*elements availability)* will be taken as input in the fuzzy model (decision).

3. SECURITY RISK ASSESSMENT

A Risk can be described as the potential of a threat to exploit a vulnerability found in an asset [Todd, 2003]. A risk exists when there is a possibility of a threat to exploit the vulnerability of a valuable asset. That is, three elements of a risk are *asset, vulnerability* and *threat*. The value of an asset makes it a target for an attacker. The vulnerability of an asset presents the opportunity of a possible asset damage or loss. A threat is a potential attack which can exploit a vulnerability to attack an asset [Nong, 2008]. The measure of risk can be determined as a product of threat, vulnerability and asset values as shown in the formula below:

$$\text{Risk} = \text{Asset} \times \text{Threat} \times \text{Vulnerability} \quad (1)$$

With the progress of the construction of the e-government information systems of different levels, the government provides management and services with higher quality and more efficient for the society. So, it is very important to make a study on the theory and practice of the assessment of security risks in information systems [Ming, 2008]. The basic steps for risk assessment are listed as follows [John, 2001] [AS/NZS, 2004]:

1. Identifying and prioritizing assets.
2. Identifying vulnerabilities.
3. Identifying threats and their probabilities.
4. Estimate level of risk
5. Developing a cost benefit analysis.
6. Developing security policies and procedures.

A powerful tool is needed to assess the risk within an organization. The WNN (wavelet neural network) has the intelligent features such as self-learn, obtaining knowledge, which is different to the conventional methods (AHP, fuzzy logical and so on), and can dissolve the uncertain problems [DONG-MEI, 2009]. In this paper, the fuzzy theory and method of Wavelet Neural Network (WNN) are combined to assess the risk level. Since the artificial neural network is suited for the quantity data processing, and poor to the qualitative analyze, therefore the fuzzy expert systems (FEMRA) method was built and applied

firstly to assess the risk factors (training data set). Secondly, the WNN was built to assess the risk level quantitatively.

3.1 Fuzzy Expert Model for Risk Assessment (FEMRA)

The steps of implementation FEMRA will be given below [Alireza, Masoume, Mehdi and Michel, 2010]:

Step 1: Assets classification and identification
Step 2: Threat Identification
Step 3: CIA Triad Evaluation

Evaluating the CIA (confidentiality, integrity and availability) triad is a key to calculate the organization's risks. The base of the CIA triad could be calculated with the following formulas:

$$w_C = \frac{\sum_{e=1}^{n} C_e}{n}, \quad w_I = \frac{\sum_{e=1}^{n} I_e}{n}, \quad w_A = \frac{\sum_{e=1}^{n} A_e}{n} \tag{2a}$$

Since authentication is important service and main part in computer security system [Mark, 2006][William, 2005][Joseph, 2005], therefore it is added to the CIA triad evaluation.

$$w_{AU} = \frac{\sum_{e=1}^{n} AU_e}{n} \tag{2b}$$

Where n represent the number of experts. C_e, I_e, A_e and AU_e represent the weights of confidentiality, integrity, availability and authentication that assigned by the experts.

Step 4: Vulnerability Identification
Step 5: Risk Identification
Step 6: Asset Value

Each expert assigns a value from 1 to 9 to each part of CIA triad based on the **Table 2**.

Table 2 Risk level range

The asset's value could be calculated with formula below:

$$asset_{value} = \sum_{(CIA+AU)=1}^{4} \left(\frac{\sum_{e=1}^{n} (CIA+AU_e)}{n} \right) * w_{(CIA+AU)} \tag{3}$$

Where n represent the number of experts, w_{CIA+AU} represent the base of the CIA triad and authentication part and $(CIA+AU)_e$ represent CIA triad and authentication values of an asset based on expert assignment.

Step 7: Vulnerability Effect

Vulnerability effects will be represented with a percentage, and for better accuracy, it is prefer to get help from n experts. The vulnerability effect could be calculated with formula below:

$$vulnerability_{effect} = \frac{\sum_{e=1}^{n} effect}{n} \tag{4}$$

Step 8: Threat Effect

The calculation method of threats is similar to the one for assets. Each expert assigns a value from 1 to 9 to each part of CIA triad plus authentication based on **Table 2**. The threat effects could be calculated with formula 5.

$$threat_{value} = \sum_{(CIA+AU)=1}^{4} \left(\frac{\sum_{e=1}^{n} (CIA+AU_e)}{n} \right) * w_{(CIA+AU)} \tag{5}$$

Risk Effects (level) modelling

The risk effects modelling are built using the fuzzy model tool of MATLAB R2010a environment. Three parameters are used as input in this modelling: *asset values, vulnerability effects* and *threat effects*. **Fig. 7** below shows the architecture of this model.

3.2 Risk Evaluation Based on Wavelet Neural Network Model

The basic structure of proposed WNN is illustrated in **Fig. 8**, which consists of three layers. The first layer is the input layer, which has three nodes (i=1, …, 3) as following: *asset value, vulnerability effect* and *threat effect*. The second layer is a hidden layer, which has *H* nodes that needs adjusting in the experiment. The third layer is an output layer, which has one node (m=1) for putting out a risk effect (risk level).

w_{hi} and w_{mh} are defined respectively as the weight coefficient of the hidden layer and the output layer. The output of a wavelon is defined as:

$$\psi_{a,b}(u) = \psi\left(\frac{u-b}{a}\right) \tag{6}$$

Where $\psi(\cdot)$, a and b are the mother wavelet function, dilation and translation parameters respectively. The activation function of the hidden layer is defined as Marr function:

$$\psi(t) = (1 - t^2)\exp(-t^2/2) \quad (7)$$

The active function of output layer is defined as a sigmoid function:

$$f(net) = 1/(1 + \exp(-net)) \quad (8)$$

4. CASE STUDY

In order to verify the validity of our proposed method (fuzzy wavelet neural network) and test its ability of risk assessment for e-government network security, experiments were carried out in the computer center at the University of Baghdad. In this study, the FEMRA method was applied firstly to assess the risk factors (training data set), then the WNN is applied to assess the risk level. Three security experts from computer center are used to do this study. The results of this case study are indicated by the following steps:

Step 1: CIA Triad Evaluation

The sum of the weights for all parts must be equal to one. Note that the authentication service is added in this step (eq. 2b), so it will be entering in the calculation of this evaluation. **Table 3** shows this evaluation.

When the eq. (2) is applied on the **Table 3**, the base of the CIA triad and authentication evaluation could be calculated. **Table 4** shows the values of the bases.

Step 2: Asset value

Table 5 shows the asset identification for computer center. Each expert assigned a value from (1 to 9) to each part (confidentiality, integrity, availability and authentication) of an asset. Then eq. (3) is applied to calculate the asset value for each asset. **Table 6** shows the asset value.

Step 3: Vulnerability effect

Table 7 shows the asset's vulnerabilities for the assets of the computer center.

Each expert assigned a value from (0 to 100) for each asset's vulnerability (**Table 8**). Then eq. (4) is applied to calculate the vulnerability effect. **Table 8** shows the vulnerability effects.

Step 4: Threat effect

Table 9 shows the threat identification for computer center.

Each expert assigned a value from (1 to 9) to each part of a threat in **Table 9**. Then eq. (5) is applied to calculate the threat effect for each threat. **Table 10** shows the threat effect.

Step 5: Risk effect (level)

Based on the previous collected data (**Tables 5**, **7** and **9**), the relationship among the assets, vulnerabilities and threats will be determined. The relationship between each vulnerability and threat is a risk. **Table 11** illustrates some risks within the computer center. Dependent on the **Table 2**, the risk effect will be divided into three levels ($1 \le$ low < 35, $35 \le$ med < 65, $65 \le$ high < 100).

The risk effect can be calculated by using the fuzzy model of FEMRM. **Table12** shows the results to assess the risks in the computer center.

4.4 Results of Risk Evaluation Based on WNN

Table 13 shows the result of comprehensive evaluating of risk level for the computer center by WNN.

Table 14 shows the contrast between the FEMRA result (desired output) and the output of WNN.

5. CONCLUSIONS

- E-Government network security is complicated process, and it requires periodically evaluation. Building secure e-government system requires a comprehensive security model.
- Modified Sabri model is an enhanced security readiness assessment model that is designed especially for e-government system. This enhanced model considers an essential tool that can be used by decision makers and designers of e-government security systems. The modified Sabri model is more effective than Sabri model, because it deals with numerical values instead of conceptual elements and all the layers of the model are contributing in making the decision instead of dependence on the technology layer only. This contribution is achieved by assigning a weight value for each layer. The modified Sabri model can help the security managers to assess the security readiness of their department with high accuracy.
- Combine two engineering techniques (fuzzy system with wavelet neural network) enables the governmental organizations to overcome the difficulty of finding the required training data set to build the wavelet neural network, and reduce the level of dependence on the experts and the time required to assess the risks in their departments.

- The numerical results from the real case study of risk assessment indicate that WNN can improve effectively the assessment accuracy and speed. The contrast result between WNN and FEMRA shows that the risk evaluation method based on the WNN can provide a credible algorithm for the risk assessment of information security.

REFERENCES

Alireza S. Sendi, M. Jabbarifar, M. Shajari and M. Dagenais, "FEMRA: Fuzzy Expert Model for Risk Assessment", Proceedings of the IEEE International Conference on Internet Monitoring and Protection, pp.48-53, 2010.

AS/NZS, "Risk Management", SAI Global, Third Edition, 2004.

Charles P. Pfleeger and Shari L. Pfleeger, "Security in Computing", Prentice Hall, third edition, 2002.

Costas Lambrinoudakis, S. Gritzalis, F. Dridi and G. Pernul, "Security Requirements for E-Government Services: A Methodological Approach for Developing A Common PKI-based Security Policy", Elsevier, Computer Communications 26, 1873–1883, 2003.

D. Elliott Bell, "Concerning Modeling of Computer Security", Proceedings of the IEEE International Symposium on Security and Privacy, pp.8-13, 1988.

Georgia Killcrece, Klaus-Peter Kossakowski, Robin Ruefle and Mark Zajicek, "Organizational Models for Computer Security Incident Respons Teams (CSIRTs)", Carnegie Mellon University, 2003.

Hasala Peiris, Lakshan Soysa and Rohana Palliyaguru, "Non-Repudiation Framework for E-Government Applications", Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Automation forSustainability, pp.307-313, 2008.

John E. Canavan, "Fundamentals of Network Security", British Library, London, 2001.

Joseph M. Rizza, "Computer Network Security", Springer, 2005.

Joseph M. Rizza, "A Guide to Computer Network Security", Springer, 2009.

Joshura Backfield, "Network Security Model", SANS Institute, 2008.

Mark Stamp, "Information Security Principles and Practice", John Wiley & Sons, 2006.

Ming Liu, S. Sun and X. yin, " Research on The Evaluation of Security Risk for E-Government Information System" Proceedings of the IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol.3, pp.1404-1409, 2008.

Nong Ye, "Secure Computer and Network Systems Modeling, Analysis and Design", john Wiley & Sons Inc., 2008.

S. K. Parmar, "Information Resource Guide Computer, Internet and Network Systems Security", security manual, sunny, Canada, June 2009.

Sabri Al-Azazi, "A Multi-layer Model for E-Government Information Security Assessment", PhD thesis, Cranfield University, 2008.

Salah Alabady, "Design and Implementation of A Network Security Model for Cooperative Network", International Arab Journal of e-Technology, Vol. 1, No. 2, June 2009.

Salahuddin Alfawaz, L. May and K. Mohanak, "E-Government Security in Developing Countries: A Managerial Conceptual Framework", International Research Society for Public Management Conference, 2008.

Seymour Bosworth and M.E. Kabay, "Computer Security Handbook", John Wiley & Sons, Fourth Edition, 2002.

Shon Harris, "CISSP All-in-One Exam Guide", McGraw Hill, Fifth Edition, 2009.

Todd King, "Security + Training Guide", Paul Boger, 2003.

Walid Al-Ahmad and R. Al-Kaabi, "An Extended Security Framework for E-Government", Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, pp. 294-295, 2008.

William Stallings, "Cryptography and Network Security Principles and Practices", Prentice Hall, Fourth Edition, 2005.

Zhitian Zhou and Congyang Hu, "Study on the E-Government Security Risk Management", IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.8 No.5, May 2008.

NOTATION

W_C Confidentiality Base
W_I Integrity Base
W_A Availability Base
C_e Confidentiality Expert Weight
I_e Integrity Expert Weight
A_e Availability Expert Weight
w_{CIA} Base of the CIA Triad
w_{CIA+AU} Base of the CIA Triad and Authentication Part
$(CIA + AU)_e$ CIA Triad and Authentication Values of an Asset Based on Expert Assign.
net Scalar Product of the Weight and Input Vector
$\psi(u)$ Mother Wavelet
w_{hi} Weight Coefficient of the Hidden Layer
w_{mh} Weight Coefficient of the Output Layel

Table 1 Linguistic variable and their ranges

Linguistic variable	Linguistics value	Numerical range	Membership function type
Cost	Low	[0 0 20 40]	Trapezoidal
	Med	[20 60 95]	Triangular
	High	[60 90 100 100]	Trapezoidal
Data_Sensitivity	Low	[0 0 20 40]	Trapezoidal
	Med	[20 55 90]	Triangular
	High	[55 90 100 100]	Trapezoidal
Elements_availability	Bad	[0 0 25 40]	Trapezoidal
	Good	[20 60 100]	Triangular
	Excellent	[60 100 100]	Triangular
Trend_level	Very low	[0 0 30]	Triangular
	Low	[10 30 50]	Triangular
	Medium	[30 50 65]	Triangular
	Rather high	[55 65 75]	Triangular
	High	[65 75 85]	Triangular
	Very high	[75 100 100]	Triangular

Table 2 Risk level range

Level	Level	Effect
High	High	9
	Medium	8
	Low	7
Medium	High	6
	Medium	5
	Low	4
Low	High	3
	Medium	2
	Low	1

Table 3 CIA triad and authentication evaluation

Expert	Confidentiality (W_C)	Integrity (W_I)	Availability (W_A)	Authentication (W_{AU})
E1	0.3	0.3	0.1	0.3
E2	0.35	0.3	0.1	0.25
E3	0.35	0.25	0.1	0.3

Table 4 CIA base value

Base	Value
Confidentiality (W_C)	0.333
Integrity (W_I)	0.283
Availability (W_A)	0.1
Authentication (W_{AU})	0.283

Table 5 Asset identification

Id	Asset
A1	User (Instructor)
A2	Web data (questions and results of IC3 examination)
A3	License application
A4	Router
A5	Server
A6	Storage resources

Table 6 Asset value

Id	Asset	Confidentiality			Integrity			Availability			Authentication			Asset Value
		E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	
A1	User (Instructor)	5	6	6	2	2	2	2	1	1	6	5	5	4.1
A2	Web data	7	8	8	7	7	6	5	5	4	7	6	6	6.7
A3	License Application	3	2	3	3	2	2	6	7	7	4	5	5	3.54
A4	Router	5	5	6	7	6	7	2	3	2	7	8	7	5.97
A5	Server	5	5	4	4	5	6	7	6	8	5	5	6	5.18
A6	Storage Resources	5	4	4	7	7	6	2	3	3	6	5	5	5.11

Table 7 asset's vulnerabilities

Id	Asset	Vulnerability
V1	A1 (Instructor)	User personality
V2	A2(Web data)	Administrative mistake, Poor protection
V3	A3 (License application)	Not using a mixed authentication mode
V4	A4 (Router)	Hardware defect, Configuration error
V5	A5 (Server)	Unsuitable location
V6	A6 (Storage resources)	Hardware defect, poor security

Table 8 Vulnerability effect

Asset Id	Vulnerability Id	Effect (%)			Vulnerability Effect (%)
		E1	E2	E3	
A1	V1	70	70	80	73.33
A2	V2	70	60	60	63.33
A3	V3	60	50	40	50
A4	V4	50	50	60	53.33
A5	V5	60	50	50	53.33
A6	V6	70	70	60	66.66

Table 9 Threat identification

Id	Threat
T1	Malicious Code (viruses, worms…etc.)
T2	Social engineering
T3	Hacker
T4	Equipment failure
T5	Intruder
T6	Human Errors
T7	DoS
T8	Physical theft

Table 10 Threat effect

Id	Threat	Confidentiality			Integrity			Availability			Authentication			Threat Effect
		E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	
T1	Malicious Code	5	6	6	5	5	6	7	7	8	3	4	4	5.17
T2	Social engineering	7	7	8	3	2	2	2	2	1	7	6	6	5.07
T3	Hacker	6	6	7	6	5	5	1	2	2	7	7	6	5.67
T4	Equipment failure	2	1	2	2	2	1	7	8	6	1	1	2	2.1
T5	intruder	7	6	7	5	5	6	2	1	2	7	7	6	5.78
T6	Human Errors	5	5	4	6	5	6	2	2	1	4	5	5	4.65
T7	DoS	2	2	2	1	1	2	7	8	8	2	2	1	2.82
T8	Physical theft	5	5	4	2	2	1	6	7	7	2	1	1	3.07

Table 11 Some Risks in the computer center

Asset Id	Vulnerability Id	Threat Id	Risk Id
A1 User (Instructor)	V1 User personality	T2 Social engineering	R1 (loss of secrecy)
A2 Web data	V2 Administrative mistake	T6 Human Errors	R2 (data corruption)
A2 Web data	V2 Poor protection	T3 Hacker	R3 (company image)
A3 License application	V3 Not using mixed authentication mode	T6 Human Errors	R4 (loss of business or financial)
A4 Router	V4 Hardware defect	T4 Equipment failure	R5 (loss availability)
A4 Router	V4 Configuration error	T5 Intruder	R6 (security Compromise)
A5 Server	V5 Unsuitable location	T8 Physical theft	R7 (loss availability)
A5 (Server)	V5	T7 DoS	R8 (loss e-service)
A6 (Storage resources)	V6 Hardware defect	T4 Equipment failure	R9 (loss data)
A6 (Storage resources)	V6 poor security	T1 Malicious Code	R10 (data corruption)

Table 12 Risk effect

Risk Id	Asset Value (1-9)	Vulnerability Effect (1-100)	Threat Effect (1-9)	Risk Effect (level) (1-100)		
				low	med	high
R1	4.1	73.33	5.07		60	
R2	6.7	63.33	4.65		53.2	
R3	6.7	63.33	5.67		53.2	
R4	3.54	50	4.65		39.5	
R5	5.97	53.33	2.1	26.6		
R6	5.97	53.33	5.78		45.6	
R7	5.18	53.33	3.07		37.4	
R8	5.18	53.33	2.82	32.1		
R9	5.11	66.66	2.1		41.4	
R10	5.11	66.66	5.17		54.8	

Table 13 Risk effect using WNN

Risk Id	Input			output (Risk Level)		
	Asset Value	Vulnerability Effect	Threat Effect	Low	Med	High
R1	4.1	73.33	5.07		58.23	
R2	6.7	63.33	4.65		51.18	
R3	6.7	63.33	5.67		55.81	
R4	3.54	50	4.65		36.33	
R5	5.97	53.33	2.1	23.46		
R6	5.97	53.33	5.78		47.73	
R7	5.18	53.33	3.07		35.41	
R8	5.18	53.33	2.82	30.85		
R9	5.11	66.66	2.1		39.85	
R10	5.11	66.66	5.17		56.72	

Table 14 Contrast between desired output and output of WNN

Desired Output (FEMRA) Risk Level			WNN Risk Level			Absolute Error	Max Error	Min Error	Average Error
Low	Med	High	Low	Med	High				
	60			58.23		1.77	3.17	1.25	2.155
	53.2			51.18		2.02			
	53.2			55.81		2.61			
	39.5			36.33		3.17			
26.6			23.46			3.14			
	45.6			47.73		2.13			
	37.4			35.41		1.99			
32.1			30.85			1.25			
	41.4			39.85		1.55			
	54.8			56.72		1.92			

Fig. 1 multi layers model

Security Layers	Sub Layers / Cells					
Technology Layer	A1: Access Control	A2: Intrusion Detection Prevention	A3: Anti-Virus & Malicious Codes Signature	A4: Authentication and Passwords	A5: Files Integrity Checks	A6: Cryptography
	A7: VPN	A8: Vulnerability Scanning Tools	A9: Digital Signature and Certificate	A10: Biometrics	A11: Logical Access Control (Firewall)	A12: Security Protocols
Policy Layer	B1: Password Management	B2: Log-In Process	B3: Logs Handling	B4: Computer Viruses	B5: Intellectual Property Rights	B6: Data Privacy
	B7: Privilege Control	B8: Data Confidentiality	B9: Data Integrity	B10: Internet Connectivity	B11: Administrative Policies	B12: Encryption Policies
	B13: HR Security Policies	B14: Third Party Policies	B15: Physical Security Policies	B16: Operation Security Policies		
Competency Layer	C1: Security Operation and Management	C2: Security Architecture and Development	C3: Ethical Hacking	C4: Security Policies Development	C5: Computer Forensics	C6: Cryptography
	C7: Security Programming	C8: Laws and Regulations	C9: Security Implementation and Configuration	C10: Security Analysis		
Operation and Management Layer	D1: Operational Policies and Procedures	D2: Management Tool	D3: Correlation and Data Mining	D4: Reporting and Response	D5: Analysis and Human Intervention	
Decision Layer	F1: Cost	F2: Awareness	F3: Need	F4: Technologies Availability	F5: FUD	

Fig.2 Sabri model

Security Layers	*Sub Layers / Cells*						
Technology Layer	A1: VLAN	A2: Access Control	A3: Intrusion Detection prevention	A4: Anti-Virus & Malicious Codes Signature	A5: Authentication and passwords	A6: Files Integrity Checks	A7: cryptography
	A8: VPN	A9: Vulnerability Scanning Tools	A10: Digital Signature and Certificate	A11: Biometrics	A12: Logical Access Control (Firewall)	A13: Security Protocols	A14: non – repudiation
Policy Layer	B1: Password Management	B2: Log-In Process	B3: Logs Handling	B4: Computer Viruses	B5: Intellectual property Rights	B6: Data Privacy	B7: Privilege Control
	B8: Data Confidentiality	B9: Data Integrity	B10: Internet Connectivity	B11: Administrate policies	B12: Encryption policies	B13: HR Security Policies	B14: Third Party Policies
	B15: Physical Security Policies	B16: Operation Security Policies					
Competency Layer	User Sub Layers	C1: Training and Awareness	C2: Security Policies of Department	C3: Ethical Hacking	C4: Social Engineering		
	Information security Department	C5: Security Operation and Management	C6: Security Architecture and Development	C7: Security Policies Development	C8: Computer Forensics	C9: Cryptography	C10: Security Programming
	Sub Layers	C11: Laws and Regulations	C12: Security Implementation and Configuration	C13: Security Analysis	C14: Cyber Crime	C15: CSIRT	
Operation and Management Layer	D1: Operational Policies and Procedures	D2: Management Tool	D3: Correlation and Data Mining	D4: Reporting and Response	D5: Analysis and Human Intervention		
Physical Layer	E1: Site Design	E2: Access Control Devices	E3: Alarms and Cameras				
Decision Layer	F1: Cost	F2: Awareness	F3: Need	F4: Elements Availability	F6: FUD	F5: Data Sensitivity	

Fig. 3 Modified Sabri model

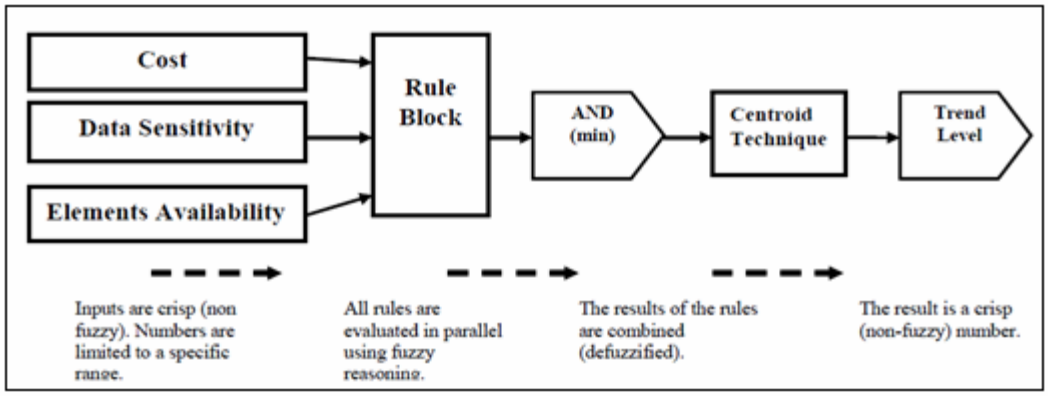


Fig. 4 Architecture for fuzzy logic-based evaluation modeling

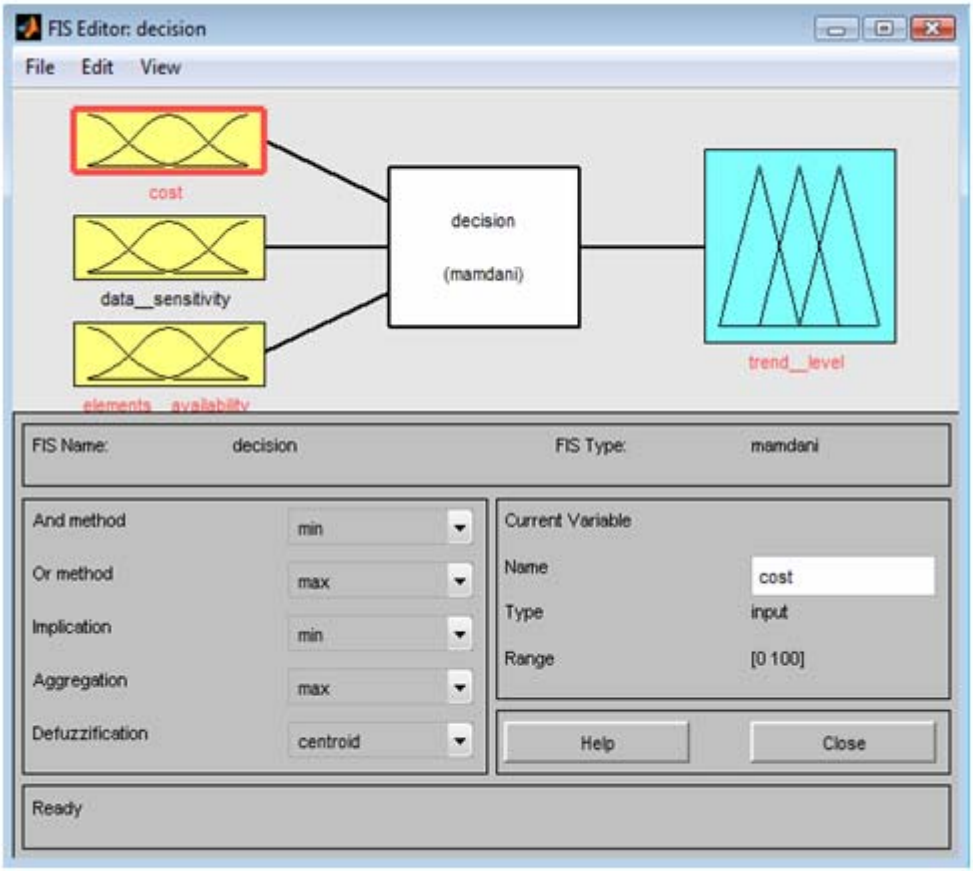


Fig. 5 FIS editor (decision)

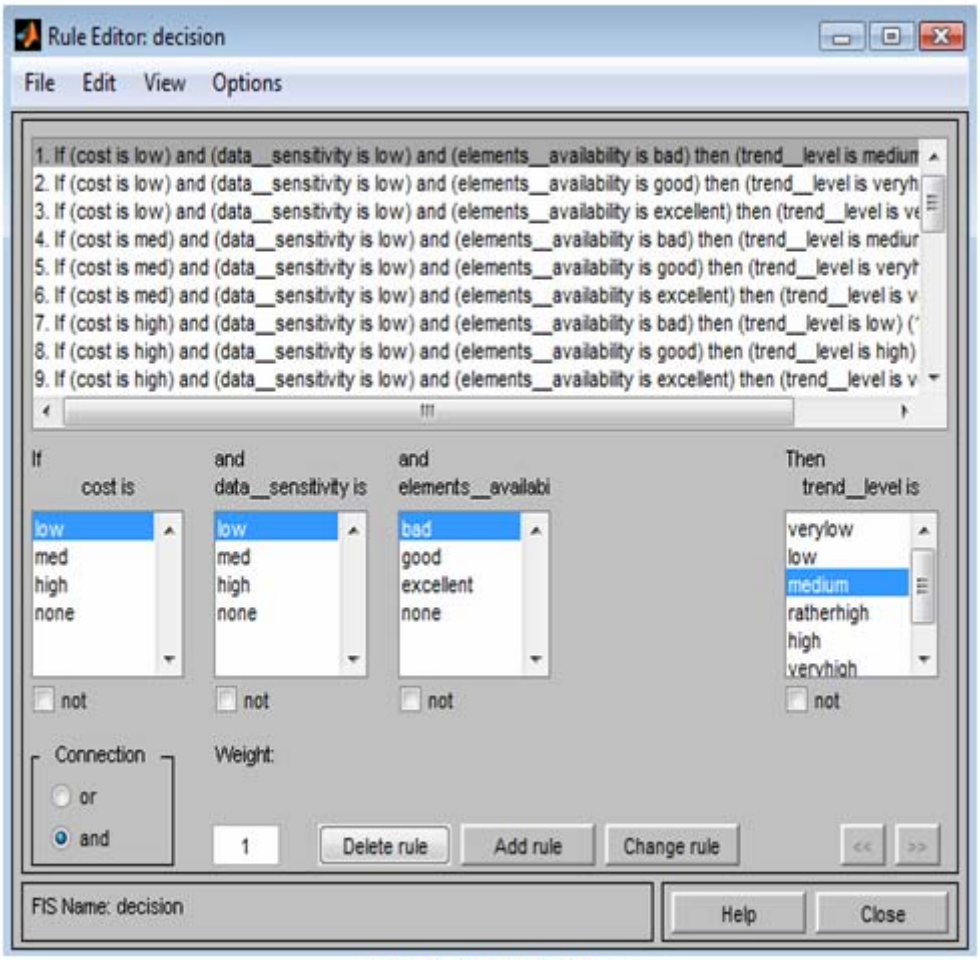


Fig. 6 Rules Editor

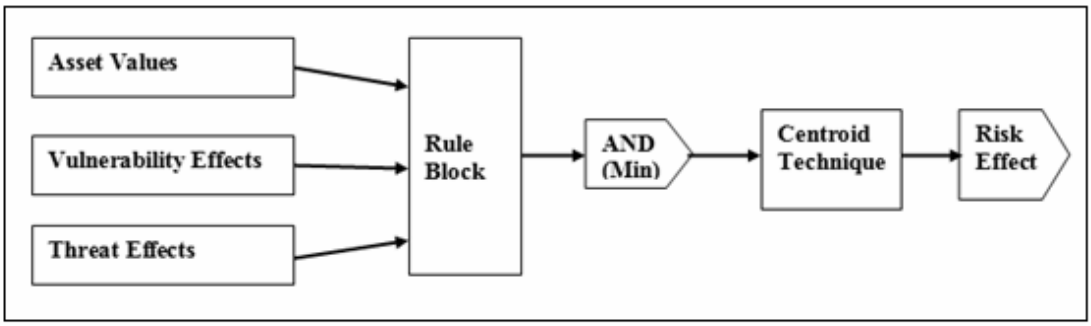


Fig. 7 Architecture of FEMRA

GENERATION OF MPSK SIGNAL USING LOGIC CIRCUITS

Mohammed Kasim Al-Haddad
College of Engineering
Baghdad University

ABSTRACT:

The traditional technique of generating MPSK signals is basically to use IQ modulator that involves analog processing like multiplication and addition where inaccuracies may exist and would lead to imbalance problems that affects the output modulated signal and hence the overall performance of the system. In this paper, a simple method is presented for generating the MPSK using logic circuits that basically generated M-carrier signals each carrier of different equally spaced phase shift. Then these carriers are time multiplexed, according to the data symbols, into the output modulated signal.

الخلاصة:

التقنيات التقليدية لتوليد اشارة MPSK هي اساساً تستخدم مضمن IQ الذي يحوي على عمليات تناضرية مثل الضرب والجمع حيث توجد عدم الدقة مما يؤدي الى مشاكل عدم التوازن التي تؤثر على اشارة الاخراج المضمنة وبالتالي على الاداء الكلي للمنظومة. في هذا البحث تم تقديم طريقة مبسطة لتوليداشارة MPSK باستعمال دوائر منطقية حيث اساساً تولد عدد M من الاشارات الحاملة كل واحدة بتزحيف طور مختلف وموزعة بالتساوي. ثم يتم انتقاء احدى هذه الاشارات الحاملة حسب رموز البيانات لتتولد الاشارة المحملة.

INTRODUCTION

Phase-Shift Keying is one of the basic digital modulation schemes in which the digital data are modulated into discrete equally spaced phase shift values of the carrier signal. The number of these discrete phase shift values represents the number of levels of the PSK modulation that is generally referred to as MPSK or M-ary PSK. For the two special cases where M=2 and M=4, the modulation is referred to as Binary PSK (BPSK) and Quadrature PSK (QPSK) respectively. For higher values of M it is referred to as 8PSK, 16PSK, and so on.

In practice BPSK and QPSK are much widely used than 8PSK and 16PSK because the complexity of the system is much higher and since basically, the M-ary PSK and the M-ary QAM have similar spectral bandwidth and system complexity, and the fact that the performance of the QAM modulation is better in terms of probability of error for the same average transmitted signal power, the QAM modulation is preferred and more widely used than MPSK. On the other hand, one advantage in favor of the MPSK over the QAM is that the MPSK has constant envelope while the QAM does not have constant envelope. Therefore the superior performance of the M-ary QAM can be realized only if the channel is free from nonlinearities.

MPSK and QAM modulations are basically implemented using IQ modulator. Imbalance in the I and Q branches is a common problem in the IQ modulator and various techniques were introduced to overcome this problem. In-phase and quadrature amplitudes and phase imbalances are caused by the analog components of the modulator [1].

Cho et al. [1] provided an expression for the probability of symbol error of MPSK-OFDM signal with IQ imbalance over AWGN channel in terms of 2-D Gaussian Q-function, the formula obtained was verified by simulation results. Park et al. [2] worked on the symbol-error probability (SEP) of MPSK signals in the situation of phase error, quadrature error and in-phase-quarature (I-Q) gain mismatch, in the presence of AWGN and fading channel using Moment Generating Function (MGF) approach. No counter measures were provided both [1] and [2]. Schuchert et al. [3] presented a simulation of an adaptive equalizer applied to OFDM based Digital Video Broadcast-Terrestrial (DVB-T) system. The equalization process is applied to each subcarrier of the OFDM and the coefficients are adapted using data aided training sequence. The equalizer corrects both the channel distortion and IQ imbalance. Nemer et al. [4] presented an algorithm for IQ balancing based on a blind estimation of the magnitude and phase imbalances from the correlation functions of the received I and Q channels without the need of training sequence. The algorithm is further simplified by approximation to eliminate the division operations and reduce the number of multiplication operations and to put it in the form of two cascaded iterative feedback schemes, the first for the magnitude correction and the second for the phase correction. Simulation was applied to DVB signal with QPSK, 8PSK and 16-QAM constellations. Liu [5] presented a study on the IQ imbalance at both the transmitter and the receiver of OFDM systems. A time domain self-calibrating of IQ imbalance estimator for the transmitter is suggested that estimated the amplitude and phase using a training sequence. At the receiver, the estimator of the amplitude and phase imbalance is based on correlation equation of the FFT output of the receiver. The receiver estimator does not rely on training sequence. The performance is evaluated using simulation against AWGN and multipath Rayleigh fading channel.

IQ IMBALANCE

Although there are different formulas of expressing the amplitude and phase imbalance in quadrature modulation but actually these formulas are basically the same and the difference is only as a matter of convenience in choosing the proper mathematical expression. One of these formulas for expressing the amplitude and phase imbalance in a general quadrature modulation (MPSK or QAM) is [4]

$$\begin{bmatrix} I' \\ Q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\varepsilon & 0 \\ 0 & 1-\varepsilon \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\Delta\phi/2) & -\sin(\Delta\phi/2) \\ -\sin(\Delta\phi/2) & \cos(\Delta\phi/2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ Q \end{bmatrix} \quad (1)$$

Where I' and Q' are imbalanced in-phase and quadrature-phase components of the modulated signal, and I and Q are the balanced in-phase and quadrature-phase components, and ε and $\Delta\phi$ are the amplitude and phase imbalance factors respectively. Equation (1) can be expressed without the matrix form as

$$I' = (1+\varepsilon)\left[\cos(\Delta\phi/2)I - \sin(\Delta\phi/2)Q\right] \quad (2a)$$

$$Q' = (1-\varepsilon)[\cos(\Delta\phi/2)Q - \sin(\Delta\phi/2)I] \quad (2b)$$

It should be noted that ε and $\Delta\phi$ are not time dependent factors although they are in general frequency dependent factors [6].
An expression for a multilevel PSK signal can be represented in any of these forms

$$s(t) = \mathrm{Re}[Ae^{j2\pi m/M}e^{j2\pi f_c t}] \quad (3a)$$
$$s(t)=A\cos(2\pi f_c t+2\pi m/M) \quad (3b)$$
$$s(t)=A[\cos(2\pi mM)\cos(2\pi f_c t)-\sin(2\pi m/M)\sin(2\pi f_c t)] \quad (3c)$$
m=0, 2, …, M-1

Where A is the amplitude, f_c is the carrier frequency, $\theta_m=2\pi m/M$ are the M possible phase shifts of the carrier that convey the transmitted information, and M is a power of 2. $s(t)$ can be further reduced in terms if in-phase and quadrature-phase components to become

$$s(t) = A[I(m)\cos(2\pi f_c t) + Q(m)\sin(2\pi f_c t)] \quad (4)$$

where

$$I(m) = \cos(2\pi m/M) \quad (5a)$$
$$Q(m) = -\sin(2\pi mM) \quad (5b)$$

In case of imbalance the values of I and Q of eq (5) can be used in eq (1) to get I' and Q' for the imbalanced MPSK signal as

$$I' = (1+\varepsilon)\cos(2\pi m/M + \Delta\phi/2) \quad (6a)$$
$$Q' = (\varepsilon-1)\sin(2\pi m/M + \Delta\phi/2)I \quad (6b)$$

It is clear that if ε and $\Delta\phi$ are equal to zero, eq (6) reduces to (5)
It is common to represents the digital quadrature modulated signals by their signal space diagram. For the MPSK signals the signal space diagram is as shown in Fig. 1
It is clear from these diagrams that the possible symbol values are located on a circle whose radius represents the amplitude of the modulated signal A. This is expected since the transmitted information is represented by phase shifts only. Therefore, it is possible to assume that the MPSK signal has a unity amplitude for simplicity without any loss of generality i.e. A=1. In case of imbalance the effect is reflected on the constellation as shown in Fig. 2

Figure 3 shows a typical IQ modulator where the carrier signal and its quadrature each are multiplied by an appropriate weight according to the modulating symbols and summing the results. The imbalance effect is usually produced due to inaccuracies in the analog blocks of this modulator which are:

1- The digital to analog converter (DAC)
2- The two multipliers
3- The summator
4- The -90^o phase shifter

The resulting imbalance will affect the position of the transmitted symbols on the signal space diagram and this would lead to increase of probability of detection error.

In this paper a different technique is used to generate the MPSK signal using simple logic circuits to eliminate the need of analog circuits in the MPSK modulator. This way it is possible to avoid inaccuracies that causing a distorted signal space diagram.

THEORETICAL BACKGROUND

It is known from elementary mathematics that the n-order equation

$$z^n=1 \quad (7)$$

has n complex roots, and these roots are given by

$$z_i=e^{j2\pi(i-1)/n}, \quad i=1,2, \quad , n \quad (8)$$

and if n=M=2^k i.e. M is a power of 2, the roots of the equation

$$z^M=1 \quad (9)$$

can be found by repeated square rooting of 1. This can be expressed mathematically in this way

$$z^M = z^{2^k} = z^{(2)2^{(k-1)}} = (z^{2^{(k-1)}})^2 = 1 \quad (10)$$

If we make the change of variables

$$z_1 = z^{2^{(k-1)}} \quad (11)$$

Equation (10) will be reduced to

$$z_1^{\,2} = 1 \tag{12}$$

which is a second degree equation that has two roots. Before proceeding, it is useful to refer to the solution of the complex equation given by

$$z^2 = z_0 \tag{13}$$

where z_0 is a complex number. The solution of eq (13) is given by

$$z = \pm\sqrt{|z_0|}e^{j\theta/2} \tag{14a}$$

Where $|z_0|$ and θ are the magnitude and angle of z_0. Since the minus sign means a shift of angle of π radians, it is possible to write the roots in the form

$$z = \sqrt{|z_0|}e^{j\theta/2},\ z = \sqrt{|z_0|}e^{j(\theta/2+\pi)} \tag{14b}$$

Now, using the result of eq (14b) and the fact that $z_0=1$ in eq (10), it is possible to write the roots of eq (12) as

$$z_{11} = 1 = e^{j0},\ z_{12} = -1 = e^{j\pi} \tag{15}$$

Here, the first index represents the step of order reduction and the second index is the root index of that step. Following the same procedure, we will find that

$$z_2^{\,2} = z_1 \tag{16}$$

Equation (16) is actually two equations of the second degree because z_1 has two values (z_{11} and z_{12}), therefore, it will give us 4 roots (2 for each equation). Using the results of eq (15) and eq (14b), the roots of eq (16) will be

$$z_{21} = e^{j0},\ z_{22} = e^{j\pi/2},\ z_{23} = e^{j\pi},\ z_{24} = e^{j3\pi/2}$$

Since each step gives twice as many roots as the previous step, repeating this procedure for k steps will result in 2^k roots which are the desired roots of (9). These roots can be generally expressed as

$$z_{km} = e^{j2\pi(m-1)/M} \tag{17}$$

m=1, 2, …, M

Now, the similarity can be seen between the result of eq (17) and the general expression of the MPSK signal in (1c). Locating the roots given by eq (17) on the complex plane will make the same signal space diagram shown in Fig. 1.

In words, eq (17) is telling us that repeated square rooting of unity yields M complex phasors of M-level MPSK signal. The intention of this paper is to realize the root generation algorithm of unity described above by hardware circuits as will be explained in the next section.

GENERATION OF M-PHASE SHIFTS CARRIERS

Assuming that the amplitude is unity, the square rooting operation is basically a phase division by 2. This can be accomplished using the flip-flop (FF) because the FF does not only divide the frequency by 2, also the phase is divided by 2 as will be explained shortly.

For the purpose of explanation, the generation of 8-level PSK is demonstrated now. The circuit is shown in Fig. 4 where a high frequency clock with frequency f_0 is applied to a JK-FF, with the J and K inputs are connected to logic 1 so that the FF works as a T-FF. The outputs Q and Q' (where Q' is the complement of Q) are denoted as Q_{11} and Q_{12} and used as clocks to a second stage two FF's with outputs Q_{21}, Q_{22}, Q_{23} and Q_{24}, notice the similarity between subscripts notation of the outputs and the subscripts notation of the roots in the previous section, where the first subscripts denotes the stage and the second denotes the position of the output in that stage. The waveforms of the circuit are illustrated in Fig. 5.

Now, assuming that all FF's are initially set to low and that the FF's are negative edge triggered, then the outputs Q_{11} and Q_{12} will change at every high-to-low transition of the high frequency clock, with Q_{12} as the complement of Q_{11}. Now the FF_{11} with Q_{11} as input will have its outputs Q_{21} and Q_{23} change at the high-to-low transition of Q_{11} with Q_{23} as the complement of Q_{21}, at the same instance FF_{12} (with input Q_{12}) will have its outputs Q_{22} and Q_{24} undergo no change because its input Q_{12} is making a low-to-high transition. After a half cycle of Q_{11} and Q_{12} the situation is reversed, Q_{11} will have a low-to high transition at clock input, so no change in Q_{21} and Q_{23} while Q_{12} will have a high-to-low transition so the outputs Q_{22} and Q_{24} will change. Proceeding

in the same manner of analysis, the outputs of higher stages can be worked out as shown in Fig. 5. This arrangement of FF's is so much like the ripple counter except that the two outputs of each FF are used to derive two other FF's. This makes the circuit grows like a binary tree. Because of this similarity, the circuit will be referred to as the Multi-Phase Ripple Counter and denoted to as MPRC throughout this paper.

Assuming that the clock frequency is f_0, and looking at the outputs Q_{11} and Q_{12}, it can be seen that they have the same frequency $f_1=f_0/2$ and the two outputs are 180^o out of phase. While Q_{21}, Q_{22}, Q_{23} and Q_{24}, have the same frequency $f_2=f_1/2=f_0/4$ with ¼ cycle time phase shift between each other which is equivalent to 90^o phase shift, and for stage 3 $f_3=f_2/2=f_0/8$ with 1/8 cycle time phase shift.

This can be generalized by expressing the frequency and phase shift of waveforms of each stage by

$$f_n = \frac{f_0}{2^n} \tag{18}$$

$$T_{shift} = \frac{T_n}{2^n} \tag{19}$$

$$\theta_{shift} = \frac{2\pi}{2^n} \tag{20}$$

Where f_n and T_n are the frequency and the cycle time of the outputs of the n^{th} stage, and T_{shift} and θ_{shift} are the lowest time and phase shift between any two different output signals. Notice that all the possible phase shifts between any two output signals can be expressed as a multiple of θ_{shift}, in other words, if we take one signal S_0 as a reference signal with zero phase shift $\theta_0=0$, the phases of the signals of the n^{th} stage can be expressed as

$$\theta_m = (m-1)\frac{2\pi}{M} \tag{21}$$

Where, $M=2^n$ and $m=1, 2, 3, \ldots..2^n$

Which is the exact result required to be achieved

PROPOSED SYSTEM

Now to produce the MPSK signal, the generated waveforms can be multiplexed to one output by the data and the multiplexer output is filtered to be converted into sinusoidal wave. The filtering stage can be made in the power stage so that high efficiency class D amplifiers particularly current switching or current mode class D amplifiers (CMCD) [8] can be used in the transmitter since such modulator is suitable for constant amplitude modulations. Figure 6 shows a block diagram for the proposed MPSK modulator, where a high frequency clock of frequency f_0 is applied to the MPRC to generate M carriers each with frequency f_0/M and having phase shifts given by eq. (21). These carriers are then applied to an M-lines multiplexer, the select lines of the multiplexer are controlled by the modulating data so that each data code selects one carrier of a particular phase. The fact that these carriers have a frequency value equal to f_0/M and the value of f_0 is already limited by the implementation technology this means that the carrier frequency may not be chosen as desired, in such case, a heterodyne configuration of the modulator where a mixer stage can be used to adjust the carrier frequency as required.

IMPLEMENTATION OF TESTING AND MEASUREMENT SYSTEM

This technique is introduced as an alternative to the IQ modulator to generate MPSK signal to eliminate the IQ imbalance. Regarding the amplitude, the digital multiplexing of the different carriers into one output ensures the elimination of the imbalance in the amplitude. Regarding the phase, the different values of propagation delay of each FF can introduce phase imbalance because each carrier has a different path and hence may encounter a different delay.

An experimental circuit was built using TTL components to practically produce an 8-PSK signal, the circuit schematic is shown in Fig. 7. The Ic of 7476 which is a dual JK FF was used to implement the MPRC and the 74151 was used as the 8-to-1 multiplexer. To simulate the data, 3 stages of the binary counter 7493 was used to down scale the frequency of one of the carriers to lower frequency to simulate the data rate, this ensures that the carrier frequency is an integer multiple of the data rate instead of having a different independent clock for the data. The output of the multiplexer was applied to a BPF and compared to a reference signal of the same frequency and the x-y plot of the oscilloscope was viewed as shown in Fig. 8 where, the 8 phase patterns can be seen as 8 different ellipses. This

measurement was made at carrier frequency equals to 160kHz.

To measure the phase error produced due to the different propagation delay, the oscilloscope observation is not suitable because the measurement is taken from the time scale which is considered as an analog measure that may not be an accurately reliable measurement. To make a digital measurement of time, the output of the multiplexer and one of its inputs (considered as a reference signal) are fed to a computer through the parallel port interface. An MS DOS based Turbo C program was run in MS DOS real mode to read these two signals and measure the time difference. This program is run under MS DOS operating system (OS) not under Windows OS because Windows is a multitask OS and it is not a convenient platform for timing critical programs because the processor time is shared among multitasks including the user's program which in turn would affect the time measurement task of the program.
The time measuring Program was tested for the highest sampling frequency possible (which is limited by the speed of the PC), the sampling frequency was found approximately 800 ksample/s. Although, this value of the sampling frequency seems rather high, but it is actually not. Since we are trying to measure time, we need to consider the minimum timing interval which is 1/8 of a cycle and to assign say 20 samples for 1/8 of a cycle, the frequency of the carrier should be

$(1/f_c)\times(1/8)=20\times 1/f_s$
$f_c = f_s /(8\times 20) =800/(8\times 20) = 5$ kHz

This means that the clock frequency should be $f_{clock}=8\times 5=40$ kHz. Although, the 5 kHz value as a carrier frequency is not practical, but it was chosen due to the limitations imposed by what was available of measurement tools that is the MS DOS based PC.
The basic idea of measuring the phase difference between the two signals is

1- Detect two successive low-to-high bit transitions of the first signal and calculate the number of samples in between as the time of one cycle.
2- Detect a low-to-high transition of the first signal and a low-to-high of the second signal and calculate the number of samples in between as the time shift.
3- Calculate phase = (time shift / cycle time) × 360

After measuring the phase difference between the output signal and the reference signal, the phase error was calculated as RMS value and the results were as in the table below
As can be seen from the above table that the phase deviation from ideal phase values is rather low, two important factors need to be considered when evaluating these results. The first factor is that the carrier frequency is low and it has been mentioned earlier that the imbalance parameters are in general frequency dependent and for higher frequency values it is expected that the situation is worse but on the other hand the fact that the measurement time is being quantized by the sampling period leads to the generation of certain amount of error that is added to the actual phase imbalance introduced by the circuit. The second factor is that the source of phase imbalance produced by this circuit is due to the different paths that different carriers take and hence different propagation delays are encountered. Theoretically if all paths have equal propagation delay, no phase imbalance will be introduced. In practical situation this is not the case, but the amount of difference in the propagation delays is an implementation technology dependent and the circuit was implemented using TTL technology (which is rather old technology) because of its availability at hand. It is expected that modern implementation technology will have better performance that the TTL technology, like [9]:

1- Dynamic Current Mode Logic (DyCML)
2- Gate-Diffusion Input (GDI)
3- Race Logic Architecture (RALA)

CONCLUSION

In this paper a new technique for generating MPSK signal is presented in which no analog components are used to generate the modulating phase shifts and hence eliminating or reducing the amplitude and phase imbalance. A practical circuit was built using TTL components to generate an 8PSK signal and the results was presented as the 8 ellipses for 8 phase differences, also the time measurements was made for lower frequencies to measure the phase imbalance.

REFERENCES

1- Kyongkuk Cho, Jaeyoon Lee, Dongweon Yoon, Sang Kyu Park, and Sanggoo Kim
"The Effect of I/Q Imbalances in OFDM Systems with MPSK Modulation over AWGN Channel,", The 11th IEEE International Conference on Communications Systems (ICCS) 2008

2- Seungkeun Park and Sung Ho Cho "SEP Performance of Coherent MPSK Over Fading Channels in the Presence of Phase/Quadrature Error and I-Q Gain Mismatch" IEEE Transactions On Communications, Vol. 53, No. 7, July 2005.

3- Andreas Schuchert and Ralph Hasholzner "A Novel IQ Imbalance Compensation Scheme For The Reception of OFDM Signals" IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 47, No. 3, AUGUST 2001.

4- Elias Nemer and Ahmed Said "An Iterative Feedback Algorithm for Correcting the I/Q Imbalance in DVB-S Receivers". ACTA Press Proceedings on Communications Systems and Networks 2004, Spain.

5- Chia-Horng Liu "On the Study of End-to-End IQ Imbalance Problem in OFDM Systems" IEEE 68th Vehicular Technology Conference, 2008, Canada.

6- S. Mutha, P. Roblin, D. Chaillot, Xi Yang, Jiwoo Kim, J. Strahler, R. Rojas, J. Volakis, "Technique for Joint Balancing of IQ Modulator-Demodulator Chains in Wireless Transmitters" IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2009. Boston, MA, pp 221 – 224.

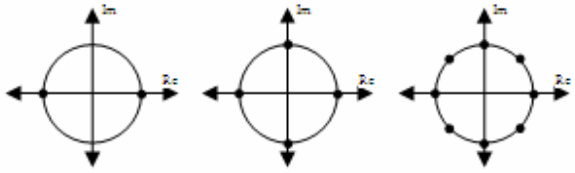
7- Jack Smith, *Modern Communication Circuits*, McGraw-Hill Series in Electrical Engineering, 1986.

8- Andrei Grebennikov and Nathan O. Sokal *Switchmode RF Power Amplifiers*, Elsevier Communications Engineering Series, 2007.

9- G. Privitera and Francesco Pessolano "Analysis of High-Speed Logic Families" Power and Timing Modeling, Optimization and Simulation, Proceedings of 13th InternationalWorkshop, PATMOS 2003, Italy.

Table (1) The measured RMS phase error

Ideal Phase difference in degrees	Respective RMS of phase error in degrees
0	0.00
1/8 × 360	0.57
2/8 × 360	1.14
3/8 × 360	0.58
4/8 × 360	1.13
5/8 × 360	0.57
6/8 × 360	1.14
7/8 × 360	0.57



(a) (b)

Fig. 1 Signal space diagrams for MPSK signals with (a) M=2, (b) M=4 and (c) M=8.

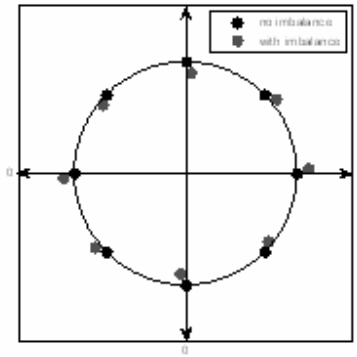


Fig. 2 8PSK constellation with imbalance (ε=0.1, $\Delta\phi$=5°) without and imbalance.

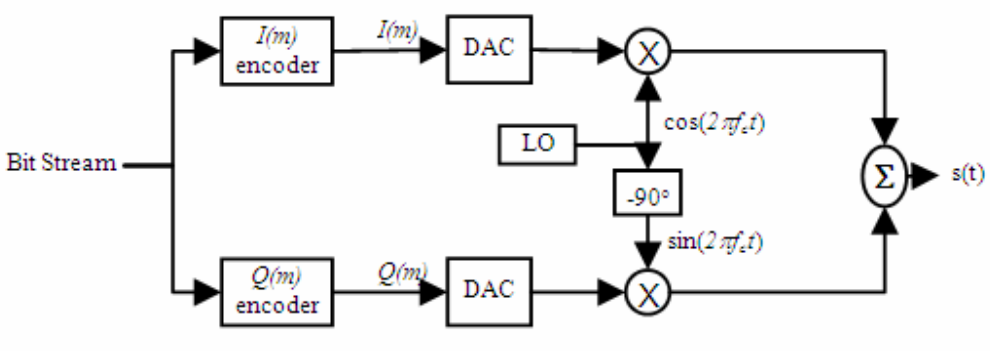


Fig. 3 A typical MPSK modulator.

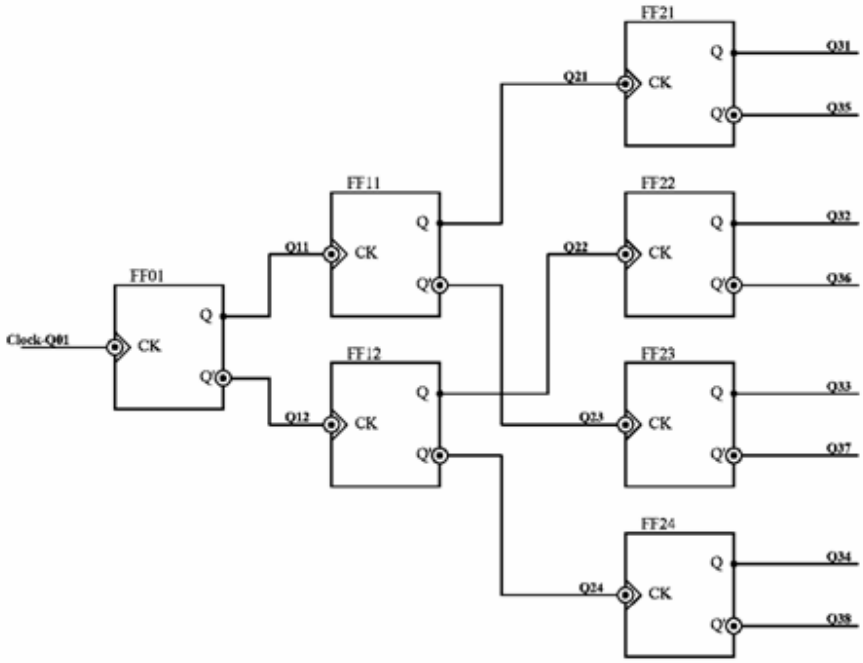


Fig. 4 Multi phase ripple counter.

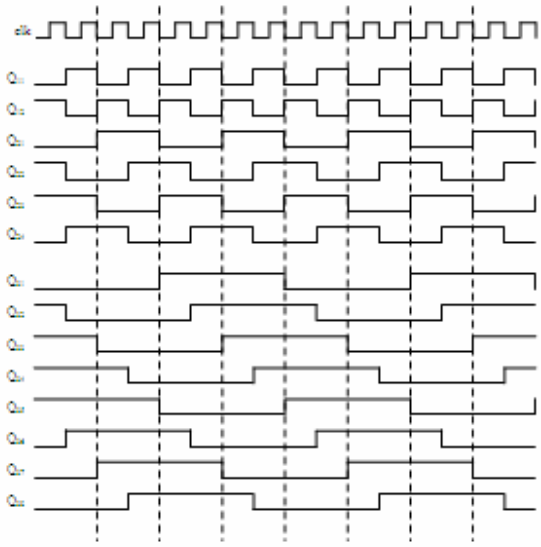


Fig. 5 The waveforms generated by the MPRC

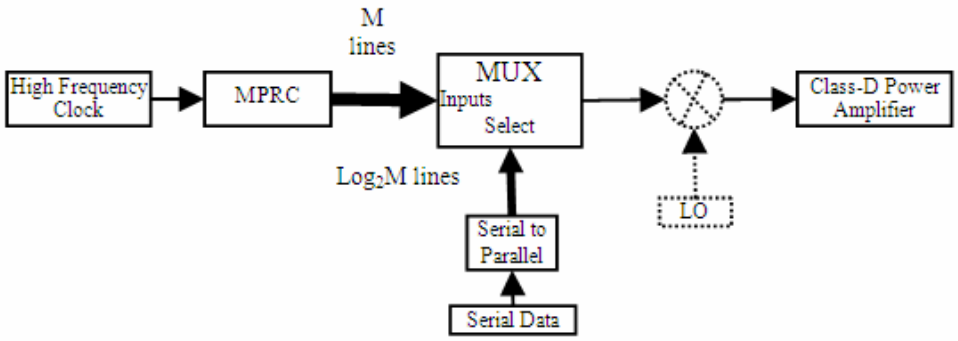


Fig. 6 The proposed system for MPSK transmitter

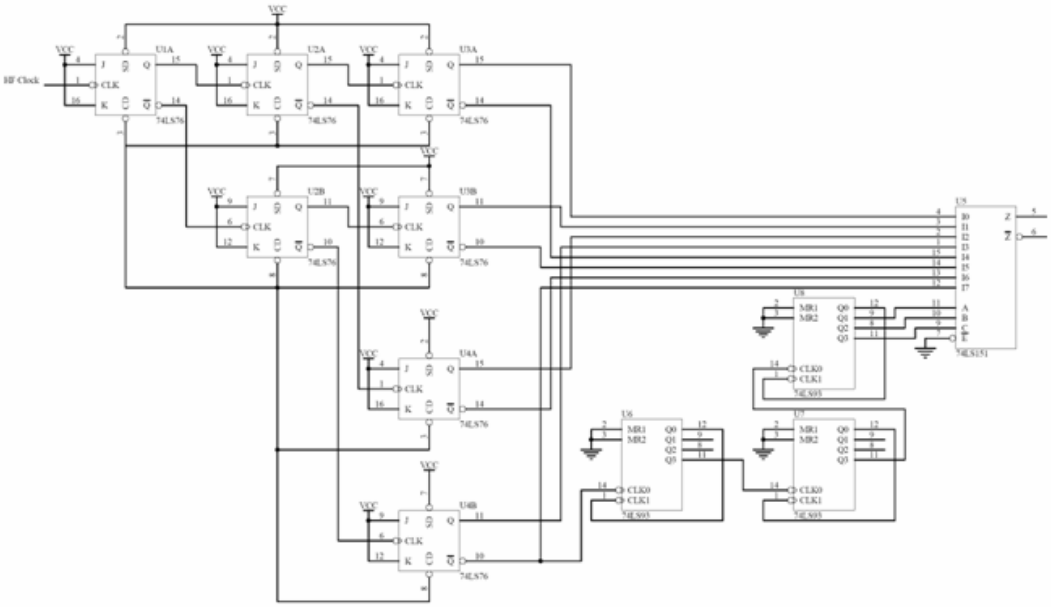


Fig. 7 The test circuit for generating the 8PSK signal.

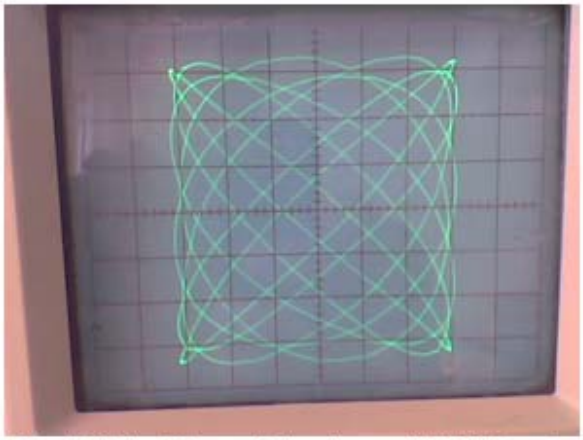


Fig. 8 Eight ellipses of the phases of 8PSK signal.

FACE IDENTIFICATION USING BACK-PROPAGATION ADAPTIVE MULTIWAVENET

Prof. Dr. Waleed Ameen Mahmoud
University of Baghdad/ College of Engineering
Electrical Engineering Department

Ali Ibrahim Abbas
University of Baghdad/ College of Engineering
Electrical Engineering Department

Asst. Prof. Nuha Abdul Sahib Alwan
University of Baghdad/ College of Engineering
Computer Engineering Department

Abstract
Face Identification is an important research topic in the field of computer vision and pattern recognition and has become a very active research area in recent decades. Recently multiwavelet-based neural networks (multiwavenets) have been used for function approximation and recognition, but to our best knowledge it has not been used for face Identification. This paper presents a novel approach for the Identification of human faces using Back-Propagation Adaptive Multiwavenet. The proposed multiwavenet has a structure similar to a multi-layer perceptron (MLP) neural network with three layers, but the activation function of hidden layer is replaced with multiscaling functions. In experiments performed on the ORL face database it achieved a recognition rate of 97.75% in the presence of facial expression, lighting and pose variations. Results are compared with its wavelet-based counterpart where it obtained a recognition rate of 10.4%. The proposed multiwavenet demonstrated very good recognition rate in the presence of variations in facial expression, lighting and pose and outperformed its wavelet-based counterpart.

الخلاصة
تمييز الوجوه من المواضيع المهمة في مجال الرؤية الحاسوبية والتعرف على الأنماط وأصبحت مجالا بحثيا نشطا للغاية في العقود الأخيرة. في الآونة الأخيرة استخدمت الشبكة العصبية المتعددة المويجات لتقريب الدالة و التمييز، لكن بحسب علمنا لم تستخدم للتعرف على الوجوه. يقدم هذا البحث نهجا جديدا لتحديد الهوية من خلال الوجه باستخدام (Back-Propagation Adaptive Multiwavenet) الشبكة العصبية المتعددة المويجات التكيفية ذات انتشار تراجعي. تمتلك الشبكة المتعددة المويجات المقترحة بنية مماثلة ل(MLP) مع ثلاث طبقات، غير ان دالة التفعيل تم استبدالها بدالة متعددة المقادير. حققت هذه الشبكة نسبة التمييز 97.75% في تجارب تمت على قاعدة البيانات ORL مع اختلاف في تعابير الوجه، الاضاءة وتدوير الوجه. تمت مقارنة النتائج مع نظيرتها الاحادية المويجة حيث حصلت على نسبة تمييز 10.4%. اظهرت الشبكة المقترحة نسبة جيدة جدا مع وجود اختلاف في الاضاءة، تعابير الوجه وتدوير الوجه وتفوقت على نظيرتها الاحادية المويجة.

Keywords: Face Identification, multiwavelet neural network, Back-Propagation Adaptive Multiwavenet

1. INTRODUCTION

Over the last decade, face recognition has become a popular area of research in computer vision. A general statement of the face recognition problem can be formulated as follows: Given still or video images of a scene, identify or verify one or more persons in the scene using a stored database of faces. A survey of face recognition techniques has been given by (Zhao W., et al., 2003).

In general, face recognition techniques can be divided into two groups based on the face representation they use:

- Appearance-based, which uses holistic texture features and is applied to either whole-face or specific regions in a face image;
- Feature-based, which uses geometric facial features (mouth, eyes, brows, cheeks etc.) and geometric relationships between them.

Among various solutions to the problem (Turk M., et al., 1991) the most successful seems to be appearance-based approaches, which generally operate directly on images or appearances of face objects and process the image as two-dimensional patterns. Most effort in the literature have focused mainly on developing feature extraction methods (Zhao W., et al., 2003), (Zhao W., et al., 1997), (Deniz O., et al., 2003) and employing powerful classifiers such as probabilistic (Moghaddam B., 2002), Hidden Markov models (HMMs) (Othman H., et al., 2003) neural networks (NNs) (Er M.J., et al., 2003), (Er M.J., et al., 2005) and support vector machine (SVM) (Lee K., et al., 2002).

The use of neural networks for face recognition has been addressed in (Pang S., et al., 2005), (Zhang B., et al., 2004), (Fan X., et al., 2005), (Lu X., et al., 2003). Recently, (Li G., et al., 2006) suggested the use of a non-convergent chaotic neural network to recognize human faces. (Lu K., et al., 2006) suggested a semi-supervised learning method that uses support vector machines for face recognition. (Zhou W., et al., 2006) suggested using a radial basis function neural network that is integrated with a non-negative matrix factorization to recognize faces. (Huang L.L., et al., 2006) proposed using two neural networks whose outputs are combined to make a final decision on classifying a face. (Park C., et al., 2006) used a momentum back propagation neural network for face and speech verification.

Back Propagation Wavenet (BPW) is an artificial neural network (ANN) that is integrated with wavelet techniques and has been used successfully in many fields. Instead of conventional nonlinear sigmoid transfer functions, the transfer function of the nodes in a wavelet neural network is wavelet bases. Because wavelet bases are localized in time and frequency, the ability of a BPW in mapping complicated nonlinear functions is enhanced considerably (Yang X., et al., 2009).

(Shen Y., et al., 2004) used BPW for object recognition. (Ensafi A.A., et al., 2007) applied BPW for the determination of sulfide and thiocyanate in real samples such as tap, waste and river waters with satisfactory results. to improve the detection rate for anomaly state and reduce the false positive rate for normal state in the network anomaly detection. (Liu L., et al., 2009) proposed a novel method based on BPW trained by Modified Quantum-behaved Particle Swarm Optimization (MQPSO) algorithm. (Long-yun X., et al., 2008) used BPW for gear faults diagnosis. (Zhao Y.Z., et al., 2009) used BPW for learning the wear out pattern of the milling machine cutters to predict their remaining useful life. (Bin Z., et al., 2010) applied BPW to solve the problem of tunnel surrounding rock deformation prediction.

As an extension of wavelets, a multiwavelet can preserve all the advantages the wavelet has. Furthermore, it can simultaneously have several properties very useful in practical applications such as orthogonality, regularity, symmetry, and compact support, which is impossible for a scalar wavelet. Therefore, the networks using the dilations and translations of a multiscaling function as node functions have better performances which are worth investigating (Jiao L.C., et al. 2001). Based on the considerations above, a model of multiwavelet-based neural network for face identification is used in this paper.

Section 2 provides an introduction of the Multiwavenet. Section 3 presents a face identification system based on a back-propagation multiwavenet classifier. Section 4 presents experimental results. Conclusions are presented in Section 5.

2. MULTIWAVENET

Suppose a multiplicity-r multiscaling function $\phi(t) = \left[\phi^1(t), \phi^2(t), \ldots, \phi^r(t)\right]^T$ satisfies a dilation equation

$$\phi(t)=\sum_{k\in Z} p_k \phi(2t-k) \quad (1)$$

and the dilations and translations of $\phi^l(t)$s, denoted by $\phi^l_{j,k}(t)=2^{j/2}\phi^l_{j,k}(2^j t-k)$, l = 1, …, r $k\in Z$, span the scale space $V_j \quad j\in Z$.

We are interested in the case of orthogonal multiscaling functions. In that case, $\{\phi^l_{j,k}(t)\,|\,l=1,\cdots,r, \quad k\in Z\}$ form an orthonormal basis of V_j, and the associated multiwavelet $\psi(t)=[\psi^1(t),\psi^2(t),..,\psi^r(t)]^T$ make $\psi^l_{j,k}(t)=2^{j/2}\psi^l_{j,k}(2^j t-k)$, l = 1,…,r , $k\in Z$, form an orthonormal basis of the orthogonal complementary subspace W_j of V_j in V_{j+1}. From the theory of multiresolution analysis, we know that $\bigcup_{j\in z} V_j = L^2(R)$ and hence, for any $f\in L^2(R)$, there exists a natural number J_0, such that $\|f-f_J\|_2<\varepsilon, \quad J>J_0$ where $\|\bullet\|_2$ is L^2 norm, ε is an arbitrary positive number, and $f_J\in V_J$

$$f_J=\sum_{l=1}^{r}\sum_{k\in z}\langle f,\phi^l_{J,k}\rangle\phi^l_{J,k}(t). \quad (2)$$

From the viewpoint of neural networks, f_J can be learned by a neural network, which is called multiwavelet neural network (multiwavenet) because of its connection with the multiwavelet theory though the node functions used are the associated multiscaling functions (Jiao L.C., et al. 2001).

3. THE PROPOSED FACE IDENTIFICATION SYSTEM

The general structure of the proposed face identification system is shown in **Fig. 1**.

Function of each block is clarified below:

- **Preprocessing:** Locating faces in image and extracting the face part only. This is done manually.
- **Normalization:** Histogram equalization of images to reduce the effect of lightning source amplitude's variations.
- **Feature Extraction:** Down sample the image to a low resolution using a bicubic interpolation method and put the result in a one-dimensional feature vector.
- **Classifier:** Multiwavenet classifier is used. After the training is done, the parameters of the multiwavenet classifier, namely weights, translations and dilations are stored and are used in the identification stage when the classifier works in simulation mode.

The processing in both training and identification stages is similar except for the classifier, which works in training mode in the training stage and in simulation mode in the identification stage.

In this section, a classifier for the face identification system is proposed. Each output of the multiwavenet classifier corresponds to a class. The position of the output with the highest value determines the class to which the input belongs. For example if there are five classes, five outputs are needed. During the training phase, each data in the training set is presented to the classifier to the classifier along with its desired output, where desired output for an input belonging to class *c* is an all zero vector with a one in the *c*th position. When a new input is presented to the classifier, the position of the highest value output determines the class.

The architecture of the proposed Back Propagation Adaptive Multiwavenet (BPAMW) is basically the same as the back propagation neural network, except that the sigmoid function of hidden layer node of the back propagation neural network is replaced with two or more scaling functions of a multiwavelet system. For each distinct individual in the training set, an output is needed and for each output a set of weights is required. A competitive layer is added after the output layer. Function of this layer is to produce the final classification result by choosing the output with the highest value among all outputs as the winner and returning its position as the final classification. The architecture of the BPAMW classifier is shown in **Fig. 2**.

The *k*th output of the BPAMW classifier before the competitive layer is

$$y_k(U_s)=\sum_{i=1}^{M}\sum_{L=1}^{r} w_{iLk}\varphi_L\left(\frac{z_{is}-t_i}{\lambda_i}\right) \quad (3)$$
$$k=1\cdots K, \quad s=1\cdots P$$

$$z_{is} = \sum_{j=1}^{N} v_{ji} u_{js} \,, \tag{4}$$

where M is the number of multiwavelons, r is the multiplicity of the multiscaling function and each multiwavelon has r wavelons, t_i and λ_i are the translation and dilation of ith multiwavelon's scaling functions respectively, φ_L is the L'th scaling function. $U_s = \{u_{1s}, u_{2s}, \ldots, u_{Ns}\}$ is the sth input vector of the total P input vectors in the training set, N is the number of elements of each input vector (input dimension), z_{is} is the inner product between the input vector U_s and the ith input weight vector $V_i = \{ v_{1i}, v_{2i}, \ldots, v_{Ni} \}$ (weights between input nodes and ith multiwavelon), w_{iLk} is the weight between Lth wavelon of ith multiwavelon and the kth output, $y_k(U_s)$ is the kth output of the network and there are K nodes in the output layer, K should be equal to the number of individuals in the training database.

(Plonka G., et al. 1998) presented an efficient method for creating multi-scaling functions with given approximation order, regularity, symmetry and short support. In second example of their paper, multi-scaling functions with approximation order 4, compact support (0,2), and symmetry was constructed which will be used in this work. Unlike GHM (Geronimo-Hardin-Massopust) multi-scaling functions, these functions have a closed form expression:

$$\phi_1(u) = \begin{cases} \left(-2u^3 + 3u^2\right) & u \in [0,1) \\ (2-u)^2(2u-1) & u \in [1,2] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

$$\phi_2(u) = \begin{cases} -u^2(3u-3) & u \in [0,1) \\ -(2-u)^2(3u-3) & u \in [1,2] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

To calculate partial derivatives, the derivative of ϕ_L is also required. Each ϕ_L is composed of two polynomial functions, to obtain the derivative of ϕ_L each polynomial is differentiated as an independent function and results are combined.

$$\frac{d\phi_1(u)}{du} = \begin{cases} -6u(u-1) & u \in [0,1) \\ 6(u-1)(-2+u) & u \in [1,2] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{7}$$

$$\frac{d\phi_2(u)}{du} = \begin{cases} -3u(3u-2) & u \in [0,1) \\ -3(3u-4)(-2+u) & u \in [1,2] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{8}$$

The output of the competitive layer is

$$c = \underset{k \in \{1 \cdots K\}}{\arg\max} \left(y_k\right) \tag{9}$$

where y_k is the kth output and K is the total number of outputs.

Gradient descent method is used for training of the network parameters. The objective function to be minimized is

$$C_k = \frac{1}{2P} \sum_{s=1}^{P} \left(y_k(U_s) - f_k(U_s)\right)^2 , \quad k = 1 \ldots K \tag{10}$$

where P is the number of training pairs, $y_k(U_s)$ is the kth output of the BPAMW classifier before the competitive layer and $f_k(U_s)$ is the kth desired output. The competitive layer is not included in the training, because it has a fixed function that does not need training and only operates when the classifier is in identification stage where it determines the final classification result.

Batch training mode is used where all training pairs $\{U_s, f_k(U_s)\}$, $s = 1, \ldots, P$ should be processed before parameters could be updated. Parameters are modified in the opposite direction of the gradient of C_k. To speed up the convergence rate, momentum term is included in parameter's update.
Let

$$\tau_{is} = \frac{z_{is} - t_i}{\lambda_i} , \tag{11}$$

$$\phi_L(\tau_{is}) = \phi_L\left(\frac{z_{is} - t_i}{\lambda_i}\right) , \text{ and} \tag{12}$$

$$e_{sk} = y_k(U_s) - f_k(U_s) . \tag{13}$$

Partial derivatives are expressed as follows:

$$\frac{\partial C}{\partial w_{iLk}} = \sum_{s=1}^{P} e_{sk}\phi_L(\tau_{is}) \quad (14)$$

$$\frac{\partial C}{\partial v_{ji}} = \sum_{s=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{L=1}^{r} e_{sk}\, w_{iLk}\frac{\partial \phi_L(\tau_{is})}{\partial \tau_{is}} u_{js}\lambda_i^{-1} \quad (15)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t_i} = -\sum_{s=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{L=1}^{r} e_{sk}\, w_{iLk}\frac{\partial \phi_L(\tau_{is})}{\partial \tau_{is}} \lambda_i^{-1} \quad (16)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \lambda_i} = \sum_{s=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{L=1}^{r} e_{sk}\, w_{iLk}\frac{\partial \phi_L(\tau_{is})}{\partial \tau_{is}} \tau_{is}\lambda_i^{-1}\,. \quad (17)$$

Parameters can be updated as follows:
h = iteration number

$$w_{iLk}^{h+1} = w_{iLk}^{h} - \eta\frac{\partial C}{\partial w_{iLk}} + \alpha\Delta w_{iLk}^{h} \quad (18)$$

$$v_{ji}^{h+1} = v_{ji}^{h} - \eta\frac{\partial C}{\partial v_{ji}} + \alpha\Delta v_{ji}^{h} \quad (19)$$

$$t_i^{h+1} = t_i^{h} - \eta\frac{\partial C}{\partial t_i} + \alpha\Delta t_i^{h} \quad (20)$$

$$\lambda_i^{h+1} = \lambda_i^{h} - \eta\frac{\partial C}{\partial \lambda_i} + \alpha\Delta \lambda_i^{h}\,. \quad (21)$$

where $\Delta x^h = x^h - x^{h-1}$.

Parameter initialization has a significant impact on the convergence rate of the BPAMW. A heuristic method for parameter initialization is proposed here. The following equations express the parameter initialization.

$v_{ji} = rand() * 4 - 2$ (22)
for $j = \{1,\ldots, N\}$, $i = \{1,\ldots, M\}$

$w_{iL} = 0$ (23)
for $i = \{1,\ldots,M\}$, L = $\{1,\ldots,r\}$

$$U_{\max} = \max_{s\in\{1,\cdots,P\}}\left(U_s\right) \quad (24)$$

$$U_{\min} = \min_{s\in\{1,\cdots,P\}}\left(U_s\right) \quad (25)$$

$$z_{i\max} = V_i^T \cdot U_{\max} \quad \text{(inner product)} \quad (26)$$

$$z_{i\min} = V_i^T \cdot U_{\min} \quad \text{(inner product)} \quad (27)$$

$$\lambda_i = \frac{z_{i\max} - z_{i\min}}{2} \quad (28)$$

$$t_i = \frac{z_{i\max} + z_{i\min}}{2} \quad (29)$$

where *rand*() is a function that generates random number in the range (0, 1).

The BPAMW classifier's training is needed to be done only once and after that, it can recognize new and unseen images of the persons in the training set. When operating in the identification mode, the classifier uses the stored parameters from training stage to calculate the outputs. The index of the output with the highest value is the class number of the input that is calculated by the competitive layer.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

AT&T "The Database of Faces" (formerly "The ORL Database of Faces") database contains 400 grayscale images of 40 persons. Each person has 10 images, each having a resolution of 92 x 112 and 256 gray levels. For some subjects, the images were taken at different times, varying the lighting, facial expressions (open / closed eyes, smiling / not smiling) and facial details (glasses / no glasses). All the images were taken against a dark homogeneous background with the subjects in an upright, frontal position (with tolerance for some side movement). The first three images from each individual of the database are selected for the test set and the rest of the face images are included in the training set. Therefore, a total of 280 face images are used for training and another 120 face images are used for testing. A sample of the face images are shown in **Fig. 3**.

Images were resized to size 6*7 and put in a one-dimensional vector, then pixel values were normalized to range (0,1) by dividing each element of the vector by the maximum value of the vector.

For the BPAMW classifier; number of multiwavelons was set to 40, the iteration number was set to 5 and the learning rate was 0.01. The momentum term coefficient was 0.9. Results are

summarized in **Table 1**. **Fig. 4** shows the training performance of the network. An average recognition rate of 97.75% was obtained over ten trials. Each trial involves training and testing. Since training uses the *rand()* function for parameter initialization, the final stored parameters upon convergence may differ slightly. This is why averaging the recognition rate over ten trials is performed to achieve stochastic ensemble averaging.

To compare the performance of the proposed BPAMW classifier with the BPW classifier, the same experiments were performed with the same parameters. Results are summarized in **Table 2**.

Fig. 5 shows the training performance of the network. An average independent recognition rate of 10.4% were obtained over ten trials.

The proposed BPAMW classifier has a very good recognition rate of 97.75% in a very few iterations, which indicates that it has a very good recognition rate when there are variations in the facial expression and limited pose variations. Also the results show that BPAMW classifier is superior to BPW classifier because it achieved a higher recognition rate in the same number of iterations.

5. CONCLUSIONS

In this paper a classifier has been proposed for identification of human faces. The classifier is based on multiwavelet neural network. As an extension of wavelets, a multiwavelet can preserve all the advantages the wavelet has. Furthermore, it can simultaneously have several properties very useful in practical applications such as orthogonality, regularity, symmetry, and compact support, which is impossible for a scalar wavelet. Therefore, the network using the multiwavelet as activation functions has a better performance than the same network with wavelets as activation functions.

Experiments that were performed on AT&T "The Database of Faces" (formerly "The ORL Database of Faces") showed that BPAMW classifier has a very good recognition rate of 97.75% in the presence of facial expression, lighting and pose variations.

REFERENCES

Bin Z., De-yuan H., and Tao L., "Research on the Application of Wavelet Neural Network in the Surrounding Rock Displacement Prediction," 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 2010), Wuhan, China, pp. 266-269, 6-7 March 2010.

Deniz O., Castrillfion M., and Hernfiandez M., "Face recognition using independent component analysis and support vector machines", Pattern Recognition letters, vol. 24, pp. 2153-2157, 2003.

Ensafi A.A., Khayamian T., and Tabaraki R., "Simultaneous Kinetic Determination of Thiocyanate and Sulfide Using Eigenvalue Ranking and Correlation Ranking in Principal Component-Wavelet Neural Network," Talanta, Vol. 71, Issue 5, pp. 2021-2028, March 2007.

Er M.J., Chen W., and Wu S., "High speed face recognition based on discrete cosine transform and RBF neural network", IEEE Trans. On Neural Network, vol. 16, no.3, pp. 679-691, 2005.

Er M.J., Wu S., Lu J., and Toh L.H., "face recognition with radial basis function (RBF) neural networks", IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 13, no. 3, pp. 697-710, 2003.

Fan X., and Verma B., "A Comparative Experimental Analysis of Separate and Combined Facial Features for GA-ANN based Technique," Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, pp. 279-284, Aug. 2005.

Huang L.L., and Shimizu A., "Combining Classifiers for Robust Face Detection," In Lecture Notes in Computer Science, 3972, Springer-Verlag, pp. 116-121, 2006.

Jiao L.C., Pan J., and Fang Y.W., "Multiwavelet neural networks and its approximation properties," IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 12, Issue 5, pp. 1060-1066, 2001.

Lee K., Chung Y., and Byun H., "SVM based face verification with feature set of small size", Electronic letters, vol. 38, no.15, pp. 787-789, 2002.

Li G., Zhang J., Wang Y., and Freeman W.J., "Face Recognition Using a Neural Network Simulating Olfactory Systems," In Lecture Notes in Computer Science, 3972, Springer-Verlag, pp. 93-97, 2006.

Liu L., and Liu Y., "MQPSO based on wavelet neural network for network anomaly detection," 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom'09), Beijing, China, pp. 1-5, 24-26 Sep. 2009.

Long-yun X., Zhi-yuan R., and Rui-cheng F., "Gear Faults Diagnosis Based on Wavelet Neural Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Takamatsu, Japan, pp. 452-455, 5-8 Aug. 2008.

Lu K., He X., and Zhao J., "Semi-supervised Support Vector Learning for Face Recognition," In Lecture Notes in Computer Science, 3972, Springer-Verlag, pp. 104-109, 2006.

Lu X., Wang Y., and Jain A.K., "Combining Classifiers for Face Recognition," Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo (ICME '03), Vol. 3, pp. 13-16, 2003.

Moghaddam B., "Principal manifolds and probabilistic subspaces for visual recognition", IEEE Transactions on pattern Anal. Machine Intelligence, vol. 24, no.6, pp. 780-788, 2002.

Othman H., and Aboulnasr T., "A separable low complexity 2D HMM with application to face recognition", IEEE Trans. Pattern. Anal. Machie Inell., vol. 25, no.10, pp. 1229-1238, 2003.

Pang S., Kim D., and Bang S.Y., "Face Membership Authentication Using SVM Classification Tree Generated by Membership-Based LLE Data Partition". In IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 16, Issue 2, pp. 436-446, 2005.

Park C., Ki M., Namkung J., and Paik J.K., "Multimodal Priority Verification of Face and Speech Using Momentum Back-Propagation Neural Network," In Lecture Notes in Computer Science, 3972, Springer-Verlag, pp. 140-149, 2006.

Plonka G., and Strela V., "Construction of Multi-Scaling Functions with Approximation and Symmetry," SIAM Journal on Mathematical Analysis, Vol. 29, Issue 2, pp. 481-510, March 1998.

Shen Y., Wang Q., and Yu S., "A Target Recognition of Wavelet Neural Network Based on Relative Moment Features," Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, Hangzhou, P.R. China, Vol. 5, pp. 4089–4091, 15-19 June 2004.

Turk M., and Pentland A., "Eigen faces for face recognition", Journal cognitive neuroscience, vol. 3, no.1, 1991.

Yang X., Kumehara H., and Zhang W., "Back Propagation Wavelet Neural Network Based Prediction of Drill Wear from Thrust Force and Cutting Torque Signals," Canadian Center of Science and Education (CCSE), Computer and Information Science Journal, Vol. 2, Issue 3, pp. 75-86, Aug. 2009.

Zhang B., Zhang H., and Ge S., "Face Recognition by Applying Wavelet Subband Representation and Kernel Associative Memory," In IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 15, pp. 166-177, 2004.

Zhao W., Chellappa R., and Krishnaswamy A,, "Discriminant analysis of principal component for face recognition", IEEE Transactions on Pattern Anal. Machine Intelligence, vol. 8, 1997.

Zhao W., Chellappa R., Phillips J., and Rosenfeld A., "Face recognition in still and video images: A literature survey", ACM Comput Surv vol. 35, pp. 399–458, 2003.

Zhao Y.Z., and Li X., "A Dual-Momentum Hybrid Wavelet Neural Net (DM-HWNN): Its Performance Evaluation and Application," 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2009), Cardiff, Wales, UK, pp. 325-330, 23-26 June 2009.

Zhou W., Pu X., and Zheng Z., "Parts-Based Holistic Face Recognition with RBF Neural

Networks," In Lecture Notes in Computer Science, 3972, Springer-Verlag, pp. 110-115, 2006.

list of Symbols

$C(\cdot)$	Objective Function to be Minimized in a Neural Network
$f(\cdot)$	Desired Output
J	Resolution Level of Multiscaling Function
K	Number of Output Nodes
L	Index of the Scaling Functions of a Multiscaling Function
M	Number of Wavelons or Multiwavelons
N	Number of Input Nodes (Input Dimension)
P	Number of Training Patterns
U	Input Vector
V	Input Weight Matrix
Z	The Set of All Integers
C	Output of the Competitive Layer
E	Difference Between Desired Output and Actual Output (Error)
H	Iteration Number (Epoch)
I	Index of the Wavelon or Multiwavelon
K	Index of Output Nodes
R	Multiplicity of Multiwavelet
s	Index of the Training Samples
T	Translation
U	Scalar Input
V	Weight Between the Input Layer and the Hidden Layer
W	Output Weight
Y	Output
z	Inner Product Between the Input Vector and the Input Weight Vector
Δ	Difference Operator
$\sum$	Summation Operator
$\Phi(\cdot)$	Multiscaling Function
$\Psi(\cdot)$	Multiwavelet Function
α	Momentum Coefficient
ε	Training Error Threshold
η	Learning Rate
λ	Dilation
τ	Input to the Wavelet or Scaling Function
$\phi(\cdot)$	Father Scaling Function
$\psi(\cdot)$	Mother Wavelet Function
$\psi'(\cdot)$	Derivative of Wavelet Function

Table 1 Result of the BPAMW Classifier over ORL Database

Average Training MSE	Average Testing MSE	Average Recognition Rate
0.0034	0.0034	97.75

Table 2 Result of the BPW Classifier over ORL Database

Average Training MSE	Average Testing MSE	Average Recognition Rate
0.2490	0.9846	10.4167

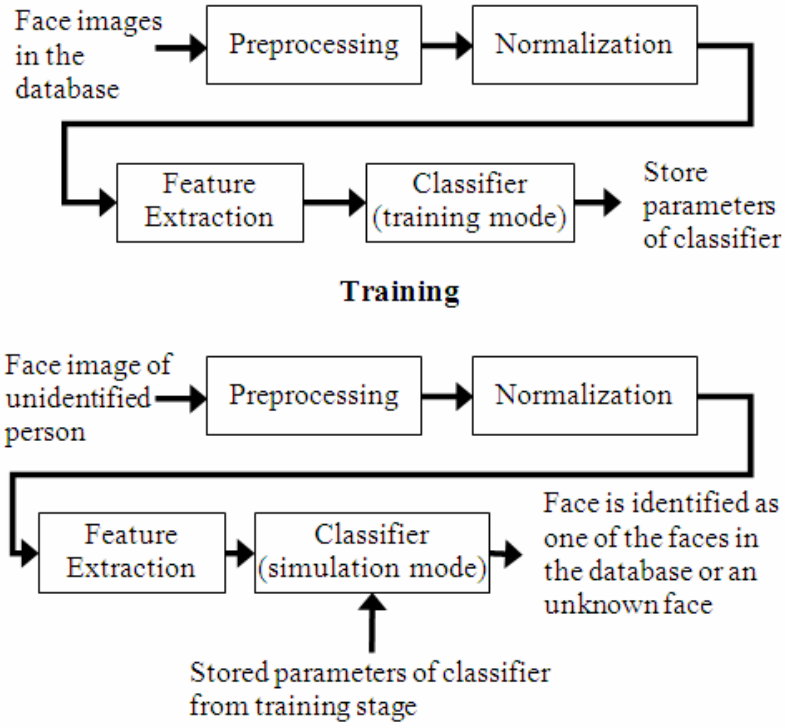


Fig. 1 The Proposed Face Identification System Block Diagram

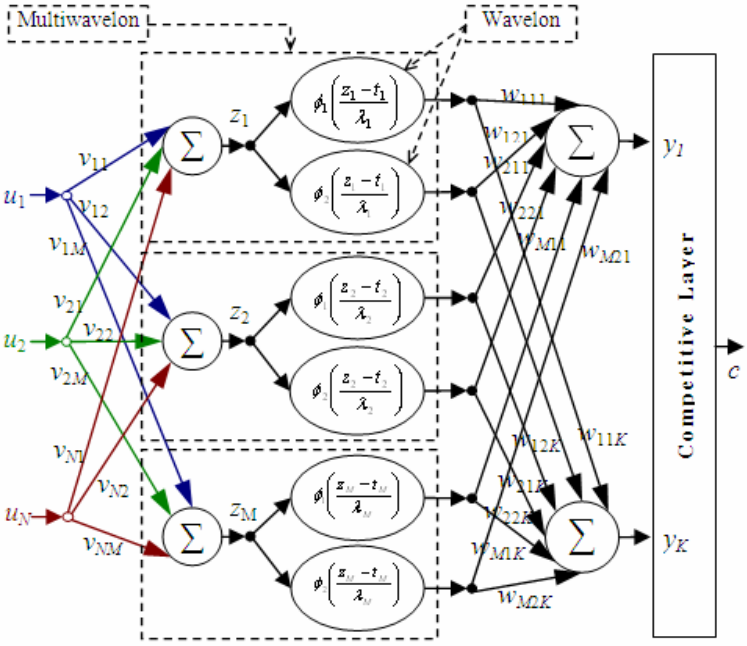


Fig. 2 The proposed BPAMW Classifier

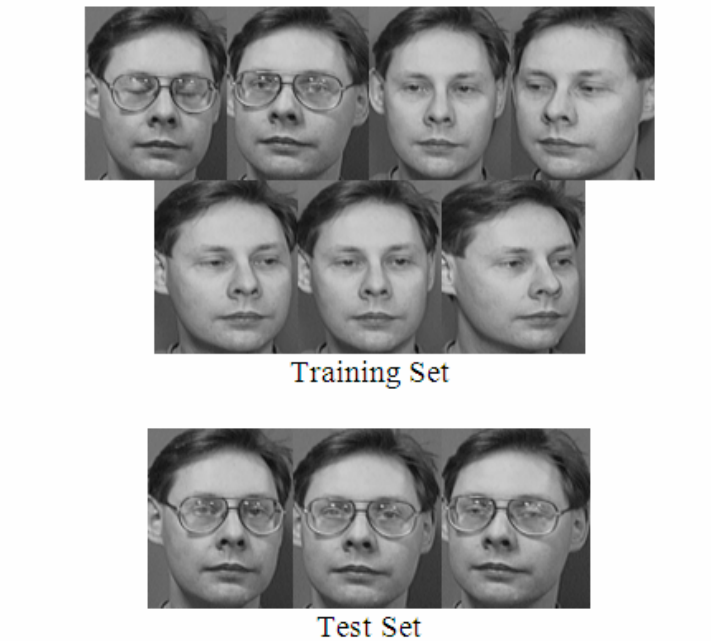


Fig. 3 Sample Images from the ORL Face Database

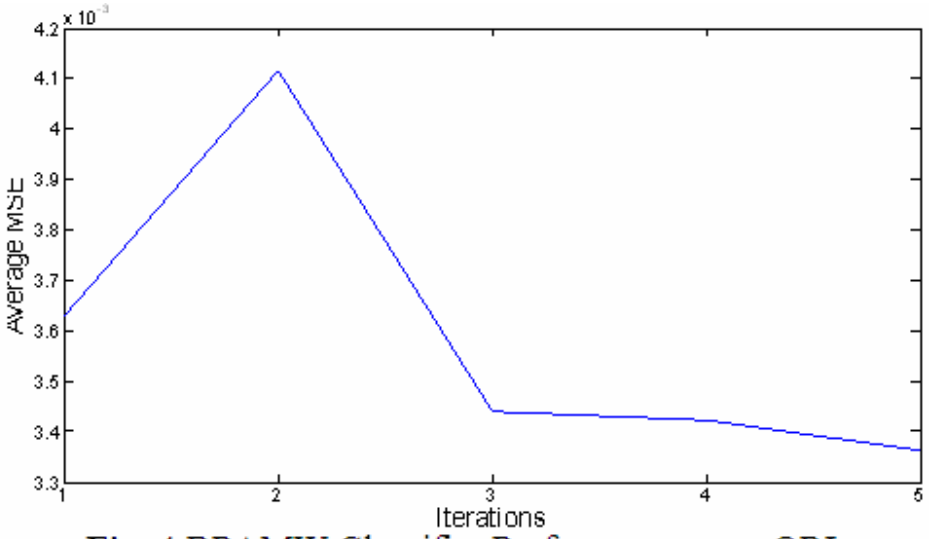


Fig. 4 BPAMW Classifier Performance over ORL Database: Average MSE vs. Iterations

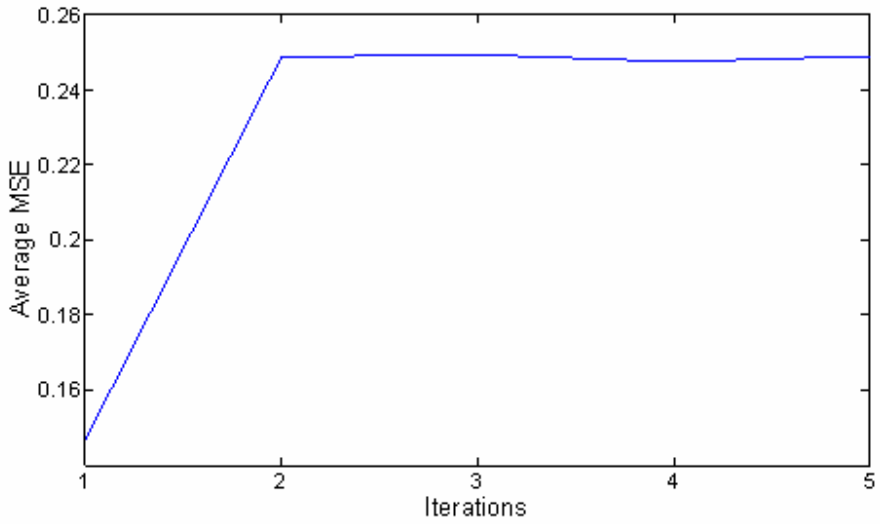


Fig. 5 BPW Classifier Performance over ORL Database: Average MSE vs. Iterations