

الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة لتعزيز التهوية الطبيعية في الأبنية

"انتخاب الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة لتحقيق التهوية الطبيعية في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف"

د. غادة محمد اسماعيل عبد الرزاق كمونة

مدرس

قسم هندسة العمارة في كلية الهندسة – جامعة بغداد

الخلاصة

تُعد التهوية الطبيعية في الأبنية، إحدى الاستراتيجيات الفعالة لتحقيق كفاءة استخدام الطاقة في الأبنية عن طريق توظيف طرق وأساليب التصميم المنفعلة، فضلاً عن كفاءتها في توفير مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغلي الأبنية ورفع إنتاجيتهم. ولأن مفهوم التهوية الطبيعية للكثير من الناس يقتصر في تحقيقه عن طريق النوافذ والفتحات فحسب، إقتضى الأمر توفير هذه الورقة البحثية لبيان استراتيجيات التصميم المنفعلة للتهوية الطبيعية.

من ثم، تمثلت المشكلة البحثية بـ: عدم كفاية المعرفة حول أهمية، وآلية تطبيق الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة للتهوية الطبيعية في الأبنية. أما هدف البحث فهو: تحليل الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة لتحقيق التهوية الطبيعية في الأبنية، بغرض إنتقاء المناسب منها للبيئة العمرانية العراقية. وعليه، تضمن البحث جانبين: الجانب النظري، الذي إستعرض الإطار المفاهيمي للتهوية الطبيعية، وإستنباط أهم الجوانب فيها، بغرض تبنيها بمثابة أساس للجانب التطبيقي (العملي) من البحث. والجانب التطبيقي (العملي)، الذي تناول تحليل مجموعة أمثلة لأبنية وظفت الاستراتيجيات التصميمية المختلفة للتهوية الطبيعية وفقاً للإطار النظري الذي جرى إستنباطه. بالنتيجة، توصل البحث الى ضرورة تبني الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة المختلفة للتهوية الطبيعية في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف، لما لها من أثر فعال في تقليل الطاقة المصروفة لأغراض التهوية والتبريد، فضلاً عن كفاءتها في تحسين جودة الهواء في البيئات الداخلية للأبنية.

كلمات رئيسة: التهوية الطبيعية، تأثير المدخنة، التصميم المنفعلة، التصميم البيئي المستدام.

Passive Design Strategies to Enhance Natural Ventilation in Buildings

"Election of Passive Design Strategies to Achieve Natural Ventilation in Iraqi Urban Environment with Hot Arid Climate"

Dr. Ghada M. Ismael Abdul Razzaq Kamoona

Instructor

Architectural Department in Engineering College – Baghdad University

ghada2010mi@yahoo.com

ABSTRACT

The natural ventilation in buildings is one of effective strategies for achieving energy efficiency in buildings by employing methods and ways of passive design, as well as its efficiency in providing high ranges of thermal comfort for occupants in buildings and raises their productivity. Because the concept of natural ventilation for many people confined to achieve through the windows and openings only, become necessary to provide this research to demonstrate the various passive design strategies for natural ventilation. Then, research problem: Insufficient knowledge about the importance and mechanism of the application of passive design strategies for natural ventilation in buildings. The research objective is: Analysis of passive design strategies to achieve natural ventilation in buildings, for the purpose of the proper selection of them to Iraqi urban environment. Accordingly, the research included two parts: First, the theoretical part, which dealt with the conceptual framework of natural ventilation and deriving the most important aspects in it, in order to adopted as a base for the practical part of the research. Second: the practical part, which analyzed examples of buildings projects that employed various design strategies for natural ventilation, according to the theoretical framework that has been drawn. The main conclusion is, Necessity to adopt various passive design strategies for natural ventilation in Iraqi urban environment with hot dry climate, as they have a significant impact in reducing the energy consumption for the purposes of ventilation and cooling, as well as for its efficiency in improving air quality in indoor environments of buildings.

Key Words: Natural Ventilation, Stack-Effect, Passive Design, Sustainable Environmental Design.

المقدمة:

تساعد التهوية الطبيعية على رفع جودة الهواء في البيئات الداخلية للمبنى، وتحقيق مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغليه، فضلاً عن المحافظة على صحتهم وتعزيز إنتاجيتهم، لا سيما إذا صُمم المبنى لتدوير الهواء النقي فيه بشكلٍ صحيح. ونظراً لما يعانيه العالم في القرن الحادي والعشرين من ظهور مشكلات بيئية جمة، ومنها مشكلة التلوث، وظهور مصادر تلوث جديدة داخل الأبنية، أدى بالنتيجة الى ضرورة تحقيق التهوية الطبيعية في الأبنية، بالأخص أن الإنسان يقضي أغلب وقته في البيئات الداخلية للأبنية، لا سيما في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف، ولمواسم طويلة من السنة، لما يحمله المناخ الحار الجاف من إرتفاع في درجات الحرارة طوال اليوم تقريباً.

بالنتيجة، أصبح موضوع توفير التهوية الطبيعية في البيئات الداخلية للمبنى، حاجة وضرورة ملحة، والتي لا ينبغي الإكتفاء بتحقيقها عن طريق النوافذ والفتحات فحسب، بل ينبغي تبني استراتيجيات تصميمية متعددة لتوفير التهوية الطبيعية داخل فضاءات المبنى، لاسيما الاستراتيجيات التصميمية المنفصلة لما تحمله من مزايا عدة والتي من أهمها، تحقيق مبنى مستدام بيئياً يعمل على ترشيد إستهلاك الطاقة، فضلاً عن تحسين جودة الهواء في بيئاته الداخلية.

1-1 استراتيجيات التصميم المنفصل (السلي):

تُشير استراتيجيات التصميم المنفصل (السلي Passive Design)، الى استخدام الوسائل والطرق الطبيعية، لأغراض توفير التهوية، والتبريد، والتدفئة، والإضاءة في الأبنية، والتقليل من الحاجة الى النظم الميكانيكية، بغرض تحقيق ظروف متوازنة للبيئة الداخلية للمبنى، والوصول الى مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغليه، وذلك عن طريق توظيف الطاقات والعناصر الطبيعية، مثل: الأشعة الشمسية، والتهوية الطبيعية، والدورات المناخية الموسمية واليومية.

وتستفيد التصميمات المنفصلة، من الطاقات الطبيعية المتجددة لتحقيق أقصى قدر من التهوية الطبيعية، والبرودة أو الحرارة، والإضاءة الطبيعية، عن طريق اعتماد استراتيجيات كفوءة في استخدام الطاقة، مثل: إختيار الشكل الملائم للمبنى وفقاً للمنطقة المناخية، وتوجيهه الصحيح نحو الأشعة الشمسية، وإستجابة المبنى للظروف المناخية والطبيعية المحيطة بالموقع، فضلاً عن استراتيجيات أخرى مُتضمنة في هيكل المبنى نفسه، مثل: توظيف كتلة المبنى بغرض تحقيق حلول التهوية الطبيعية لتفعيل التحرك الهوائي داخل فضاءات المبنى، مع توفير التبريد والتدفئة الإشعاعية، وتركيب الكوات السقفية (Skylights)، والعزل ومواد البناء المستخدمة، ووضع النوافذ وأبعادها وأشكالها وأساليب تظليلها، علاوةً على توفير المساحات الخضراء والمزروعات والمسطحات المائية، وغيرها من الحلول التصميمية المنفصلة (Yudelson, 2007).

وتتطلب النظم الموظفة للتصاميم المنفصلة، القليل من الصيانة، وتقلل من إستهلاك الطاقة الناضبة في المبنى، عن طريق تقليص أو حتى الإستغناء عن النظم الميكانيكية المُستخدمة لتنظيم درجات الحرارة والإضاءة داخل المبنى، أو عن طريق تقليل (وللحد الأدنى) من ذروة الأحمال المصروفة لأغراض التهوية، والتبريد، والتدفئة الميكانيكية في المباني، كما إنها تُقلل من إنبعاثات الكربون في المبنى. وبالنتيجة، تقلل المدة المطلوبة لأغراض التهوية والتكييف، مع تقليل حجم أجهزة تكييف الهواء الميكانيكية والتي غالباً ما تجلب معها مشكلات الضوضاء، ومتلازمة المباني المريضة، فضلاً عن كونها تتطلب صيانة وتكاليف تشغيلية أعلى مقارنةً بمثيلاتها من نظم التصميم المنفصلة (Building and Construction Authority, 2010).

ويتم تدفق الطاقة في التصميمات المنفصلة بوسائل طبيعية، منها: الإشعاع، والتوصيل، أو الحمل الحراري، ومن دون استخدام أي وسائل ميكانيكية. ويعتمد الحفاظ على بيئة مريحة داخل المبنى في المناخ الحار عموماً، على تخفيض نسبة الكسب الحراري داخل المبنى صيفاً، وتقليل الفقدان الحراري من المبنى شتاءً (Kamal, 2012).

2-1 مفهوم التهوية الطبيعية:

تُعد التهوية الطبيعية (Natural Ventilation)، نهجاً مهماً ومن طرق التصميم المنفصل للمباني الخضراء والمستدامة بيئياً، والتي تهدف الى توفير الراحة الحرارية والهواء النقي لشاغلي المبنى، لا سيما إذا تم تصميمه لتدوير الهواء الطبيعي من خارج المبنى الى داخله، ومن ثم توفير مساراً آخر لخروج الهواء من المبنى بتأثير "مفعول المدخنة (Stack-Effect)"، حيث يرتفع الهواء الساخن طبيعياً الى الأعلى، ليخرج من فتحات المبنى العليا، وأحياناً عن طريق الفناء الداخلي (Atrium) أو بئر

السُّلَم. وبإمكان التهوية الطبيعية أن توفر مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغلي الأبنية حتى في حال كانت درجات الحرارة أكثر برودة أو سخونة بقليل عن المعتاد (Yudelso, 2007).

من ثم، تُعرّف التهوية الطبيعية على أنها: "العملية التي يتم عن طريقها توفير الهواء النقي الى فضاءات المبنى، ويتم إزالة الهواء الفاسد (غير النقي) منها". ويُعدّ الهواء في البيئة الخارجية عادةً نقياً لإحتوائه على الأوكسجين اللازم للتنفس. والهواء الفاسد، هو الهواء المحصور داخل الفضاءات المغلقة والحاوي على الملوثات، مثل غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) والكائنات الدقيقة والروائح والجسيمات الناتجة عن المنسوجات والسجاد والطبخ، .. الخ. فضلاً عن ذلك، يُستخدم الهواء النقي لإزالة الحرارة المفرطة من الفضاء، من ثم تحسين الراحة الحرارية في فصل الصيف. وعادةً، يتم استخدام التهوية بمثابة آلية للتبريد، وتدفق الهواء المطلوب (Macquoy, 2014).

ويُستخدم مصطلح "التهوية الطبيعية"، للإشارة الى الحالة التي تحدث فيها حركات الهواء داخل أو عبر المباني من دون مساعدة أي آلة ميكانيكية لتحريكها (كإستخدام المراوح أو أجهزة تكييف الهواء).

وتُحقّق التهوية الطبيعية، ثلاث وظائف أساس في حياة الإنسان هي (Bin Ahmad and et al., 2006):

- التهوية من أجل صحة الإنسان وتعزيز إنتاجيته.
- التهوية من أجل تحقيق الراحة الحرارية لدى الإنسان.
- التهوية من أجل تحقيق التبريد الهيكلي للمبنى.

وبغرض تحقيق كفاءة الإستخدام الطاقوي الأمثل، والتصميم البيئي المستدام للمباني، ينبغي تحسين تصاميم المباني لسحب الهواء النقي التنظيف من البيئة الخارجية الى البيئات الداخلية للمباني عبر فتحاتها. ويتحقق تعزيز التهوية الطبيعية في الأبنية، ضمن نطاق البيئة العمرانية عن طريق الآتي (Building and Construction Authority, 2010):

1. إزالة تراكم الحرارة في المناطق الحضرية الكثيفة.
2. الحدّ من إستهلاك الطاقة الناضبة، لا سيما وسائل التهوية الميكانيكية.
3. تحسين راحة الإنسان داخل فضاءات المبنى.
4. زيادة القدرة على التحكم بالسيطرة على مديات الراحة الحرارية داخل فضاءات المبنى.
5. تحسين جودة الهواء في البيئات الداخلية للمبنى.

إجمالاً، تُعدّ التهوية الطبيعية في فضاءات الأبنية، إحدى استراتيجيات تقليل أو حتى الحدّ من الطلب على الطاقة الميكانيكية في المبنى. بالنتيجة، يتطلب التصميم الناجع للمبنى الذي تمت تهويته بشكل طبيعي، فهماً جيداً لأنماط تدفق الهواء من حوله، وتأثير المباني المجاورة له. والهدف من ذلك، يكمن في تهوية أكبر نطاق ممكن من الفضاءات الداخلية للمبنى. ويعتمد تحقيق هذا الهدف، على موقع النافذة وأبعادها، والتصميم الداخلي لفضاءات المبنى وسلوكيات التحرك الهوائي المنفعل عبرها، فضلاً عن دراسة خصائص الرياح في موقع المبنى (سرعتها واتجاهها) (Geetha and Velraj, 2012).

1-3 التهوية الطبيعية وجودة الهواء داخل فضاءات المبنى:

تأخذ جودة البيئة الداخلية في الأبنية بعين الإعتبار، الآثار الناتجة عن البيئات الداخلية للمبنى على صحة الإنسان، وأدائه، بما في ذلك جودة الهواء الداخلي والتهوية الطبيعية، وضوء النهار الطبيعي، والراحة البصرية والحرارية، ورؤية البيئة الخارجية المحيطة بالمبنى. وتسعى معايير كفاءة إستخدام الطاقة في المباني المستدامة بيئياً والمباني الخضراء الى تحسين جودة البيئة الداخلية عن طريق التصميم الذي يشمل: توفير التهوية الطبيعية، والتبريد والتدفئة المنفصلة المصممة بشكل صحيح، وأنظمة تكييف الهواء، والنوافذ الذكية، والإستخدام الأمثل لضوء النهار الطبيعي، ... الخ.

غير أنه ومنذ سبعينيات القرن العشرين، والقلق يزداد حول الحفاظ على الطاقة الناضبة، حيث ظهرت مصادر جديدة للتلوث لا سيما في أماكن العمل (مصادر غازات الدفيئة)، عن طريق إستعمال الآت التصوير، والطابعات الليزرية، والمواد العضوية المتطايرة من مواد التنظيف، والطلاءات، والمواد اللاصقة، والمفروشات البلاستيكية، ... الخ. فضلاً عن التلوث

الناجم عن وسائط النقل، الذي إزداد بشكل كبير، مُنتجاً أول أكسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت والنيتروجين، والمُكتشف مؤخراً والأكثر خطورةً هو (PM10s)، وهو عبارة عن جزيئات الكربون التي قطرها أقل من (10 ميكرون) (كمونة، 2015).
بالنتيجة، تُعد التهوية الطبيعية، استراتيجية جيدة لتحقيق جودة هواء مثلى في البيئات الداخلية للأبنية. من ثم، يمكن تعريف جودة الهواء الأمثل في البيئات الداخلية للمبنى على أنه: "الهواء الذي هو خالٍ من الملوثات التي تسبب عدم الراحة والإزعاج، فضلاً عن إعتلال صحة شاغلي المبنى" (Kleiven, 2003).
وتختلف مصادر الملوثات داخل المباني تبعاً لأنواع البناء والشاغلين. ويمكن تصنيف الملوثات النمطية الى خمس فئات أساس، هي (Building and Construction Authority, 2010):

1. الملوثات الميكروبية (Microbial Contaminants).
2. غازات الدفينة المتسببة بحدوث ظاهرة الإحتباس الحراري (مثل: غاز أول أكسيد الكربون، وغاز ثنائي أكسيد الكربون، وغاز الرادون (Radon)، والأكاسيد النتروجينية والكبريتية، والمركبات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Compounds)).
3. الجسيمات (Particulates).
4. المواد الكيميائية، (المذيبات وغيرها).
5. دخان التبغ البيئي (Environmental Tobacco Smoke (ETS)).

ومن أجل تقليل الملوثات في فضاءات المبنى والى أدنى حد ممكن، يتعين تزويد تلك الفضاءات بالهواء الخارجي عن طريق التهوية الطبيعية والذي ينبغي أن يكون هواءً نقياً قدر الإمكان. ويقاس تلوث الهواء بمستويات تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO₂) فيه. ويحتاج كل شخص على الأقل الى تبديل (20 م³ في الساعة) من الهواء النقي للالتزام بالقيمة المقبولة صحياً (1500 جزء في المليون لمستويات تركيز غاز (CO₂) في الغرفة). وإذا أخذت إنبعاثات المواد الضارة الموجودة في مكونات البناء بعين الاعتبار أيضاً، فإن هذا المستوى من تركيز (CO₂) لن يجعل الهواء نقياً وصحياً. ويوضح (الشكل 1) مستويات (CO₂) داخل الفضاءات المغلقة والتي بدورها تحدد جودة الهواء (Bauer and et al, 2010).
بالنتيجة، هناك ضرورة في تثبيت شاشات رصد غاز ثاني أكسيد الكربون (CO₂) داخل فضاءات المبنى، والتي تعمل وفق مبدأ رصد مستويات غاز (CO₂) في الفضاءات المشغولة، وذلك عن طريق استخدام مستويات معروفة للتهوية، يمكن معرفة عدد الناس المتواجدين في الفضاء المرصود (تحت المراقبة). وبالنتيجة، يمكن ضبط معدلات التهوية الطبيعية، بحيث يتوفر دائماً عدة أمتار مكعبة من الهواء النقي في الساعة للشخص الواحد داخل الفضاء (الشكل 2).
ويغرض تحقيق تهوية طبيعية بشكل فعال داخل فضاءات الأبنية، إقتضى معيار لييد (LEED) للمباني الخضراء والمباني المستدامة، تثبيت شاشات رصد (CO₂) على إرتفاع حوالي (0,9-1,8) م فوق مستوى سطح أرضية الفضاء (Yudelson, 2007).

1-4 التهوية الطبيعية ومفهوم الراحة الحرارية:

تشمل المحددات البيئية الأساس للراحة الحرارية عند الإنسان على: درجة حرارة الهواء، ودرجة حرارة السطح المشع، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية، ومعدل التمثيل الغذائي، والعازلية الحرارية للملبس (Building and Construction Authority, 2010).
كما إن معايير الراحة الحرارية الحرارية، وكما هو محدد من قِبل الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE) عن طريق إعتمادهم الخارطة السيكرومتريّة، تشمل النظر في كل من: درجة الحرارة، والرطوبة النسبية. لذا، يتعين على المهندسين، تصميم أنظمة التهوية وتكييف الفضاء، بإستخدام الأساليب والمبادئ التوجيهية لـ (ASHRAE).
وتُعرّف الراحة الحرارية في الفضاءات الداخلية للمبنى وفقاً لمنظومة التقييم لييد (LEED) للمباني الخضراء والمباني المستدامة على أنها: "الحالة الذهنية التي يمر بها شاغلو المبنى مُعبرين بها عن إرتياحهم للبيئة الحرارية المحيطة بهم".
وتتباين حدود الراحة الحرارية عند الإنسان في الفضاءات الداخلية للمبنى تبعاً لعدة عوامل، منها: الخصوصية المناخية، ونوع الجنس البشري (الرجال، والنساء)، والعمر، والتكوين الجسماني (النحافة والسمنة)، ونوع الفعالية داخل الفضاء، ونوع الملابس التي يرتديها الإنسان، والتي بمجملها تؤدي الى الشعور وبشكل مختلف من حيث الراحة.
ويمكن تحقيق الراحة الحرارية في البيئات الداخلية للأبنية، عن طريق التصميم الدقيق والتخطيط، بما في ذلك التوجيه الاستراتيجي للمبنى، ومكان النوافذ وأحجامها وأبعادها، واللون والملبس في الفضاءات الداخلية، وتحقيق التهوية الطبيعية في المبنى لتوفير الراحة والهواء النقي إذا تم تصميم المبنى لتدوير الهواء فيه بصورة طبيعية من الخارج الى الداخل، فضلاً عن تصميم كتلة المبنى لإنقاط التهوية الطبيعية والإنارة الطبيعية، ومصادر الطاقات والموارد الطبيعية الأخرى (Yudelson, 2007).

وتُعد التهوية الطبيعية، إحدى الطرق الأساس لتوفير الراحة الحرارية والهواء النقي لشاغلي البيئات الداخلية للأبنية، لا سيما إذا تم تصميم المبنى لتدوير الهواء فيه بشكل صحيح، وبالأخص في ظروف المناخات الحارة الجافة والرطوبة.

إجمالاً، تُستخدم التهوية الطبيعية في المبنى أثناء النهار لثلاثة أهداف عند تعلق الأمر بالراحة الحرارية (Kleiven, 2003):

1. تبريد هواء البيئات الداخلية للمبنى عن طريق إستبدال هواءها بالهواء الخارجي طالما كانت درجات حرارة الهواء الطلق أقل من درجات الحرارة في البيئات الداخلية للمبنى (أقل من 33°م).

2. تبريد هيكل المبنى.

3. تأثير التبريد المباشر على الجسم البشري عن طريق الحمل الحراري والتبخّر.

وتشير الدراسات الى أن الأشخاص في البيئات ذات المناخ الحار يشعرون بالراحة في درجات حرارة أعلى من الأشخاص في بيئات المناخ البارد، حيث تربط المعادلة الآتية بين درجة الراحة الحرارية ومعدل درجات حرارة الهواء الخارجي:

$$CT = 0.534 (T \text{ mean}) + 11.9$$

حيث أن: CT = درجة الراحة الحرارية (Comfort Temperature).

$$T \text{ mean} = \text{معدل درجات حرارة الهواء الخارجي} = (T \text{ max} + T \text{ min}) / 2$$

وتتناول التوجهات الحديثة لتوفير البيئة الداخلية المريحة للشاغلين، مفهوم "الشاغل الفعّال (Active Occupant)" أو "المستخدم الفعّال (Active User)" والذي له دور مؤثّر في توفير الراحة بالتفاعل مع المؤثرات البيئية التي يعتمد عليها المبنى ذي التكيف الذاتي حيث يصبح للمتغيرات البيئية تأثير إيجابي في توفير البيئة الداخلية المريحة.

وإعتماداً على المقاييس والتجارب العلمية، وإستناداً الى القيم المثالية لمتغيرات الميكرومناخ لمناطق العراق، وُضعت حدود الراحة الحرارية للإنسان: في فصل الشتاء تتراوح درجات الحرارة بين (22,0-20,0) م°، والرطوبة النسبية (40-60) %، مع الحد الأعلى للتحرك الهوائي (0,1-0,07) م/ثا، والحد الأعلى للفروقات في درجات الحرارة داخل الفضاء بما لا يزيد عن (3 م°) بالإتجاهين العمودي والأفقي. في حين تتراوح درجات الحرارة في فصل الصيف بين (28,0-26,0) م°، والرطوبة النسبية (30-50) %، مع تحرك هوائي (0,25-0,1) م/ثا. مع إمكانية رفع الحد الأعلى لدرجة الحرارة في فصل الصيف لغاية (32,0 م°) بزيادة التحرك الهوائي الى (1,5 م/ثا)، علماً أن الفروقات تعني الاختلاف في المنطقة المعنية بالدراسة، والدرجة الأقل تعني المناطق الشمالية من العراق (كمونة، 2015).

1-5 الجوانب الأساس للتهوية الطبيعية:

يتم إستخدام مجموعة واسعة من الوسائل والأساليب المتطورة للإستفادة من القوى الدافعة الطبيعية لتطبيق مبادئ التهوية الطبيعية في الأبنية عن طريق توظيف طرق التصميم المنفعلة. ولتحديد مختلف مفاهيم التهوية الطبيعية، هناك جوانب أساس يمكن إستخدامها لوصف وتحديد المفاهيم والخصائص المختلفة للتهوية الطبيعية في الأبنية بالطرق والأساليب التصميمية المنفعلة والتي تترتب عليها العديد من النتائج والإحتمالات المعمارية، ومن أهم هذه الجوانب:

أولاً/ القوى الدافعة الطبيعية.

ثانياً/ مبدأ التهوية.

ثالثاً/ عناصر التهوية المميزة.

أولاً/ القوى الدافعة الطبيعية لإحداث التهوية الطبيعية في الأبنية:

تتولد التهوية الطبيعية في الأبنية عن طريق القوى الدافعة الطبيعية (Natural Driving Forces) والتي تشمل كلاً من: ضغط الرياح (Wind Pressure)، والطفو الحراري (Thermal Buoyancy)، أو الجمع بينهما. وفي حال الجمع بينهما سيكون أحدهما هو السائد. ويجري تصميم المبنى ومنظومة التهوية الطبيعية فيه على أساس الإستخدام الأمثل لهذه القوى الدافعة، وكليهما يعملان على المبنى بنسب متفاوتة وفقاً لكل من: قوة الرياح السائدة، ودرجات الحرارة (Per Kvols, 2006).

بالنسبة لضغط الرياح: فإنه يحدث بسبب هبوب الرياح ضد المبنى أو مروراً به، مما يؤلّد ضغوطاً مختلفة على واجهات المبنى بسبب التغيير الحاصل في الزخم (القوى الدافعة) عندما ينحرف الهواء أو يتم تقليل سرعته، وما ينتج عنه من إختراق للهواء عند مداخل التهوية (النوافذ والفتحات) التي تؤثر بدورها على تدفق الهواء على واجهات المبنى (Macquoy, 2014).

ويعد التركيب الدقيق لتوزيع الضغط، كثير التعقيد، كما إن التباين الحاصل في إتجاه الرياح وسرعتها، وإضطرابها، يتأثر الى حد ما، بظروف الموقع، مثل: وجود المباني والنباتات والمناظر الطبيعية، والتي قد تكون ضمن مهام المهندس المعماري. من ثم، يتعين على المصممين الإعتماد بشكل كبير على قواعد تجريبية لتصميم التهوية الطبيعية في المباني. وأهم قاعدة يتعين مراعاتها هي: "توزيع الفتحات على نطاق واسع في واجهات المبنى لضمان، توليد الفتحات ضغوطاً مختلفة على الواجهة، والتي تعمل على حدوث تدفق الهواء، ومن ثم توزيعه لاحقاً بشكل جيد في المبنى" (الشكل 3) (Baker & Steemers, 2005).

أما فيما يخص "الطفو الحراري (Thermal Buoyancy)": فإنه يُشير الى الحركة التصاعدية لجزيئات الهواء عندما تكون بدرجات حرارة أعلى مقارنةً بالبيئة المحيطة بها. ويولد الطفو الحراري، فرق الضغط العمودي الذي يعتمد على معدل الاختلاف في درجات الحرارة بين عمود الهواء الدافئ ودرجات الحرارة الخارجية، وإرتفاع عمود الهواء الدافئ.

وفي حالة المبنى، فإنه يحتوي على هواء أكثر دفئاً مقارنةً بالمناطق المحيطة به. من ثم، فإن الهواء الدافئ يميل للخروج من الفتحات الموجودة في الجزء العلوي من المبنى، ليحل محله الهواء البارد عند مستوى أرضية المبنى (الشكل 4). غير أن المشكلة مع الطفو الحراري لقيادة التهوية الطبيعية، تكمن في وجوده كحد أقصى في فصل الشتاء مع وجود أكبر فروقات في درجات الحرارة، عندما يكون الحد الأدنى من التهوية مطلوباً في المبنى.

عموماً، من المهم أن ندرك أن الفرق في درجات الحرارة الذي بناءً عليه يحدث الاختلاف في الضغط وبالتالي يحدث تدفق الهواء، يعتمد على "متوسط درجة الحرارة في عمود الهواء"، وليس على درجة حرارة الهواء عندما يترك المدخنة. من ثم، فإنه لا فائدة من تسخين الهواء حينما يترك المدخنة (Baker & Steemers, 2005).

ومن الجدير بالذكر، تُعد الرياح الموظفة لتهوية العديد من الأبنية، أكثر أهمية من الطفو الحراري. بسبب أن تدفق الهواء (التهوية الطبيعية) الناتج عن الرياح يكون عادةً أقوى من تدفق الهواء الناتج عن تأثير المدخنة (Stack Effect)، لا سيما في الأبنية منخفضة الإرتفاع (Bin Ahmad and et al., 2006).

بالنتيجة، تتأثر درجة إستخدام وخصائص القوى المحركة الطبيعية بإرتفاعات الأبنية، مما يؤدي الى حدوث فروقات في مفاهيم التهوية الطبيعية. وتكون سرعة الرياح وإتجاهها أكثر إستقراراً وأقل تأثيراً بالمباني المحيطة والغطاء النباتي بالمسافة الواقعة عند مستوى سطح الأرض. غير أن المسافة العمودية بين مدخل ومخرج الهواء يمكن أن تكون كبيرة أيضاً للإستفادة من الطفو الحراري. لذا، فإن الأبنية العالية الإرتفاع تميل الى إستخدام عناصر التهوية والمبادئ الأخرى، مقارنةً بالأبنية المنخفضة الإرتفاع. وقد جرى تمييز الأبنية بناءً على إرتفاعها الى: المباني العالية الإرتفاع (أكثر من 10 طوابق)، والمباني متوسطة الإرتفاع (3-6 طوابق)، والمباني المنخفضة الإرتفاع (1-2 طابق).

من جهة أخرى، تمتلك القوى الدافعة الطبيعية، أثراً يترتب عليها شكل وتصميم المبنى، والتي تتعلق بإختيار عناصر التهوية بغرض الإستفادة منها (مثل: مغرفة الرياح، أو الفناء الداخلي)، فضلاً عن مسارات الهواء الداخل والخارج من المبنى (مبدأ التهوية). ومع ذلك، هناك مجموعة واسعة من الوسائل المتطورة للإستفادة من القوى الدافعة الطبيعية لتعزيز مبادئ التهوية الطبيعية، ويتجسد هذا في عدد من المباني القديمة والجديدة على حد سواء، والتي تستخدم القوى الدافعة الطبيعية للتهوية (Per Kvols, 2006).

أما الإستفادة من التهوية الطبيعية في المباني الحديثة فإنها وبدون إستثناء تقريباً، تتم بالتعاون مع القوى الدافعة الميكانيكية التي تساعد القوى الطبيعية في الأوقات التي لا تكون فيها القوى الدافعة الطبيعية لوحدها كافية. ويُشار الى الجمع بين القوى الدافعة الطبيعية والميكانيكية بإسلوب "التهوية الهجينة (Hybrid Ventilation)"، والتي توفر الفرص لإيجاد حلول مبتكرة لمشكلات المباني الخاصة بالتهوية، وتعمل هذه الحلول على تحسين البيئة الداخلية للمبنى وتقليل الطلب على الطاقة (Heiselberg, 2005).

ثانياً/ مبدأ التهوية:

يُستخدَم مبدأ التهوية (Ventilation Principle) لإستغلال القوى المحركة الطبيعية لتهوية مكان ما. ويمكن تقسيم مبدأ التهوية المُستخدَم في المباني بغرض إستغلال القوى الدافعة الطبيعية، الى ثلاثة أنواع هي: التهوية من جانب واحد، والتهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect). وفيما يأتي شرح موجز لكل منها.

1. التهوية من جانب واحد: هي التهوية الحاصلة من جهة واحدة، حيث تكون فتحات التهوية على جانب واحد فقط من الغرفة. وتكون القوة الدافعة الرئيسة هي الطفو الحراري في فصل الشتاء، والرياح المضطربة في فصل الصيف. وبالمقارنة مع غيرها من المبادئ، يتولد تخفيض في معدلات التهوية، وبالنتيجة لا تتخلل التهوية بعمق في الفضاء. وفي حال ضم جدار الغرفة

فتحة واحدة، فإن عمق الفضاء ينبغي أن يكون (2 مرة) الأرضية إلى ارتفاع السقف. وفي حال ضم جدار الغرفة فتحتين، فإن عمق الفضاء ينبغي أن يكون (2,5 مرة) الأرضية إلى ارتفاع السقف (Geetha and Velraj, 2012) (الشكل 5).

2. التهوية المتقاطعة: هي التهوية التي تحدث من جانبيين، حيث تكون فتحات التهوية موجودة على جانبي الغرفة. والقوة الدافعة الرئيسة هي فروق الضغط الناجمة عن الرياح بين فتحتي التهوية، وفي هذه الحالة تتحقق معدلات تدفق عالية في التهوية من جانب إلى آخر. ولكن بسبب التغيرات الكبيرة والسريعة في تدفقات الرياح، فمن الصعب السيطرة عليها. ويكون هنا توجيه وشكل المبنى مهماً، فالمبنى ينبغي أن لا يكون عريضاً جداً كي تكون التهوية المتقاطعة فيه فعالة (تكون التهوية المتقاطعة فعالة في حال كان عمق الفضاء (5 مرات) الأرضية إلى ارتفاع السقف)، فضلاً عن وجوب توجيه الجانب الطويل من المبنى عمودياً على اتجاه الرياح السائدة لضمان كفاءة أعلى من التهوية الطبيعية المتقاطعة فيه (الشكل 6) (Macquoy, 2014).

3. التهوية بتأثير المدخنة "Stack Effect": في هذه الحالة تكون فتحات التهوية في مستويين في فضاء الغرفة: مستوى منخفض، ومستوى عالي، والقوة الدافعة الرئيسة هي الطفو الحراري. ويمكن تحقيق معدلات تدفق تهوية عالي وثابت بالإختلاف في درجات الحرارة. ونظراً لأهمية التهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect) سيتم توضيحها بالتفصيل.

يُعد "تأثير المدخنة (Stack Effect)" إحدى طرق التبريد والتهوية المنفصلة (Passive Cooling and Ventilation)، ويُعرّف مفهوم "تأثير المدخنة (Stack Effect)" على أنه: "تدفق الهواء الذي ينتج من ارتفاع الهواء الدافئ للأعلى، وخلق مساحة من الضغط الإيجابي في الجزء العلوي من المبنى ومساحة أخرى من الضغط السلبي في الجزء السفلي من المبنى، ليعمل على حث تسلسل الهواء البارد إلى فضاء المبنى". وهذه الظاهرة تُعرف أيضاً بإسم (Chimney Effect) (الشكل 7) (Building and Construction Authority, 2010).

كما يُعرّف مفهوم "تأثير المدخنة (Stack Effect)" أيضاً على أنه: "حركة الهواء من وإلى المباني، ويحدث عندما يرتفع الهواء الدافئ ويتم إستبداله بهواء أكثر برودة من محيطه (شريطة وجود فتحتي مدخل ومخرج في المبنى للهواء)، حينها تتولد حركة دائمة في الهواء مع وجود مصدر حراري مستمر" (Szokolay, 2004).

ويحدث مفعول المدخنة (Stack Effect) عن طريق ضغط المدخنة أو الطفو الحراري عند الفتحات بسبب إختلاف كثافة الهواء بين داخل المبنى وخارجه نتيجة لإختلاف درجات الحرارة والرطوبة. والنتيجة هي: أما قوة طفو إيجابية أو سلبية. ويمكن تطبيق نفس المبدأ على الفتحات الواقعة على إرتفاعات مختلفة، ويرجع الإختلاف في الضغط بينهما، إلى الإنحدار العمودي (Bin Ahmad and et al., 2006).

ويساعد مفعول المدخنة (Stack Effect) على تحريك التهوية الطبيعية، والترشيح، وسحب أدخنة الحريق. كما يُمكن أن يحدث مفعول المدخنة (Stack Effect) أيضاً داخل غرفة ذات إرتفاع كبير، إذا كانت تضم منفذ على مستوى عالٍ ومدخل يقع في مستوى منخفض. فتدفع الهواء يكون متناسباً مع فرق الإرتفاع بين فتحتي المدخل والمخرج، والفرق في درجات الحرارة بين هواء الغرفة والهواء الخارجي. أما في المباني مُنخفضة الإرتفاع فإن مفعول المدخنة يكون صغيراً جداً (Szokolay, 2004).

ثالثاً/ عناصر التهوية المميزة:

هنالك علاقة وثيقة بين عناصر التهوية المميزة في أي مشروع ومبادئ التهوية المقابلة لها، وبناءً على ذلك يتم إستخدام العنصر الفردي في إمداد أو إستنفاد التهوية من المشروع، أو قد يُستخدَم للجمع بينهما (إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستنفادها منه) (Kleiven, 2003).

وتساعد عناصر التهوية المستخدمة في المبنى على تحقيق استراتيجيات التهوية الطبيعية فيه، وكل من هذه العناصر يحتوي على مجموعة من النتائج المترتبة معمارياً وتقنياً، فضلاً عن الإحتمالات المرتبطة بها، الأمر الذي يتطلب اهتماماً كبيراً من قِبل المهندس المعماري. وفيما يأتي أهم عناصر التهوية الطبيعية في المبنى:

1. فتحات التهوية في واجهة المبنى: تُستخدَم فتحات التهوية في واجهات الأبنية للمساعدة على توفير التهوية الطبيعية للمبنى والتبريد المنفعل، فضلاً عن الإضاءة الطبيعية، لا سيما في المناخات الحارة والحارة الجافة (Kamal, 2012).

ويمكن عن طريق التصميم المعماري الجيد، لا سيما مواقع الفتحات في الواجهة، ضمان حركة هواء طبيعية داخل المبنى، وعن طريق إستخدام مبدأين هما (كمونة، 2015):

المبدأ الأول: يعتمد على التباين في ضغط الهواء الناجم عن الإختلافات في سرعة الرياح، مما يؤدي إلى تدفق الهواء من منطقة الضغط العالي إلى منطقة الضغط المنخفض. ويُعد "السلوك الفنتوري (Venturi Action)"، الذي يعتمد أساساً على

ظاهرة "تأثير بيرنولي (Bernoulli Effect)" إطاراً نظرياً هاماً لفهم كيفية حدوث حركة الهواء بفعل تباين الضغط الناتج عن حركة الرياح (Szokolay, 2004). وتتخلص نظرية بيرنولي (Bernoulli) في: "يقل ضغط المائع المتحرك (Moving Fluid) بزيادة سرعته". ويمكن استخدام هذا المفهوم بأكثر من طريقة واحدة لتوفير تيارات هوائية مستمرة في داخل الأبنية (كمونة، 2015). **المبدأ الثاني:** يعتمد على حركة الهواء بتأثير الجمل الحراري والناجمة عن تسخين الهواء وصعوده الى أعلى، مما يقتضي حلول هواء أكثر برودة منه في مكانه. وقد تؤدي العملية الى حدوث "تأثير المدخنة (Stack Effect)" فعندما يرتفع الهواء الدافئ يجب أن يُستبدل بهواء أكثر برودة من محيطه، ويوجد مصدر حراري مستمر تتولد حركة دائمة في الهواء. وهكذا يتكوّن تيار هوائي معتدل البرودة في المساحة الواقعة بين المنطقة الدافئة، وفتحة دخول الهواء المعتدل البرودة.

عموماً، يساعد وجود الفتحات على إرتفاعات مختلفة في واجهة المبنى على تعزيز معدل تدفق الهواء الطبيعي فيها، وذلك بفعل الجمل الحراري نتيجة الاختلاف بين مناسيب الفتحات المختلفة على واجهة المبنى، لا سيما إذا ضمت الواجهة فتحات على مستوى عالٍ وأخرى على مستوى منخفض، فكلما ازداد الفرق بين المناسيب زاد تدفق الهواء الطبيعي (Szokolay, 2004). حيث يعمل وجود الفتحات في الجزء العلوي من الواجهة على تعزيز التهوية الطبيعية في المبنى لأنها تساعد على توفير مساراً لهروب الهواء الساخن من المبنى والذي تم جمعه في أعلى الفضايات الداخلية للمبنى. وبالنتيجة، إقامة دورة تهوية طبيعية مستمرة في المبنى، فضلاً عن تبريد فضايات المبنى (Kamal, 2012).

2. أبراج الرياح (Wind Towers): عبارة عن عناصر بنائية مُصمّمة للاستفادة من الطاقة الحركية للرياح، والتي يتم تسخيرها بشكل صحيح داخل المبنى من أجل توليد حركة الهواء داخل فضايات المبنى. وتُستخدم أبراج الرياح لسحب الهواء الى خارج المبنى، وتشجيع تدفق الهواء الطبيعي في المبنى لاحقاً. ويكون شكل المدخنة في أبراج الرياح عادةً مربع، وأحياناً يكون مستطيل. وبالإمكان وضع أبراج الرياح قرب سطح المبنى، أو بشكل هيكل منفصل، يتصل بالمبنى بواسطة قنوات الهواء المُدمجة (Kang and Lutz-Carillo, 2009).

في المناطق الحارة الجافة، كان برج الرياح يُمثّل نظام التبريد المنفعل، والتهوية الطبيعية، الهام والأساس في الأبنية التقليدية (التراثية) والذي يُستخدم لمدة طويلة، حيث يقوم بتسخير رياح الصيف السائدة لتبريد الهواء وتعميمه خلال المبنى. ويُعد "البادگیر"، النموذج الأصلي لبرج الرياح الذي كان موجوداً في العمارة التقليدية للعراق، والخليج العربي، ودولاً أخرى، حيث يتم توجيه فتحة البادگیر باتجاه الرياح السائدة في أعلى الوحدة السكنية التقليدية، بغرض إدخال الهواء الى فضاءاتها الداخلية لتبريدها وتهويتها حيث يتم استخراج كمية كبيرة من الحرارة من الهواء، مع زيادة الرطوبة النسبية فيه بنفس الوقت عن طريق وضع جرار مياه تُعلق في أعلى المجرى الهوائي للبادگیر، فضلاً عن قدرة البادگیر على استخراج الهواء ثانيةً من المبنى في حال إرتفاع درجات الحرارة في أعالي البادگیر (Macquoy, 2014).

3. مغارف الرياح (Wind Scoops): هي عبارة عن أدوات مصممة لـ "صيد" الرياح والهواء النقي ونقله بشكل مباشر الى المبنى، حيث تمتلك مسارات مركزية لدخول الهواء فيها ومنه للمبنى. وتكون مغارف الرياح فعالة بشكل خاص في المباني ذات الحجم الكبير أو البيئات الداخلية الكبيرة في الأبنية. وتكون مغارف الرياح بنوعين، هما:

- مغارف متعددة الإتجاهات متحركة، تتحول ضد تيار الرياح وبنفس الوقت تستفيد منه وتكون مستقلة بالإتجاه، مع مراعاة إن هذا النوع من مغارف الرياح ستقل فعاليتها الوظيفية في حال وجود الثلوج.
- مغارف بشكل أدوات ثابتة تستفيد من إتجاه الرياح السائدة، مع ملاحظة أن مغارف الرياح الثابتة ستصبح غير فعالة إذا لم يتم توجيه الرياح بمواجهة المغرفة (لا سيما إذا كانت زاوية إنحراف المغرفة أكثر من 30°).

عادةً، يتم وضع مغارف الرياح على سطوح الأبنية، على الرغم من إمكانية وضعها في المساحة المحيطة بالمبنى وعلى مسافة بعيدة نوعاً ما، ويتم تجهيز الهواء للمبنى في هذه الحالة بواسطة قنوات الهواء المُدمجة.

وتقدم مغارف الرياح بديلاً جيداً للمباني التي واجهاتها غير مناسبة لأغراض تهوية المبنى، بسبب تسلل الضوضاء الخارجية، والثلوث، أو قد تكون حركة الهواء قليلة غير فعالة لتهوية فضايات المبنى. غير أن مغارف الرياح تمتلك سلبات أيضاً، منها: يعتمد تجهيز الهواء لفضايات المبنى على سرعة الرياح، وإمكانية دخول الأمطار والثلوج عن طريق مغارف الرياح للمبنى (Kleiven, 2003). ولأن أبراج الرياح يمكنها أن تُستخدم لسحب الهواء خارج المبنى وتشجيع تدفق الهواء الطبيعي فيه لاحقاً من جهة، وقابلية مغارف الرياح على جمع وتقديم الهواء الخارجي للمبنى من جهة أخرى، فإنه في حال جمعها معاً في مبنى واحد، يتم تحقيق الشكل الطبيعي لتدفق الهواء الطبيعي داخل فضايات المبنى، فضلاً عن إستفادته منها (Kang and Lutz-Carillo, 2009).

4. أغطية المداخل السقفية الدوارة (Roof Cows): عبارة عن وسيلة مماثلة جداً لمغارف الرياح، إلا أنها تعمل على جانب إستنفاد الهواء. وهي بمثابة منافذ للهواء، ويجب أن تُصمَّم بحيث تستفيد من طاقة الرياح لإستخراج هواء التهوية خارج المبنى. ويمكن تحقيق ذلك إما عن طريق جعلها متعددة الإتجاهات (متحركة حسب حركة الرياح)، وتتحول بعيداً عن الرياح، أو عن طريق منحها شكلاً إيروديناميكياً (Aerodynamic)، الذي يتم إنشاؤه بموجب الضغط للسيطرة على إتجاهات الرياح، ويرجع ذلك إلى تأثير فنتوري (Venturi Effect). غير أن أغطية المداخل السقفية غير المتعددة الإتجاهات فعالة على نطاق أوسع، مقارنةً بمغارف الرياح غير المتعددة الإتجاهات (Kleiven, 2003).

5. المداخل الشمسية (Solar Chimneys): عبارة عن وسيلة مصممة تحت على التهوية الطبيعية بإستخدام الطاقة الشمسية، والتي تعمل بواسطة تأثير الطفو الحراري. حيث يتم شحن هيكل المدخنة بالطاقة الشمسية خلال النهار، ويتم تسخين الهواء بداخلها، وعن طريق زيادة قوة الضغط من الكتلة الهوائية نتيجةً لتدفق الهواء المستحث على طول قناة المدخنة بسبب تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية من حركة الهواء، الأمر الذي يؤدي إلى إرتفاعه. وبالنسبة، يتم سحب الهواء من المبنى إلى الجزء المفتوح بالقرب من أسفل المدخنة، ويتم إستبدال الهواء الخارج من المدخنة بالهواء المحيط بالمبنى (الشكل 8). وفي حال كان الهواء المحيط بالمبنى أكثر حرارة من الهواء داخل المبنى (وكما هو الحال خلال ساعات النهار في المناخات الحارة)، حينها يتم إستمرار عمل المدخنة الشمسية في تسخين هيكل المبنى قبل تبريده خلال الليل.

وتُستخدَم المدخنة الشمسية لإستنفاد الهواء الساخن من المبنى بمعدل سريع، ومن ثم تحسين القدرة على تبريد الهواء الداخل إلى المبنى من فتحاته الأخرى. وهكذا يساعد وجود المداخل الشمسية على تخفيض كلفة البناء نسبياً، حيث يمكن تحريك الهواء دون الحاجة إلى نفقات الأشكال التقليدية للطاقة، ويمكن أن تساعد في تحقيق الراحة الحرارية للشاغلين عن طريق التبريد في هيكل المبنى ليلاً. فضلاً عن قدرة المدخنة الشمسية على تحسين راحة شاغلي المبنى أثناء النهار إذا وُظفت إلى جانب أجهزة التبريد التبخيري (Evaporative-Cooling Device)، كالمبردات على سبيل المثال (Kamal, 2012). وفي حال وجود فتحات عالية وأخرى على إرتفاع منخفض في المبنى، فسيكون هناك حافظاً على التدفق الطبيعي للهواء، عن طريق "تأثير المدخنة (Stack Effect)" الذي يزداد بتسخين الهواء بواسطة أشعة الشمس. ويتم تصميم المدخنة الشمسية عادةً إلى جانب برج الرياح في المناطق الحارة الجافة، حيث تكون الرياح أكثر أهمية من الطفوية، لأن تدفق التهوية بالرياح المستحثة يكون عادةً أقوى من تدفق الهواء الناجم عن المدخنة، لا سيما في المباني المنخفضة الإرتفاع (Bin Ahmad and et al., 2006).

6. الواجهات المزدوجة (Double Façade): عبارة عن نظام يضم زوج من الواجهات الزجاجية المفصولة بواسطة ممر هوائي، وتكون الطبقة الرئيسة للواجهة المزدوجة من الزجاج، وعادةً تكون عازلة، والتي تعمل بمثابة جزء من الجدار الهيكلي التقليدي أو الجدار الستائري. في حين تكون الطبقة الإضافية مفردة الزجاج، يتم توقيعها إما أمام أو وراء طبقة الزجاج الرئيسة. وتساعد الواجهة المزدوجة المبنى على خلق فرصاً إضافية لتحقيق أقصى قدر من ضوء النهار الطبيعي بدون حرارة إضافية داخل المبنى، فضلاً عن تحسين أداء الطاقة داخل المبنى. وتوفر الواجهة المزدوجة، التهوية الطبيعية لفضاءات المبنى عن طريق توظيف مسار مدخل ومخرج للهواء في أي من مبادئ التهوية الطبيعية (التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect)) (Kleiven, 2003). وتحقق الواجهات المزدوجة العديد من المزايا، حيث تكون بمثابة منطقة عازلة بين بيئة المبنى الداخلية والبيئة الخارجية المحيطة به، فضلاً عن الحد من فقدان الحرارة. إلى جانب ذلك، تساعد الواجهات المزدوجة على تحقيق التهوية الطبيعية للفضاء الواقع بين غلافي الواجهة، وتفعيل التأثيرات الحرارية المنفصلة على أفضل وجه، وذلك من خلال إستخلاص التهوية الطبيعية من المنطقة العازلة في المبنى عن طريق فتح النوافذ في الواجهة الداخلية. حينها يوفر تأثير المدخنة (Stack Effect)، التيارات الهوائية الحرارية في المباني العالية والذي يتحقق بصورة أكثر فاعلية، مقارنةً بالمباني الأقل إرتفاعاً. كما يساعد فتح النوافذ على الواجهة الداخلية على تقليل مشكلات الفروقات في ضغط الرياح حول المبنى، علاوةً على تقليل مشكلات الأمن والسلامة المحتملة الناجمة عن وجود نوافذ يمكن فتحها نحو الخارج (Kang and Lutz-Carillo, 2009).

7. الفناء الداخلي (Atrium): وهو عبارة عن فناء داخلي ذو سقف مزجج يتوسط المبنى، وتحيطه جميع مستويات وفضاءات المبنى الداخلية، وقد يكون أيضاً جزءاً من واجهة المبنى. ويقوم الفناء الداخلي المركزي بتوفير الإضاءة الطبيعية لفضاءات المبنى المطلة عليه، كما يمكن الإستفادة من الطفو الحراري وطاقة الرياح في الفناء الداخلي المركزي بوصفهما قوًى دافعة

لإحداث التهوية الطبيعية في المبنى، حيث يهرب الهواء الدافئ من الغرف المجاورة الى فضاء الفناء الداخلي المركزي العالي الارتفاع وعندها يحدث تأثير المدخنة (Stack Effect)، ويتم إنشاء تيار هوائي مستمر (الشكل 9) (Macquoy, 2014). ومن أجل المحافظة على الفوائد الأصلية للفناء الداخلي المركزي، والتأكد من توفيره للتهوية، والإضاءة الطبيعية، لفضاءات المبنى الداخلية، وعدم إستهلاكه للطاقة، يجب مراعاة النقاط الآتية في تصميمه (Baker & Steemers, 2005):

- يجب مضاعفة مستويات ضوء النهار الداخل للفناء المركزي عبر سقفه المزجج، عن طريق إستخدام الإنهاءات العاكسة والتزجيج الملائم، لتوفير الإضاءة الطبيعية للفضاءات المطلة على الفناء، وتقليل أو الحد من الحاجة للإنارة الصناعية.
- يجب أن يُزوّد الفناء الداخلي المركزي، الهواء النقي الذي يوفر بدوره التهوية الطبيعية، لجميع فضاءات المبنى المطلة عليه.
- ينبغي توفير التظليل وإرتفاع معدلات التهوية الطبيعية في الفناء الداخلي المركزي صيفاً، لمنع إرتفاع درجات الحرارة فيه، والذي سيؤدي بالنتيجة الى رفع درجات حرارة الفضاءات المطلة عليه.

8. قنوات الهواء المُدمجة (أنابيب التهوية المُتضمنة Embedded Ducts): وهي القنوات الأفقية المُدمجة تحت سطح الأرض، حيث تكون معظم مساحتها السطحية على إتصال بسطح الأرض. وهذا يعطي لها إمكانية للإستفادة من الكتلة الحرارية في جدران القنوات والأرض المحيطة بها لأغراض توفير التبريد والتدفئة المُنفعة، كما تُستخدم عادةً لتوفير الهواء الطبيعي لفضاءات المبنى، غير أن توزيع سرعة الهواء فيها لا يكون ثابتاً (الشكل 10).

في فصل الشتاء، عندما تكون درجات الحرارة منخفضة في البيئة الخارجية للمبنى، تساهم قنوات الهواء المُدمجة بتسخين الهواء والتهوية بسبب أن الأرض تكون نسبياً أكثر دفئاً (قانون حفظ الطاقة في باطن الأرض). من ثم، يتدفق الهواء الدافئ الى الأعلى إعتدالاً على: معدل تدفق الهواء خلال القناة، وعلى كمية الهواء المسحوبة. وعلى العكس يكون عليه الحال في فصل الصيف الحار، حيث توفر قنوات الهواء المُدمجة التبريد المناسب لفضاءات المبنى (Heiselberg, 2005).

بناءً على ما تقدم، فإن معظم المباني التي تعتمد التهوية الطبيعية وفق استراتيجيات التصميم المنفعل، تسعى الى الإستفادة من عناصر التهوية (أنفة الذكر) والمخصصة لتسخير القوى المحركة الطبيعية ودعم تدفق الهواء الطبيعي خلال المبنى. وعليه، فإن أي من عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المبنى، ترتبط مع مبدأ أو أكثر من مبادئ التهوية الطبيعية. وسيتم توضيح ذلك في الجانب التطبيقي (العملي) من البحث عند تحليل أمثلة لمشاريع منتخبة وظُفّت استراتيجيات تصميمية منفعة مختلفة لتحقيق التهوية الطبيعية في بيئاتها الداخلية، لبيان أهم تلك الاستراتيجيات التصميمية، ومن ثم تحليلها، بغرض إنتقاء المناسب منها للبيئة العمرانية العراقية.

1-6 تعزيز التهوية الطبيعية في الوحدة السكنية البغدادية التقليدية:

تُمثل التهوية الطبيعية أهم استراتيجيات المسكن التقليدي لتقليل العبء الحراري، والتخلص من الحرارة المخزونة في قشرة المبنى، لتوفير بيئة مريحة للسكان. فعلى الرغم من صغر النوافذ أو إنعدامها في الطابق الأرضي في واجهة المسكن البغدادية التقليدي المطلة على الزقاق، طُورت العمارة التقليدية المحلية أساليباً مُبتكرة للحصول على التهوية الطبيعية المنفعة. وتُعد ملاقف الهواء (أبراج الرياح أو البادكير أو البارجيل (Wind-Catcher)) الوسيلة الأهم لإصطياد الرياح وإدخالها الى فضاءات المسكن التقليدي المحلي. وعادةً ما تُوجّه فتحة الملقف الهوائي باتجاه الرياح السائدة في أعالي الوحدة السكنية، سامحةً بتمرير الهواء البارد صيفاً، والخالي من الغبار والرمال اللذين تحملهما الرياح التي تهب على الأقاليم الحارة الجافة، ومنها العراق، ليتحرك الهواء البارد باتجاه السرداب عن طريق مجرى هوائي (Shaft) مبني داخل الجدران السميكة للمسكن التقليدي، وتقوم البادكيرات بإستكمال فاعلية السرداب في الحصول على التيار الهوائي المطلوب. ويحصل التيار الهوائي عن طريق تكوين مناطق ضغط متباينة ما بين الداخل والخارج، فيدخل الهواء بعد تنقيته وترطيبه عبر فتحة البادكير، ومن ثم إخراجها عبر فتحات أخرى. وتكون في أوقات أخرى العملية عكسية، لا سيما في ساعات النهار عندما تزداد درجة حرارة سطح المسكن عن (33م°) (ضغط واطي)، حيث يتحرك الهواء عبر هذه الفتحات وخلال فضاءات المسكن باتجاه أعالي البادكير. وقد تُزوّد فتحات البادكيرات والتي تكون عادةً دائرية أو منحنية، بمشبيكات قابلة للسد والفتح عند الضرورة، فضلاً عن إستخدام جرات المياه المعلقة في أعلى المجرى الهوائي للبادكير لأغراض الترطيب وزيادة فاعلية التحرك الهوائي فيه (الشكل 11) (كمونة، 2015).

من الأمثلة على إستخدام البادكير بإسلوب معاصر، "برج الرياح أو البارجيل" الخاص بنظام التبريد في "معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا"، في مدينة مصدر - دولة الإمارات العربية المتحدة، وذلك عن طريق مجموعة من الحلول التكنولوجية المبتكرة لتوفير الهواء النقي والرطب. حيث ساعد إرتفاع البرج الذي بلغ (45 م) فوق المنصة، على إنقاط الرياح من المستوى العلوي وتوجيهها الى الساحة العامة الرئيسة في معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا، وذلك عن طريق تشغيل تسع فتحات تهوية (كوات) تم تركيبها في الجزء العلوي من الهيكل المعدني للبرج، وتُشغل بواسطة أجهزة إستشعار للكشف عن إتجاه الرياح، حيث تُفتح الكوات تلقائياً باتجاه

الرياح السائدة لإلتقاط أكبر قدر منها، وتعلق في الإتجاهات الأخرى لتحويل طاقة الرياح الى أسفل البرج. بالنتيجة، ينساب الهواء نحو الأسفل عبر غشاء من مادة (Polytetrafluoroethylene). في حين تعمل مولدات للرداذ تم تثبيتها في قمة البارجيل، على إضافة تبريد للهواء، بغرض تقليل درجة حرارة الهواء عن طريق التبريد بواسطة التبخر. ويساعد هذا المزيج من التبريد التبخيري وتنشيط حركة الهواء على خفض درجات الحرارة عند مستوى الساحة الوسطية في معهد مصدر (الشكل 12) (Martin and et al, 2015).

1-7 تبريد المبنى بواسطة ستراتيجية التهوية ليلاً:

واحدة من حلول التهوية الطبيعية الهامة والتي تعمل على تبريد المبنى هي "التهوية ليلاً (Night-Time Ventilation)". وتُعد التهوية ليلاً، أكثر ستراتيجية من أساليب التهوية الأخرى، وفيها يتم استخدام كتلة المبنى لتخزين البرودة خلال النهار عن طريق سحب الأحمال الحرارية المتراكمة في ساعات النهار، لمنع الإرتفاع الكبير في درجات الحرارة، لا سيما في المناطق الحارة الجافة ومنها العراق. حيث ثم تتم إزالة هذه الحرارة أثناء الليل، عندما لا يتم استخدام الفضاءات، وذلك عن طريق حدوث زيادة كبيرة في معدل تدفق الهواء بواسطة برودة الجو ليلاً من خلال المبنى. ويرجع ذلك الى تأثير المدخنة (Stack Effect)، وسحب الحرارة من الهواء ليلاً نتيجة التبادل الحراري المرتبط بالتخزين في كتلة المبنى، حيث يتحقق معدل تدفق عالي للهواء (Macquoy, 2014). أثناء الليل، تكون درجات الحرارة في الهواء الطلق أقل من درجات الحرارة في الفضاءات الداخلية للمبنى. ونتيجة لذلك، من الممكن تهوية المبنى عن طريق السماح للهواء بالدخول لفضاءات المبنى وإزالة الحرارة المخزنة فيه والتي تم إمتصاصها وتخزينها خلال ساعات النهار. حركة الهواء هذه، تزيد من تبديد الحرارة من مواد البناء ومن ثم يُستنزف الهواء الأكثر دفئاً في درجات الحرارة المنخفضة للغلاف الجوي ويجري تشتيتها. وتستمر هذه العملية أثناء الليل. من ثم، فإن درجة حرارة الهواء في البيئات الداخلية للمبنى وكتلة المبنى تكون عند مستويات درجات حرارة أقل عندما تبدأ دورة درجة الحرارة بالزيادة مرة أخرى في اليوم التالي. ونتيجة لذلك، في الصباح، تكون فضاءات المبنى أكثر برودة، مما يعني أنه حتى في المباني المُكيّفة، يمكن للمرء أن يحقق وفورات كبيرة في الطاقة عن طريق خفض تشغيل النظم الميكانيكية للتهوية وتكييف الهواء.

ويعتمد نجاح التهوية ليلاً على الفرق النسبي بين درجات حرارة الهواء في الفضاءات الداخلية للمبنى والهواء الطلق، وإنخفاض درجات الحرارة في الهواء الطلق مع إرتفاع فعالية التهوية ليلاً، فضلاً عن ضرورة تحقيق أفضل حركة تهوية ممكنة من الهواء الخارجي نحو الفضاءات الداخلية للمبنى. ومن الجدير بالذكر، يزداد الحمل الحراري من كتلة المبنى بزيادة السرعة النسبية لمرور الهواء فوق سطوحه المختلفة. وتزداد هذه العملية باستخدام المراوح السقفية، والتي ستزيد من حركة الهواء في الفضاءات الداخلية للمبنى. نتيجة لذلك، يرفع الحمل الحراري من معامل إنتقال الحرارة بين الأسطح المختلفة للمبنى والهواء المار عليها (Per Kvols, 2006). ويقلل نهج تبريد المبنى بواسطة التهوية الطبيعية ليلاً بالأساس، من ذروة المكاسب الحرارية في أيام الصيف الحارة وكما موضح في (الشكل 13) (Macquoy, 2014).

إجمالاً، يمكن تحقيق الاستفادة المثلى من التهوية الطبيعية بوصفها ستراتيجية للتبريد الطبيعي في الأبنية عن طريق تحقيق التوازن الأمثل بين قدرة التبريد، وأحمال التبريد والراحة الحرارية، وهذا يشمل (Per Kvols, 2006):
أولاً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية والخارجية عن طريق استخدام المعدات الكفوءة في استخدام الطاقة الحرارية والإضاءة، عن طريق الاستفادة المثلى من ضوء النهار الطبيعي، ووسائل التظليل الشمسي الفعالة، واستخدام ستراتيجيات التبريد والتدفئة والتهوية المنفعلة. فضلاً عن إمكانية تقليل الطاقة المصروفة لعمل المراوح عن طريق تسخير القوى المحركة الطبيعية، وما الى ذلك.
ثانياً/ إستعمال الكتلة الحرارية للمبنى بمثابة منطقة عازلة للحرارة والتي تمتص وتخزن الحرارة خلال ساعات الإشغال داخل المبنى، وتقوم بإرجاع الحرارة الى الفضاء خلال الساعات غير المأهولة بالشاغلين مع تحقيق التهوية الطبيعية خلال الليل.

1-8 الجانب التطبيقي:

بغرض تحقيق هدف البحث، تم تدعيم الدراسة النظرية بجانب تطبيقي وذلك عن طريق تحليل مجموعة من الأمثلة لمشاريع وظفت ستراتيجيات التهوية الطبيعية، بغرض تحقيق كفاءة استخدام الطاقة فيها، فضلاً عن الوصول الى مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغلها.

المثال الأول/ جامعة قطر (Qatar University):

اسم المشروع : جامعة قطر (Qatar University).
نوع المشروع : تعليمي.

موقع المشروع : مشارف الدوحة - قطر .
مناخ الموقع : مناخ شبه إستوائي جاف، ومناخ صحراوي حار مع أمطار شحيحة.
المهندس المعماري للمشروع : كمال الكفراوي (Kamal El Kafrawi).
تأريخ إنجاز المشروع : إفتتاح المرحلة الأولى من المشروع والتي تضم المباني الأكاديمية في شباط من عام 1985م.

أولاً/ وصف المشروع:

تُعد جامعة قطر إحدى الجامعات الحكومية التي تقع على المشارف الشمالية للعاصمة الدوحة، وتقع في منطقة مناخية شبه إستوائية جافة، ومناخ صحراوي حار مع أمطار شحيحة جداً، حيث يمتاز صيفها بإرتفاع درجات الحرارة التي تصل الى (50م°) مع فرق كبير بين درجات الحرارة القصوى والدنيا.

إجمالاً، يستند تصميم المباني الأكاديمية في جامعة قطر على شبكة مؤلفة من أشكال مثمثة (Octagon) بعرض (84 م) مع وجود أشكال مربعة على الجانبين بعد (35 م)، وتتجاور وتتصل الأشكال المثمثة مع المربعات لتشكيل النمط النموذجي لأبنية الجامعة. وترتبط كل وحدة صف دراسي مثمثة الشكل بإثنين على الأقل من "الفناءات الداخلية (Lobbies)"، ويمكن إستخدام إحدى هذه الفناءات إما كمدخل ومنطقة إنتقالية بين الفصول الدراسية أو تُستخدم بمثابة فضاء إضافي ولكنه معزول عن الفصول الدراسية. أما الفناء الثاني، فيُستخدم كمصدر لتوفير ضوء النهار الطبيعي ومكاناً لتجمع الطلبة (<http://archnet.org/sites/288>).

تمتاز الأبنية في جامعة قطر بكونها ذات طابع تراثي، تعكس التمسك بهوية العمارة العربية الإسلامية، فأول ما يظهر للعيان عند رؤية الجامعة هو ملاقف الهواء (البارجيلات) في أبنية الجامعة، وقد أدخلها المهندس المعماري للمشروع في تصميمه بإسلوب يحمل تفسيراً جديداً لشكل الملقف الهوائي، فضلاً عن وجود مزاي مستدامة بيئياً أخرى تمثلت بالمشربيات لتوفير الظل وتلطيف البيئة، لا سيما في فصل الصيف، مع وجود العديد من الساحات المفتوحة والمغطاة جزئياً، والمزروعة مع وجود النافورات فيها والتي تعمل على تقليل نسبة الحرارة في الجو، فضلاً عن ترطيبه (El-Shorbagy, 2010) و (<http://archnet.org/sites/288>).

ثانياً/ أهم استراتيجيات التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع:

تمثل جامعة قطر من الناحية الوظيفية، أوضح حالات لإستخدام أبراج الرياح، فيسبب موقع جامعة قطر في منطقة الخليج العربي، جاء التصميم لصالح التهوية الطبيعية، حيث يكمن أحد أهداف المشروع في تحقيق الحد الأدنى من إستهلاك الطاقة عن طريق توفير التهوية المنفعلة (الطبيعية) لمساندة أجهزة التهوية الفاعلة (الميكانيكية)، وذلك من أجل الحفاظ على البيئة الداخلية لأبنية الجامعة بصورة مريحة وصحية وجيدة التهوية، مع توفير مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغلها، وتحقيق ذلك عن طريق إنشاء البارجيلات (أبراج الرياح) فوق أبنية الجامعة، والتي تعمل بمثابة منظومة تدفع الهواء الطبيعي الى داخل أبنية الجامعة.

وقد إرتفعت أبراج الرياح فوق مباني الجامعة على هيئة وحدات مثمثة الشكل، وُجهت بشكل مهيمن من كل جانب من الجامعة، فضلاً عن إطلالتها على ساحات الجامعة التي تحيط هذه العناصر التقليدية الجميلة. ويعكس شكل الملقف روحية الحاضر، فضلاً عن الإبقاء على وظيفته الأصلية بوصفه أداةً لتوليد تدفق الهواء الطبيعي في المبنى (الشكل 14).

من جهة أخرى، تم توقيع أبراج الرياح بمستويات مختلفة لإصطياد الرياح السائدة، وتضمن كل برج رياح أربعة جوانب مفتوحة، وقد تمت تغطية هذه الفتحات بمادة الجبس المنقّب (Perforated Gypsum) للسماح بالتهوية الطبيعية الدخول الى المبنى ومن ثم توفير الهواء البارد وتقليل الرطوبة داخل فضاءات أبنية الجامعة (El-Shorbagy, 2010).

ويوضح الجدول (1-1) استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في المشروع.

الجدول (1-1): استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في مباني جامعة قطر.

المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدر (Per Kvols, 2006).

آلية عمل عناصر التهوية في المشروع	القوى الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في المشروع	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه	مبدأ التهوية الطبيعية المقابل لها	عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المشروع	استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في المشروع
الاستخدام الأمثل لطرف الرياح في موقع المشروع. وبالنتيجة، زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق إستخدام أبراج الرياح.	تعمل أبراج الرياح بالإستفادة من الطاقة الحركية للرياح.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect).	إستخدام أبراج الرياح (البارجيلات) في المشروع.	أولاً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.

المثال الثاني/ مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center):

اسم المشروع	: مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center).
نوع المشروع	: تعليمي (مجمع مختبرات للأبحاث مع مرافق وبنى تحتية داعمة).
موقع المشروع	: أحمد آباد (Ahmedabad) – الهند.
مناخ الموقع	: مناخ حار شبه جاف.
المهندس المعماري للمشروع	: نيميش باتيل (Nimish Patel)، وبارول زايفري (Parul Zaveri).
تاريخ إنجاز المشروع	: 2000م.

أولاً/ وصف المشروع:

يقع مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center) التعليمي الذي يضم مجمع مختبرات للأبحاث مع مرافق وبنى تحتية داعمة لها، في مدينة أحمد آباد (Ahmedabad) – الهند، ذات المناخ الحار وشبه جاف. وقد صُمم هذا المجمع البالغة مساحته الإجمالية (19700 م²)، من قِبَل المهندسين المعماريين نيميش باتيل (Nimish Patel)، وبارول زايفري (Parul Zaveri)، إستجابةً للقلق المتزايد حول زيادة الاعتماد على الطاقة الناضبة، ويعد من المشاريع المميزة بوصفه نموذجاً فريداً للتصميم المستجيب للمناخ ونظام التحكم البيئي والأداء الحراري، والذي يدمج نظام التهوية الطبيعية والتبريد التبخيري المنفعل (Thomas and Baird, 2007). يهدف المبنى الى توفير الراحة للإنسان داخل فضاءاته على أساس التهوية المنفوعة والتبريد التبخيري، لتحقيق إستخدام الحد الأدنى من الطاقة الكهربائية أو الأجهزة الميكانيكية. والنتيجة، أبراج تهوية هائلة والتي هي سمة مميزة للمشروع. حيث يستخدم هذا المبنى التبريد المنفعل بواسطة التيار المنخفض التبخيري للمكانب على نطاق واسع ويوضح أنه من الممكن تحقيق راحة الإنسان في المناطق الحارة الجافة دون إستخدام نظم التكييف العادية ودون المساس بتكلفة البناء (Kamal, 2012).

ثانياً/ أهم استراتيجيات التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع:

تمحورت فلسفة تصميم المشروع، من وجهة النظر البيئية، حول تحقيق الإستفادة القصوى من التهوية الطبيعية، وضوء النهار الطبيعي، والسيطرة على دخول الغبار للمبنى، فضلاً عن إستخدام المواد الطبيعية المتوفرة في البيئة المحلية للمشروع. من جهة أخرى، تم تحقيق السيطرة الكاملة على الكسب الحراري الشمسي بواسطة التصميم الحكيم للترجيح، فضلاً عن تظليل النوافذ من الخارج بواسطة كاسرات أفقية.

إجمالاً، تم إستخدام أنظمة التبريد التبخيري المنفوعة بنجاح في مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center)، والتي تتكون من أبراج مع منصات موقعة في أعلى البرج. تقوم الأبراج بإصطياح الرياح لسحب الهواء داخلها، ومن ثم تبريده عن طريق تحويله الى رذاذ خفيف، حيث يتم توزيع المياه عن طريق الضغط في خط إمدادات المياه لإنتاج رذاذ خفيف (يطلق عليها اسم Microniser) في الجزء العلوي لمداخل كبيرة تقع فوق الممرات الوسطى لكل بناية مختبر، وذلك بغرض سحب الهواء للأبراج. حيث تم تطوير وتعزيز فكرة الممر المركزي مع فضاءات العمل على جانبيه، بغرض تحقيق التبريد التبخيري المنفعل. بالنتيجة، ينزل الهواء المبرد عن طريق الممر المركزي المفتوح للمشروع، ليتم إستخلاصه في أماكن العمل في كل طابق من المبنى كي تتم تهويتها وتبريدها. من ثم، تقوم الأبراج بإستفاد الهواء الساخن عند الحدود الخارجية لفضاءات العمل (من حول محيط المجمع) ليلاً (الشكل 15) (Thomas and Baird, 2007).

غالباً ما توصف هذه الأبراج بمثابة مداخن عكسية (Reverse Chimneys)، ففي الوقت الذي يرتفع فيه عمود الهواء الحار في المدخنة الشمسية، فإن عمود الهواء البارد يهبط للأسفل في هذه المداخن العكسية. ويعتمد معدل تدفق الهواء على كفاءة جهاز التبريد التبخيري، وإرتفاع البرج، والمقطع العرضي، وكذلك المقاومة ضد تدفق الهواء في جهاز التبريد أو البرج. وقد سُجلت درجات الحرارة داخل مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center) التعليمي بحدود (29 – 30) °م عندما كانت درجات الحرارة في خارج المبنى تتراوح ما بين (43 – 44) °م. وتحققت (6 – 9) تغييرات في التهوية الطبيعية في الساعة في طوابق مختلفة من المبنى (Kamal, 2012).

ويوضح الجدول (2-1) استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في المشروع.

الجدول (2-1): استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center).

المصدر: تنظيم الباحثة.

آلية عمل عناصر التهوية في المشروع	القوى الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في المشروع	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه	مبدأ التهوية الطبيعية المقابل لها	عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المشروع	استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في المشروع
المسافة العمودية للمداخن العكسية،	تعمل المداخن	إمداد المبنى	التهوية المتقاطعة،	تثبيت مداخن	أولاً/ تخفيض الأحمال

الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.	عكسية.	والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect).	بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	العكسية بالإستفادة من الطفو الحراري.	تعمل على زيادة تأثير الطفو الحراري، ومن ثم زيادة معدلات التهوية الطبيعية داخل المشروع.
---	--------	--	----------------------------------	--------------------------------------	--

المثال الثالث/ مركز إيسيتيكت (Eastgate Centre):

اسم المشروع	: مركز إيسيتيكت (Eastgate Centre).
نوع المشروع	: متعدد الإستخدامات (مركز تسوق ومبنى إداري).
موقع المشروع	: هراري (Harare) - زيمبابوي (Zimbabwe).
مناخ الموقع	: مناخ شبه إستوائي.
المهندس المعماري للمشروع	: مايك بيرس (Mick Pearce).
تأريخ إنجاز المشروع	: 1996م.

أولاً/ وصف المشروع:

يقع مركز إيسيتيكت (Eastgate Centre) في مركز مدينة هراري (Harare) - زيمبابوي (Zimbabwe) ذات المناخ شبه الإستوائي، ويضم المبنى مركزاً للتسوق بمساحة (5600 م²) ومكاتب إدارية بمساحة (26000 م²) وموقفاً يتسع لـ (450 سيارة). والمبنى مُصمَّم من قِبَل المهندس المعماري مايك بيرس (Mick Pearce) بإسلوب تم تهويته وتبريده بوسائل طبيعية تماماً (منفصلة). مخطط المبنى ضلعه الطويل باتجاه (شرق - غرب) لتحقيق أقل إنفتاح نحو الشمس في الواجهتين الشرقية والغربية، ويتألف المبنى من تسعة طوابق، يضم الطابقين (الأرضي والأول) مركز التسوق وموقف السيارات واللذان تعلوهم برجين من المكاتب الإدارية (التي تطل على الفناء الداخلي المركزي للمبنى) ويتألف كل برج من سبعة طوابق. أما الفناء الداخلي المركزي، وهو يرتفع بتسعة طوابق من أرضية مركز التسوق إلى مظلة سقف المبنى الزجاجية. كما يضم المبنى مجموعة من المداخل الشمسية والتي تقوم بدفع حركة الهواء ليلاً ونهاراً خلال المبنى (Johnston, 2000).

وتتضمن تصميم المبنى العديد من مزايا التصميم البيئي المستدام، منها: توفير التهوية الطبيعية لتبريد فضاءات المبنى لتجنب الإفراط في استخدام الطاقة من مكيفات الهواء الميكانيكية، وتحقيق التوازن بين الإستفادة القصوى من ضوء النهار الطبيعي لإضاءة فضاءات المبنى مع عزل المبنى عن الحرارة المفرطة والمرافقة عادةً للمناطق الإستوائية وشبه الإستوائية من العالم، فضلاً عن غيرها من الحلول المستدامة بيئياً (UNEP, 2011)، و (Johnston, 2000).

ثانياً/ أهم استراتيجيات التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع:

يُعد مركز إيسيتيكت (Eastgate Centre) عبارة عن مبنى مستدام بيئياً في التصميم والذي حقق حلول التهوية الطبيعية بإمتياز، حيث عمل مهندس المشروع على محاكاة الطبيعة من خلال دراسة العمليات الطبيعية وتكييفها لحل مشكلات الإنسان، وعكسها في تصميم المبنى بإسلوب يحقق التهوية الطبيعية بشكل فعال للغاية، مستوحياً ذلك من أبنية السكان الزيمبابويين الأصليين ومن تلال التبريد الذاتي للنمل الأبيض في أفريقيا. المبنى تم إنشاؤه بشكل كبير من الخرسانة، حيث لا يحتاج إلى مكيفات هواء ولا تدفئة، مما يعني أن إحتياجه من الطاقة أقل من (10%) مقارنة بالمباني التقليدية المماثلة له بالحجم (UNEP, 2011).

يضم المبنى مجموعة من المداخل الشمسية المميزة للمشروع (48 مدخنة شمسية) مثبتة على أعلى سطح المبنى، والتي تقوم بإلتقاط الهواء الساخن وسحبه من فضاءات المكاتب في المشروع ومن ثم خروجه من هياكل المداخل إلى خارج المبنى لتعزيز التهوية الطبيعية في فضاءات المبنى ليلاً ونهاراً. كما يضم المبنى فناءً داخلياً مركزياً تتم تهويته بشكل طبيعي، حيث يعزز من "تأثير المدخنة (Stack Effect)" لتحقيق حركة تهوية طبيعية في وسط المبنى. فضلاً عن وجود حلول أخرى داعمة كالكاسرات الشمسية وغيرها لتحقيق التهوية الطبيعية الفعالة في المبنى. وتعد هذه نفس المبادئ الأساس لتحقيق آلية التبريد المنفعل التي يستخدمها النمل الأبيض، والذي يحافظ على الأجزاء الداخلية من التلال بدرجة حرارة ثابتة عن طريق بناء المداخل التي تقوم بالتفتيس عن طريق الجزء العلوي والجانبين (Johnston, 2000)، و (UNEP, 2011) (الشكل 16).

ويوضح الجدول (3-1) استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع.

الجدول (3-1): استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المستخدمة في مركز إيسيتيكت (Eastgate Centre).

المصدر: تنظيم الباحثة.

استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية	عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المشروع	مبدأ التهوية الطبيعية المقابل لها	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه	القوى الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في المشروع	آلية عمل عناصر التهوية في المشروع
أولاً/ تخفيض الأحمال	تثبيت 48 مدخنة	التهوية المتقاطعة،	إستفاد الهواء	تعمل المداخل	تم زيادة القوى المحركة الطبيعية

الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.	شمسية في المبنى.	التهوية المدخنة (Stack Effect).	من المبنى.	الشمسية بواسطة الطفو الحراري.	عن طريق المسافة الكبيرة والعمودية للمداخل الشمسية. وبالنتيجة، زيادة تأثير الطفو الحراري، ومن ثم زيادة معدلات التهوية الطبيعية داخل المشروع.
ثانياً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.	يحتوي المبنى على فناء داخلي مركزي.	التهوية المتقاطعة، والتهوية المدخنة (Stack Effect)، والتهوية من جانب واحد.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	يعمل الفناء الداخلي المركزي بالإستفادة من الطفو الحراري والطاقة الحركية للرياح.	تم زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق إستخدام حجم كبير للفناء الداخلي المركزي. وبالنتيجة، زيادة معدلات تدفق الهواء داخل المشروع.

المثال الرابع/ مركز جنزايم (Genzyme Center):

اسم المشروع	: مركز جنزايم (Genzyme Center).
نوع المشروع	: مبنى إداري.
موقع المشروع	: كامبريدج (Cambridge) – ماساشوسيتس (Massachusetts) في الولايات المتحدة الأمريكية.
مناخ الموقع	: مناخ قاري رطب، مع صيف حار وشتاء بارد تلجي.
المهندس المعماري للمشروع	: (Lyme Properties)، و (House & Robertson Architects)، و (Behnisch & Partner).
تاريخ إنجاز المشروع	: عام 2003 م.

أولاً/ وصف المشروع:

يُعد مركز جنزايم (Genzyme Center) الإداري الواقع في كامبريدج (Cambridge) – الولايات المتحدة الأمريكية، ذات المناخ القاري، المقر الرئيس لشركة التكنولوجيا الحيوية وهو مبنى مستدام بيئياً، أنشئ عام 2003م، وشاركت ثلاث شركات معمارية مختلفة في تصميمه، هي: لاييم العقارية (Lyme Properties)، والمعماريون هاوس وروبرتسون (House & Robertson)، وبينيش وشركاه (Behnisch & Partner). تبلغ مساحة المبنى (32000 م²)، ويتألف من (12 طابقاً)، تم إنجازه في عام 2003. وهو أكبر مبنى في الولايات المتحدة الأمريكية حاصل على شهادة لييد البلاطينية (LEED Platinum) عام 2006 (Yudelson, 2007). يضم المبنى مجموعة من المزايا المستدامة بيئياً، منها: جودة البيئة الداخلية في المبنى، ووفرة ضوء النهار الطبيعي، فضلاً عن إشتغال المبنى على منظومة كفاءة في إستخدام الطاقة، وتكنولوجيا حفظ المياه، وكفاءة إستخدام المواد. كما تميز غلاف المبنى بكونه عالي الأداء، ومنظومة الترشيح فيه مؤلفة من الستائر الجدارية عالية الأداء أيضاً (Olmstead and Neely, 2005).

ثانياً/ أهم استراتيجيات التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع:

ضم مبنى جنزايم (Genzyme) مجموعة من الاستراتيجيات التصميمية المنفصلة لتعزيز التهوية الطبيعية في فضاءاته الداخلية، وذلك عن طريق إستخدام: الواجهة المزدوجة، والفناء الداخلي المركزي المسقف، مما حقق جودة عالية في البيئة الداخلية للمبنى. وفيما يخص الواجهة المزدوجة، يُعد غلاف مبنى جنزايم (Genzyme) عالي الأداء، حيث أن أكثر من (32%) من الغلاف الخارجي للمبنى (أي ما يعادل ثلث الغلاف الخارجي للمبنى) عبارة عن واجهة مزدوجة التهوية مفصولة فضائياً بحوالي (1.25 م)، والتي تقوم بخلق منطقة عازلة حرارياً بين المبنى والبيئة الخارجية المحيطة به. في الصيف، يتم تهوية هذا الفضاء ومن ثم تهوية فضاءات المبنى الأخرى. بينما في الشتاء، يتم إلحاق الحرارة في هذا الفضاء لحفظ المبنى دافئاً (Yudelson, 2007). كما ساعد تصميم الواجهة المزدوجة، المبنى في المحافظة على ظروفه الحرارية، وتقليل كسب الطاقة الشمسية فيه طوال العام تقريباً وذلك عن طريق إحتباس الحرارة التي تشع من المبنى ومنع حرارة الشمس من الدخول إليه. أما بالنسبة للفناء الداخلي المركزي، فقد ضم المبنى فناء داخلي مركزي فُتحت عليه جميع مستويات المبنى بفضاءاتها الداخلية. ويعمل هذا الفناء الداخلي بمثابة قناة ضخمة تساعد على توفير التهوية، والتبريد، والإضاءة الطبيعية، لفضاءات المبنى. ويتم تبريد وتهوية المبنى بشكل طبيعي عن طريق تأثير المدخنة (Stack Effect) من الحرارة المرتفعة خلال الفناء الداخلي المركزي ومن ثم خروجها من المبنى، وذلك بإرتفاع الهواء الدافئ بشكل طبيعي عن طريق تأثير المدخنة، لغاية إستفادته عن طريق الجزء العلوي من الفناء الداخلي المركزي. ومما يعزز هذه العملية بشكل كبير هو حجم الفناء الداخلي المركزي الكبير، فضلاً عن النوافذ التي ترفع من تدفق الهواء الطبيعي وتقلل من الطلب على نظام التكييف الميكانيكي. من ثم، المحافظة على صحة شاغلي المبنى عن طريق توفير مديات عالية من الراحة الحرارية لهم، وبالنتيجة رفع إنتاجيتهم (الشكل 17) (Olmstead and Neely, 2005).

ويوضح الجدول (1-4) استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع.

الجدول (1-4): استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المستخدمة في مبنى جنزايم (Genzyme) الإداري.

المصدر: تنظيم الباحثة.

آلية عمل عناصر التهوية في المشروع	القوى الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في المشروع	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه	مبدأ التهوية الطبيعية المقابل لها	عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المشروع	ستراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المؤظفة في المشروع
تُفعل الواجهة المزدوجة التأثيرات الحرارية المنفعلة، بإستخلاص التهوية الطبيعية من المنطقة العازلة في الواجهة عن طريق فتح النوافذ في الواجهة الداخلية. حينها يوفر تأثير المدخنة التيارات الهوائية داخل المشروع بالإستفادة من الطاقة الحركية للرياح.	تعمل الواجهة المزدوجة بالإستفادة من الطاقة الحركية للرياح.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect).	توظيف الواجهة المزدوجة في المبنى.	أولاً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.
تم زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق إستخدام حجم كبير للفناء الداخلي المركزي. وبالنتيجة، زيادة معدلات تدفق الهواء داخل المشروع.	يعمل الفناء الداخلي المركزي بالإستفادة من الطفو الحراري والطاقة الحركية للرياح.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect)، والتهوية من جانب واحد.	يحتوي المبنى على فناء داخلي مركزي.	ثانياً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.

المثال الخامس/ مكتبة "لانچيستر فريدريك (Frederick Lanchester)":

اسم المشروع	: مكتبة لانچيستر فريدريك (Frederick Lanchester).
نوع المشروع	: مبنى تعليمي.
موقع المشروع	: كوفينترى (Coventry) – إنكلترا.
مناخ الموقع	: مناخ بحري.
المهندس المعماري للمشروع	: المهندسون المعماريون شورت وشركاه (Short and Associates Architects).
تأريخ إنجاز المشروع	: عام 2002 م.

أولاً/ وصف المشروع:

تقع مكتبة لانچيستر فريدريك (Frederick Lanchester) في جامعة كوفينترى (Coventry University) في مدينة كوفينترى (Coventry) – إنكلترا، والمصممة من قبل المهندسون المعماريون شورت وشركاه (Short and Associates Architects). وتبلغ مساحة المكتبة (9103 م²)، وتضم (4 طوابق وسرداب). وتُعد المكتبة من المباني الكفوءة في إستخدام الطاقة، ومثالاً ممتازاً على التهوية الطبيعية، حيث إعتد التصميم كلياً على التهوية الطبيعية وللطوابق الأربعة الرئيسة للمكتبة (بسبب المكاسب الحرارية العالية لطابق السرداب لساعات طويلة، تطلب نظم تكييف الهواء الميكانيكية) (Lomas, 2007).

ثانياً/ أهم استراتيجيات التهوية الطبيعية المستخدمة في المشروع:

تتم تهوية الطوابق الأربعة للمشروع عن طريق تزويد الفناء الداخلي المفتوح على خمسة طوابق (أربع طوابق أساس وسرداب) بالهواء النقي، فضلاً عن وجود سلسلة من الآبار الضوئية (والمشابهة للمداخل الشمسية) والتي تم توقيعها على طول محيط المبنى. يدخل الهواء النقي الى المبنى عن طريق الدورة الكاملة بين الطابق الأول والسرداب الذي يخدم الآبار الضوئية الرباعية الشكل للمشروع، والموقعة بشكل بئر ضوئي مركزي، فضلاً عن مجموعة آبار ضوئية لكل ركن من أركان المبنى، والتي تعمل على توفير أحسن توزيع للهواء النقي والإضاءة النهارية الطبيعية عبر مخططات الطوابق العميقة للمبنى. حيث تعمل الحرارة المكتسبة بواسطة شاغلي المبنى وأجهزة الكمبيوتر على تسخين الهواء داخل فضاءات المبنى، وإنشاء قوة الطفو الحراري التي بدورها تسبب إرتفاع الهواء الساخن الى الأعلى، وتراكمه في الطبقة الواقعة تحت السقف بحدود (3,9 م). حينها سيتولد تأثير المدخنة (Stack Effect) على إرتفاع (1,8 – 20,0) م على المحيط الخارجي للآبار الضوئية في المشروع ليتم تهويتها، من ثم تقوم بدورها بتوجيه الهواء الساخن الى خارج المبنى (الشكل 18).

في فصل الشتاء، يتم رفع درجة حرارة الهواء الداخل للمبنى بواسطة ملفات التسخين المسبق (Pre-Heating Coils) التي تقع أفقياً عبر قاعدة بمساحة (6 م²) مجهزة في أعلى الآبار الضوئية، والتي تدفع الهواء الساخن عند النقاط التي تُدخل الهواء على كل طابق. بينما في فصل الصيف الحار، فيتم توفير التهوية بواسطة الستراتيجيات المنفعلة. كما تُستخدم التهوية ليلاً لتبريد الكتلة الحرارية للمبنى والمُعَرَّضة للحرارة العالية، بحيث يمكنها إستيعاب الحرارة خلال الساعات الدافئة من اليوم التالي.

تتم تهوية الطابق العلوي عن طريق وجود أربع مداخن شمسية منفصلة للتهوية، والتي أُضيفت للمبنى لحل مشكلة الجريان العكسي للهواء المُستنفذ من البئر الضوئي المركزي والتي تم تحديدها بواسطة المحاكاة الحاسوبية خلال مرحلة تصميم المبنى. من جهة أخرى، يجري الحد من المكاسب الحرارية الشمسية في المشروع، عن طريق تثبيت ستائر أفقية متحركة على رأس الآبار الضوئية، مع توقيع النوافذ والبروزات ونتوءات التظليل المعدنية بعناية، للمساعدة على الحد من مخاطر ارتفاع درجات الحرارة، فضلاً عن تحسين فعالية منظومة التهوية الطبيعية في المبنى (Krausse and et al., 2007).

ويوضح الجدول (5-1) استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في المشروع.

الجدول (5-1): استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُستخدمة في مكتبة لانجيستر فريديك (Frederick Lanchester).

المصدر: تنظيم الباحثة.

آلية عمل عناصر التهوية في المشروع	القوى الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في المشروع	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه	مبدأ التهوية الطبيعية المقابل لها	عناصر التهوية الطبيعية المميزة في المشروع	استراتيجيات تعزيز التهوية الطبيعية المُوظفة في المشروع
توظيف الكتلة الحرارية للمبنى لتخزين البرودة عن طريق سحب الأحمال الحرارية المتراكمة في النهار بالإستفادة من تأثير الطفو الحراري، لمنع الإرتفاع الكبير في درجات الحرارة.	تعمل كتلة المبنى بالإستفادة من تأثير الطفو الحراري.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	التهوية بتأثير المدخنة، وإكتساب الحرارة من الهواء ليلاً نتيجة التبادل الحراري المرتبط بالتخزين في كتلة المبنى.	تبريد الكتلة الحرارية للمبنى والمُعَرَّضة للحرارة العالية عن طريق التهوية ليلاً.	أولاً/ استراتيجيات التهوية ليلاً بإستخدام الكتلة الحرارية للمبنى.
تم زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق المسافة الكبيرة والعمودية للمداخن الشمسية. وبالنتيجة، زيادة تأثير الطفو الحراري، ومن ثم زيادة معدلات التهوية الطبيعية داخل المشروع.	تعمل المداخن الشمسية بالإستفادة من تأثير الطفو الحراري.	إستفاد الهواء من المبنى.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect).	تثبيت أربع مداخن شمسية في المبنى.	ثانياً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.
تم زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق المسافة الكبيرة والعمودية للآبار الضوئية. وبالنتيجة، زيادة تأثير الطفو الحراري، ومن ثم زيادة معدلات التهوية الطبيعية داخل المشروع.	تعمل الآبار الضوئية بالإستفادة من تأثير الطفو الحراري.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect).	تثبيت الآبار الضوئية المشابهة في عملها للمداخن الشمسية.	ثالثاً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.
تم زيادة القوى المحركة الطبيعية عن طريق إستخدام حجم كبير للفناء الداخلي المركزي. وبالنتيجة، زيادة معدلات تدفق الهواء داخل المشروع.	يعمل الفناء الداخلي المركزي بالإستفادة من الطفو الحراري والطاقة الحركية للرياح.	إمداد المبنى بالتهوية الطبيعية وإستفادها منه.	التهوية المتقاطعة، والتهوية بتأثير المدخنة، والتهوية من جانب واحد.	يحتوي المبنى على فناء داخلي مركزي.	رابعاً/ تخفيض الأحمال الحرارية الداخلية عن طريق إستخدام عناصر التهوية الطبيعية.

9-1 إستنتاجات الجانب التطبيقي (العملي):

- بعد مقارنة العناصر المميزة للتهوية الطبيعية، هناك ضرورة لوجود الفناء الداخلي المركزي في الأبنية العامة متعددة الطوابق للإستفادة من تفعيل "تأثير المدخنة (Stack Effect)" داخل المبنى وتعزيز التهوية الطبيعية فيه، وأهمية إنشاء الفناء الداخلي المركزي في الأبنية العامة في البيئة العمرانية العراقية (وكما هو الحال في مركز إستيكت (Eastgate Centre)، ومبنى جنزاي (Genzyme)، ومكتبة لانجيستر فريديك (Frederick Lanchester)، لا سيما إن الأبنية العامة تمتاز بكثرة العاملين والمراجعين فيها، وبالنتيجة زيادة كميات غاز (CO_2) في تلك الأبنية.
- أهمية توظيف أبراج الرياح (البادجيريات) بإسلوب معاصر في الأبنية، لا سيما في البيئة العمرانية العراقية، وكما هو الحال في برج الرياح (البارجيل) الموجود في مدينة مصدر والذي وظف الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة والفاعلة، لزيادة فاعليته في التهوية. أو توظيف أبراج الرياح بإسلوب منفصل وكما هو الحال في أبراج الرياح الموجودة في أبنية جامعة قطر، وأبراج الرياح في مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center).
- أهمية تطبيق الواجهات المزدوجة في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف (وكما هو الحال في مبنى جنزاي (Genzyme))، لما لها من أهمية في تحقيق التهوية الطبيعية للمبنى عن طريق توفيرها منطقة عازلة حرارية عن البيئة الخارجية، فضلاً عن أهميتها في الحد من المكاسب الحرارية وأحمال تكيف الهواء داخل المبنى.

- ضرورة تبني الاستراتيجيات التصميمية المختلفة للتهوية الطبيعية (ودمج أكثر من عنصر تهوية في المبنى وكما هو الحال في الأمثلة السابقة) في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف وبما يتلائم معها (توظيف الواجهات المزدوجة، والفناء المركزي، وأبراج الرياح)، وعدم الإكتفاء بوجود النوافذ والفتحات فقط، بمثابة حل للتهوية الطبيعية، لأن هذه الاستراتيجيات التصميمية تساعد على تلطيف المناخ الموضعي وتقليل التلوث، مع المحافظة على صحة الإنسان ورفع إنتاجيته، لا سيما بعد ما أصاب البيئة الطبيعية العراقية من ملوثات ناجمة عن الحروب التي مرَّ بها.
- أهمية تطبيق استراتيجيات التصميم المنفعل للتهوية الطبيعية في البيئة العمرانية العراقية لترشيد إستهلاك الطاقة وأخذها بعين الاعتبار منذ المراحل التصميمية الأولى، لا سيما أن مشكلة العراق تكمن في كثرة إستخدامه للطاقة الكهربائية بشكل أساس، وبالأخص لأغراض التبريد والتهوية. وحيث أن أجهزة التبريد معظمها عالية الإستهلاك للطاقة الكهربائية، توجب وجود الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة للتهوية الطبيعية في الأبنية لمساعدة أجهزة التكيف والتهوية الميكانيكية عن طريق تقليل مدد تشغيلها، وبالنتيجة ترشيد إستهلاك الطاقة الناضبة.
- إمكانية تطبيق الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة للتهوية الطبيعية في الأبنية في سياقات متنوعة بتوظيف أكثر من أسلوب في التصميم، عن طريق التكامل بين عناصر التهوية الطبيعية المميزة.

10-1 الإستنتاجات العامة:

- تُعد التهوية الطبيعية من أهم استراتيجيات تحسين جودة الهواء في البيئات الداخلية للمبنى، والحد من الأثر البيئي السلبي للمبنى، فضلاً عن فاعليتها في تحسين المناخ الموضعي لفضاءات المبنى الداخلية.
- يساعد توظيف استراتيجيات التصميم المنفعل للتهوية الطبيعية في الأبنية، على توفير بيئة صحية خالية من الملوثات بزيادة كمية الهواء الصحي فيها، وتقليل نسب غاز (CO_2)، مع تحقيق مديات عالية من السيطرة الحرارية على البيئات الداخلية للمبنى، فضلاً عن توازن المبنى مع البيئة المحيطة. بالنتيجة، تعزيز صحة شاغلي تلك الأبنية ورفع قابليتهم الإنتاجية.
- ضرورة تعزيز التهوية الطبيعية داخل الأبنية عن طريق توظيف طرق وأساليب التصميم المنفعل نظراً لما تمتلكه من أثر فعال وقدرة عالية في تقليل الطاقة المصروفة لأغراض التهوية والتبريد في الأبنية، فضلاً عن كفاءتها الكبيرة في تحقيق مديات عالية من الراحة الحرارية لساغلي تلك الأبنية.
- أهمية تفعيل عناصر التهوية الطبيعية المميزة في تصاميم الأبنية في الوقت الحاضر، ودمجها مع الطرق الميكانيكية في التهوية والتبريد، لا سيما في مناخ العراق الحار الجاف وما يتمتع به من طول فصل الصيف، وذلك بغرض تقليل الطلب على الوسائل الفاعلة في التهوية والتبريد، وبالنتيجة التقليل من الطلب على الطاقة وإستنزافها.
- ينبغي تحقيق المتطلبات التصميمية للتهوية الطبيعية في المراحل التصميمية الأولى لكونها ضرورةً ملحة، نظراً لما تُوفره من كفاءة مثلى في أداء البيئات الداخلية للمبنى.
- تُعد درجات الحرارة في البيئة الخارجية المحيطة بالمبنى، والرطوبة، وسرعة الرياح، من العوامل المُحددة لنجاح تطبيق تقنيات التهوية الطبيعية في أي مبنى.
- تسعى الاستراتيجيات التصميمية المنفعلة لتوفير التهوية الطبيعية في الأبنية إلى تحقيق إحدى مفاهيم التصميم البيئي المستدام.
- بالإمكان رؤية قنوات الهواء المُدمجة مع أبراج الرياح (البادغرات) في الأبنية التقليدية في المناطق الحارة الجافة، لا سيما في العراق، حيث يُبرّد الهواء في هذه القنوات ويُدفع للأسفل نحو السرداب ومنه إلى بقية فضاءات المبنى.
- يُساهم وجود فتحات نوافذ صغيرة بمستوى عالي في فضاء المبنى، وأخرى كبيرة بمستوى الشاغلين، على تعزيز مفعول المدخنة (Stack Effect) وتفعيل حركة التهوية الطبيعية من خارج المبنى إلى داخله وبالعكس (عن طريق فرق الكثافات بارتفاع الهواء الدافئ القليل الكثافة إلى الأعلى وحلول الهواء البارد مكانه)، لا سيما في حال كان إرتفاع الفضاء عالياً، وكان المبنى يطل على باحة مزروعة وتضم مسطحاً مائياً أو نافورة لترطيب الهواء فيها وتقليل درجة حرارته.
- يُعد تأثير المدخنة (Stack Effect)، أحد وسائل التصميم البيئي المستدام الذي يساعد على رفع كفاءة الإستخدام الطاقي داخل المبنى وبأسلوب منفعل عن طريق توفير التهوية الملائمة لفضاءات المبنى، فضلاً عن التبريد في الأشهر المعتدلة من السنة.
- أهمية وجود الفناء الداخلي المركزي (Atrium) في الأبنية العامة متعددة الطوابق والذي تفتح عليه جميع طوابق المبنى بفضاءاته الداخلية، لأن الفناء الداخلي يساعد على تفعيل "تأثير المدخنة (Stack Effect)" داخل المبنى وتعزيز التهوية الطبيعية فيه، لا سيما إذا ضم سقف الفناء، كوات تُفتح وتُغلق آلياً (أوتوماتيكياً).
- يتعين الإستفادة من الكتلة الحرارية للمبنى (الجدران والسقوف والأرضيات والنوافذ)، نظراً لما تمتلكه من دور أساس في جمع وتخزين وتوزيع الحرارة داخل فضاءاته، ومن ثم تعزيز فقدان الحرارة صيفاً والكسب الحراري شتاءً، لا سيما المناطق الحارة الجافة ومنها العراق، وبأسلوب منفعل يساعد على تقليل الإستهلاك العالي للطاقة الكهربائية.

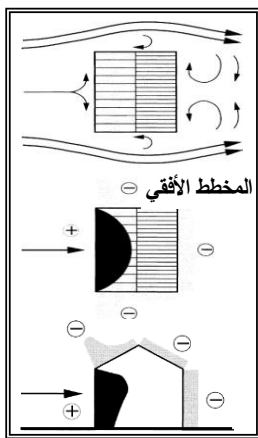
- يعمل تأثير المدخنة (Stack Effect) على إزالة الحرارة المختزنة في مواد البناء الى البيئة الخارجية المحيطة به.
- الاستفادة من استراتيجيات التصميم المنفعل للتهوية الطبيعية في الأبنية، لاسيما في الأوقات المعتدلة من السنة في مناخ العراق الحار الجاف، حيث الإنخفاض في درجات الحرارة مع قلة الأتربة والعواصف.
- إيلاء موضوع التهوية الطبيعية أهمية أكبر في تصاميم الأبنية في البيئة العراقية بشكل عام، والاستفادة من الحلول التي قدمتها العمارة العراقية التقليدية وتوظيفها بإسلوب معاصر.

المصادر:

- كمونة، غادة محمد إسماعيل عبد الرزاق، كانون الثاني 2015. منظومات العمارة الخضراء في التصميم البيئي المستدام، أطروحة دكتوراه مقدمة الى قسم هندسة العمارة - كلية الهندسة/ جامعة بغداد، بغداد - العراق، (ص 118، 120، 121، 122، 161-162، 165-166).
- Baker, Nick & Steemers, Koen, 2005. *Energy & Environment in Architecture: A Technical Design Guide*, E & FN Spon, Taylor & Francis Group, London – UK, pp. 55, 56, 66.
 - Bauer, Michael & et al., 2010. *Green Building - Guidebook for Sustainable Architecture*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Stuttgart – Germany, pp. 43, 44.
 - Bin Ahmad, Mohd Hamdan and et al., 2006. *Towards Development of Tropical Solar Architecture: The Use of Solar Chimney as Stack Induced Ventilation Strategy*, Faculty of Built Environment, University Technology Malaysia, Research Management Centre, Malaysia, pp. 16, 22, 23, 144.
 - Building and Construction Authority, 2010. *Building Planning and Massing*, Green Building Platinum Series, Centre for Sustainable Buildings and Construction, Singapore, pp. 24, 25, 58, 60, 63, 74.
 - El-Shorbagy, Abdel-Moniem, June 2010. *Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings*, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol. 10, No. 03, P. 23.
 - Geetha, N. B. and Velraj, R., 2012. *Passive Cooling Methods for Energy Efficient Buildings with and without Thermal Energy Storage – A Review*, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, Volume (issues) 29 (2): 913-946, India, pp. 926, 931.
 - Heiselberg, P., 2005. *Building Integrated Ventilation Systems – Modelling and Design Challenges*, Hybrid Ventilation Centre, Alaborg University, Denmark, pp. 2, 4.
 - Johnston, Lindsay, 2000. *Environmentally Sustainable Design*, AntHill, a Case Study on the Environmental Performance of a Development in Africa Reveals a Green Agenda for International Appropriation, pp. 82-83. Available at: http://www.rivertime.org/lindsay/ar_articles/ar_74.pdf
 - Kamal, Mohammad Arif, September 2012. *An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions*, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture, Vol. 55, No. 1, India, pp. 85, 90, 93.
 - Kang, Bhujon and Lutz-Carillo, Sky, 2009. *Indirect /Passive Air-Flow Systems*, Center for Sustainable Development, School of Architecture –University of Texas, Tustin – USA, pp. 9, 11.
 - Kleiven, Tommy, March 2003. *Natural Ventilation in Buildings: Architectural Concepts, Consequences & Possibilities*, Thesis Requirements for the Degree of Doctor of Engineering at Norwegian University of Science & Technology – Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, Norway, pp. 28, 30, 31, 53-54, 56, 59, 64.
 - Krausse, Birgit and et al., 2007. *Environmental Performance of a Naturally Ventilated City Centre Library*, Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, UK, pp. 2-3.
 - Lomas, Kevin J., 2007. *Architectural Design of an Advanced Naturally Ventilated Building Form*, Science Direct: Energy and Buildings 39, UK, P. 179.
 - Macquoy, Bart, January 2014. *Natural Ventilation Based Bioclimatic Redevelopment*, Building Transformation and Improvement into an Integrated Energy Efficient

Multifunctional Design, Delft University of Technology, Department of Architecture, Netherlands, pp. 2, 3, 5, 6, 7.

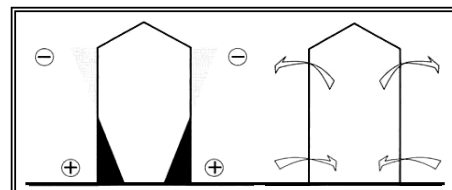
- Martin, Miguel and et al, April 2015. *An Experimental Network for Urban Heat Island Analysis in a Green District of the Middle-East*, ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate Jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, The Cooperative Agreement between the Masdar Institute of Science and Technology, Abu Dhabi-UAE and the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge – USA, P. 2.
- Olmstead, Dara and Neely, Dona, 2005. *Genzyme Center*, A Case Study of Sustainable Building Strategies, Tufts Climate Initiative & Tufts University Department of Urban and Environmental Policy and Planning, Commissioned by the Massachusetts Technology Collaborative, USA, pp. 3, 9, 11, 14.
- Per Kvols, Heiselberg, 2006. *Design of Natural and Hybrid Ventilation*, Aalborg University, Department of Civil Engineering–Indoor Environmental Engineering, DCE Lecture No.005, Denmark, pp. 19, 22-23, 24, 27, 32.
- Szokolay, Steven V., 2004. *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*, Architectural Press, An imprint of Elsevier Science, UK, pp. 14, 16.
- Thomas, Leena and Baird, George, 2007. *Post-Occupancy Evaluation of Passive Downdraft Evaporative Cooling and Air-Conditioned Buildings at Torrent Research Centre, Ahmedabad – India*, University of Technology, Sydney – Australia, pp. 1, 2, 3, 4.
- UNEP, February 2011. *Building for the Future*, A United Nations Showcase in Nairobi, United Nations Environment Programme, Nairobi – Kenya, pp. 36, 37.
- Yudelson, Jerry, June 2007. *Green Building A to Z: Understanding the Language of Green Building*, New Society Publishers, Canada, pp. 40, 48, 101, 132, 139.
- ARCHNET, *Qatar University*, Architect's Record of Qatar University. Time of Visiting the Website at 8: 17 pm, 19 February 2016. Available at: <http://archnet.org/sites/288>



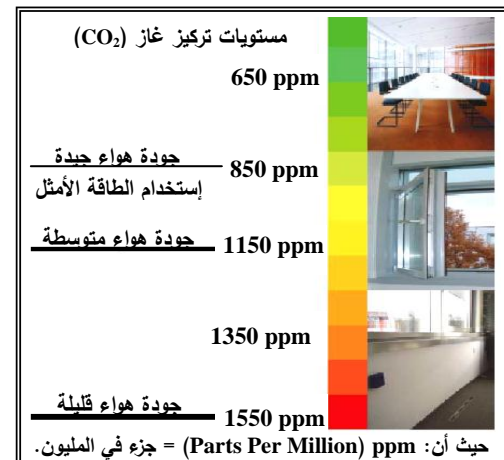
الشكل (3): توزيع الضغط



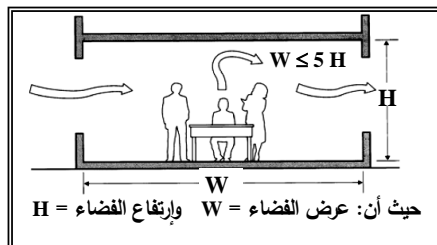
الشكل (2): شاشات رصد غاز (CO₂).
المصدر: (كمونة، 2015).



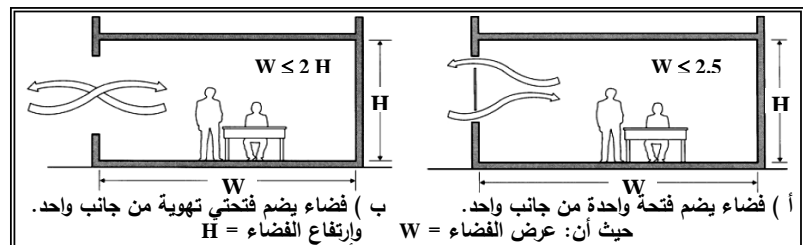
الشكل (4): الطفو الحراري في المبنى.
المصدر: (Kleiven, 2003).



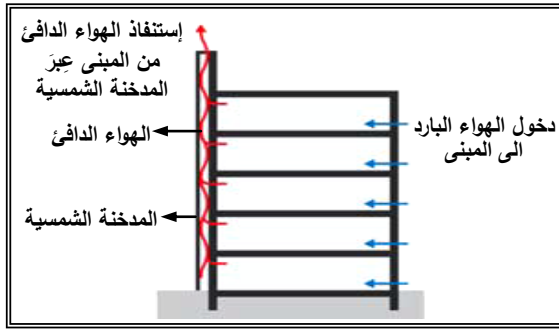
الشكل (1): مستويات تركيز (CO₂) في الفضاءات المغلقة.
المصدر: (Bauer and et al, 2010).



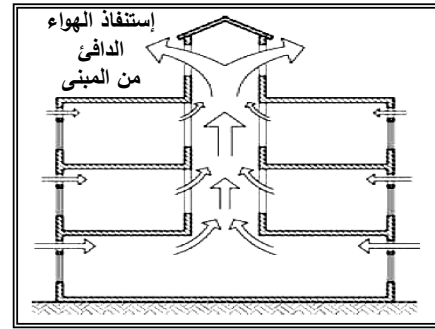
الشكل (6): التهوية الطبيعية المتقاطعة داخل فضاء.
المصدر: (Per Kvols, 2006).



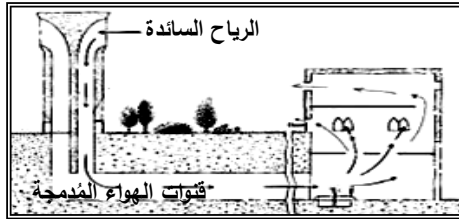
الشكل (5): التهوية الطبيعية في جانب واحد من الفضاء.
المصدر: (Per Kvols, 2006).



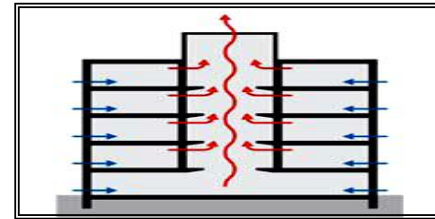
الشكل (8): آلية عمل المدخنة الشمسية.
المصدر: (Macquoy, 2014).



الشكل (7): التهوية الطبيعية بتأثير المدخنة (Stack Effect).
المصدر: (Per Kvols, 2006).



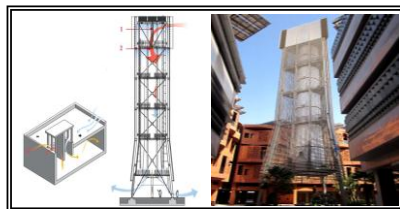
الشكل (10): قنوات التهوية المدمجة والمرتبطة مع أبراج الرياح.
المصدر: (Kleiven, 2003).



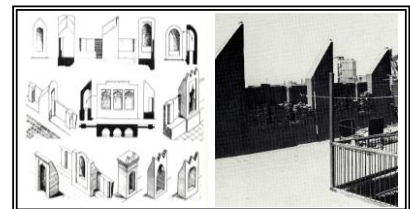
الشكل (9): التهوية الطبيعية بالفناء الداخلي المركزي.
المصدر: (Macquoy, 2014).



الشكل (13): استراتيجية التهوية ليلاً في المبنى.
المصدر: (Macquoy, 2014).



الشكل (12): برج الرياح في مدينة مصدر.
المصدر: (Martin and et al, 2015).



الشكل (11): ملاقف الهواء في المسكن التقليدي.
المصدر: (كمونة، 2015).



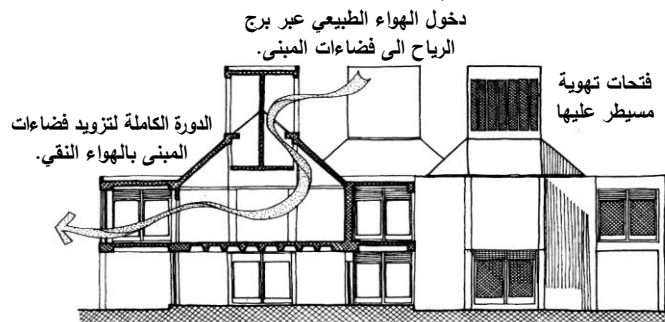
منظور جوي للمشروع ذو التصميم الشبكي المؤلف من أشكال ممتدة.



منظور جوي لجامعة قطر.



منظور خارجي لأبراج الرياح في مباني جامعة قطر.



مقطع طولي في أحد أبنية الجامعة يوضح آلية دخول الهواء الطبيعي لفضاءات المبنى عبر برج الرياح وإستنفاده من الفتحات الموجودة في فضاءات المبنى.

الشكل (14): الاستراتيجيات التصميمية للتهوية الطبيعية الموظفة في أبنية جامعة قطر.

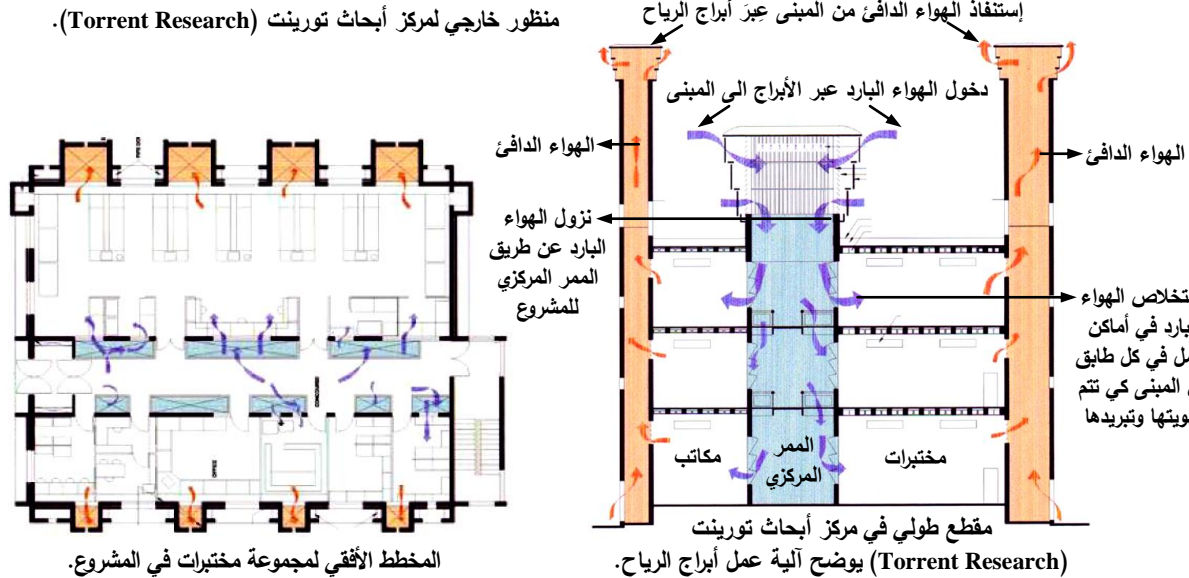
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدرين (El-Shorbagy, 2010) و (<http://archnet.org/sites/288>).



منظر خارجي لمركز أبحاث تورينت (Torrent Research).



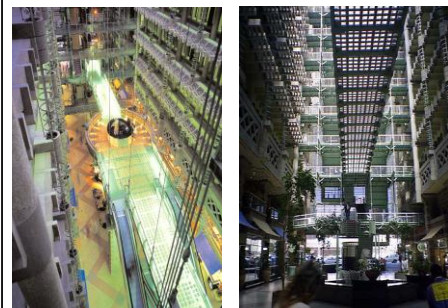
مخطط الموقع لمركز أبحاث تورينت (Torrent Research).



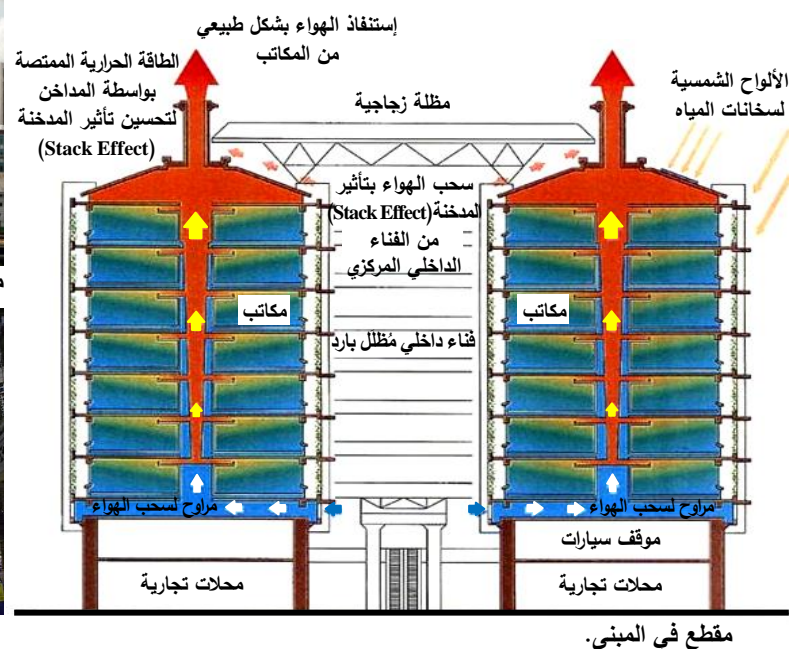
الشكل (15): الاستراتيجيات التصميمية للتهوية الطبيعية الموظفة في مركز أبحاث تورينت (Torrent Research Center).
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدر (Thomas and Baird, 2007).



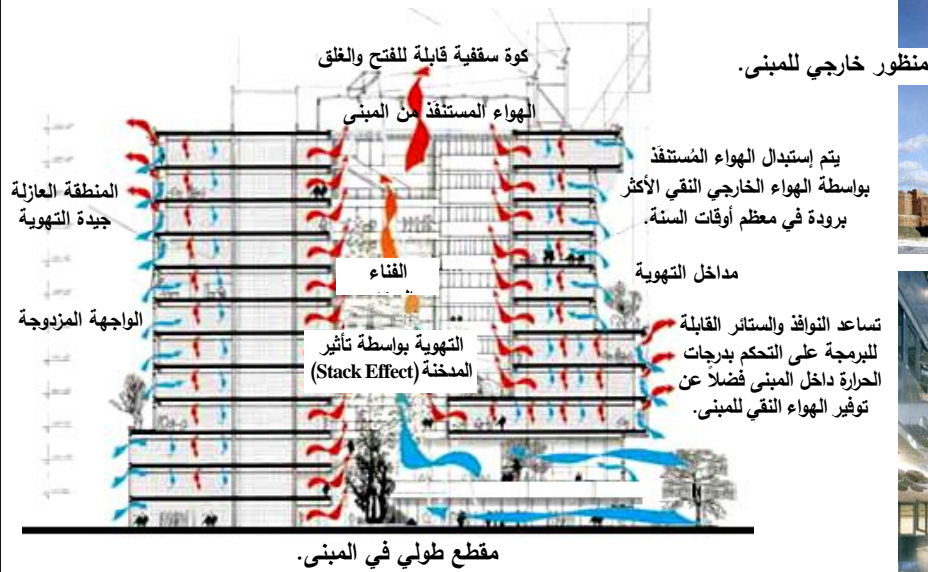
منظر خارجي لمركز إيستغيت (Eastgate Centre).



مناظر في الفناء الداخلي المركزي للمبنى.



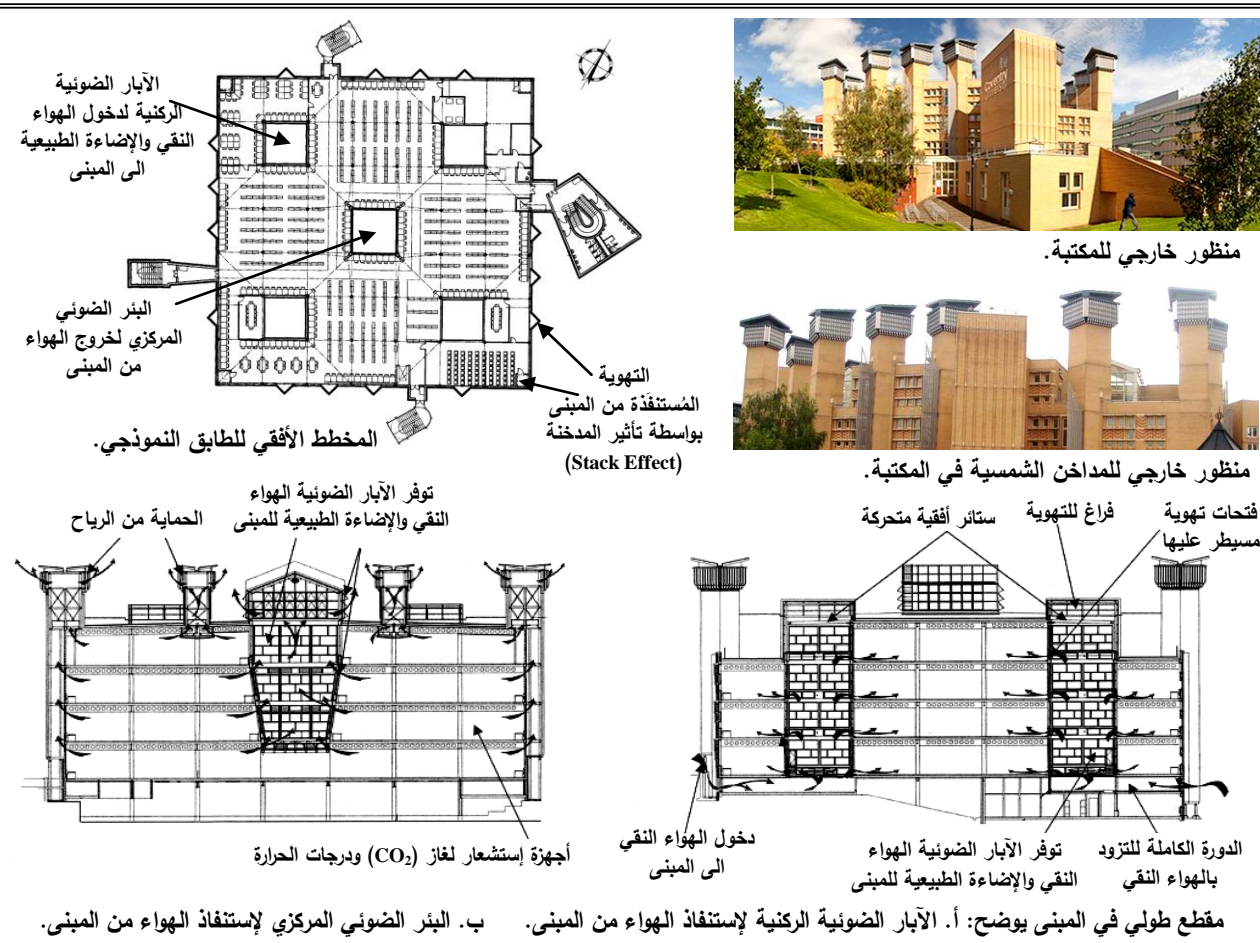
الشكل (16): الاستراتيجيات التصميمية للتهوية الطبيعية الموظفة في مركز إيستغيت (Eastgate Centre).
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدرين (Johnston, 2000, P. 81)، (UNEP, 2011, P. 36).



منظور داخلي في منطقة الفتاء المركزي.

يسمح مركز جنزايم (Genzyme) للهواء الدافئ بالإرتفاع بشكل طبيعي عن طريق تأثير "مفعول المدخنة (Stack effect)"، لغاية إستنفاده خلال الجزء العلوي من الفتاء الداخلي المركزي (Atrium).

الشكل (17): الاستراتيجيات التصميمية للتهوية الطبيعية الموظفة في مركز جنزايم (Genzyme) الإداري.
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدر (Olmstead and Neely, 2005).



الشكل (18): الاستراتيجيات التصميمية للتهوية الطبيعية الموظفة مكتبة لانچيستر فريدريك (Frederick Lanchester).
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً للمصدر (Krausse and et al., 2007).

Management Model for Evaluation and Selection of Engineering Equipment Suppliers for Construction Projects in Iraq

Dr. Kadhim Raheem Erzaij

Lecturer

College of Engineering-University of Baghdad

kadhim1969@yahoo.com

Aula Sakban Bidan

Graduate Student

College of Engineering-University of Baghdad

eng_aula2010@yahoo.com

ABSTRACT

Engineering equipment is essential part in the construction project and usually manufactured with long lead times, large costs and special engineering requirements. Construction manager targets that equipment to be delivered in the site need date with the right quantity, appropriate cost and required quality, and this entails an efficient supplier can satisfy these targets. Selection of engineering equipment supplier is a crucial managerial **process**. It requires evaluation of multiple suppliers according to multiple criteria. This process is usually performed manually and based on just limited evaluation criteria, so better alternatives may be neglected. Three stages of survey comprised number of public and private companies in Iraqi construction sector were employed to identify main criteria and sub criteria for supplier selection and their priorities. The main criteria identified were quality of product, commercial aspect, delivery, reputation and position, and system quality. An effective technique in multiple criteria decision making (MCDM) as analytical hierarchy process (AHP) have been used to get importance weights of criteria based on experts judgment. Thereafter, a management software system for Evaluation and Selection of Engineering Equipment Suppliers (ESEES) has been developed based on the results obtained from AHP. This model was validated in a case study at municipality of Baghdad involved actual cases of selection pumps suppliers for infrastructure projects. According to experts, this model can improve the current process followed in the supplier selection and aid decision makers to adopt better choices in the domain of selection engineering equipment suppliers.

Key words: engineering equipment, supplier, construction, AHP, decision maker, model, ESEES, software.

نموذج اداري لتقييم واختيار مجهزي المعدات الهندسية في المشاريع الانشائية في العراق

علا صكيان بدن

طالب ماجستير

جامعة بغداد-كلية الهندسة-قسم الهندسة المدنية

د.كاظم رحيم ارزيج

مدرس

جامعة بغداد-كلية الهندسة-قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

ان المعدة الهندسية هي جزء اساسي في المشروع الانشائي وتصنع عادة بفترات انتظار طويلة، كلف عالية ومتطلبات هندسية خاصة. يطمح مدير المشروع بأن تسلم المعدات في الموقع في الموعد المحدد، الكمية الصحيحة وبالكلفة المناسبة والجودة المطلوبة وان هذا يستلزم وجود مجهز كفوء يستطيع تحقيق هذه الاهداف. ان تقييم واختيار مجهز المعدات الهندسية يعد عملية ادارية حاسمة تتطلب تقييم لعدة مجهزين وفقاً لمعايير متعددة وان هذه العمل عادة ما يتم انجازه يدوياً ويبنى على عدد محدود من معايير التقييم وبذلك فان بدائل افضل قد يتم التغاضي عنها. تم توظيف ثلاثة مراحل من المسح الميداني شملت عدد من الشركات الحكومية والخاصة في القطاع الانشائي العراقي لغرض تحديد المعايير الرئيسية والفرعية لاختيار المجهزين و أولوياتها. المعايير الرئيسية التي تم تحديدها هي جودة المنتج، الجانب التجاري، التسليم، السمعة والمكانة وجودة النظام.

تم استخدام تقنية فعالة في عملية صنع القرار متعدد المعايير وهي عملية التحليل الهرمي بواسطة برنامج (AHP) للحصول على اوزان الاهمية للمعايير بناءاً على حكم الخبراء .

بعد ذلك تم بناء نظام ادارة حاسوبي لتقييم واختيار مجهزي المعدات الهندسية (ESEES) اعتماداً على النتائج المستحصلة من برنامج (AHP). هذا النموذج تم التحقق منه بتطبيقه على حالة دراسية (أمانة بغداد) متضمنة حالات واقعية لاختيار مجهزي مضخات لمشاريع بنى تحتية. وفقاً للخبراء فان هذا النموذج يمكن ان يحسن الطريقة الحالية المتبعة في اختيار المجهزين ويدعم صانعي القرار في تبني خيارات افضل في مجال اختيار مجهزي المعدات الهندسية.

الكلمات الرئيسية : معدات هندسية، مجهز ، انشاء، AHP، صانع قرار، نموذج، ESEES، برمجيات

1. INTRODUCTION

Selection of engineering equipment suppliers is one of the most critical decisions taken by procurement manager. It is not an easy process and generally consists of four stages; defining objective, formulating the selection criteria, qualifying the suitable alternatives and final selection. Many different formulas and techniques involve the determination of quantitative and qualitative factors can be used to select the best possible suppliers. Supplier selection decisions were complicated by the fact that various criteria must be considered in decisions making process **Weber et al., 1991**. According to **G3SP-ESS, 2010**, the procurers can categorize supplier selection criteria as *Mandatory* which represents the criteria that a supplier must meet in order to be on the bid list , *Preferred* refers to criteria that is not necessary to be meeting by suppliers to enter the bid list and *leading* criteria which really differentiate suppliers and will separate the exceptional suppliers from the ordinary and should have the highest weighting within the supplier selection process. Number of studies were conducted to deal with suppliers evaluation; **Ho et al., 2007** in their study, they identified what criteria that construction firms in Taiwan and Vietnam were adopted to evaluate and select suppliers. They confirmed that non-quantifiable criteria like, quality and capability to meet delivery due dates have the most important role in the selection process. **Azambuja and Chen , 2010** presented methodology of statistical procedure of cluster analysis for commercial assessment to select short list of equipment suppliers in construction projects but this technique was supported just quantitative criteria. This study aims to present a management model with a decision support tool that can aid construction firms in the selection of the best engineering equipment suppliers that satisfy project targets considering both quantitative and qualitative criteria.

2. SUPPLIERS EVALUATION AND SELECTION

The analysis of criteria for selection and measuring the performance of suppliers had been the focus of many scientists and purchasing practitioners since the 1960's. In the recent years, many researchers in the domain of supplier selection like **Benyousif et al., 2003, Thanaraksakul, and**

Phruksaphanrat, 2009, Pal et al. ,2013 and Abdolshah ,2013 referred to an interesting work presented by Dikson .

Dikson ,1966 conducted a questionnaire and sent it to 273 purchasing organizations and managers selected from list of managers in the National Association of Purchasing Managers, which covered USA and Canada. He had received 170 mails regarding the 23 important criteria which were ranked according to the observations. The results showed that delivery, quality, performance history, and warranty policies were the most important criteria for 1960s .Thereafter, the 23 criteria in Dikson (1966) were served as principal for categorizing criteria in the consequent researches. **Pal et al. 2013** stated the various important criteria for the supplier selection such as: price, quality, delivery, performance history, warranties and claims policies, production, facilities and capacity, technical capability, financial position, procedural compliance, reputation and position in industry, desire for business, repair service, attitude, packaging ability, labor relations record, geographical location, amount of past business and reciprocal arrangement.

2.1 Identifying Potential Suppliers

This process is substantial, it is often critically important to discover new suppliers as well as develop the existing suppliers. The buyer must ensure such suppliers are qualified .The qualification processes should be performed according to the qualification criteria set on the solicitation documents. A potential supplier who does not meet the required qualifications will be rejected, and this will lead to short list suppliers.

Pre-qualification is an effective method for identifying potential suppliers to invite for tender, particularly where a large number of suppliers might be able to fulfill the organization's needs.

Some organizations pursue pre-qualify suppliers prior to have a specific need. This can allow them to focus on specific needs at a given moment in time from a pre-qualified pool of suppliers. To ensure that the pre-qualification process is not too cumbersome, suppliers should only be requested to provide information adequacy to satisfy the buyer on their level of competence that is sufficient to execute any future contract. Such qualifications criteria may be all or some of the following **IAPWG, 2006**:

1. Legislative requirements
2. The financial strength
3. Performance record
4. Business ethics record

5. Production capacity.
6. Experience and technical capacity

If a pre-qualification process has preceded the solicitation, just suppliers who have passed the pre-qualification would be allowed to submit offers.

2.2 Methods for Suppliers' selection

For many years, the traditional approach to select supplier has been to select suppliers based on the basis of price ,**Pal et al., 2013**. Actually, evaluation and selection of suppliers is a typical multiple criteria decision making (MCDM) that can be both qualitative and quantitative. However, as companies realized this fact, they have turned into more comprehensive multi-criteria approaches.

Decision aid methods are very useful tools is used to support managers making selection decisions. There are number of multi-criteria techniques that have been developed in operations research to aid solving selection problems.

Pal et al., 2013, in their research, summarized various supplier selection methods as shown in **Fig.1**. The most well- known (MCDM) technique which is used in various selection problems is Analytical Hierarchy Process (AHP). AHP was developed by **Saaty, 1980** as a mathematical decision making model which solved complex linear algebra problems when there were multiple objectives or criteria to be considered. It required the decision makers to provide judgments about the relative importance criterion for each decision alternatives. AHP is an effective tool dealing with complex decision making, and can aid the decision maker in setting priorities and making the best choice by reducing complex decisions to a series of pair wise comparisons; then the results were synthesized. The researcher adopted this tool in developing a model for the evaluation and selection of engineering equipment suppliers.

3. IDENTIFYING CRITERIA FOR EVALUATION AND SELECTION OF ENGINEERING EQUIPMENT SUPPLIERS

To identify which criteria are the basis for E.E supplier's selection in Iraq and their priorities, a field survey was conducted in number of public and private companies in Iraqi construction sector. In the first stage, some of criteria were identified by personal interviews with top senior managers. From literature review and interviews with specialist, the required criteria for evaluation and selection suppliers were identified. A closed questionnaire form contained the identified criteria were presented to (44) of the respondents to identify the degree of importance

of each criteria . These criteria were reordered as a hierarchy of five main criteria and sub criteria related to each main criterion, see **Fig.2**.

In order to get importance weights of criteria a special questionnaire form was prepared, this form based on the principle of analytical hierarchy process to get priorities of criteria.

In this form, a simple matrix was built for each of main and sub criteria. The specified criteria were placed in the matrix vertically and matched by the same criteria in a horizontal bar. To achieve this purpose ,(15) experts in the domain of evaluation engineering equipment suppliers were asked to compare the importance of criteria according to the ratios set in the questionnaire form which was based on AHP scale ,see **Table 1**.

The answers of respondents were collected, and then the average of the values given by respondents was calculated in order to get criteria priorities.

4. DEVELOPING DECISION MAKING MODEL (AHP, ESEES)

A proposed model for evaluation and selection of E.E suppliers contains two parts:

Part 1: The analytical hierarchy process (AHP) is used as a tool for support decision in selection among suppliers regarding multi criteria qualitative and quantitative criteria. Precisely, to find importance weight for criteria and sub criteria according to the results obtained from questionnaire of priorities. The results obtained from AHP are shown in **Tables 2** and **3**.

Part 2: A software model for evaluation and selection of E.E suppliers (ESEES) depending on importance weights of criteria obtained from the application of AHP developed software.

4.1 Development of a Software Model (ESEES)

The application (ESEES) has been implemented by Microsoft visual basic as a windows form with Microsoft access as the back data base. The main window is shown in **Fig.3**.

The core window in this program is named as Evaluate suppliers. It contains the list of sub criteria where the user can enter the rating of one supplier against each criterion. The values shown at the side of the ratings are calculated by multiplying the rating that evaluator has entered by the importance weight for the sub criteria and their related main criteria .These importance weights have been obtained by applying the (AHP) Software illustrated previously and saved as database in this program. The total rating of one supplier also can be shown in this window and the mathematical procedure behind this process is expressed as follows:

The researcher suggested an equation to get the total rating for one supplier, that for **n** number of main criteria and **n** number of sub criteria related to each main criterion,

$$\begin{aligned} \text{Total rating for one supplier} = & M_1 (s_1 M_1 * R_{s_1 M_1} + s_2 M_1 * R_{s_2 M_1} + \dots + s_n M_1 * R_{s_n M_1}) + \\ & M_2 (s_1 M_2 * R_{s_1 M_2} + s_2 M_2 * R_{s_2 M_2} + \dots + s_n M_2 * R_{s_n M_2}) + \dots + \\ & M_n (s_1 M_n * R_{s_1 M_n} + s_2 M_n * R_{s_2 M_n} + \dots + s_n M_n * R_{s_n M_n}) \end{aligned} \quad (1)$$

Where:

M_1, M_2, M_n are the importance weights of the first, second, and n_{th} main criterion respectively.
 s_1M_1, s_1M_2, s_1M_n are the importance weights of each first sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion, respectively .

$Rs_1M_1, Rs_1M_2, Rs_1M_n$ are suppliers rating against each first sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion, respectively.

s_2M_1, s_2M_2, s_2M_n are the importance weights of each second sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion, respectively .

$Rs_2M_1, Rs_2M_2, Rs_2M_n$ are suppliers rating against each second sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion, respectively .

s_nM_1, s_nM_2, s_nM_n are the importance weights of each n_{th} sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion respectively.

$Rs_nM_1, Rs_nM_2, Rs_nM_n$ are suppliers rating against each n_{th} sub criterion related to the first, second, and n_{th} main criterion respectively .

and, $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 100\%$

$$s_1M_1 + s_2M_1 + \dots + s_nM_1 = 100\%$$

$$s_1M_2 + s_2M_2 + \dots + s_nM_2 = 100\%$$

$$s_1M_n + s_2M_n + \dots + s_nM_n = 100\%$$

The entry of supplier's ratings is in a percentage form. The main steps of ESEES software approach is shown in **Fig.4**.

5. VALIDATION OF THE PROPOSED MANAGEMENT MODEL

A case study was selected to describe the results obtained from using the software. The case study chosen was Municipality of Baghdad as the fact that this organization expends large amounts of money on the procurement of engineering equipment, especially for infrastructure projects. The suggested engineering equipment for this study was (pumps). Pumps are considered a critical component in project whatever process it operates: power, destination, petrochemical, and water treatment or supply. The complete plant operation depends on the reliable performance of the main intake, cooling or seawater pumps. Two actual cases were selected for pumps procurement. The first was Sharq Dijla project for water treatment and the other was Al- Rustamiya project for sewage treatment. A team from each of Baghdad sewerage and Baghdad water directorates consisted of different qualifications was specified to evaluate the bidders regarding the sub criteria by studying the offers and analyzing the catalogues in detail.

The suggested team included; civil engineer, mechanical engineer and financial member. These engineers have sufficient experience in project requirements and required equipment.

5.1 Case study :Municipality of Baghdad -Infrastructure Projects

5.1.1 First case: Extension of sewage treatment plant at Al-Rustamiyah project:

Selection of submersible pumps with different diameters.

The actual award decision according to traditional process is shown in **Table 4** ,while **Fig. 5** shows the results obtained from applying ESEES program.

5.1.2 Second case: Extension of existing water treatment plant at Sharq Dijla project: Selection of vertical pumps supplier.

The actual award decision according to traditional process is shown in **Table 5** , while **Fig. 6** shows the results obtained from applying ESEES program.

5.2 Comparison between Traditional Method and Applying of (ESEES) Software in Supplier Selection

1. In the first case, the final result showed that EPC Company was the best supplier for submersible pumps. This result differs from the actual recommendation which was (Al Qotb Alaraby company).Based on the fact that the criteria adopted was more comprehensive and feasible for suppliers' selection. The result obtained by the proposed model is seen to be more suitable for serving the targets of project and procurement.
2. In the second case, the result obtained from ESEES shows that the bidder (Alwa company) is ranked as a top supplier. This result was similar to that obtained from actual recommendation, and that seemed reasonable as there were some criteria were not been considered by the team like (ground shipping and transport, risks, environmental benefits and innovation) because there were not sufficient details or indicators in the offers to prefer one bidder to the others.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The major observations and conclusions can be summarized as follows:

- a. The traditional evaluation process is based on criteria and importance weights decided by Ministry of Planning with limited flexibility in changing the weights as necessary. These criteria are not comprehensive and do not cover the supplying requirements and project targets.
- b. The importance weights of main criteria resulted from applying AHP software showed that **Quality of product** is the most important criterion in the selection of the

best supplier, followed by **Commercial aspect**. The third place is for **Delivery and implementation** while the fourth place is received by **Reputation and position** and the last ranking is for criterion of **System quality**.

- c. According to experts, the proposed model can contribute to serve the construction project management related to cost, schedule and quality requirements and successful selection can prevent later supplier related problems affecting project targets.
- d. To get advantage of the proposed management model , it is recommended to:
 - Provide the criteria and importance weights which are identified in this study to the procurement documents so that the tenderers take in to account when developing their offers.
 - The evaluation process should be conducted by professional and experienced persons related to the supplying the required equipment.
 - Specifying qualified persons to evaluate the supplier's present performance and save this rating for supporting future decisions.

REFERENCES :

- Abdolshah , M. **2013**, *A Review of Quality Criteria Supporting Supplier Selection*, Journal of Quality and Reliability Engineering, Article ID 621073, 9 pages.
- Azambuja,M.and Chen ,X., 2010,*Using Cluster Analysis to Support Commercial Assessment of Equipment Suppliers in the Early Phases of Construction Projects*,,Edwardsville, Illionis,
- Retrieved from
- [HTTP://ASCPROO.ASCWEB.ORG/ARCHIVES/2010/CPRT202002010.PDF](http://ASCPROO.ASCWEB.ORG/ARCHIVES/2010/CPRT202002010.PDF)
- - Benyousif, L. ,Ding , H. ,and Xie, X., 2003, *Supplier Selection Problem: Selection Criteria and Methods*, (615, rue du JardinBotanique, BP 101, 54602 Villers-Lès-Nancy (France): INRIA – LORRAINE .
- Dickson, G. W. , 1966, *An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions*, Journal of Purchasing, vol. 2, pp. 5-17,.

- *Guide 3 to Sustainable Procurement-Evaluate and Select Suppliers*, 2010 (New Zealand, Government Procurement Development Group | Ministry of Economic Development, July) <http://www.procurement.govt.nz>
- Ho,C., Nguyen,P. and Shu,M. 2007, *Supplier Evaluation and Selection Criteria in the Construction Industry of Taiwan and Vietnam*, Information and Management Sciences, Vol 18, No.4, pp. 403-426,.
- IAPWG, 2006, *Project Task Force and Steering Committee in UN ,Procurement Practitioner's,' Handbook*.
- Pal, O. , Gupta, A.K. , and Garg , R. K. 2013, '*Supplier Selection Criteria and Methods in Supply Chains*, World Academy of Science , Engineering and Technology International Journal of Social, Vol.7 :No.10, pp.27-33.
- Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*,(McGraw-Hill, New York, 1980).
- Thanaraksakul , W. and Phruksaphanrat, B., 2009, *Supplier Evaluation Framework Based on Balanced Scorecard with Integrated Corporate Social Responsibility Perspective* , Vol II , (Hong Kong, IMECS).
- Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C., 1991, *Vendor Selection Criteria and Methods*, European Journal of Operational Research, 50, pp. 2-18.

NOMENCLATURE

AHP: Analytical Hierarchy Process.

ESEES: Evaluation and Selection of Engineering Equipment Suppliers.

E.E: Engineering Equipment.

MCDM: Multiple Criteria Decision Making.

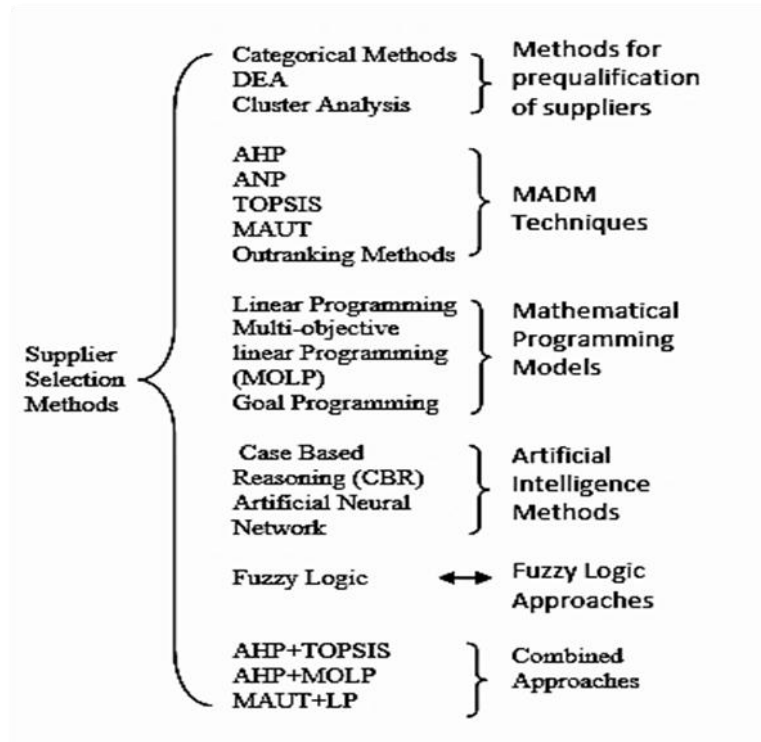


Figure 1. Various supplier selection methods, Pal et al.,2013.

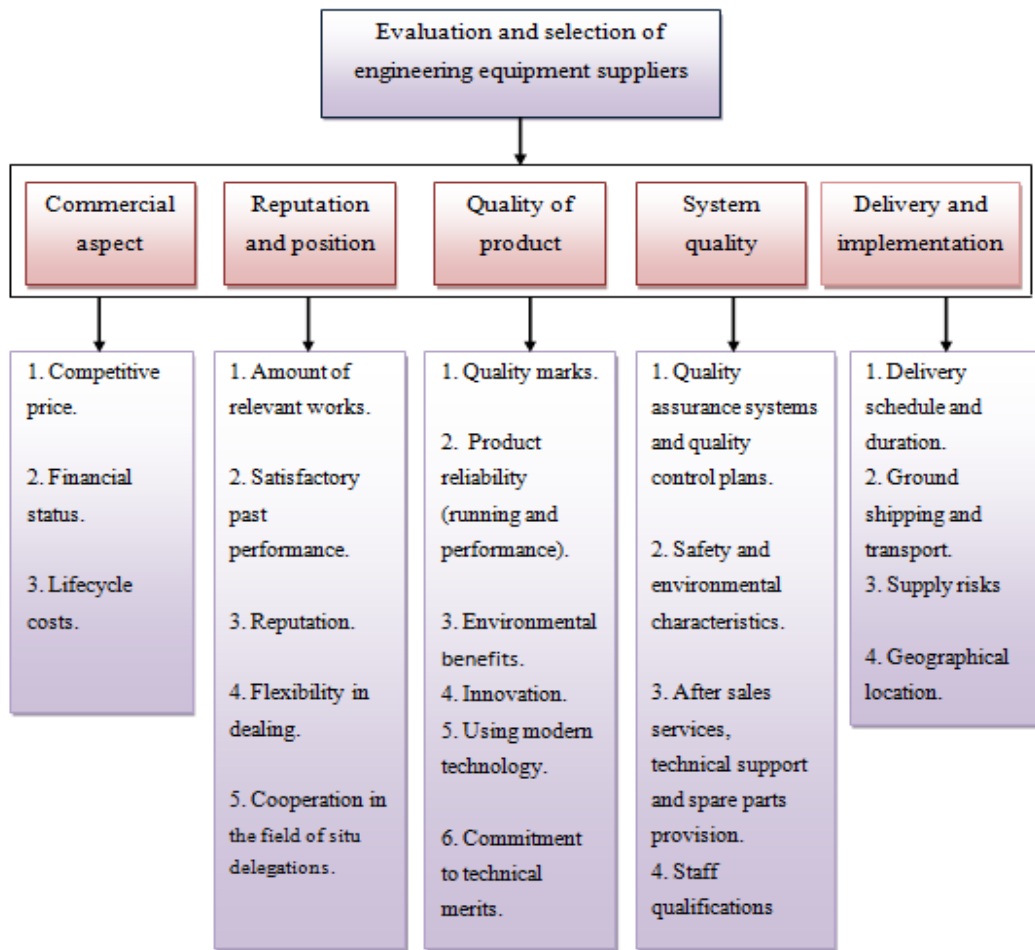


Figure 2. Hierarchy for evaluation and selection of E.E suppliers.

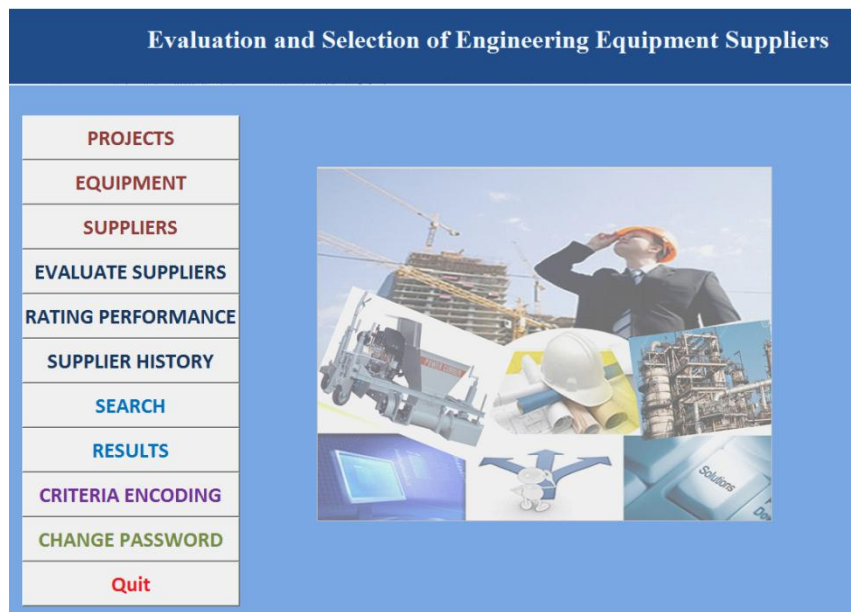


Figure 3. The main window of ESEES.

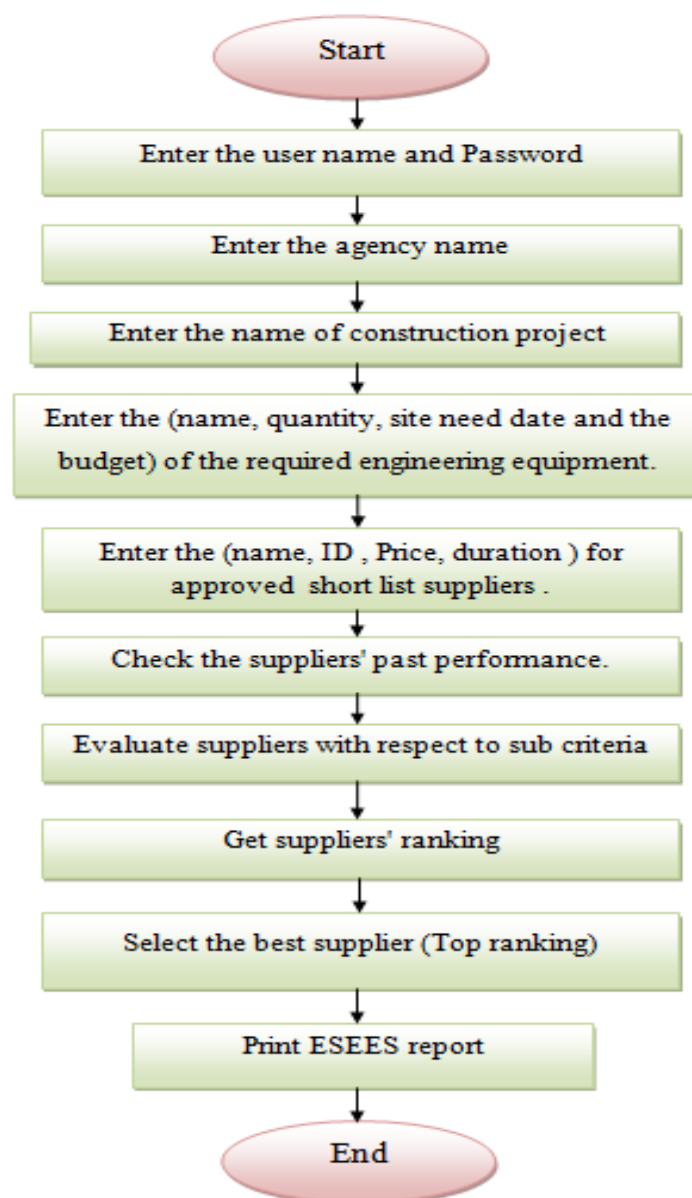


Figure 4. ESEES software approach.

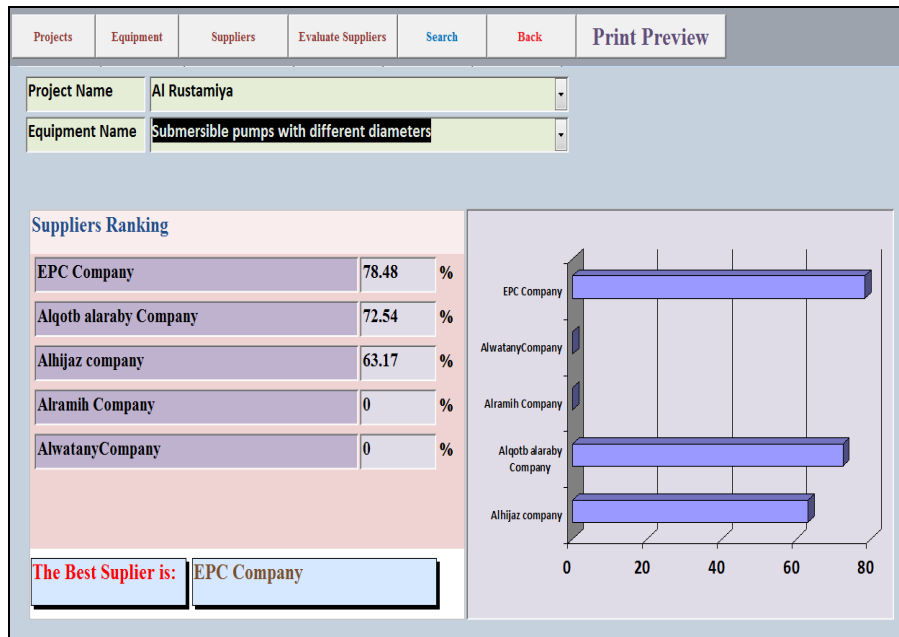


Figure 5. The final results of bidders evaluation (submersible pumps) by applying (ESEES).



Figure 6. The final results of bidder's evaluation (vertical pumps) by applying (ESEES).

Table 1. : Scale of relative importance in AHP approach, Saaty, 1980.

Value of relative importance (a_{ij})	Definition
1	Equally important attributes
3	Moderate importance of one attribute over other
5	Strong importance of one attribute over other
7	Very strong importance of one attribute over other
9	Extreme importance of one attribute over other
2,4,6,8	Intermediate values between the two adjacent judgments
Reciprocal of above non- zero numbers	If an attribute is given one of the above numbers when compared with a second attribute , then the second attribute is assigned the reciprocal value when compared with the first attribute

Table 2. Ranking of main criteria according to importance weights with respect to the goal.

Weight %	Criteria	No.
39.0%	Quality of product	1
26.8%	Commercial aspect	2
16.9%	Delivery and implementation	3
10.0%	Reputation and position	4
7.1%	System quality	5

Table 3. The ranking of sub criteria according to their importance weights.

Weight %	Sub-criteria for Commercial aspect (Inconsistency = 0.05156)	No.
20.8%	Financial Status	1
66.0%	Competitive price	2
13.1%	Lifecycle costs	3
Weight %	Sub-criteria for Reputation and Position (Inconsistency = 0.02043)	No.
33.6%	Satisfactory past performance	1
23.6%	Flexibility in dealing	2
22.0%	Reputation and position	3
12.3%	Amount of relevant works	4
8.3%	Cooperation in the field of situ delegations	5
Weight %	Sub-criteria for Quality of product (Inconsistency = 0.04056)	No.

47.5%	Commitment to technical merits	1
21.2%	Quality marks (origin)	2
10.9%	Product reliability (running and performance)	3
8.4%	Environmental benefits	4
6.1%	Innovation	5
5.8%	Using modern technology	6
Weight %	Sub-criteria for System Quality (Inconsistency = 0.00156)	No.
33.0%	Staff qualification	1
28.8%	Safety and environmental characteristics	2
20.6%	Quality assurance system and quality control plans	3
17.4%	After sales services, technical support	4
Weight %	Sub-criteria for Delivery and implementation (Inconsistency = 0.06948)	No.
51.8%	Delivery schedule and duration	1
28.3%	Risks	2
9.8%	Ground shipping and transport	3
9.8%	Geographical location	4

Table 4. Actual award decision for supplying submersible pumps to Al-Rustamiyah project.

No.	Bidder	Technical aspect (60%)	Commercial aspect (40%)	Total (100%)
1	Alqotb Alaraby Company	51.5	40	91.5
2	EPC Company	56.1	32.6	88.7
3	Alhijaz Company	34.2	33.9	67.9
4	Alramih Company	Excluded		
5	Al Watany Company	Excluded		

Table 5. Actual award decision for Supplying vertical pumps to the treatment plant at Sharq Djila project.

No.	Bidder	Technical aspect (60%)	Commercial aspect (40%)	Total (100%)
1	Alwa Company	57	34.9	91.9
2	Adnan al Mosawi Company	33	37.6	70.6
3	Nawafith Alalam Company	33	36.2	69.2
4	Maarib Company	12	40	52

تطبيق متطلبات ادارة الجودة الشاملة في ادارة المخاطر في المشاريع الانشائية في العراق

انفال ناضل محمد
طالبة ماجستير
جامعة بغداد - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

د. انتصار كاظم الجبلاوي
استاذ مساعد
جامعة بغداد - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

تعتبر ادارة الجودة الشاملة مدخلا علميا حديثاً تمارسه المنظمات الانتاجية او الخدمية وتقوم بتقديم المخرجات الملائمة المرغوبة للجودة وفق حاجة ورغبة الزبون، ان تمكين المنظمات التي تسعى للاستمرار والتطور مع وجود منافسة عالية من التلبية والتوفير لمتطلبات ادارة الجودة الملائمة سيؤدي الى مواجهة المخاطر ومعالجتها مع ايجاد الطرق التي تؤدي الى تفاديها في المستقبل في حال تكرارها.

لقد تضمن البحث جزئين اساسيين اولهما استعراض لاهم مفاهيم ادارة الجودة الشاملة بالاضافة الى مفهوم تحليل وادارة المخاطر في المشاريع الانشائية وكيفية تطبيق مفهوم ادارة الجودة الشاملة في تحليل وادارة المخاطر. اما الجزء الثاني فتضمن الجزء العملي للبحث وهو اجراء استبيان مفتوح ومغلق للخبراء في قطاع صناعة التشييد للحصول على البيانات لتطبيق متطلبات ادارة الجودة الشاملة في ادارة المخاطر في المشاريع الانشائية في العراق.

ان من اهم النتائج التي توصل اليها البحث هو ان دعم الادارة العليا يؤثر تأثيراً عالياً على ادارة المخاطر، بالاضافة الى التحسين المستمر والتدريب والتعليم في حين ان مشاركة كافة العاملين في المنظمة والتحفيز المستمر والتركيز على الزبون كمتطلبات لتطبيق ادارة الجودة الشاملة تأثير متوسط على ادارة المخاطر.

الكلمات الرئيسية: ادارة الجودة الشاملة ، ادارة المخاطر ، تحليل المخاطر ، تقييم نوعي ، اهمية نسبية.

Application of Total Quality Management (TQM) Requirements in Risk Management in Construction Projects in Iraq

Dr. Entisar K. Al-Geelawee
Ass. Prof
College of Engineering-University of Baghdad
entisargeelawee@yahoo.com

Anfal Nadhel Mohammed
Graduate Student
College of Engineering-University of Baghdad
f.lightingshiny@yahoo.com

ABSTRACT

Total quality management considers one of the modern scientific entrances which practiced by productivity service organizations alike to provide appropriate quality required outputs according to the needs and desires of customers manage , enable the organization seeking to continue and grow in light of the increasing competition from the satisfy and provide the appropriate total quality management requirements whenever led to face risks that they may have in a manner in which they can be addressed and find ways to avoid them in the future when repeated.

The research has consist of two main parts firstly have included a review of the most important concepts of total quality management in addition to the concept of risk analysis and management in construction projects and how to apply the concept of total quality management in the risk analysis and management. Second part included the practical part of the research, which was open and closed questionnaire for experts in the construction industry to obtain

required informations for the application of total quality management requirements in risk management in construction projects in Iraq.

One of the main findings of the research is that top management support has a high impact on risk management in addition to continuous improvement, training and education, while the participation of all employees in the organization and constant stimulation and focusing on the customer as one of the total quality management requirements had a moderate impact on risk management.

Key words: total quality management , risk management , risk analysis , qualitative assessment , relative importance.

1. مقدمة

تؤثر المخاطر في المشاريع الانشائية على تحقيق اهداف المشروع المتمثلة بالكلفة والمدة والجودة وان عملية تحليلها وادارتها عملية ضرورية تحتاج الى تضافر الجهود واستخدام تقنيات حديثة لتحقيقها من خلال تطبيق ادارة الجودة الشاملة في تحليل و ادارة المخاطر في المنشآت الانشائية في العراق عن طريق التطبيق لمطالباتها وفقا لأسس علمية ابتداءً بالإدارة العليا و انتهاءً بأقل منصب وظيفي . وقد اوضح، الصواف و صالح، 2007 بأنه متى ما تمكنت المنظمات التي تسعى نحو التقدم والتطور مع وجود منافسة متزايدة من اجابة ووفرة المتطلبات لادارة الجودة الشاملة الملائمة فأن ذلك سيؤدي لمواجهة المخاطر التي من المحتمل ان تواجهها بالطريقة التي تمكنها من معالجتها وتقوم بايجاد الطرق الملائمة من اجل تفاديها في المستقبل في حال تكرارها. و بين، الشخيلي و ناجي، 2008 بأن اخطار تذبذب الطلب والعرض على المواد أو المعدات أو الأيدي العاملة و التغييرات في سياسة الحكومة هي أكثر الاخطار بروزاً من ناحية التقييم النوعي و اخطار التغييرات في سياسة الحكومة و تذبذب العرض على المواد والعوامل الداخلية هي أكثر الاخطار بروزاً من ناحية الأهمية النسبية. وان ردود الخطر المتمثل بالطوارئ و تخصيص فقرة في العقد تخص الظروف المتغيرة قد حصلت على النصيب الأكبر من الأهمية بالمقارنة مع البدائل الأخرى. وأظهرت نتائج، مهدي، 2013 من خلال تحليل البيانات إن أكثر المخاطر المسببة لمطالبات التعويض بروزاً " من ناحية التقييم النوعي في المشاريع الإنشائية بصورة عامة كان خطر أخطاء التخمين لكميات جدول الكميات ، خطر الفقرات المستحدثة الضرورية ، خطر التغييرات في التصميم ، خطر الفقرات المستحدثة بسبب رغبة صاحب العمل في إجراء التحويرات في الأعمال وخطر الظروف الاستثنائية أو العوائق الاصطناعية.

2. ادارة الجودة الشاملة

2.1 تعريف ادارة الجودة الشاملة

يوضح، محمد و اخرون، 2009 ان طريقة ادارة الجودة على مستوى المنظمة ككل تعرف بإدارة الجودة الشاملة. و تعتبر ادارة الجودة الشاملة من وجهة نظر، 1996,Hizer and Renelit بأنها اشارة او دليل نحو التركيز على درجة ومستوى المنظمة بشكل كلي بدءاً بالمجهز و انتهاءً بالمستهلك. ان ادارة الجودة الشاملة تتمثل بمدى التزام ادارة المنظمة واهتمامها بكل اوجه المنتجات والخدمات التي لها اهمية للمستهلكين. كما اشار، 1995,Noori and Radfrd الى ادارة الجودة الشاملة باعتبارها فلسفة تستند على المبادئ الاساسية الاربعة التالية:

1. تركيز مكثف نحو ارضاء الزبون.
2. عمل المقاييس الدقيقة لنشاطات المنظمة.
3. بالنسبة الى العمليات والمنتجات فيجب عمل تحسينات بصورة مستمرة لها.
4. السيطرة والتأثير القوي على افراد المنظمة.

ان ادارة الجودة الشاملة من وجهة نظر، 1997,Hagle تعرف على انها فلسفة ادارية مستمدة من ارضاء الزبون. في حين اعتبر، بندقجي، 1996 ان ادارة الجودة الشاملة مجموعة اعمال ونشاطات حيث يستوجب على كل مدراء و افراد المنظمة الالتزام بها بهدف الاستجابة لرغبات الزبائن.

2.2 اهمية ادارة الجودة الشاملة

يرى، محمد و اخرون، 2009 ما يلي:

1. تمثل ادارة الجودة الشاملة منهجية قابلة للتغيير اكثر من كونها نظام تقليدي يتبع اجراءات و قرارات.
2. يعني التزام الشركة قابليتها على تغيير سلوك افرادها لمفهوم الجودة.
3. يعني تطبيق مفهوم ادارة الجودة الشاملة ان الشركة تهتم بأنشطتها و ليس بالمستهلكين فقط.
4. تعني الجودة حصيلة التعاون بين عملاء الداخل والخارج.
5. لا يكون لأهمية ادارة الجودة الشاملة التأثير فقط على تطوير العلاقة ما بين المورد والمنتج بل المحافظة على المنظمة وسمعتها ومعنويات العاملين فيها مع رفع الروح المعنوية للفريق.

2.3 اهداف ادارة الجودة الشاملة

ان ادارة الجودة الشاملة ليست إدارة تختص بتحقيق جودة المنتجات او الخدمات فقط وانما هي عمليات تشمل كل أقسام وأنشطة ووظائف الشركة بشكل سلسلة ترتبط وتكمل بعضها البعض حيث ان اي خلل بجزء منها يعني اهمالا وتهاونا بعملية تحقيق جودة كلية مرغوبة للخدمة.

تهدف ادارة الجودة الشاملة الى تطوير الجودة للخدمات والمنتجات وخفض الكلفة والذي يؤدي الى تحسين الخدمة للعملاء وتلبية حاجاتهم ويمكن تلخيص اهدافها بما يأتي، محمد و اخرون، 2009:

1. تخفيض الكلفة ويتم ذلك عن طريق تقليل الاخطاء و نسبة تكرار العمل الاضافي.
2. تحقيق الجودة.
3. زيادة العوائد و الارباح أي زيادة المبيعات و الحصة الاكبر في الاسواق.
4. ارضاء و سعادة الزبائن بحيث يقومون بالشراء مرة بعد اخرى فيؤدي ذلك الى الترويج والدعاية.
5. تخويل العاملين ومنحهم السيطرة مما يجنب المنظمة عدة مشاكل مستقبلية.

و يوضح شكل 1 اهداف ادارة الجودة الشاملة الرئيسية، عقيلي، 2001.

2.4 متطلبات تطبيق ادارة الجودة الشاملة

تم اعتماد المتطلبات التالية في انجاز هذا البحث:

1. دعم الادارة العليا:

تبدأ اول خطوة لتطبيق نجاح لادارة الجودة الشاملة بالالتزام والدعم الواقعي من قبل الادارة، فعلى الرغم من تخصيص الادارة العليا للموارد اللازمة لعمليات الانتاج فان ذلك يتطلب منها وضع عدد من الاسبقيات لكي تقوم بتعزيز خططها التي تهدف الى الوصول لتطبيق سليم لادارة الجودة وتقوم بتبنيها بدون اي ترددات.

2. مشاركة كافة العاملين في المنظمة:

ان لمشاركة جميع العاملين داخل المنظمة الواحدة اهمية كبيرة في تطبيق مفهوم ادارة الجودة الشاملة وتكون هذه المشاركة عن طريق عمل البرامج التحفيزية وتوفير الفرص لجميع العاملين لاجل المشاركة وتجعلهم جزءاً من اي مرحلة من مراحل تحقيق المنتجات ابتداءً بمرحلة التصميم ثم مرحلة التحديد للمواد الاولية ولغاية عمليات الانتاج وصولاً الى تسليم المنتجات وفقاً للمواصفات التي يرغب بها الزبائن.

3. التحسين المستمر:

تهدف عملية التحسين المستمر للمنتج الى بلوغ الكمال بالرغم من الصعوبة في تحقيقه لكن ذلك لوحده يعتبر دافع نحو التحسين والتطوير بصورة مستمرة ومتزايدة . ان الجودة ليست محددة بنهاية معينة بل تعتبر الجودة العملية التي تستوجب الاستمرار فيها وبلا توقف.

4. التركيز على الزبون:

يعتبر الزبون غاية المنظمة الرئيسي وهدفها وأحد اسرار النجاح ودرجة التقدم لذلك فعلى المنظمة ان تستجيب للمتطلبات والاحتياجات والتفضيلات الجديدة للعميل وبذلك تعمل ادارة الجودة الشاملة على وضع الزبون بأولى الاولويات للاقتناع بانه

محرك اساس لجميع عمليات المنظمة فاذا كانت المنظمة لا تلبي التفضيلات والاحتياجات للعميل فليس بمقدورها النمو ولا يوجد هناك فرق في كون الزبون خارجي او داخلي.

5. التدريب والتعليم:

ان تدريب العاملين في المنظمة وتعليمهم ضرورة من ضرورات تحقيق مفهوم ادارة الجودة الشاملة تتمكن ادارة الجودة الشاملة عن طريق استخدام البرامج للتدريب والتعليم من تطوير الامكانيات والقدرات والطاقات للعاملين في المنظمة لانها الوسيلة الحديثة لتجديد وتطوير المعلومات والقدرات والمهارات الفعلية للعاملين وعن طريق استخدامها لاساليب المحاكاة مع عمل فعلي في الدورات مع عدم اكتفائها بالاطلاع والمشاركة ستقوم بتوفير فرصة للموظفين من اجل تحقيق المنتج المطلوب من اول وهلة وبدون تلف.

6. التحفيز المستمر:

يستوجب تطبيق سليم لادارة الجودة الشاملة تحفيز العاملين بصورة مستمرة لجهودهم واعمالهم المميزة بصورة سليمة من اول وهلة لان الانتاج وفقا للمواصفات المرغوبة هو احد الاسس لتحقيق انتاج نهائي ذو جودة عالية وبناءً على هذا المفهوم فقد بينت عدد من الدراسات ارتفاع معنوية العامل حين الثناء عليه او تكريمه بشكل مادي او معنوي نتيجة جهده المميز وذلك يتم تطبيقه في ادارة الجودة الشاملة.

7. ادارة الموارد:

ان على المنظمة تحديد وتوفير الموارد اللازمة لتطبيق نظام ادارة الجودة والمحافظة عليه بالاضافة الى تحديد الكفاءة الضرورية للأفراد القائمين بأعمال تؤثر على تطابق المنتج وتحديد ادارة بيئة العمل اللازمة لتحقيق مطابقة المنتج للمتطلبات.

8. تحقيق المنتج:

يجب على المنظمة ان تخطط وتطور العمليات اللازمة لتحقيق المنتج ويجب ان يتوافق التخطيط لتحقيق المنتج مع متطلبات العمليات الاخرى لنظام ادارة الجودة وان يكون ناتج هذا التخطيط في شكل يتناسب مع اسلوب العمل بالمنظمة.

9. القياس والتحليل والتحسين:

على المنظمة ان تخطط وتطبق عمليات المراقبة والقياس والتحليل والتحسين المطلوبة من خلال مراقبة المعلومات المتعلقة بتوقعات الزبون ومراقبة وقياس المنتج والتحكم في المنتج غير المطابق.

3. ادارة المخاطر

3.1 تعريف ادارة المخاطر

يتضمن مفهوم ادارة المخاطر جزئين احدهما إدارة والاخر مخاطر، الإدارة بمفهومها المتعارف هي تخطيط وتنظيم ورقابة بينما المخاطر فهي تباين حول ما يتوقع، **بسمه، 2004**.

يتشابه مفهوم ادارة المخاطر مع مفهوم ادارة الجودة ويعني سيطرة على الجودة عن طريق تنظيم وتخطيط ورقابة لحركة مسيرها وبالإمكان تعريف مفهوم المخاطر بان نشاطات وسياسات متعلقة بالتوصل لوسائل معينة للتحكم بالمخاطر مع تقليل لحجم الخسارة المترتبة لذلك مع ما تنتجه هذه الانشطة من تقليل لدرجة المخاطر بالاضافة الى خفض كلفة تنفيذ النشاطات والسياسات، **محمود و علي، 2011**. في حين يعرف **2002, Grockford** مفهوم ادارة المخاطر بانه النشاطات التي تؤدي لمنع وقوع خسارة ويعتبر **2006, Bothroyd and Emmet** ادارة المخاطر بأنها مجموعة عمليات مركبة هدفها تقديم المساعدة للعاملين لاتخاذ قرار صحيح بوقت صحيح لتحديد المخاطر وتصنيفها ومن ثم ادارة المخاطر والسيطرة عليها. كما يعرف **2008, McNarmara** ادارة المخاطر بانها محاولة لتحديد التهديدات المحتملة على المنظمة و احتمال وقوعها و ينطوي ذلك على اتخاذ الاجراءات المناسبة لمعالجة هذه التهديدات و التحقق من احتمالات حصولها حيث ان دراسة هذه الاحتمالات تؤدي الى اتخاذ الاجراءات اللازمة للحد من حدوث هذه المخاطر.

3.2 مراحل ادارة المخاطر

ان وجود الادارة الفعالة لوضع الاستراتيجية المطلوبة هو احد متطلبات ادارة المخاطر، وتوضح هذه الاستراتيجية التحديد والتشخيص للمخاطر بعدها يتم التقييم لحجم الخسارة المحتمل للمخاطرة ثم بعد ذلك يتم التحديد للطريقة الملائمة لكيفية مواجهتها بالإضافة الى التنسيق مع الادارات الاخرى، بينما يحدد، الهاشمي، 2004 المراحل الاتية لإدارة المخاطر :

1. تحديد واكتشاف المخاطر.
2. تقييم المخاطر.
3. اختيار استراتيجية مواجهة المخاطر.
4. تنفيذ.
5. رقابة.

المرحلتان الاولى والثانية هي تمهيد أولي لمرحلة الاختيار لاستراتيجية مواجهة المخاطرة اعتمادا على درجة الخطر التي تجابهها المؤسسات سواء كانت صناعية او خدمية فإذا كان خطرا دائما ملازما لنشاطات وفعاليات المنظمة فذلك يعني اختبار للإستراتيجية الملائمة لتحديد مكن الخطر وكيفية معالجته واحدى مناهج مواجهة الخطر الحديثة هو مناهج ادارة الجودة الشاملة. أما فيما يخص مرحلة التنفيذ فهي تخص تنفيذ للإستراتيجية التي تختارها المنظمة عن طريق مشاركة جميع العاملين في تنفيذها . أما المرحلة الاخيرة فهي عمل متابعة ومراقبة من اجل ملاحظة اي تغييرات تحتاج لمراجعة او لتفقيح السياسة للتعامل مع المخاطر ونتائجها.

ويوضح شكل 2 المراحل الاساسية لادارة المخاطر ، Thevendran، 2003.

4. الدراسة الميدانية

4. 1 مرحلة اجراء المقابلات و جمع المعلومات

تم في هذه المرحلة اجراء العديد من المقابلات الشخصية مع ذوي الخبرة من الفرق الهندسية و مدراء المشاريع و الاكاديميين و زيارة بعض الشركات لغرض جمع المعلومات من خلال الاجابة على نموذج استمارة الاستبيان المفتوح.

4. 2 مرحلة الاستبيان المفتوح

شملت استمارة الاستبيان المفتوح عددا من الاسئلة التي تم اعدادها بشكل اولي من خلال الادبيات و الدراسة النظرية فيما يتعلق بإدارة الجودة الشاملة وعلاقتها بإدارة المخاطر وبالتوافق مع ما ورد من اسئلة في المواصفة القياسية، : ISO 31000 Praxiom 2009، وتم توزيع هذه الاستمارات على الخبراء.

وقد اتضح من إجابات المستبنيين مجتمعة بأنه لا يوجد تطبيق عملي لإدارة الجودة الشاملة وإدارة المخاطر باستثناء عدد قليل من الاجابات وقد دل ذلك على ضعف تحليل وإدارة المخاطر وتطبيق مفهوم ادارة الجودة الشاملة لدى الادارات في المشاريع الانشائية في مما أدى الى قيام الباحث الى بإعداد استمارة الاستبيان المغلق وذلك للوقوف على واقع الحال وتقييم العينة للمخاطر وإدارة الجودة الشاملة والتي تعين الباحث على تحقيق نظرية البحث للتوصل الى التطبيق السليم لمتطلبات مفهوم ادارة الجودة الشاملة في تحليل وإدارة المخاطر .

4. 3 مرحلة الاستبيان المغلق

تضمن الاستبيان محورين كما موضح في نموذج 1 الذي يمثل جزء من نموذج الاستبيان المغلق وكما يلي:

4. 3. 1 محور تحديد وتحليل المخاطر في المشاريع الانشائية

لقد تضمن هذا المحور ثلاث عناصر وكما يلي:

العنصر الاول: ويهدف الى معرفة احتمالية حدوث تلك المخاطر في المشاريع الانشائية من اجل حساب التقييم النوعي لكل مخاطرة من تلك المخاطر .

تم احتساب معدل تقييم احتمالية حدوث كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (1)، ابو صالح، 1983 وفقاً لإجابات افراد عينة البحث ومن ثم تطبيق معادلة (2) لاحتساب الانحراف المعياري وكذلك تم احتساب الاهمية النسبية لكل مخاطرة من المخاطر وفقا لاحتمالية حدوثها بتطبيق معادلة (3).

$$\text{Mean } (\bar{X}) = \sum_{i=1}^h x_i \cdot f_i / n \quad (1)$$

حيث:

$$\begin{aligned} (f_i): & \text{عدد التكرارات لكل صنف} & (X_i): & \text{مركز الصنف} & (\bar{X}): & \text{الوسط الحسابي} \\ (h): & \text{عدد الاصناف} & (i): & \text{تسلسل الاصناف} & (n): & \text{حجم العينة او مجموع التكرارات للاصناف} \end{aligned}$$

$$\text{Standard Deviation } (S) = \sqrt{\sum_{i=1}^h (x_i - \bar{X})^2 \cdot f_i / (n - 1)} \quad (2)$$

$$(3) \quad \text{معدل تقييم الاحتمالية لحدوث المخاطرة} = \frac{\text{الاهمية النسبية للمخاطرة وفقا لاحتمالية حدوثها \%}}{\text{مجموع معدلات احتمالية الحدوث لكل مخاطرة}} \times 100\%$$

العنصر الثاني: ويهدف الى معرفة شدة تأثير تلك المخاطر على كل من الكلفة والمدة والجودة والسلامة المهنية من اجل حساب التقييم النوعي لكل مخاطرة من تلك المخاطر.

تم حساب معدل تقييم شدة تأثير كل مخاطرة من المخاطر على (الكلفة، المدة، الجودة والسلامة المهنية) بتطبيق معادلة (1) وفقاً لاجابات افراد عينة البحث ومن ثم تطبيق معادلة (2) لحساب الانحراف المعياري اضافة الى احتساب الاهمية النسبية لكل مخاطرة من المخاطر وفقاً لتأثيرها على (الكلفة، المدة، الجودة، السلامة المهنية) بتطبيق معادلة (4).

$$(4) \quad \text{معدل تقييم تأثير المخاطرة} = \frac{\text{الاهمية النسبية للمخاطرة وفقا لتأثيرها على (الكلفة، المدة، الجودة، السلامة المهنية) \%}}{\text{مجموع معدلات تقييم التأثير لكل مخاطرة}} \times 100\%$$

بعدها تم احتساب التقييم النوعي لكل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (5).

$$(5) \quad \text{التقييم النوعي للمخاطرة} = \text{معدل تقييم احتمالية حدوث المخاطرة على (الكلفة، المدة، الجودة، السلامة المهنية)} \times \text{معدل تقييم شدة حدوث المخاطرة}$$

كذلك تم احتساب الاهمية النسبية للمخاطر وفقاً للتقييم النوعي بتطبيق معادلة (6).

$$(6) \quad \text{معدل التقييم النوعي لحدوث المخاطرة} = \frac{\text{الاهمية النسبية للمخاطرة وفقا للتقييم النوعي \%}}{\text{مجموع معدلات التقييم النوعي لكل مخاطرة}} \times 100\%$$

بالنسبة لنتائج التقييم النوعي والاهمية النسبية لدرجة تأثير المخاطر على كلفة المشروع فقد اوضحت النتائج مجتمعة بأن أعلى تقييم نوعي لدرجة التأثير على الكلفة كان للمخاطرة (النزاعات العسكرية) حيث كان تقييمه (عالي) يصل الى (0.34) والاهمية النسبية (3.44)، وأقل تقييم نوعي لدرجة التأثير على الكلفة كان للمخاطرة (الضعف في الاتصالات فيما بين أطراف المشروع) حيث كان تقييمه (متوسط) يصل الى (0.13) والاهمية النسبية (1.34).

اما بالنسبة لنتائج التقييم النوعي والاهمية النسبية لدرجة تأثير المخاطر على مدة انجاز المشروع فقد اوضحت النتائج مجتمعة بأن أعلى تقييم نوعي لدرجة التأثير على المدة كان للمخاطرة (النزاعات العسكرية) حيث كان تقييمه (عالي) يصل الى (0.36) والاهمية النسبية (3.59)، وان أقل تقييم نوعي لدرجة التأثير على المدة كان للمخاطرة (التقلب بمعدل التبديل للعملة) حيث كان تقييمه (متوسط) يصل الى (0.14) والاهمية النسبية (1.45).

اما بالنسبة لنتائج التقييم النوعي والاهمية النسبية لدرجة تأثير المخاطر على الجودة فقد اوضحت النتائج بأن أعلى تقييم نوعي لدرجة التأثير على الجودة كان للمخاطرة (العمالة الغير المؤهلة من الناحية الفنية) حيث كان تقييمه (عالي) يصل الى (0.36) والاهمية النسبية (3.77)، وأقل تقييم نوعي لدرجة التأثير على الجودة كان للمخاطرة (الضعف في الاتصال فيما بين موقع العمل والمقر للمقاول) حيث كان تقييمه (متوسط) يصل الى (0.13) والاهمية النسبية (1.40).

اما بالنسبة لنتائج التقييم النوعي والاهمية النسبية لدرجة تأثير المخاطر على السلامة المهنية فقد اوضحت النتائج مجتمعة بأن أعلى تقييم نوعي لدرجة التأثير على السلامة المهنية كان للمخاطرة (النزاعات العسكرية) حيث كان تقييمه (عالي) يصل الى (0.28) والاهمية النسبية (3.85)، وأقل تقييم نوعي لدرجة التأثير على السلامة المهنية كان للمخاطرة (الضعف في الاتصال فيما بين موقع العمل والمقر للمقاول) حيث كان تقييمه (متوسط) يصل الى (0.10) والاهمية النسبية (1.41).

المرحلة الثالثة: تهدف هذا المرحلة الى معرفة افضل اجراء يمكن اتباعه من اجل الاستجابة للمخاطر وقد تم حساب نسب التكرارات لأفضل إجراء استجابة للمخاطر بتطبيق معادلة (7).

$$P\% = (f_i/n) * 100 \quad (7)$$

حيث:

نسبة التكرار للصنف %: (P%)

بينت النتائج بان افضل اجراء للاستجابة للمخاطر هو (تجنب المخاطرة) يليه اجراء الاستجابة (قبول المخاطرة) ثم اجراءات الاستجابة الاخرى وقد كان اجراء الاستجابة (اهمال المخاطرة) هو الاجراء الاقل افضلية بين اجراءات الاستجابة

4 . 3 . 2 محور تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة

لقد تضمن هذا المحور عددا من الاسئلة تم تنظيمها في مستويين وكما يلي:

المستوى الاول : الهدف منها هو معرفة مدى تأثير ادارة الجودة الشاملة على احتمالية حدوث المخاطر من اجل حساب التقييم النوعي لتأثير تلك المتطلبات على المخاطر من خلال احتساب معدل تقييم تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة على احتمالية حدوث كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (1) على وفق اجابات افراد عينة البحث ومن ثم تطبيق معادلة (2) لحساب الانحراف المعياري .

كذلك تم احتساب الاهمية النسبية لتأثير كل مطلب من متطلبات ادارة الجودة الشاملة على احتمالية حدوث كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (8).

$$\begin{aligned} & \text{الاهمية النسبية لتأثير} \\ & \text{المتطلب على احتمالية} \\ & \text{حدوث المخاطرة \%} \\ & = \frac{\text{معدل تقييم التأثير على الاحتمالية}}{\text{مجموع معدلات تقييم التأثير على الاحتمالية}} \times 100\% \end{aligned} \quad (8)$$

المستوى الثاني: الهدف منها هو معرفة مدى تأثير ادارة الجودة الشاملة على شدة حدوث المخاطر من اجل حساب التقييم النوعي لتأثير تلك المتطلبات على المخاطر من خلال احتساب معدل تقييم تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة على شدة حدوث كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (1) على وفق اجابات افراد عينة البحث ومن ثم تطبيق معادلة (2) لحساب الانحراف المعياري.

كذلك تم حساب الاهمية النسبية لتأثير كل متطلب من متطلبات ادارة الجودة الشاملة على شدة حدوث كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (9).

$$(9) \quad \text{الاهمية النسبية لتأثير المتطلب على شدة حدوث المخاطرة (\%)} = \frac{\text{معدل تقييم التأثير على الشدة}}{\text{مجموع معدلات تقييم التأثير على الشدة}} \times 100\%$$

بعدها تم احتساب التقييم النوعي لتأثير كل متطلب من متطلبات ادارة الجودة الشاملة على كل مخاطرة من المخاطر بتطبيق معادلة (10).

$$(10) \quad \text{التقييم النوعي لتأثير المتطلب على المخاطرة} = \text{معدل تقييم تأثير المتطلب على المخاطرة} \times \text{معدل تقييم تأثير المتطلب على شدة حدوث المخاطرة}$$

كذلك تم احتساب الاهمية النسبية لتأثير كل متطلب من متطلبات ادارة الجودة الشاملة على كل مخاطرة من المخاطر وفقا للتقييم النوعي بتطبيق معادلة (11).

$$(11) \quad \text{الاهمية النسبية للتأثير وفقا للتقييم النوعي (\%)} = \frac{\text{معدل التقييم النوعي للتأثير}}{\text{مجموع معدلات التقييم النوعي للتأثير}} \times 100\%$$

اوضحت نتائج التقييم النوعي واهمية التقييم النوعي للمخاطر بان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (دعم الادارة العليا) كان على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.388) واعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (مشاركة كافة العاملين في المنظمة) كان على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.315) بينما كان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (التحسين المستمر) على المخاطرة (افتقار توافق التصميم) (الإنشائي، المعماري) و(التخفيض لجودة الاعمال للالتزام بوقت معين) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.273) واعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (التركيز على الزبون) كان على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.227) واعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (التدريب والتعليم) كان على المخاطرة (الأخطاء في التصميم) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.314) بينما كان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (التحفيز المستمر) على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.278) و ان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (ادارة الموارد) على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.281) و ان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (تحقيق المنتج) على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.249) و ان اعلى تقييم نوعي واهمية نسبية لمتطلب (القياس والتحليل والتحسين) على المخاطرة (رشوة و فساد) وكان تقييمه (عالي) يصل الى (0.249).

4. اختبار الفرضية (معامل التوافق (Contingency Coefficient))

بعد معامل التوافق احد مقاييس معاملات الارتباط التي تقيس علاقة الارتباط بين المتغيرات وتقع قيمته بين (-1، +1) حيث ان القيمة (+1) تدل على علاقة ارتباط قوية وان اقتراب قيمة معدل التوافق الى (+1) تدل على وجود علاقة ارتباط بين

المتغيرات والعكس صحيح في حالة كون قيمة معامل الارتباط مساوية الى (-1) او الاقتراب منها ،وفي حالة اقتراب قيمته من الصفر فهذا يدل على انعدام العلاقة او اقترابها من العدم، محمد، 2007.

وقد تم تطبيق هذا المقياس لكل جزء من المحاور على حدة لمعرفة مدى توافق اي ارتباط المتغيرات المختارة للجزء الواحد في استمارة الاستبيان من خلال تطبيق معادلة (12) و معادلة (13)، محمد، 2007.

$$C = \sqrt{B - 1/B} \quad (12)$$

$$B = \frac{(f_{11})^2}{f_{.1}f_{1.}} + \frac{(f_{12})^2}{f_{.2}f_{1.}} + \dots + \frac{(f_{rs})^2}{f_{.s}f_{r.}} \quad (13)$$

حيث ان:

C = معامل التوافق

B = حاصل جمع ناتج قسمة مربع تكرار كل اجابة على حاصل ضرب مجموع التكرارات للعمود في عدد افراد العينة

كما يمكن ملاحظة نتائج معامل التوافق في جدول 1 والذي يوضح وجود علاقة ارتباط وتوافق جيدة بين المتغيرات.

5. الاستنتاجات والتوصيات

5.1 الاستنتاجات

1 – اظهر البحث بأن التركيز على عدد محدد من المخاطر ذات التأثير الكبير في المشاريع السابقة يعد من الاخطاء الشائعة اذ يجب دراسة انواع غير محددة من المخاطر والتركيز على جميع المخاطر المحتملة لتجنب عنصر المفاجئة.

2 – بينت نتائج البحث فيما يتعلق بتأثير المخاطر على كلفة المشاريع الانشائية ما يلي:

● أن مخاطرة (عمالة غير مؤهلة فنيا) كان لها التأثير الاكبر على الكلفة والمدة والجودة والسلامة المهنية من بين المخاطر (الفيزيائية او البشرية) في حين كان مخاطرة (كوارث بيئية) التأثير الاكبر على الكلفة والسلامة المهنية ومخاطرة (ظروف جوية سيئة جدا اوقاسية) لها التأثير الاكبر على المدة والجودة من بين المخاطر (البيئية او الطبيعية).

● كذلك ان مخاطرة (أخطاء في التصميم) لها التأثير الاكبر على الكلفة والمدة والجودة والسلامة المهنية من بين المخاطر (التصميمية) في حين كان مخاطرة (عدم توافر عمالة او تجهيزات بشكل كافٍ) التأثير الاكبر على المدة والجودة وان مخاطرة (جدولة غير دقيقة للمشروع) لها التأثير الاكبر على الكلفة والسلامة المهنية من بين المخاطر (اللوجستية).

● كما يتضح بأن مخاطرة (احتكار المواد المطلوبة للتنفيذ نتيجة اغلاق المعامل او ظروف سياسية غير متوقعة) لها التأثير الاكبر على الكلفة والمدة والجودة والسلامة المهنية من بين المخاطر (المالية) في حين ان مخاطرة (صعوبة الحصول على التراخيص وتصاريح العمل) لها التأثير الاكبر على الكلفة والمدة ومخاطرة (عدم الوضوح في تشريعات العمل) لها التأثير الاكبر على الجودة ومخاطرة (نزاعات قانونية خلال ملاحلة التشييد بين اطراف المشروع) لها التأثير الاكبر على السلامة المهنية من بين المخاطر (القانونية).

● كذلك ظهر بأن مخاطرة (اختلاف بين الكميات الفعلية والعقدية) لها التأثير الاكبر على الكلفة بينما مخاطرة (تغيرات في التصميم) فان لها التأثير الاكبر على المدة وان مخاطرة (تخفيض جودة العمل مقابل الالتزام بالوقت) كان لها التأثير الاكبر على الجودة وان مخاطرة (التأخيرات والمشكلات الفنية مع المقاولين الثانويين) لها التأثير الاكبر على السلامة المهنية من بين المخاطر (التي لها علاقة مباشرة بالتنفيذ).

● كذلك ان مخاطرة (النزاعات العسكرية) لها التأثير الاكبر على الكلفة والمدة والجودة والسلامة المهنية من بين المخاطر (السياسية) في حين ان مخاطرة (عدم توافر المعلومات (نقص بالمعلومات الضرورية)) لها التأثير الاكبر على المدة والسلامة

المهنية وان مخاطرة (مشكلات في ادارة الموارد) لها التأثير الاكبر على الكلفة بينما مخاطرة (تخطيط غير مفهوم بسبب تعقيد المشروع) كان لها التأثير الاكبر على الجودة من بين المخاطر (الادارية).

3 – لقد تصدرت المخاطرة (النزاعات العسكرية) المرتبة الاولى من بين المخاطر بالتأثير على الكلفة والمدة حيث كان التقييم النوعي لدرجة تأثيرها (عالياً). بينما كان اقل تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على الكلفة لمخاطرة (الضعف في الاتصالات فيما بين أطراف المشروع) حيث كان تقييمه (متوسطاً). وان اقل تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على المدة كان لمخاطرة (التقلب بمعدل التبديل للعملة) حيث كان تقييمه (متوسطاً).

4 – اما اعلى تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على الجودة فقد كان لمخاطرة (العمالة الغير المؤهلة من الناحية الفنية) حيث كان تقييمه (عالياً)، بينما اقل تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على الجودة لمخاطرة (الضعف في الاتصال فيما بين موقع العمل والمقر للمقاول) وكان تقييمه (متوسطاً).

5 – ان اعلى تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على السلامة المهنية كان لمخاطرة (النزاعات العسكرية) وكان تقييمه (عالياً)، بينما اقل تقييم نوعي لدرجة تأثير المخاطر على السلامة المهنية كان لمخاطرة (الضعف في الاتصال فيما بين موقع العمل والمقر للمقاول) وكان تقييمه (متوسطاً).

6 – ان افضل اجراء للاستجابة للمخاطر هو (تجنب المخاطرة) يليه اجراء الاستجابة (قبول المخاطرة) ثم اجراءات الاستجابة الاخرى وقد كان اجراء الاستجابة (اهمال المخاطرة) هو الاجراء الاقل افضلية بين اجراءات الاستجابة التي تناولها البحث.

7 – بينت نتائج البحث فيما يتعلق بتأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة على المخاطر اظهر البحث ما يلي:

● ان لمطلب دعم الادارة العليا التأثير الاكبر على المخاطر بالاضافة الى التحسين المستمر والتدريب والتعليم وتحقيق المنتج في حين ان المتطلبات مشاركة كافة العاملين في المنظمة والتحفيز المستمر والتركيز على الزبون وادارة الموارد والقياس والتحليل والتحسين كان تأثيرها متوسطاً على المخاطر.

● ان مخاطرة (رشوة وفساد) احتلت المرتبة الاولى بين المخاطر من حيث تأثير المتطلبات دعم الادارة العليا ومشاركة كافة العاملين والتركيز على الزبون والتحفيز المستمر وادارة الموارد وتحقيق المنتج والقياس والتحليل والتحسين في المنظمة عليها حيث بلغ التقييم النوعي والاهمية النسبية لتأثير هذين المتطلبات اعلى قيمة.

● كذلك الحال بالنسبة الى المخاطر (افتقار توافق التصميم الإنشائي، المعماري) و(التخفيض لجودة الاعمال للالتزام بوقت معين) فكان لهما المرتبة الاولى من تأثير مطلب (التحسين المستمر) عليهما حيث بلغ التقييم النوعي والاهمية النسبية لتأثير المتطلب اعلى قيمة.

● اما المخاطرة (الأخطاء في التصميم) فقد تصدرت المخاطر من حيث تأثير مطلب (التدريب والتعليم) عليها حيث كان تقييمه النوعي (عالياً) وكذلك الاهمية النسبية.

بشكل عام يمكن ملاحظة التأثير الواضح والعلاقة بين تطبيق متطلبات ادارة الجودة الشاملة وادارة المخاطر من خلال النظر الى التقييم النوعي لهذا التأثير والذي كان (عالياً) للعديد من هذه المخاطر مما يتطلب توجيه جهود المسؤولين عن ادارة المخاطر الى التركيز على استخدام هذه المتطلبات كوسيلة ناجحة لادارة المخاطر ومعالجتها. ان هناك تباين في تأثير المخاطر على اهداف المشروع الانشائي وهذا يعني ضرورة دراسة أي من المخاطر تؤثر على المدة وأي منها تؤثر على الكلفة او الجودة او السلامة المهنية او كل منها مجتمعةً وذلك لمعالجتها وادارتها للعمل على عدم تكرارها وتلافيتها مستقبلاً، وباستخدام البرنامج الحاسوبي المعد لهذا البحث يمكن تسهيل هذه المهمة كثيراً وكما أيد ذلك الخبراء المستبشرين من خلال تقييمهم للبرنامج.

5.2 التوصيات

1 – السعي الجاد نحو تطبيق متطلبات ادارة الجودة الشاملة باعتبارها وسائل ناجحة لتحقيق العديد من المنظمات لأعلى درجات الجودة وباقل التكاليف فيما يتعلق بالسيطرة على المخاطر.

2 – استثمار مزايا التطبيق السليم لمتطلبات ادارة الجودة الشاملة كأداة لتقليل المخاطر في المشاريع الانشائية.

3 – التأكيد على مشاركة كافة العاملين في المنظمة في المشاريع الانشائية من خلال منحهم المشاركة الفعلية بالمناقشات الجارية حول الجودة الشاملة والتطبيق الميداني لافكارهم وارائهم العلمية والعملية المبدعة.

4 - التأكيد على التحسين والتطوير المستمرين لكافة الاعمال في المشاريع الانشائية.

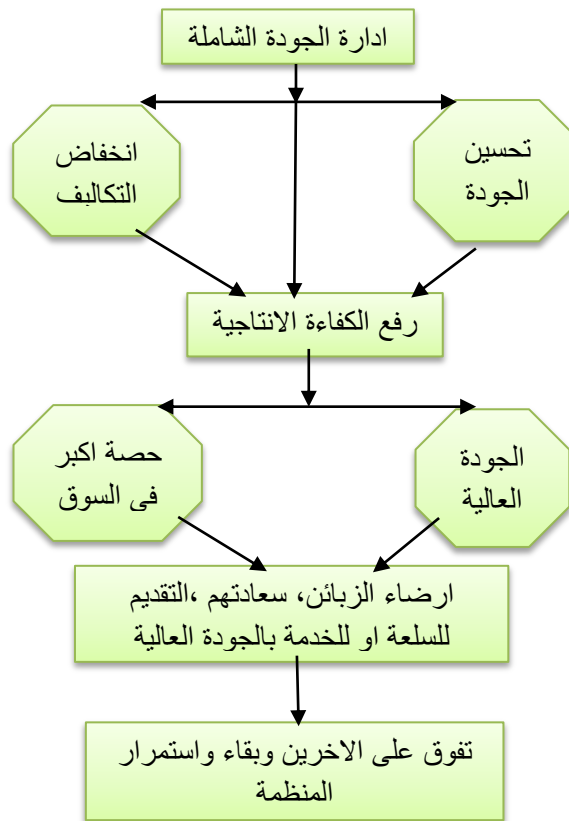
5 - تحديد جهة متخصصة بإدارة المخاطر ومتابعة المخاطر والعمل على معالجتها دون اي تأخير مع وضع أنسب سياسة لمواجهة الخسائر المتوقعة بأقل تكاليف ممكنة، ويتولى هذه الوظيفة شخص يسمى " مدير المخاطر " وتخصص له ميزانية معينة لإدارة المخاطر بالإضافة الى اقامة دورات تدريبية عن كيفية ادارة المخاطر .

6 - تطبيق كودات السلامة في الشركات والمشاريع الانشائية ودراسة انواع العقود والعبارات العقدية بشكل دقيق لتحديد المخاطر التي يتحملها كل طرف في المشروع وفق العقد المحدد ولتحويل المخاطر للطرف الاقدر على ادارتها وبشكل افضل.

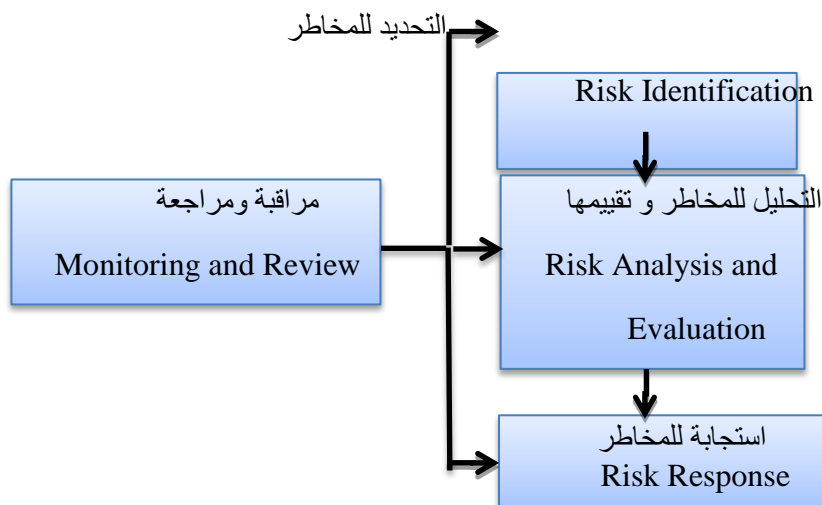
المصادر:

- ابو صالح، محمد صبحي، عدنان محمد عوض، 1983 مقدمة في الاحصاء، دار جوان وايلي وابنائهم .
- الشخيلي، باسل قاسم و ناجي، حافظ ابراهيم، 2008، تطوير نظام لإدارة المخاطر في المشاريع الانشائية باستخدام اسلوب المحاكاة، المجلة العراقية للهندسة المدنية، العدد العاشر.
- الصواف، محفوظ حمدون و صالح، ماجد محمد، 2007، ادارة الجودة الشاملة كأداة لتقليل المخاطر دراسة ميدانية في معمل النسيج الحكومي الموصل، جامعة الموصل .
- الهاشمي، مختار و ابراهيم حمودة، 2005، مقدمه في مبادئ الخطر والتامين بين التطور والتطبيق، دار الجامعة للطباعة والنشر، الإسكندرية.
- بسمة محمد علي، 2004، واقع إدارة الخطر وأهميته في المنظمات الصناعية دراسة ميدانية في معمل الغزل والنسيج في الموصل، رسالة ماجستير، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة الموصل.
- بندقي، محمد راضي، 1996، اتجاهات التدريب على الجودة الشاملة لمدرء شركات تصنيع المواد الغذائية في منطقة عمان الكبرى، الاردن، مجلة دراسات، المجلد 23، العدد 2.
- عقيلي، عمر وصفي، 2001، مدخل إلى المنهجية المتكاملة لإدارة الجودة الشاملة، الطبعة الأولى، دار وائل للنشر، عمان، الأردن.
- محمد، أماني موسى، 2007 ، التحليل الاحصائي للبيانات، مركز تطوير الدراسات العليا والبحوث، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.
- محمد واخرون، عبد العال النعيمي، 2009، ادارة الجودة المعاصرة مقدمة في ادارة الجودة الشاملة للانتاج والعمليات والخدمات، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الاردن.
- محمود الوادي وعلي الزعبي، 2011 ، مستلزمات إدارة الجودة الشاملة كأداة لتحقيق الميزة التنافسية في الجامعات الأردنية (دراسة تحليلية)، مؤتمر جامعة الزرقاء الدولي الثامن، الأردن.
- مهدي، علاء محسن، 2013 ، ادارة المخاطر المسببة للمطالبات في المشاريع الانشائية الحكومية ، رسالة مقدمة الى قسم الهندسة المدنية في جامعة بغداد كجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الهندسة المدنية ، ادارة المشاريع الانشائية.
- Bothroyod ,Catherine & Jeremy ,Emmett, 2006, *Risk Management Apractical Guide for construction professionals*.
 - Grokford ,Gneil, 2002, *The Bibiography and History of Risk Management: Some Preliminary Obserration*, Geneva papers on Risk & Insurance Vol.7 No.23.
 - Hagle J & Jeffery F., 1997, *The Coming Battle for Customer in Forrndtion H.B.R.*
 - Hizer & Renelit, 2006, *Operations Management, Total Quality and Responsivenss*, Mc Graw- Hill inc ,New York.
 - ISO 31000 , 2009, *Risk Management*, IT Management Collection, Geneva, Switzerland.
 - McNamara, C., 2008, *Authenticity Consulting*, LLC Copyright.

- Noori, Hamid & Radford, Russell, 1995, *Production and Operations Management, Total Quality and Responsiveness*, Mc Graw- Hill inc, New York.
- Praxiom Research Group, 2013, *ISO 31000 2009 Risk Management Audit Tool*, Praxiom Research Group Limited.
- Thevendran, V. , 2003, *Risk Management in the Construction Industry: the Relevance of Human Factors*, PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham, UK.



شكل 1. اهداف ادارة الجودة الشاملة، عقيلي، 2001.



شكل 2. المراحل الاساسية لادارة المخاطر، Thevendran، 2003.

المحور الاول: تحديد و تحليل المخاطر في المشاريع الانشائية
1- ما هي احتمالية حصول المخاطر التالية في المشاريع الانشائية

تصنيف المخاطر	المخاطر	منخفض جدا	منخفض	متوسط	عالي	عالي جدا
فيزيائية او بشرية بيئية او طبيعية	عمالة غير مؤهلة فنياً					
	تذبذب معدلات الإنتاجية للآليات واليد العاملة					
	ظروف جوية سيئة جداً وقاسية					
	صعوبة الالتزام بالقانون والتشريعات البيئية وكلفتها					

2 - ما هو شدة تأثير المخاطر التالية على كل من (الكلفة، الوقت، الجودة، السلامة المهنية)

تصنيف المخاطر	المخاطر	تأثير على	منخفض جدا	منخفض	متوسط	عالي	عالي جدا
تصميمية	عدم التوافق بين الكميات والمخططات والمواصفات	الكلفة					
		الوقت					
		الجودة					
		السلامة المهنية					
	أخطاء في التصميم	الكلفة					
		الوقت					
		الجودة					
		السلامة المهنية					
لوجستية	منافسة عالية خلال تقديم العروض	الكلفة					
		الوقت					
		الجودة					
		السلامة المهنية					
	جدولة غير دقيقة للمشروع	الكلفة					
		الوقت					
		الجودة					
		السلامة المهنية					
		الكلفة					
		الوقت					
		الجودة					
		السلامة المهنية					

3 - ما هو افضل اجراء للاستجابة للمخاطر التالية:

تصنيف المخاطر	المخاطر	تجنب	تحويل	قبول	اهمال	تأمين	اخر
مالية	التضخم وتقلبات الأسعار						
	تأخر تسديد الكشوف وفق العقد						
قانونية	نزاعات قانونية خلال مرحلة التشييد بين أطراف المشروع						
	صعوبة الحصول على التراخيص وتصاريح العمل						

المحور الثاني: تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة

1 - ما هو تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة التالية على احتمالية حصول المخاطر التالية:

متطلبات ادارة الجودة الشاملة	تصنيف المخاطر	المخاطر	لا تؤثر	منخفض جدا	منخفض	متوسط	عالي	عالي جدا
دعم الادارة العليا مشاركة كافة العاملين في المنظمة التحسين المستمر التركيز على الزبون التدريب و التعليم التحفيز المستمر دعم الادارة العليا مشاركة كافة العاملين في المنظمة	لها علاقة مباشرة بالتنفيذ	اختلاف بين الكميات الفعلية والعقدية						



2- ما هو تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة التالية على شدة حصول المخاطر

14

								مشاركة كافة العاملين في المنظمة
								التحسين المستمر
								التركيز على الزبون
								التدريب و التعليم
								التحفيز المستمر
								ادارة الموارد
								تحقيق المنتج
								القياس والتحليل والتحسين
								دعم الادارة العليا
								مشاركة كافة العاملين في المنظمة
								التحسين المستمر
								التركيز على الزبون
								التدريب و التعليم
								التحفيز المستمر
								ادارة الموارد
								تحقيق المنتج
								القياس والتحليل والتحسين
						مشكلات في إدارة الموارد		

نموذج 1 يتبع

جدول 1. قيم معامل التوافق

C	ΣB	نوع الدراسة
0.3613	1.1501	احتمالية حدوث المخاطر في المشاريع الانشائية
0.3853	1.1744	تأثير المخاطر على الكلفة في المشاريع الانشائية
0.3694	1.158	تأثير المخاطر على المدة في المشاريع الانشائية
0.3658	1.1545	تأثير المخاطر على الجودة في المشاريع الانشائية
0.32	1.114	تأثير المخاطر على السلامة المهنية في المشاريع الانشائية
0.4681	1.2806	افضل اجراء للاستجابة للمخاطر في المشاريع الانشائية
0.4577	1.2650	تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة على احتمالية حدوث المخاطر في المشاريع الانشائية
0.4473	1.2501	تأثير متطلبات ادارة الجودة الشاملة على شدة حدوث المخاطر في المشاريع الانشائية

Experimental Investigating of Unsupported Excavation Considering Its Effect on a Nearby Axially Loaded Pile

Dr. Ala Nasir Al-Jorany

Professor

College of Engineering - University of Baghdad

alaljorany@yahoo.com

Ghusoon Sadik Al-Qaisee

Asst. Lecture

Institute of Baghdad Technology

eng_g76@yahoo.com

ABSTRACT

An experimental model is used to simulate the loss of soil lateral confinement due to excavation nearby an individual axially loaded pile. The effects of various parameters, such as the horizontal distance of excavation, depth of excavation and pile slenderness ratios are investigated. The experimental analysis results showed the effect of excavation is more remarkable as the horizontal distance of excavation becomes closer to the pile than half pile length. The effect of excavation diminishes gradually as the horizontal distance increases beyond that distance for all the investigated pile slenderness ratios and depths of excavation. The pile head deflection, settlement and bending moments along pile increase with decreasing horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile of various depths of excavation and pile slenderness ratios. The location of maximum bending moment is positioned between 1/4 and 1/2 of pile length for all horizontal distance of excavation, depth of excavation and slenderness ratios. The bending moment profiles indicate a (single curvature) for medium flexible piles and (double curvature) for very flexible piles for different horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile and various depths of excavation. In addition the theoretical approach of wood, 2004 showed good agreement especially for very flexible pile (slenderness ratio >45).

Key words: excavation, axially loaded pile, deflection, settlement, bending moment

التحليل المختبري للحفريات غير المسندة مع مراعاة تأثيرها على ركيزة عمودية محملة رأسياً مجاورة

غصون صادق القيسي

مدرس مساعد

معهد تكنولوجيا/بغداد – الجامعة التقنية الوسطى

د. علاء ناصر الجوراني

استاذ

كلية الهندسة- جامعة بغداد

الخلاصة

في هذه الدراسة تم استخدام الموديل العملي المصغر لنمذجة نقصان الضغط الجانبي للتربة الناشيء عن الحفريات غير المسندة المجاورة لنموذج ركيزة مفردة محملة رأسياً. تم التحري عن تأثير عدة معاملات مثل المسافة الأفقية للحفر ، عمق الحفر ونسبة الطول الى القطر المكافئ (نسبة النحافة للركيزة). لقد أثبت التحليل للنتائج العملية ان للحفريات تأثير جديراً بالملاحظة عندما تصبح مسافة الحفر قريبة من الركيزة وتساوي أقل من نصف طول الركيزة ، يتلاشى تأثير الحفريات تدريجياً عندما تزداد المسافة الأفقية اكبر من نصف طول الركيزة لكل نسب النحافة للركيزة ولكل اعماق الحفر. ان الانحراف والهبوط لرأس الركيزة وعزوم الانحناء على طول الركيزة تزداد مع نقصان المسافة الأفقية للحفر والركيزة العمودية المحملة رأسياً لكل اعماق الحفر ولكل نسب النحافة للركيزة. ان موقع اكبر عزوم انحناء يقع بين ربع ونصف طول الركيزة لكل المسافات الأفقية للحفر ، اعماق الحفر ولكل نسب النحافة للركيزة. ان شكل منحي العزوم الانحناء يكون احادي التحذب للركائز المتوسطة المرونة بينما مزدوج التحذب للركائز المرنة جداً لمختلف المسافات الأفقية بين الركيزة ووجه الحفر وكذلك لمختلف الاعماق . اضافة الى ذلك اظهرت النتائج النظرية توافق مع النتائج العملية وخاصة للركائز المرنة جداً (نسبة الطول /القطر المكافئ اكبر من 45).

الكلمات الرئيسية : ركيزة عمودية محملة رأسياً ، الضغط الجانبي ، الهبوط ، عزوم الانحناء

1. INTRODUCTION

In dense civilian area where landscapes of structures are nearly distance, deep excavation for underground constructions is necessary. Axially loaded piles in present structures are essentially exposed to horizontal soil movement causes by excavation , **Finno, et al.,1991and 2005 and Leung et al., 2000 and 2003**, pile supporting bridge or pile nearby embankment **Springman,1989; Ellis and Springman, 2001 and Goh et al., 2005**. That soil movement induces lateral loading on nearby pile foundations, causes additional bending moment and deflection on the piles. Horizontal soil movement generally has an adverse effect on the behavior of axially loaded piles.

The centrifuge model for passive piles nearby unsupported excavation was carried out by **Leung, et al., 2000, Leung, et al., 2003, and Ong, et al., 2004, 2006 and 2009**. Centrifuge modeling technique is considered a good alternative way to study the problem as the tests can be adopted under an organized condition such that the soil strength profile, soil deformation and elapsed time can be measured with accuracy and converted to prototype scale. The results showed that the bending moment increased with increasing depth of excavation initially. Then the bending moment decreased with increasing depth and time. The difference between soil movement and head deflection is relatively low at depth of excavation less than 0.60m. Then the difference increased significantly with increasing depth of excavation and highly soil movement were detected closely ground surface.

Chiang, and Lee, 2007, studied the response of individual piles under different design loads adjacent to tunneling by centrifuge model experiments. The tunnel permanence in saturated sand was observed. Two instrumented piles of depths 27 m were situated of each side with various cover-to-diameter ratios and different distances from tunnels. The bending moments and axial forces were measured at various depths during tunneling. The results showed that the unit skin frictions rapidly decreased with increasing the tunneling operation for the shallow tunneling near a long pile and substantial decay of the end bearing capacity that causes large settlement of the pile if the pile base is close to the tunnel. The depth ratio was observed to be an important effect on the bending moment variation along the piles, but both the working loads and depth ratio identify axial load response and the settlement of pile.

Guo, 2010 and Ghee, 2009 established a new experimental apparatus comprises from a box, and a loading system that allows various horizontal soil movements shapes (rectangular, triangular and arc) and with application of vertical load simultaneously on piles/pile groups. The sand used with relative density of 89%. The tests results for single pile noticed that the bending moment increased with decreasing distance from boundary as the reduction of soil pressure. In addition, the maximum bending moment (M_{max}) increased with increasing the pile diameter while the maximum pile deflection (at the sand surface) reduced as the pile diameter increased. Results of pile groups showed that an increase in bending moment, shear force and soil reaction in front pile than rear pile, but a decrease in the deflection due to axial load increases as the axial load increases from 0 to 588 N on the pile cap of pile groups. The deflection profile for test with no load indicates that piles mainly translate with slight rotation; while in test with axial load, the piles translate and rotate. In comparison the results of pile group with single free-head piles, maximum bending moment and shear force decrease of 30-60% and 40-60% respectively for the piles in groups.

Lee, et al., 2013 carried out large scale model to study the effect of combined load on pile behavior. The model consisted mainly from cylindrical steel tank and instrumented model pile with outer diameter 30 mm and length 1200 mm instrument with 18 uniaxial strain gages with resistance of 350 Ω distributed along length. Models piles are prepared in fine clean poorly

graded sand at loose, medium and dense relative densities. The results examined that the combined load test effects exhibit that the presence of an axial load on a driven pile is negative to its lateral capacity and significantly increased in lateral deflection with increasing axial load. The bending moment at the head of pile increased with increasing soil relative density of the model pile head in the existence of axial loads. Consequently, the effect of axial loads should be measured in the design of laterally loaded piles in sand (particularly in the dense sand).

Muthukkumaran, and Begum, 2015. adopted the experimental model to examine the influence of slope on laterally loaded pile capacity, the study is performed on horizontal surface and two slopes (1V:2H) and (1V:1.5H), loose to medium density and various length to diameter ratio of piles that behave as flexible pile for all L/d ratios. The results observed that the lateral resistance increased with increasing soil-pile stiffness but the capacity of lateral load reduced when the slope surface varies from horizontal surface to slope surface and the effect was reduced with increasing relative density and L/d ratio. In addition, the capacity of lateral load was increased with increasing relative density, soil depth and pile embedment length but the steeper slope was less affected. Also when the lateral load increased, the bending moment and fixity depth increased, while the increasing of relative density results in reducing fixity depth.

Most of above previous research focused on the work on pile foundations subjected to soil movement due to braced excavation, but the pile response under vertical load nearby unsupported excavation can be significantly different. Therefore, in this study an attempt is made to investigate and measured the effect of unsupported excavation on adjacent axially loaded pile throughout experimental model. In addition one of theoretical approach (wood, 2004) is adopted to verify behavior of single axially loaded under the same condition of experimental model.

2. MODEL BOX AND LOADING SYSTEM

Fig.1 shows the image of box model that made of steel plate with thickness (4 mm) with internal box dimensions measures 0.80 m as length (W_M), 0.40m as width (B_M) and 0.80 m as depth (H_M). That are composed of eight steel - U shaped parts with width 0.10 m for each one that are connected through a number of screws. The front face of mold consists of the of 8 steel moving laminar parts.

3. MEASURING SYSTEM

3.1 Data Logger

Data Logger is a sophisticated data acquisition unit that provide link between computer and the transducers connected to test equipment that is strain gauges, load cell and LVDT.

3.2 Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

Linear Variable Differential Transformer LVDT is an energy converter that alters a linear movement or location from a mechanical reference (or zero) into a relative electrical signal comprising phase (for direction) and amplitude information (for distance).

3.3 Strain Gauge

Metal foil Rosette strain gauge with resistance **120 OHMS**, gauge factor **G.F. 2.15**, size **3 mm** and **3 m** Lead are used. The Rosette strain gauge consists of two located perpendicular strain gauge with respect to each other jointly in same carriers as shown in **Fig.2**.

4. THE INSTRUMENTED MODEL PILE

Aluminum bars with rectangular cross section with constant thickness (3 mm) are used as model piles. Different length to equivalent diameter was design to simulate the problem. The model pile was instrumented with four pairs of Rosette strain gauges were each pair glued at opposite largest faces in same location at intervals of $L/4$, $L/2$, $7L/8$ with bending connection. In addition At interval approximately $7L/8$ other pair was existed to measure axial compression or tension connection with full bridge circuit for all pairs. See Fig.3.

5. SOIL PROPERTIES AND MODEL BOX PREPARATION

The selected sample classified as silty sand with trace of clay according to USCS classification. The friction angle of the soil is determined to be 36° and the constrained modulus is measured to be 5.0-7.0 Mpa. **Table1** summarizes the main physical properties of the selected soil.

The preparation process is carried out of soil for testing with different length of model box (W_M). The length of mode box is depended on the horizontal distance of excavation from face of excavation to axially loaded pile at specified length.

The model pile is tested under applied axial working load that obtained after examining different criteria such as; **Ahmed, 1997, Brinch, 1963, Butler, and Hoy, 1977, Chin, 1970 Davisson, 1970 and 1972, De Beer, 1967, Decourt,1999, Fuller, and Hoy, 1970**. By numerical analysis using different methods of pile load test are tabulated in **Table 2**.

6. PILE RELATIVE FLEXIBILITY

At the beginning, the pile response is defined as short rigid or infinitely long elastic pile throughout calculating the stiffness factors **R** and **T**. Those factors that combine the effect of soil and pile properties are not constant for any soil and depend on pile diameter and depth. The soil modules **k** is related to **Terzaghi's concept** of modules of horizontal subgrade reaction. In case of cohesion less soil the soil modules is function of relative density and increase linearly with depth, the stiffness factor for cohesion less soil calculated from following equations:

$$\text{Stiffness Factor } T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad \text{in unit of } L \quad (1)$$

Where:

E: Modules of elasticity of model pile which calculated and results are displayed in chapter three in unit of F/L^2 .

I: Moment of inertia about the weak axis towards the excavation ($I_{min} = bh^3/12$) for rectangular cross section of model pile in unit of L^4

n_h : parameter to define the variation of **Ks** with depth in unit of F/L^3 .

Fig. 4 presents n_h variation as function of relative density that are suggested by **Terzaghi and Reese et al.**, The n_h value suggested by **Reese et al** is significantly higher than Terzaghi therefore the average value of n_h between two approach is considered in this study n_h is equal 7.5 MN/m^3 for relative density about 50% at medium dense state for soil sample prepared in model tests. The criteria for pile behavior as short rigid or long flexible are tabulated in **Table 3, Tomlinson, 1994**. **Table 4** displays the calculated **stiffness factor T** and thus determines the criteria for pile behavior. It is obviously seen all model piles behave as flexible element. Furthermore, other flexibility criteria to describe pile behavior basing on rigidity factor ($K_R = E_p I_p / E_s L^4$), **Poulos, and Davis, 1980**, where:

$K_R < 10e-1$ (Rigid pile.)

$K_R < 10e-3$ (Med flexible pile)

$K_R < 10e-5$ (Very flexible pile)

Table 5 shows the determination of rigidity factor K_R , all model piles of different length and cross section are behavior range between medium flexible pile to very flexible pile.

7. TESTS RESULTS

The calculated bending moment is normalized with respect to coefficient of passive earth pressure K_p , total unit weight of soil γ and pile moment of inertia I . Additionally the measured pile deflection U_x and pile settlement U_y were normalized with respect to equivalent pile diameter of same recognized pile. The results of three model piles are displayed for **L/deq 20, 53 and 97**. The closest horizontal distance of excavation equals **L/4, L/8 and L/12** for **L/deq** ratios **20, 53 and 97** respectively.

Fig. 5 shows the variation of pile head deflection **U_x/deq** with excavation horizontal distance to pile length **L_{EX}/L** for model piles of **L/deq** ratios **20, 53 and 97** respectively. Each figure includes two profiles of variation the normalized pile head deflection for depth of excavation **L/2 and L**. It appears that the increases in magnitude of pile head deflection **U_x/deq** is being about **200%** as compared to previous stage especially for horizontal distance of excavation less than **L/2**. The pile head deflection is decreased by approximately **70%** as the excavation horizontal distance increases from **closest** distance to **L/2** horizontal distance and decreases by approximately **85%** as the excavation horizontal distance increased from **closest** to **L** horizontal distance.

Fig.6 shows the variation of pile head settlement profile **U_y/deq** with excavation horizontal distance to pile length **L_{EX}/L** for model piles of **L/deq** ratios **20, 53 and 97** respectively. Each figure includes two profiles of variation the normalized pile head deflection for depth of excavation **L/2 and L**. The pile head settlement is decreased by approximately **20-40%** as the excavation horizontal distance increases from **closest** horizontal distance to **L/2** horizontal distance and decreases by approximately **50%** as the excavation horizontal distance increases from **closest** horizontal distance to **L/2** horizontal distance.

Figs.7 to 9 show the variation of bending moment profile with excavation horizontal distance to pile length **L_{EX}/L** and depth of excavation for model piles of **L/deq** ratios **20, 53 and 97** respectively. In general the bending moments decrease with increasing horizontal distance of excavation for different depth of excavation and **L/deq** ratios. For medium flexible pile the bending moments decrease from negative value to slightly positive (reverse the excavation) with increasing horizontal distance of excavation especially as horizontal distance of excavation more than half pile length **$L_{EX} \geq L/2$** and depth of excavation less than half pile length **$H_{EX} \leq L/2$** . The maximum bending moment increases by **about 70 %** along pile length as the horizontal distance of excavation gets closer than **(L/2)** to the closest possible horizontal distance for all examined excavation depths. The largest variation of the maximum bending moment with horizontal excavation distance at **L/4 and L/2** but little effect observes near pile base.

In this paper, the theoretical work of **Wood, 2004**, is adopted in addition to experimental models to verify behavior of single axially loaded pile exposed to lateral soil movement due to adjacent excavation. **Wood, 2004**, solved the differential equation of pile deformation and presented design charts to estimate bending moment and deflection along model pile. **Fig. 10** presents the

normalized bending moment profiles that predicted from experimental model of different L/deq ratios. In addition the points of theoretical normalized bending moment are represented on same figures that evaluated referring to **Wood, 2004**. The measured and predicted responses of the model piles are in good agreement for very flexible pile ($L/deq > 45$) but less agreement notices for medium flexible pile ($L/deq < 45$).

8. CONCLUSIONS

1. The pile head deflection increases with decreasing horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile of various depths of excavation and lengths to cross section ratios (L/deq).
2. The pile downward settlement increases with decreasing horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile for various L/deq ratios and depth of excavation. It is attributed to decrease the confining pressure, passive resistance and density of particles distribution of soil below and surrounding model pile.
3. Insignificant effect of excavation at horizontal distance more than half pile length $L_{EX} \geq L/2$ for all L/deq ratios.
4. The horizontal distance of adjacent excavation is noticeably affected on bending moments along the pile. It can be noticed that maximum bending moment increases with decreasing horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile for various depths of excavation and lengths to cross section ratio of L/deq . This finding may attributed to the soil lateral movement resulting due to the excavation.
5. The location of maximum bending moment is positioned between $L/4$ and $L/2$ of pile length for all horizontal distance of excavation, depth of excavation and L/deq ratios.
6. The bending moment profiles are showed (single curvature) for medium flexible piles and (double curvature) for very flexible piles of different horizontal distance between excavation face and adjacent axially loaded pile and various depths of excavation.

REFERENCES

- Ahmed, F., and Pise, P.J., 1997, *Pile Load Test Data-Interpretation and Correlation Study*, Indian Geotechnical Conference, Vadodara, December, 17-20, 1997, pp. 443-446.
- ASTM -2007.
- Davisson, M.T., 1970, *Static Measurement of Pile Behavior, Design and Installation of pile Foundation and Cellular Structures*, Envo Publish Co., edited by H.-Y Fang, pp.159-164.
- Davisson, M.T., 1972 *High Capacity Piles*, Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, American Society of Civil Engineers, ASCE, Illinois Section, Chicago, March 22, 52 pp.
- Brinch, H. 1963, J. *Discussion, Hyperbolic Stress-Strain Response, Cohesive Soils*, ASCE J. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.89, SM4, pp.241-242.
- Butler, H.D. and Hoy H.E., 1977, *The Texas Quick-Load Method for Foundation Load Testing-User's Manual*, Report No. FHWA-IP-77-8, 59pp.

- Chin, F.K., 1970, *Estimation of the Ultimate Load of Piles Not Carried to Failure*, Proc. 2nd Southeast Asia Conference on soil Engineering, pp. 81-90.
- De Beer, E.E ,1967, *Proefondervindlijke bijdrage tot de studie van het grensdrag vermogen van zand onder funderingen op staal*. Tijdschrift der Openbar Verken van Belgie, No. 6, 1967 and No. 4, 5, and 6, 1968.
- Decourt, L. ,1999, *Behavior of Foundations Under Working Load Conditions*, Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz DoIguassu, Brazil, Vol. 4, pp. 453 – 488.
- Lee, G. T. K. and Ng, C. W. W. ,2005, *Effects of Advancing Open Face Tunneling on an Existing Loaded Pile*, Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE / 193-201.
- Ellis E.A. and Springman S.M, 2001, *Modeling of Soil-Structure Interaction for a Piled Bridge Abutment in Plain Strain FEM Analyses*, Computers and Geotechnics, Vol. 28, No.2, pp.79-98.
- Finno, R.J., Lawrence, S.A., Allawh, N.F. and Harahap, I. S.,1991, *Analysis of Performance of Pile Groups Adjacent to Deep Excavation*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 6, pp. 934-955.
- Finno, R.J., Voss, F.T., Rossow, E., and Blackburn, J. T. , 2005, *Evaluating Damage Potential in Building Affected by Excavation*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 131(10), 1199-1210.
- Goh, A. T. C., The, C. I., and Wong, K.S. , 2005, *Analysis of Piles Subjected to Embankment Induced Lateral Soil Movement*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., 123 (9), 792-801.
- Guo, W. D. and Ghee, E. H., 2011, *Behavior of Axially Loaded Pile Groups Subjected to Lateral Soil Movement*, Proceedings of the 18th Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, 2: 997-1003.
- Guo, W. D. and Ghee, E. H., 2011, *Response of Axially Loaded Pile Groups Subjected to Lateral Soil Movement – an Experimental Investigation*, Published in 6th International Conference on Tall Buildings (ICTB-VI), 6-8 December, Hong Kong, pp. 333~338.
- Lee, J., Prezzi, M. and Salgado, R.,2013, *Experimental Investigation of the Combined Load Response of Model Piles Driven in Sand*, Geotechnical Testing Journal, Vol. 34, No. 6.
- Leung, C.F., Chow, Y.K. and Shen, R.F., 2000, *Behavior of Pile Subject to Excavation-Induced Soil Movement*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng, Vol. 126, No. 11, pp. 947-2000.
- Leung, C.F., Chow, Y.K. and Shen, R.F. ,2003, *Behavior of Pile Groups Subject to Excavation-Induced Soil Movement*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No. 1, pp. 58-65.

- Muthukkumaran, K. and Almas Begum, N., 2015, *Experimental Investigation of Single Model Pile Subjected to Lateral Load in Sloping Ground*, Department of Civil Engineering, National Institute of Technology (NIT), Tiruchirapalli 620 015, Tamilnadu, India.
- Ong, D.E.L. Leung, C.F. and Chow, Y.K., 2004, *Pile Behavior Behind A Failed Excavation*, *International Conference on Structural and Foundation Failures*, Singapore.
- Ong, D.E.L. Leung, C.F. and Chow, Y.K., 2006, *Pile Behavior Due to Excavation-Induced Soil Movement in Clay I: Stable Wall*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 132(1), 36-44.
- Ong, D.E.L. Leung, C.F. and Chow, Y.K., 2009, *Behavior of Pile Group Subjected to Excavation-Induced Soil Movement in Very Soft*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 135(10), 1462-1474.
- Poulos, H.G., and Davies, E.H. , 1980, *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley and Sons, New York.
- Springman S.M, 1989, *Lateral Loading of Piles Due to Simulated Embankment Construction*, Ph.D Thesis, University of Cambridge.
- Tomlinson, M.J. (1994) *Pile Design and Construction Practice* , Fourth edition, CEng, FICE, FIStructE ,1994.

NOMENCLATURE

BM: width of model box

LVDT: linear variable differential transformer

HM: depth of model box

WM: length of model box

G.F.: gauge factor

L: length of model pile.

U_x: pile head deflection

U_y: pile head settlement

d_{eq}: equivalent pile diameter

T: stiffness factor

E: modules of elasticity of model pile

I: moment of inertia

n_h: parameter to define the variation of K_s with depth.

β : parameter for soil-pile interaction.

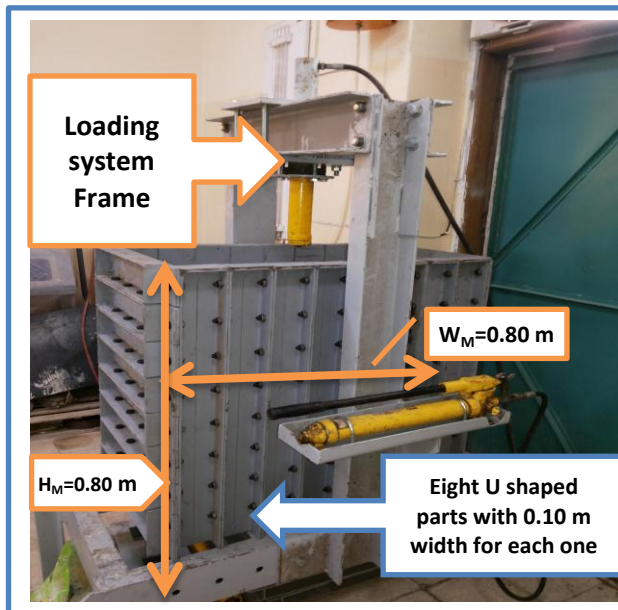


Figure 1. Image of experimental model box with detailed dimension.



Figure 2. Rosette strain gauge used in experimental work.



Figure 3. Instrumented model pile with four pairs of Rosette strain gauges.

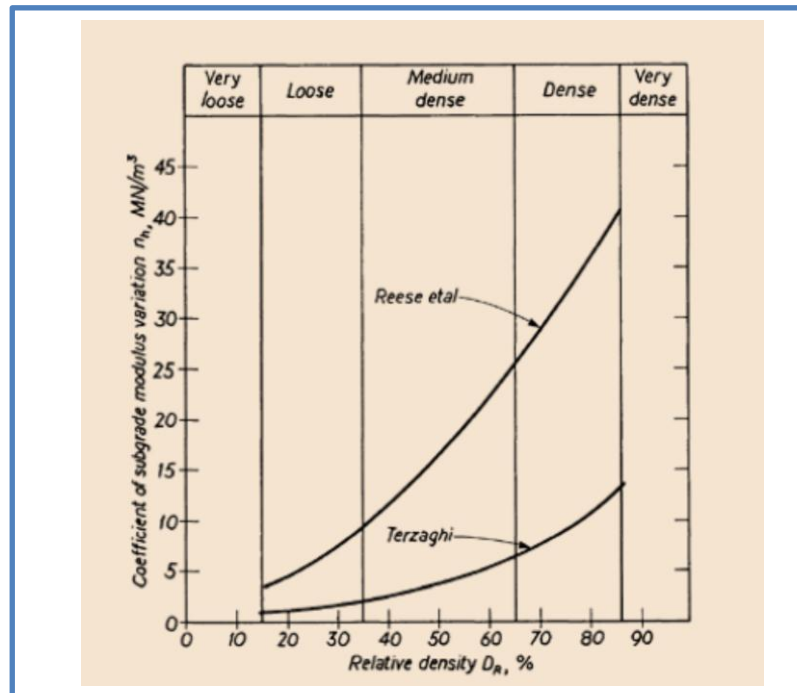


Figure 4. Relationship between coefficient of modulus variation and relative density of sands, Tomlinson, M.J. 1994.

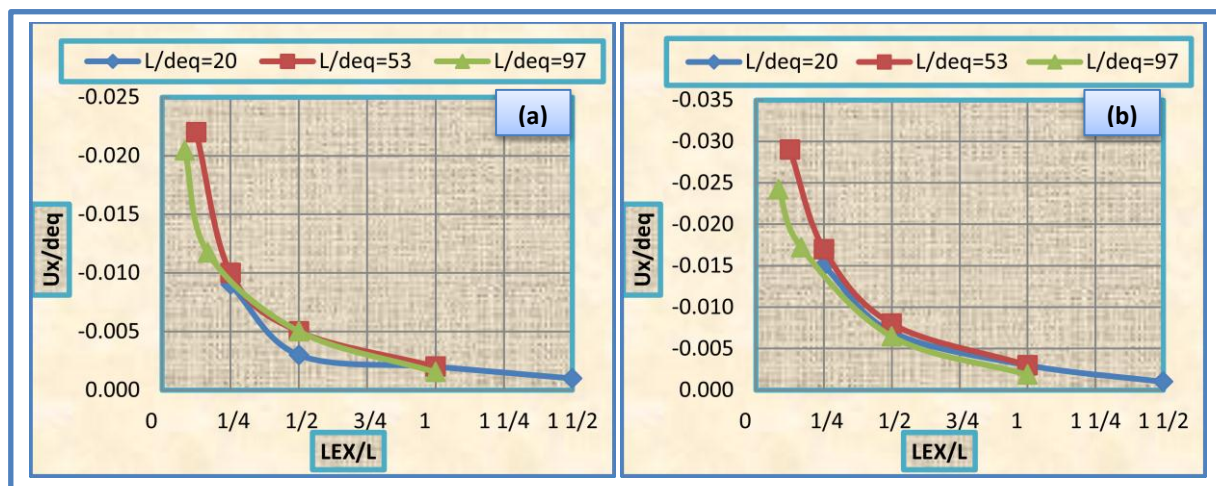


Figure 5. The Variation of pile head deflection of model piles of L/deq 20, 53 and 97 with various horizontal distance of excavation (a) Excavation depth $H_{EX}=L/2$, (b) Excavation depth $H_{EX}=L$.

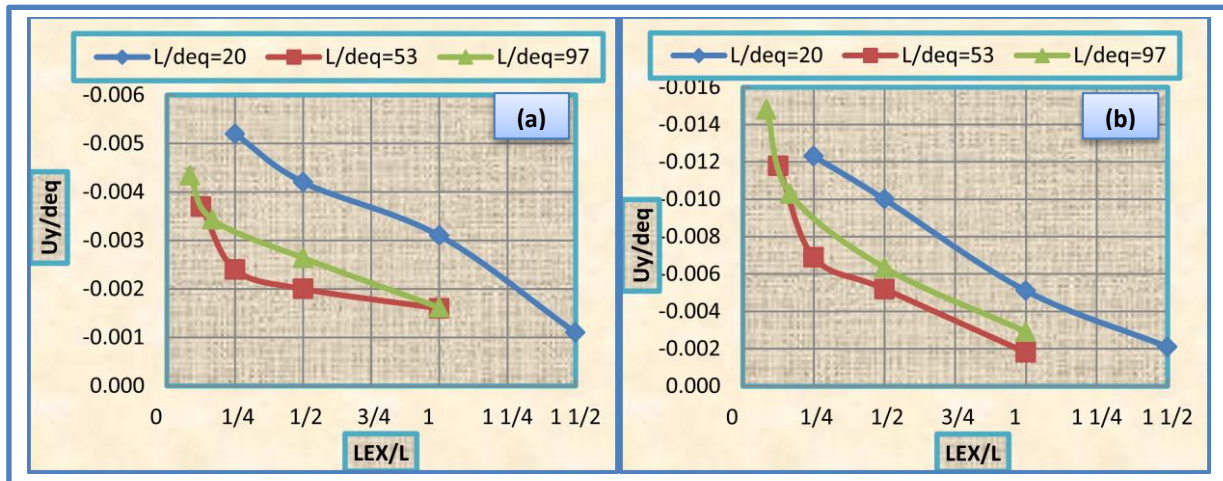


Figure 6. The Variation of pile settlement of L/deq 20,53 and 97 with various horizontal distance of excavation of (a) Excavation depth $H_{EX}=L/2$, (b) Excavation depth $H_{EX}=L$

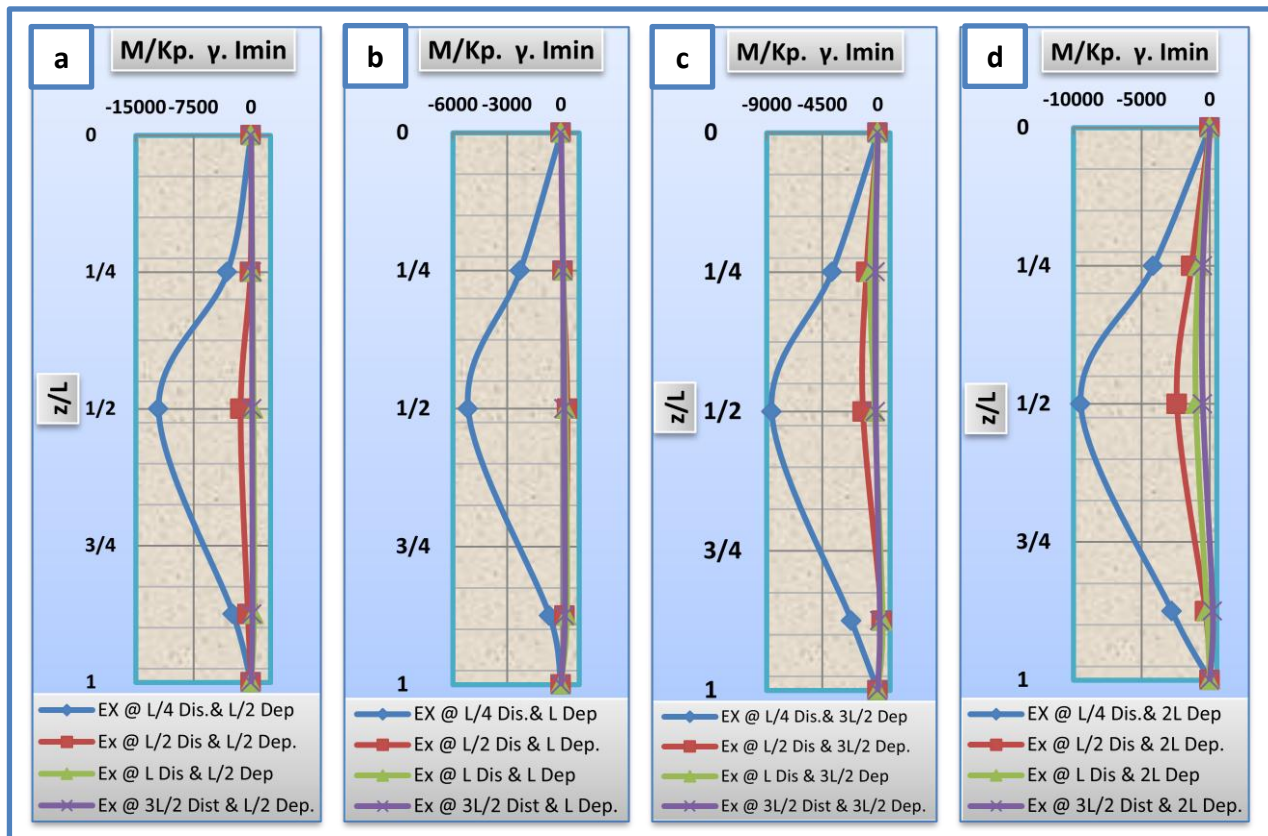


Figure 7. The effect of horizontal excavation distance for each excavation depth of $L/deq=20$ (a) $H_{EX}=L/2$: (b) $H_{EX}=L$: (c) $H_{EX}=3L/2$: (d) $H_{EX}=L/2$.

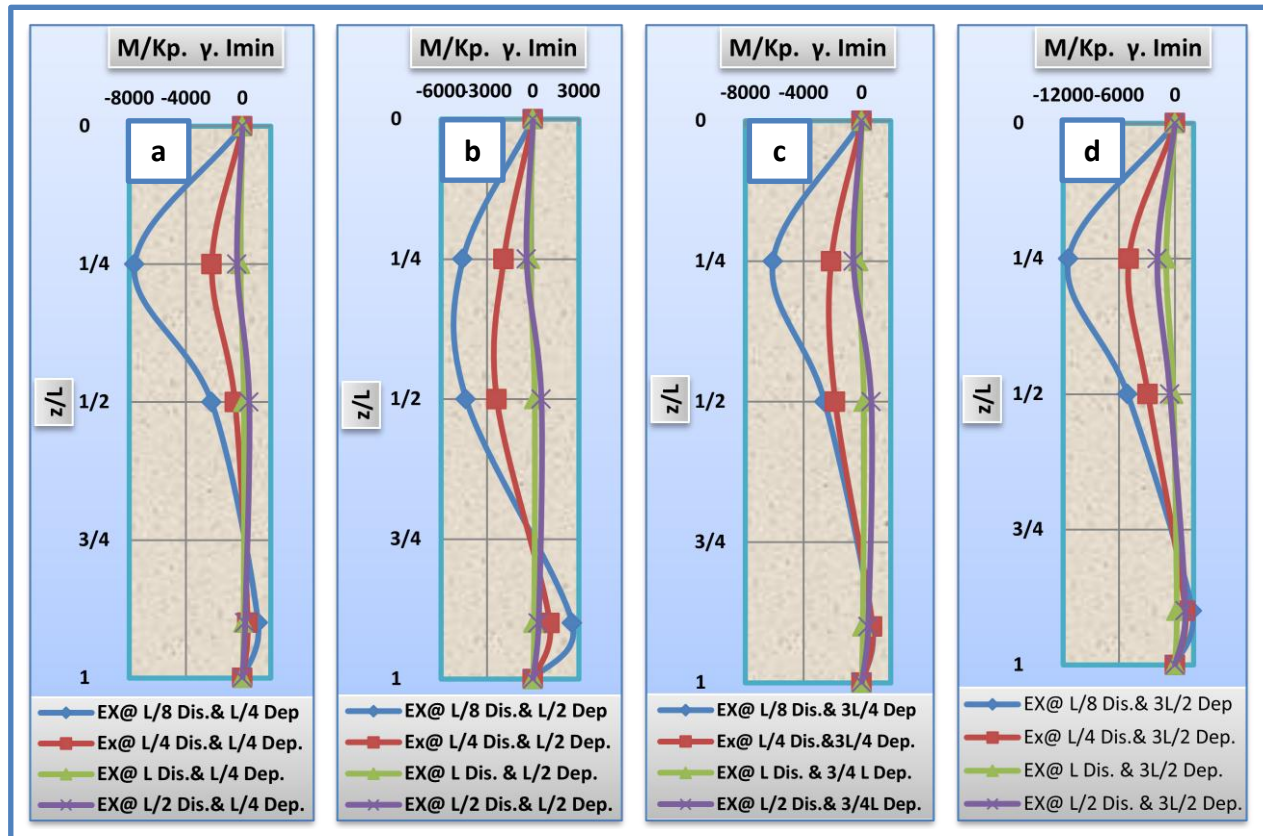


Figure 8. The effect of horizontal excavation distance for each excavation depth of $L/deq=53$ (a) $H_{EX}= L/4$: (b) $H_{EX}= L/2$: (c) $H_{EX}=3L/4$: (d) $H_{EX}= 3L/2$.

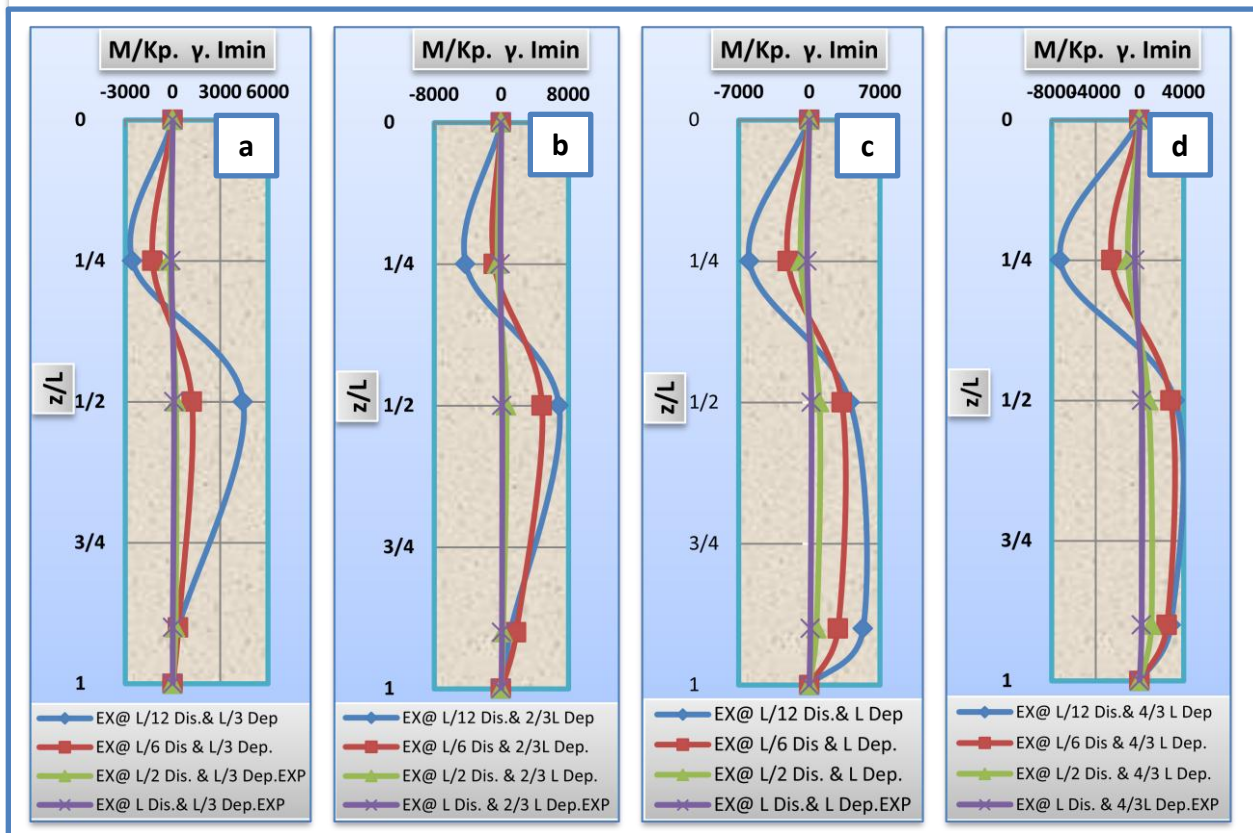


Figure 9. The effect of horizontal excavation distance for each excavation depth of $L/deq=97$ (a) $H_{EX}= L/3$: (b) $H_{EX}= 2L/3$: (c) $H_{EX}=L$: (d) $H_{EX}= 4L/3$.

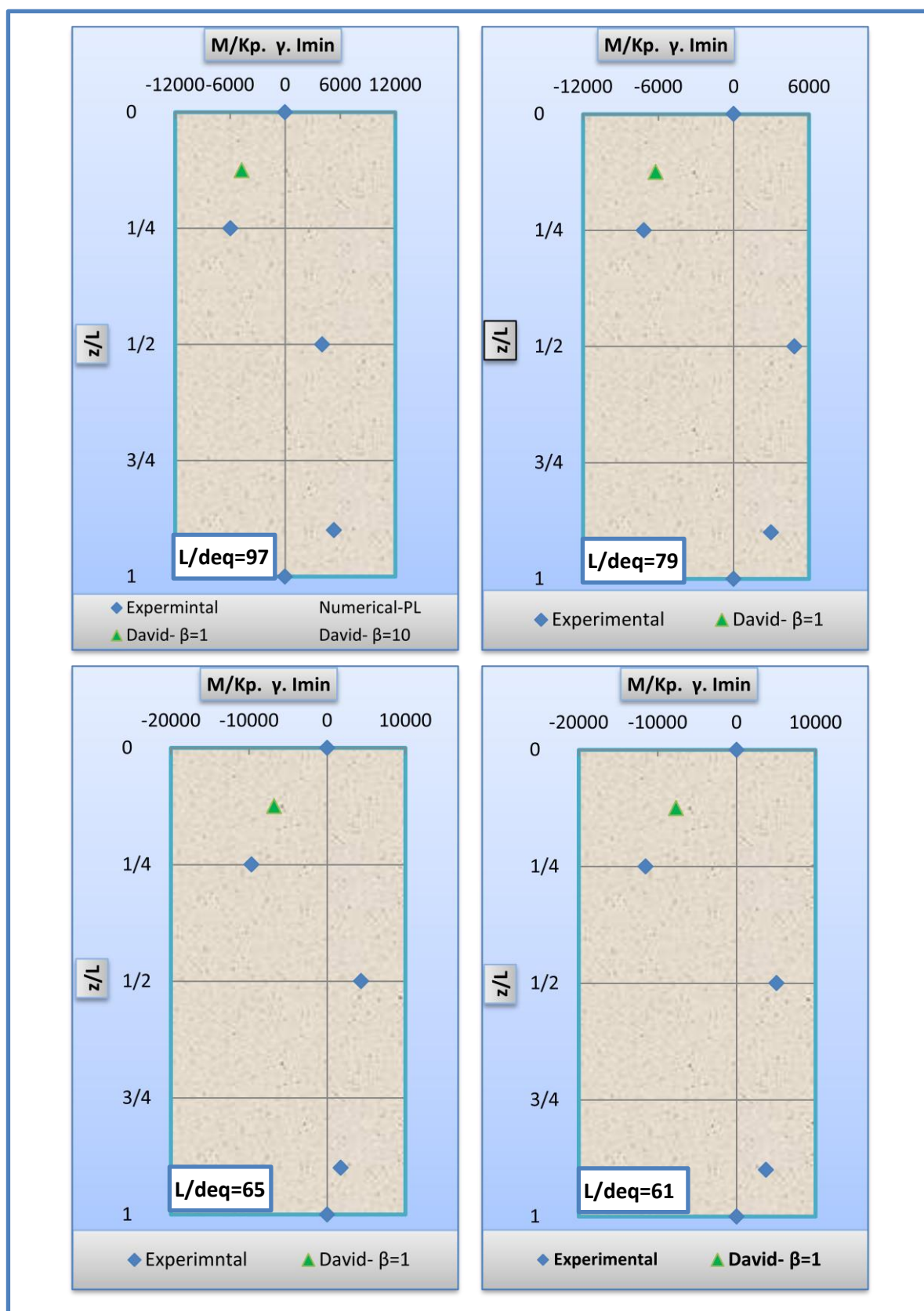


Figure 10 Comparisons of theoretical normalized bending moment from ,Wood, 2004, with experimental results of different L/deq of model pile

Table1. Material properties of selected soil.

Test Name	Standard	Soil Property	Value
Specific Gravity	(ASTM D-854)	Specific Gravity, G_s	2.67
Water Content	(ASTM D-2216)	Natural Water Content, ω_c %	8-10
Grain Size Analysis • Sieve Analysis • Hydrometer Analysis	(ASTM D-422)	$D_{10,mm}$	0.07
		$D_{30,mm}$	0.18
		$D_{60,mm}$	0.23
		Coefficient of Uniformity, C_u	3.286
		Coefficient of Curvature, C_c	2.012
		Clay %	3.02
		Silt %	6.10
		Coarse to Medium Sand %	14.85
		Fine Sand %	74.45
		Gravel %	1.58
		Unified Classification System (USCS)	SP-SM
Amount of Material finer about No.200 (75- μ m)	(ASTM D-1140)	Amount of Material finer about No.200 (75- μ m)%	14.60
Maximum Index Unit Weight	(ASTM D-4253)	Maximum Dry Unit Weight γ_{max} gm/cm ³	1.672
Minimum Index Unit Weight	(ASTM D-4254)	Minimum Dry Unit Weight γ_{min} gm/cm ³	1.367
Relative Density Calculation	ASTM D-4254 & ASTM D-4253	Relative Density, RD %	48-55 Med. Dense
Organic Matter	BS 1377:1990 Part 3	Percent of Organic matter %	4.07

Table 2. Working load values of different pile length and equivalent diameter.

Pile Length mm	Equivalent Diameter (mm)	L/deq	Working Load KN
200	9.775	20	0.220
400	7.571	53	0.180
600	6.182	97	0.250

Table 3. The criteria of pile behavior, Tomlinson, M.J. 1994.

Pile Type	Soil Modules
Rigid (Free Head)	$L \leq 2T$
Elastic (Free Head)	$L \geq 4T$

Table 4. Model piles flexibility basis on stiffness factor T.

Embedment Depth(m)	L/deq	Width (m)	I_p (min)	$E_p \cdot I_p$ (MN.m ²)	T	4T	2T	Pile Criteria
0.185	20	25.00	5.625E-11	4.22E-06	0.056	0.225	0.112	$\geq 4T$ Elastic
0.385	53	15.00	3.375E-11	2.53E-06	0.051	0.203	0.102	
0.585	97	10.00	2.25E-11	1.69E-06	0.047	0.187	0.094	

Table 5. Model piles flexibility basis on rigidity factor K_R .

Pile Length mm	Pile Cross Area mm ²	Equivalent Diameter mm	L/deq	I min m ⁴	K_R $E_p \cdot I_p / E_s L^4$	Relative Pile Flexibility
200	75	9.775	20	5.625E-11	2.25E-03	Med. Flexible Pile
400	30	6.182	65	2.250E-11	4.27E-05	Very Flexible Pile
600	30	6.182	97	2.250E-11	7.72E-06	Very Flexible Pile

Seismic Effects and Static Analysis for the Artificial Damped Outrigger Systems in Tall R.C Buildings

Dr. Abbas A. Allawi

Assistant Professor

College of Engineering - University of Baghdad

E-mail: abbasallawi2004@yahoo.com

Amneh Hamid Al Mukhtar

M. Sc. Student

College of Engineering- University of Baghdad

E-mail: amenal981eng@gmail.com

ABSTRACT

This paper studies the combination fluid viscous dampers in the outrigger system to add supplementary damping into the structure, which purpose to remove the dependability of the structure to lower variable intrinsic damping. It works by connecting the central core, comprising either shear walls or braced frames, to the outer perimeter columns.

The modal considered is a 36 storey square high rise reinforced concrete building. By constructing a discrete lumped mass model, and using frequency-based response function, two systems of dampers, parallel and series systems are studied. The maximum lateral load at the top of the building is calculated, and this load will be applied at every floor of the building, giving a conservative solution. For static study **Equivalent Lateral Force (ELF)** was conducted. **MATLAB** software, has been used in this study.

From analysis data, it is observed that the parallel system of dampers result lower amplitude of vibration and achieved more efficiently compared to the series system, and the horizontal displacement for each configurations by using MATLAB software is less than the analytical solution using a uniformly distributed load of 36 nodal point forces that divided the total height.

Key words: outrigger system, fluid viscous damper, discrete model.

التأثيرات الزلزالية والتحليل الاستاتيكي لأنظمة دعامة الإخماد الاصطناعي في المباني الخرسانية المسلحة العالية

أمنة حامد المختار

طالبة ماجستير

كلية الهندسة-جامعة بغداد

د. عباس عبد المجيد علاوي

استاذ مساعد

كلية الهندسة-جامعة بغداد

الخلاصة

تتناول هذه الدراسة عملية دمج مخمدات السائل اللزج في نظام الدعامة لإضافة إخماد تكميلي للمنشأ ، والذي يهدف إلى إزالة اعتماد المنشأ على القيمة المنخفضة للإخماد الجوهري. وهي تعمل عن طريق ربط النواة المركزية (the central core) ، التي تضم إما جدران القص أو هيكل مدعوم، إلى الأعمدة الخارجية المحيطة. النموذج الذي تم دراسته هو بناية شاهقة الارتفاع من الخرسانة المسلحة تتكون من 36 طابق وذات مقطع مربع. تتمحور الدراسة من خلال انشاء نموذج من كتل متجمعة منفصلة، واستعمال دالة الاستجابة المعتمدة على التردد، لنظامين من المخمدات، وهما نظاما التوازي والتوالي. تم احتساب الحد الأقصى للحمل الجانبي في الجزء العلوي من المبنى، وطبق هذا الحمل لكل طابق من المبنى، معطيا حلا محافظا. تم استعمال طريقة القوة الجانبية المكافئة للحالة الاستاتيكية. تم استخدام برنامج MATLAB في هذه الدراسة.

لوحظ من تحليل البيانات أن المخمد السائل اللزج بوضعية التوازي ينتج ذبذبات ذات قيم أقل ويحقق كفاءة أكثر مقارنة بوضع المخمد بوضعية التوالي. باستعمال برنامج MATLAB تكون الإزاحات الأفقية لكلا النظامين أقل من طريقة التحليل باستعمال حمل يوزع بشكل منتظم على 36 نقطة عقدية مقسومة على الارتفاع الكلي.

الكلمات الرئيسية: نظام الدعامة، مخمد السائل اللزج، نموذج منفصل.

1. INTRODUCTION

Outrigger is a common system of strengthening and stiffening tall buildings. It works by connecting the central core, comprising either braced frames or shear walls, to the outer perimeter columns. The explication of building outrigger behavior is easy because outriggers represent as firm arms engaging external columns, at the point when a core have a tries to incline, its rotation at the outrigger level generates a tension- compression couple in the external column moving contrary to that movement. As the outcome, the outrigger restrict the bending of the core by introducing a point of inflection in the deflection profile, as shown in **Fig.1**. Thus decreasing the lateral motion at the top when the reversal in curvature, **Nanduri, et al., 2013; and Melek, et al., 2012**.

Besides at the outrigger intersection lowering the core moment, the system equals the differential shortening of exterior columns coming from axial load imponderables and temperature. Another influence of using outriggers is the considerable lowering of net tension and uplift force at the foundation level, **Choi, et al., 2012**.

The damped outrigger system works by the insertion of viscous dampers between the external columns and the outriggers. When it was done, there was a considerable rise in damping, **Willford, and Simith, 2008**. Therefore, the outrigger system was used as one of the structural system to control the excessive drift during lateral load due to earthquake load.

2. STRUCTURAL DESCRIPTION AND MODELING

2.1 Structural Parameters

The modal considered in this study is a **36** storey square high rise reinforced concrete building with a base dimension of **30 m** by **30 m**. The floor to floor height is **4 m** contributing to a total building height of **144 m**. The building has a **14 m** by **14 m** central concrete core with a thickness of **45 cm**. The building has two outrigger arms cantilevering from the core to the perimeter columns from each of the side of the core. **W14X398** sections with an approximate cross-section area of **0.15 m²** used as the perimeter columns, **Gamaliel, 2008; and Smith, and Willford, 2007**.

The gravity system used in conjunction with central concrete core consists of **25 cm** thick reinforced concrete slabs, with beams section of **45 cm X 70 cm**, and square reinforced concrete columns (**45 cm X 45 cm**). **Fig. 2** summarizes the building dimensions described.

2.2 Structural Model

To create a realistic modal of the proposed building described in section **2.1**, each floor of the building will be modeled as a series of masses lumped at the center of the core. Each mass has two degrees of freedom, the vertical translation degree of freedom has been neglected to simplify the modal, as shown in **Fig. 3**.

The general discrete equation of motion written in matrix form as

$$M \ddot{U} + C \dot{U} + K U = P \quad (1)$$

To obtain the global stiffness matrix, the direct stiffness approach is used. A standard two-node member element with two degrees of freedom for each node is considered in this study. The element stiffness matrix are given by

$$k(n)_{AA} = \begin{bmatrix} \left(\frac{AE}{L} (\sin a)^2 + \frac{12EI}{L^3} (\cos a)^2 \right) & \frac{6EI}{L^2} \cos a \\ \frac{6EI}{L^2} \cos a & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$k(n)_{AB} = \begin{bmatrix} \left(-\frac{AE}{L} (\sin a)^2 + \frac{12EI}{L^3} (\cos a)^2 \right) & \frac{6EI}{L^2} \cos a \\ -\frac{6EI}{L^2} \cos a & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$k(n)_{BA} = \begin{bmatrix} \left(-\frac{AE}{L} (\sin a)^2 + \frac{12EI}{L^3} (\cos a)^2 \right) & -\frac{6EI}{L^2} \cos a \\ \frac{6EI}{L^2} \cos a & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$k(n)_{BB} = \begin{bmatrix} \left(\frac{AE}{L} (\sin a)^2 + \frac{12EI}{L^3} (\cos a)^2 \right) & -\frac{6EI}{L^2} \cos a \\ -\frac{6EI}{L^2} \cos a & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Where, A = area of the lumped mass = **53.19 m²**, E = elastic modulus of the core, I = moment of inertia of the lumped mass with respect to the bending axis = **3184.406 m⁴**, L = floor height = **4 m**, a = angle of reference with respect to the global coordinate = **0**, b = core length = **14 m**, and t = core thickness = **0.45 m**.

The mass matrix M is a diagonal matrix containing the floor mass as well as the rotational inertia of the following form

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & & & 0 \\ & J_1 & & \\ & \ddots & & \\ & & M_{36} & \\ 0 & & & J_{36} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Since the floor layout is the same throughout the building height, $M_1 = M_2 = \dots = M_{36} = M$. Similarly, the rotational inertia entries are equal throughout the height, thus $J_1 = J_2 = \dots = J_{36} = J$. Rotational inertia is assumed to be provided by the concrete core system only, and the gravity system have negligible effect on rotation because it is not rigidly attached to the core, **Gamaliel, 2008**.

Where, M = nodal mass = gravity system mass (m_f) + core mass (m_c) = **1,100,093 Kg**;
 J = nodal rotational inertia = **7,895,042.64 Kg m²**.

The intrinsic damping in a high-rise building is a key design parameter. Although the effect of damping is less important for seismic response than for wind response, the values assigned to structural damping should be selected with care. The intrinsic damping ratio of between **1%** and **2%** appears reasonable for buildings more than **50 m** and less than **250 m** in height, **Willford, et**

al., 2008. While some studies using the intrinsic damping ratio of 2.5% for 50 storey high rise reinforced concrete building, Melek, et al., 2012.

2.3 The Damped Outrigger Concept

The concept of the damped outrigger is shown in Figs. 4,5 and 6. Fig. 4 appears how the outrigger systems activate in easy conditions while incorporated inside a usual core-to-perimeter columns outrigger systems. As a structure subjects dynamic sway motion, there is proportional vertical motion between the ends of stiff outrigger element that cantilevering from the core and the perimeter column. There are needful for the outriggers to shift vertically proportional to the floor at these levels, while the floors bend in double curvature to stay attached to the outer columns and the central core. The dampers are incorporated across this building discontinuity, dissipating energy through the cyclic motion, and producing the raise in the total damping for the structure. Fig. 5 shows in terms of a conceptually the form of detail commonly wanted at the level where the damper is incorporated. The arranging can be as shown in Fig. 6 at the outriggers level in this situation, Smith, and Willford, 2007.

2.4 The Damped Outrigger Model

While the concept given by Willford and Smith, 2008 implies that the perimeter columns is in series configuration with the dampers, as well be studied parallel configuration of columns and dampers by Gamaliel, 2008 to provide a good comparative study, as shown in Fig. 7.

The approach to drive typical damper characteristic is based on macroscopic point of view. Where in this point of view, the stiffness is defined based on the slope of the diagonal line of the hysteresis loop and the damping is derived from the hysteresis loop of tested damper, Al Mallah, 2011. Then, obtain the equivalent complex stiffness for both parallel and series configuration.

2.4.1 Hysteresis loop and characteristics of tested damper

Considering a simple single degree of freedom (SDF) system with a viscous damper is subjected to a harmonic load, under steady- state response, the damping force equals to:

$$\begin{aligned} P(t) &= C_o \frac{du}{dt} = C_o \omega u_o \cos(\omega t - \delta) = C_o \omega \sqrt{u_o^2 - u^2} \sin^2(\omega t - \delta) \\ &= C_o \omega \sqrt{u_o^2 - [u(t)]^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\left(\frac{u}{u_o}\right)^2 + \left(\frac{P(t)}{C_o \omega u_o}\right)^2 = 1 \quad (8)$$

Which is the equation of the ellipse shown in Fig. 8. The area in closed by the ellipse is $\pi (u_o)(C_o \omega u_o) = \pi C_o \omega u_o^2$, which is equal to the dissipated energy

$$E_D = 2\pi \zeta \frac{\omega}{\omega_n} K u_o^2 \quad (9)$$

Due to harmonic force with $\omega = \omega_n$, and based on macroscopic point of view, the loose stiffness, K_2 is defined based on the slope of the diagonal line of the hysteresis loop. The damping coefficient, C_o , is equal to the loose stiffness divided by ω , and is also calculated from above as:

$$C_o = \frac{E_D}{\pi \omega u_o^2} \quad (10)$$

The equivalent damping ratio ζ_{eq} calculated from a test at $\omega = \omega_n$ would not be right at any exciting frequency, but it would be a satisfying approximation.

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (11)$$

Where the strain energy, $E_{SO} = K u_o^2 / 2$ is calculated from the stiffness K resolved by experience, **Chopra, 2008**. Based on the above, C_o and ζ_{eq} can be calculated from hysteresis loop of the tested dampers.

The model considered for this study is based on that the material behavior is in linear elastic range. However, it must be mentioned that most dampers classified as viscous dampers do not behave fully linear over the range of the entire velocity due to nonlinear material behavior and sealing friction which ends up in a nonlinear viscous behavior at small velocities.

2.4.2 Derivation of equivalent complex stiffness

Damping introduces complexity to the solution by adding a term involving velocity. In order to define the complex frequency-response function, the steady-state motion of a **SDOF** system is applied for both parallel and series configuration, which the equivalent complex stiffness can be expressed as:

- Parallel configuration, The harmonic motion at the forcing frequency, ω , can be expressed as

$$u(t) = H_u(\omega) e^{i\omega t} \quad (12)$$

$$\dot{u}(t) = i\omega H_u(\omega) e^{i\omega t} \quad (13)$$

The equation of motion for the parallel configuration of damper and column is

$$p(t) = k_{col} u(t) + C \dot{u}(t) = (k_{col} + i\omega C) H_u(\omega) = k_{eq} H_u(\omega) \quad (14)$$

$$\therefore k_{eq} = k_{col} + i\omega C \quad (15)$$

, **Chopra, 2008** and **Gamaliel, 2008**, See **Fig. 9**.

-Series configuration, The harmonic motion at the forcing frequency, ω , can be expressed as

$$u(t) = H_u(\omega) e^{i\omega t}, \text{ and } u(t)_1 = H_{u1}(\omega) e^{i\omega t} \quad (16)$$

$$\dot{u}(t) = H_u(\omega) e^{i\omega t}, \text{ and } \dot{u}(t)_1 = i\omega H_{u1}(\omega) e^{i\omega t} \quad (17)$$

Then, the equation for the series configuration of damper and column is:

$$p(t) = k_{col} u(t)_1 = C (\dot{u}(t) - \dot{u}(t)_1) \quad (18)$$

$$(i\omega C) H_u(\omega) = (k_{col} + i\omega C) H_{u1}(\omega) \quad (19)$$

$$H_{u1}(\omega) = \frac{i\omega C}{k_{col} + i\omega C} H_u(\omega) \quad (20)$$

$$p(t) = \frac{k_{col} i\omega C}{k_{col} + i\omega C} H_u(\omega) = k_{eq} H_u(\omega) \quad (21)$$

$$\therefore k_{eq} = \frac{k_{col} i\omega C}{k_{col} + i\omega C} \quad (22)$$

,Chopra, 2008 and Gamaliel, 2008, See Fig. 10. The above procedure has been derived the equivalent complex stiffness for both parallel and series damper configuration. The next step is to obtain the rotational stiffness at the outrigger level.

2.4.3 Derivation of the rotational stiffness

The column-restrained outriggers oppose the rotation of the core, when subjected to lateral loads, causing the moments and the lateral deflections in the core to be minimal than if the freestanding core alone resisted the loading. The exterior moment is now resisted not by bending of the core alone, but also by the axial compression and tension of the exterior column connected to the outrigger, Taranath, 2010.

The axial shortening and elongation of column is clearly equal to the rotation of the core multiplied by their particular distances from the exterior column to the center of the core. If the distance of the equivalent columns is $d/2$ from the central core, the axial distortion of the columns is then equal to $\beta d/2$, where β is the core rotation. Then the stiffness of the equivalent spring is studied for unit rotation of the core (i.e., $\beta = 1$), therefore the axial deformation of the equivalent columns is equalize to $1 \times d/2 = d/2$ units, Taranath, 2010.

The corresponding axial load is as following

$$p(t) = A E d/2 (aH) \quad (23)$$

$p(t)$ is the column axial load; A is the column area; E is the modulus of elasticity; d is the distance from the center of core to the exterior column; aH is the height at the outrigger level. Using the notion K_R for the rotational stiffness, and noticing that there are two equivalent columns, each situated at a distance from the core, we obtain

$$K_R = p(t) \times d/2 \times 2 \quad (24)$$

$$K_R = \frac{A E d^2}{2 aH} \quad (25)$$

The addition of rotational stiffness to the core at the outrigger level can be obtained as follows

$$M = p(t) \times d/2 \quad (26)$$

Where, $p(t) = k_{eq} H_u(\omega)$, $H_u(\omega) = \frac{d}{2} \beta$, and $M = K_R \beta$

$$\therefore K_R = k_{eq} \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (27)$$

2.5 Applying Outrigger Effect to Discrete Model

The effect of the outrigger can be modeled by introducing a minor change in the stiffness matrix. A rotational spring is to be added to the nodal point where the outrigger is located. Hence, the outrigger nodal point will have a modified rotational stiffness comprised of the existing rotational stiffness from the core (cantilever beam) and the rotational stiffness, K_R , from the outrigger. From previous section, the value of K_R has been derived. Because the Damping introduces complexity to the solution by adding a term involving velocity, the equivalent complex stiffness has been derived for both parallel and series damper configuration, and has been incorporated this effect into the stiffness matrix of the core, **Gamaliel, 2008 and Taranath, 2010**.

In the case of a damped outrigger, the damping matrix, C , is required to solve the full differential equation of motion. The conventional approach is to work in the real domain by constructing the damping matrix and introducing the damping coefficient C_o at the location corresponding to the rotation of the outrigger node. However, it is algebraically more convenient to work in the complex domain, by collapsing the C matrix altogether and lumping the effect of damping into the stiffness matrix, forming an equivalent complex stiffness matrix, **Gamaliel, 2008**, which has been obtained in section 2.4.1.

3. STATIC ANALYSIS

3.1 Equivalent Lateral Force (ELF) Analysis

The ground motion risks that rely on the regional seismicity depending upon a list of basics. Then considered to be ingrained in building designed to **ASCE 7-05** the design ground motions are depend on the margin of a minimal bound evaluation versus collapse. Depend on experiment this minimal bound has been believed in ground motion to be almost a factor of **1.5**, **Taranath, 2005**. Subsequently, the design earthquake ground motion has been selected at a ground motion shaking level that is **1/1.5**, which is equal to the **2/3** of the **MCE** ground motion.

ASCE 7-05 explains the **MCE** ground motion at short periods, S_s , in terms of the mapped values of the spectral response acceleration and also at 1 second, S_1 , for site class **B** for soft rock. These values may be gained from the map developed by **USGS**. The maps developed by **USGS** define sites of fault using both the probabilistic and deterministic proceedings, and contours of random horizontal acceleration values, **Taranath, 2005**.

In this study, the parameters S_s and S_1 determine from the major map developed by **USGS**, in Irvine, California for site class **D**, using an importance factor, I_E , is equal to **1** for the Occupancy Category **II**, and the effective seismic weight, W_x at each node is equal to **12,000 KN**.

The seismic base shear, V , in accordance with (**Eq. 12.8-1, ASCE 7-05**) is

$$V = C_s W_t \quad (28)$$

The seismic response coefficient, C_s , shall be determined in accordance with the following equation:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \quad (29)$$

Where, SDS , design spectral response accelerations; R , response modification factor see (**Table 12.2-1, ASCE 7-05**).

Observing **ASCE 7-05** does not give a separate formula for calculating the concentrated force F_t at top. Its effect is automatically included in the manner in which the base shear, V , is

distributed vertically over the building height. For a structure with n levels, the force at diaphragm level x is given by the equation:

$$Fx = Cvx V \quad (30)$$

Where, Cvx = vertical distribution factor.

3.2 Static Analysis of Single Outrigger

3.2.1 Optimum location of the single outrigger

The preceding analysis has assigned to that the useful action of outrigger is a function of two special characteristics: (1) the stiffness of the equivalent spring; and (2) the value of the rotation at the spring location of the cantilever due to lateral loads. The spring stiffness, which is derivation in **Section 2.4.3**, is a function of column length beneath the outrigger site, which differs inversely as the distance of the outrigger from the base. For example, the stiffness is at a minimal when the outrigger exists at the top and a maximum when at the bed.

On the other hand, the rotation, θ_w , of the free cantilever subjected to a uniformly lateral load differs parabolically at the top with a maximum value to zero at the bottom. Therefore, from the point of view of spring stiffness, it is eligible to set the outrigger at the bottom, whereas from estimation of its rotation, the converse is true. It must therefore be clear that the optimum location is somewhere in between.

To evaluate the optimum location, first the restoring moment, Mx , of the outrigger situated at x is estimated. Next, a equation for the deflection at the top of the core due to Mx is derived. Differentiating this equation and equating a zero results in a third-degree polynomial, the solution of which yields the outrigger optimum location identical to the minimum deflection at top of the building due to external load. The rotation θ_w of the cantilever at a distance x from the top, due to uniformly distributed load w , is the derivative of its deflection profile, is given by the relation:

$$\theta_w = \frac{w}{6EI} (X^3 - L^3) \quad (31)$$

The rotation due to the restoring couple Mx is given by the relation:

$$\theta_x = \int_0^{L-X} \frac{Mx}{EI} dx = \frac{Mx}{EI} (L - X) \quad (32)$$

Knowing the rotational stiffness K_R , one can find the moment in the spring Mx , by satisfactory the rotation compatibility relation at a distance x from the top. The final rotation of the cantilever

$$\frac{w}{EI6} (-L^3 + X^3) - \frac{Mx}{EI} (-X + L) = \frac{Mx}{K_R} \quad (33)$$

The negative sign mentions that the rotation of the cantilever due to external load acts in a direction opposite to the rotation due to the spring stiffness.

$$\frac{w}{EI6} (-L^3 + X^3) = Mx \left[\frac{(-X+L) \times 2}{A E_{col} d^2} + \frac{(-X+L)}{EI} \right]; \text{ Let } g = \frac{1}{A E_{col} d^2} + \frac{1}{2EI}$$

$$Mx = \frac{w(X^3 - L^3)}{12EI(L-X)g} \quad (34)$$

Next, the deflection at the top due to Mx is obtained, by the integration of the Bending-Moment Equation:

$$u(L)_x = \frac{Mx}{2EI} (L - X)(L + X) \quad (35)$$

The optimum location of the outrigger is that location for which the deflection $u(L)_x$ is a maximum. This is gained by substituting Mx into the equation above and differentiating with respect to a distance x from the top and equating to zero.

$$u(L)_x = \frac{w(X^3 - L^3)(L - X)(L + X)}{24EI^2(L - X)g} = \frac{w(-L^3 + X^3)(L + X)}{EI^2 24g} \quad (36)$$

$$\text{Thus, } dy/dx \text{ of, } 0 = \frac{w(3X^2L + 4X^3 - L^3)}{24EI^2g}$$

This cubic equation has a single positive root, $x = 0.445L$. Therefore, to minimize drift, the outrigger must exist at a distance $x = 0.455L$ from the top or, say, approximately at midheight of the building. This corresponds most closely to story number 19.

3.2.2 Deflection calculations

The two major limitation of an outrigger systems are the maximum moment at the base of the building, and also the horizontal deflection at the top of the building. The maximum horizontal deflection needs to be below an acceptable limit of human comfort. The moment at the base has no effect on human comfort, but has a great effect in the overall building cost as far as member sizes and foundation system, **Gamaliel, 2008**.

A simple cantilever beam subjected to uniform loading is considered and the deflection profile is given by:

$$u(x) = \frac{w}{24EI} (X^4 - 4XL^3 + 3L^4) \quad (37)$$

where the value, X , is the distance from the top. Then the deflection at the top due to uniform load is

$$u(L)_1 = \frac{wL^4}{8EI} \quad (38)$$

The deflection at the top due to Mx , which Mx under the outriggers restraint is the resorting moment, is

$$u(L)_2 = \frac{Mx}{2EI} (L - X)(L + X) \quad (39)$$

The deflection at the top is simply the superposition of the cantilever beam due to the moment induced by the rotational spring and due to the uniform load:

$$u(L)_{1,2} = \frac{wL^4}{8EI} - \left[\frac{Mx}{2EI} (L - X)(L + X) \right]$$

$$u(L)_{1,2} = \frac{wL^4}{8EI} - \frac{w(-L^3 + X^3)(L + X)}{24EI^2g}, \text{ Let } f = 3EI \times g = \frac{3EI}{AE_{col}d^2} + \frac{3}{2}$$

$$u(L)_{1,2} = \frac{W L^4}{8EI} - \frac{w(X^4 + X^3L - XL^3 - L^4)}{8EI^2 f}$$

$$u(L)_{1,2} = \frac{W}{8EI} \left[L^4 - \frac{1}{f} (X^4 + X^3L - XL^3 - L^4) \right] \quad (40)$$

The analytical solution, by using a uniformly distributed load of **36** nodal point forces that divided the total height, gives a value of **0.224 m**.

3.3 Static Analysis Using Software Program

The different outrigger systems appoint the use of viscous dampers. The discrete model is run in MATLAB software for four different configurations,

- (1) outrigger with damper in series;
- (2) outrigger with damper in parallel;
- (3) outrigger without damper;
- (4) system without outrigger.

For static case, the forcing frequency ω is set to zero for each series and parallel configurations. Therefore, mathematically it can be shown as $\omega \rightarrow 0$; the equivalent stiffness for series is:

$$k_{eq} = \frac{k_{col} i\omega C}{k_{col} + i\omega C} \rightarrow 0 \quad (41)$$

This proposes that the outrigger system with series damping behaves completely as a system without outrigger under static loading. For parallel the equivalent stiffness is

$$k_{eq} = (k_{col} + i\omega C) \rightarrow k_{col} \quad (42)$$

This implies that the outrigger with parallel damping configuration behaves as a typical outrigger under static load.

The matrix equation run in MATLAB to be solved is:

$$k_{eq} U = P \quad (43)$$

The outrigger location must be the addition of the rotational stiffness to the core for each configuration. **Fig. 11** shows the horizontal displacement along the height of the building for each configurations. It can be seen that the curve for configuration (1) and configuration (4) matched with each other, and the curve for configuration (2) matched with the curve for configuration (3). The horizontal displacement for configuration (1) and configuration (4) at the top of the building is equal to **0.206 m**, and for configuration (2) and configuration (3) at the top is equal to **0.1976 m**.

3.4 Story – Drift Limit

The story drift, Δ_x , is calculated from previous analysis, from data of **Fig. 11**, compared with the allowable story drift (Δ_a) as gained from (**ASCE 7-05, Table 12.12-1**), for any story.

The allowable drift (Δ_a) in the **ASCE 7-05** is based on the selected building system and dependent on building occupancy category. From , **ASCE 7-05, Table 12.12-1**, the value of (Δ_a) is equal for any story (**0.08 m**), because the story height is equal for any story.

The determination of story drift, Δ_x , uses the next steps:

1. Determine the horizontal displacement at each floor levels by an elastic analysis of the building under the design base shear(see **Fig. 11**). The horizontal displacement at floor level x , obtained from this analysis, is termed δx_e . The subscript “ e ” stands for elastic analysis.
2. Increase δx_e by the deflection amplification factor, Cd ; see (Table **12.2-1, ASCE 7-05**), for Cd values. The resulting quantity, $Cd \delta x_e$, is an estimated design earthquake displacement at floor level x . **ASCE 7-05** requires this quantity to be divided by the importance factor, I_E , because the forces under which the δx_e displacement is computed are already amplified by I_E . The quantity $Cd\delta x_e/I_E$ at floor level x is δx , the adjusted design earthquake displacement.

$$\delta x = Cd \delta x_e / I_E \quad (44)$$

3. Calculate the story drift δx for story x (the story below floor level x) by deducting the adjusted earthquake displacement at the bottom of story x (floor level $x - 1$) from the adjusted earthquake displacement at the top of story x :

$$\Delta_x = -(\delta x - 1) + \delta x \quad (45)$$

The Δ_x values must be kept within limits, see (Table **12.12-1, ASCE 7-05**). Two items are noting:

1. The redundancy coefficient, ρ , is equal to 1.0 for the computation of the design story drift, where a redundancy factor, ρ , shall be assigned to the seismic force-resisting system in each of two orthogonal directions(**ASCE 7-05**).
2. For determining compliance with the story drift limitations, the deflections, δx , may be calculated corresponding to the fundamental period of the structure(**ASCE 7-05**). The values for Δ_x and Δa are shown in **Table 1**.

3.5 P – Delta Effects

The $P\Delta$ effects in a given story are due to the eccentricity of the gravity load above that story. If the story drift due to the lateral forces were Δ_x , the bending moments in the story would be augmented by an amount equal to Δ_x times the gravity load above the story. The ratio of the $P\Delta$ moment to the lateral-force story moment is designated as a stability coefficient, ϕ . If the stability coefficient ϕ is less than 0.10 for every story, the $P\Delta$ effects on story shears and moments and member forces may be neglected. If, however, the stability coefficient ϕ exceeds **0.10** for any story, the $P\Delta$ effects on story drifts, member forces, shears, etc., must be determined by a rational analysis.

where the stability coefficient (ϕ) as determined by the following equation(**ASCE 7-05**):

$$\phi = \frac{P_X \Delta_x}{V_X h_{sx} Cd} \quad (46)$$

Where, P_X = the total vertical design load at and above Level x (**kip** or **KN**), where computing P_X no individual load factor need exceed **1.0**; Δ_x = the design story drift as defined in **Sec. 3.4** revolving simultaneously with V_X (**in** or **mm**); V_X = the seismic shear force acting between Levels x and $x - 1$ (**kip** or **KN**) as determined by the following equation(**ASCE 7-05**):

$$V_X = \sum_{i=x}^n F_i \quad (47)$$

where F_i = the portion of the seismic base shear(V)(kip or KN) induced at Level i ; h_{sx} = the story height below Level x (in. or mm); Cd = the deflection amplification factor in (Table 12.2-1, ASCE 7-05).

The stability coefficient (ϕ) shall not exceed ϕ_{MAX} determined as follows(ASCE 7-05):

$$\phi_{MAX} = \frac{0.5}{\beta Cd} \leq 0.25 \quad (48)$$

where β is the ratio of shear demand to shear capacity for the story between Levels x and $x-1$. This ratio is permitted to be conservatively taken as 1.0(ASCE 7-05). Consequently, the value ϕ_{MAX} is equal to 0.1. The values for ϕ are shown in Table 2.

4. CONCLUSIONS

1. The optimum location of the outrigger is that location at a distance $x = 0.455L$ from the top or, say, approximately at midheight of the building.
2. The analytical solution, by using a uniformly distributed load of 36 nodal point forces divided the total height, gives a value of 0.224 m .
3. The related results, at the discrete model run in MATLAB software for four different configurations, are as follows:
 - The horizontal displacement for configuration (1) and configuration (4) at the top of the building is equal to 0.2060, and for configuration (2) and configuration (3) at the top is equal to 0.1976. This implies that the outrigger with series damping configuration behaves as a system without outrigger under static loading, and that the outrigger with parallel damping configuration behaves as a regular outrigger under static loading.
 - The horizontal displacement for each configurations by using MATLAB software is less than the analytical solution, 0.224 m .
4. The related results, compared the story drift, Δ_x , calculated from previous analysis with the allowable story drift ($\Delta_a = 0.08$ m) as obtained from (ASCE 7-05) for any story, are as follow:
 - From configuration (1) to configuration (4) the story drift is less than the allowable story drift, which is able to pass the requirement.
5. The stability coefficient ϕ for every story is less than 0.10; therefore, the $P\Delta$ effect on moments and member forces and story shears may be neglected.
6. From analysis data, the parallel placement of viscous damper result in lower amplitude of vibration compared to when the damper is in series.
7. The result of analysis suggests that viscous dampers should be installed in parallel with the perimeter column where the outrigger connects. However, to achieve this type of parallel connection takes more of a construction challenge than connecting it in line with column as proposed by Smith and Willford, 2007. Two columns side by side will be required to connect the damper in parallel.

REFERENCES

- Al Mallah, N. M., 2011, *The Use of Bracing Dampers in Steel Building Under Seismic Loading*, Ms. D. Thesis : College of Engineering, University of Baghdad.
- ASCE, 2006, *ASCE Standard 7-05:Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures* , American Society of Civil Engineers.

- Choi, H., Ho, G., Joseph, L., Mathias, N., 2012, *Outrigger Design for High Rise Buildings*, Chicago, USA : CTBUH Technical Guides.
- Chopra, A., 2008, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, New Delhi : Prentice-Hall of India.
- Gamaliel, R., 2008, *Frequency- Based Response Of Damped Outrigger System for Tall Buildings*, Civil and Environmental Engineering, University of California.
- Melek, M., Darama, H., Gogus, A., and Kang, T., 2012, *Effects of Modeling of RC Flat Slabs on Nonlinear Response of High Rise Building Systems*, 15 WCEE.
- Nanduri, R., Suresh, B., and Hussain, I., 2013, *Optimum Position of Outrigger System for High- Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind and Earthquake Loadings*, American Journal of Engineering Research, Vol. 2, pp. 76- 89.
- Sathyanarayanan, K., Vijay, A., and Balachandar, S., 2012, *Feasibility Studies on the Use of Outrigger System for RC Core Frames*, India : Department of Civil Engineering, SRM University.
- Smith, R. J., and Willford, M. R., 2007, *The Damped Outrigger Concept for Tall Building*, Arup, London, UK : John Wiley & Sons, Inc.
- Taranath, B., 2010, *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, US : Taylor and Francis Group.
- Taranath, B. S., 2005, *Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design*, California : Marcel Dekken.
- Willford, M., and Simith, R., 2008, *Performance Based Seismic and Wind Engineering For 60 Story Twin Towers in Manila*, Beijing, China : The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Willford, M., Whittaker, A., and Klemencic, R., 2008, *Recommendations for the Seismic Design of High- Rise Buildings*, Chicago : Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

NOMENCLATURE

A = area of the lumped mass, m^2 .

aH = Height at the outrigger level, m.

b = core length, m.

C_0 = damping coefficient, N.s/m,

C_d = deflection amplification factor, dimensionless.

C_s = seismic response coefficient, dimensionless.

C_{vx} = vertical distribution factor, dimensionless.

E = elastic modulus of the core, Pa.

E_D = energy dissipation, N.m.

E_{SO} = strain energy, N.m.

F_x = the force at diaphragm level x , kN.
 $H_u(\omega)$ = Complex frequency-response function, dimensionless.
 I = moment of inertia of the lumped mass, m^4 .
 J = nodal rotational inertia, $Kg\ m^2$.
 K = Stiffness matrix, N/m.
 K_2 = loss stiffness, N/m.
 K_R = Rotational stiffness, N/m.
 k_{col} = Stiffness of column, N/m.
 k_{eq} = Equivalent complex stiffness, N/m.
 L = floor height, m.
 M = Mass matrix, Kg.
 Mx = restoring moment, kN.m.
 P_t = A complex periodic loading function, kN.
 $S1$ = Mapped MCE, 5 percent damped, spectral response acceleration parameter at a period of 1, %g.
 Ss = Mapped MCE, 5 percent damped, spectral response acceleration parameter at short periods, %g.
 t = core thickness, m.
 u = displacement of the system and the damper, m.
 \dot{u} = velocity of the piston, m/s.
 u_o = amplitude of the displacement, m.
 V = base shears, kN.
 W_i = the portion of the total gravity load of the structure at level i , kN.
 W_m = effective modal gravity load, kN.
 W_x = effective seismic weight at each node, kN.
 ω = frequency of motion, rad/s.
 ω_n = Vibration Natural Frequency, rad/s.
 δ = phase angle, rad.
 ζ = damping ratio, dimensionless.
 ζ_{eq} = equivalent damping ratio, dimensionless.
 β = rotation of the core, rad.
 θ_w = rotation of the cantilever at a distance x from the top, rad.
 φ = stability coefficient, dimensionless.

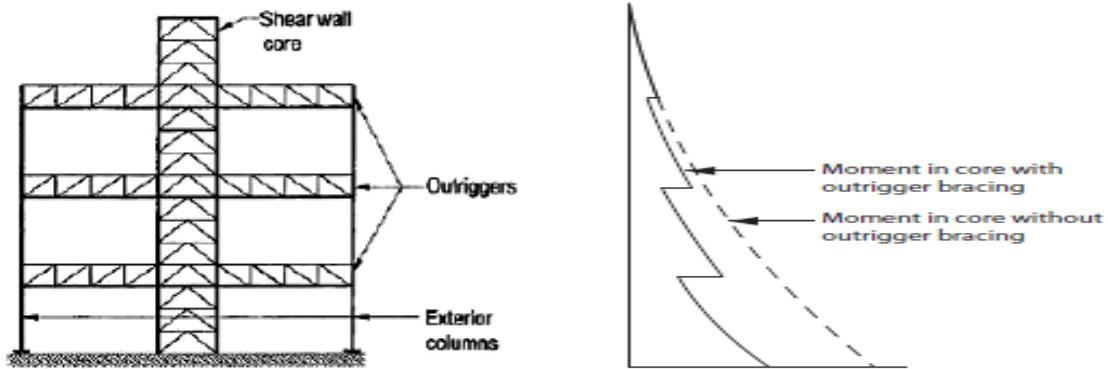


Figure 1. Core – Supported outrigger structures, Sathyanarayanan, et al., 2012.

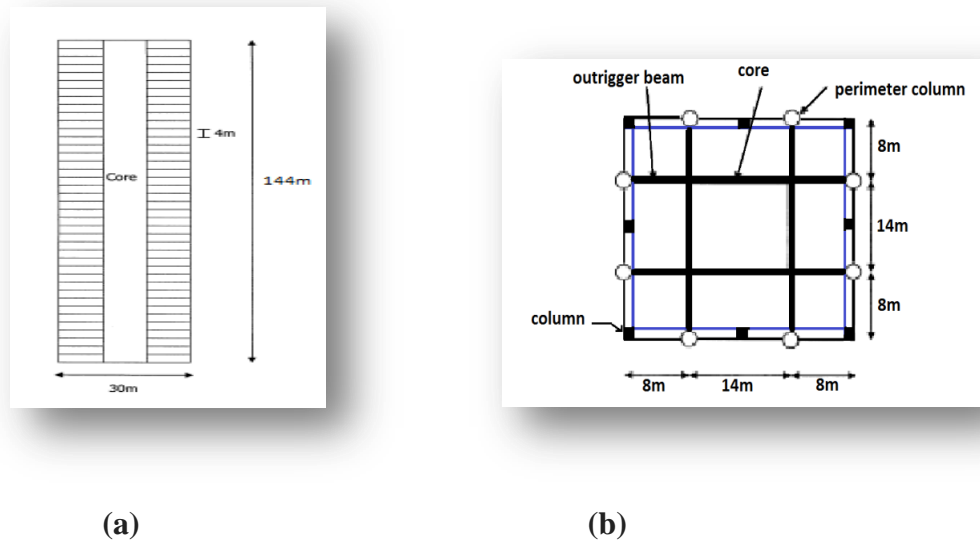


Figure 2. Buildings dimensions (a) in elevation, (b) in plan (some details and beams for gravity system omitted for clarity).

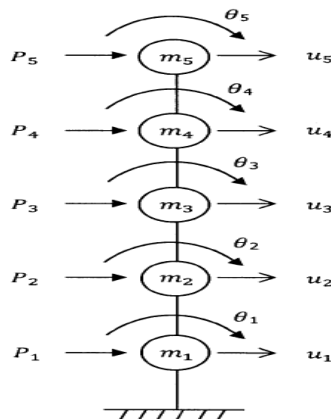


Figure 3. Discrete lumped mass modal for a 5 story building.

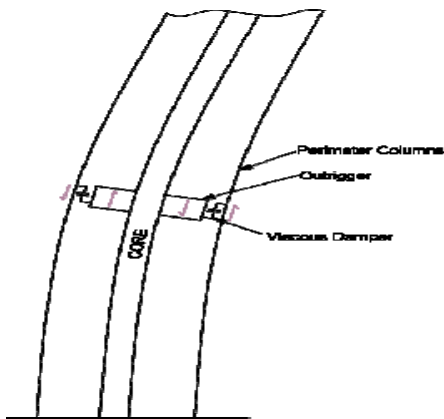


Figure 4. Patent pending (damped outrigger), Smith, and Willford, 2007.

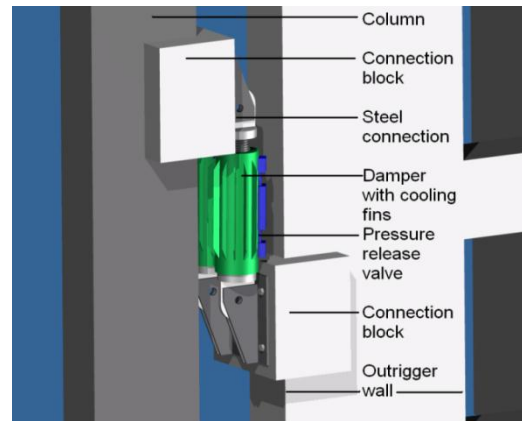


Figure 5. Conceptual detail at outrigger level, Smith, and Willford, 2007.

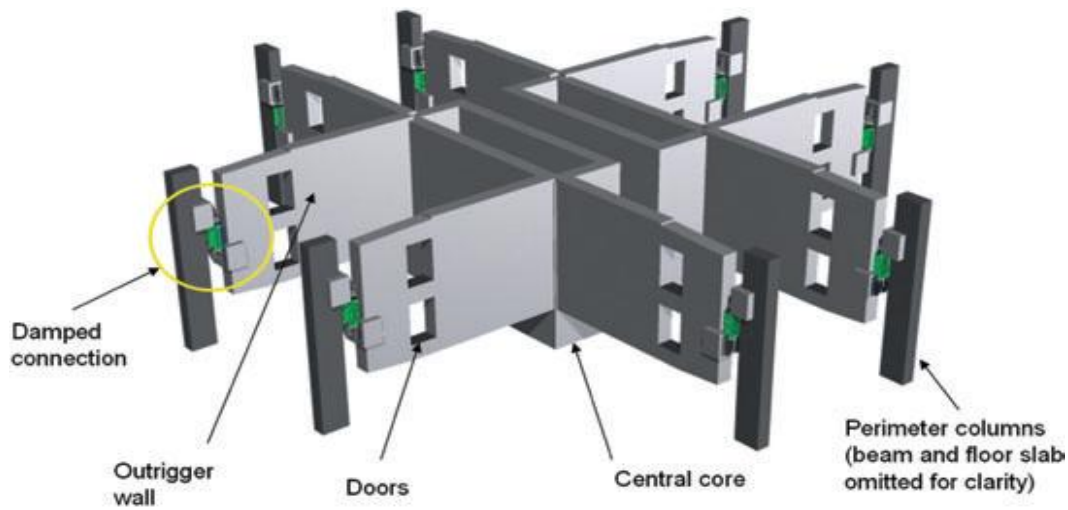


Figure 6. General arrangement of outrigger levels, Smith, and Willford, 2007.

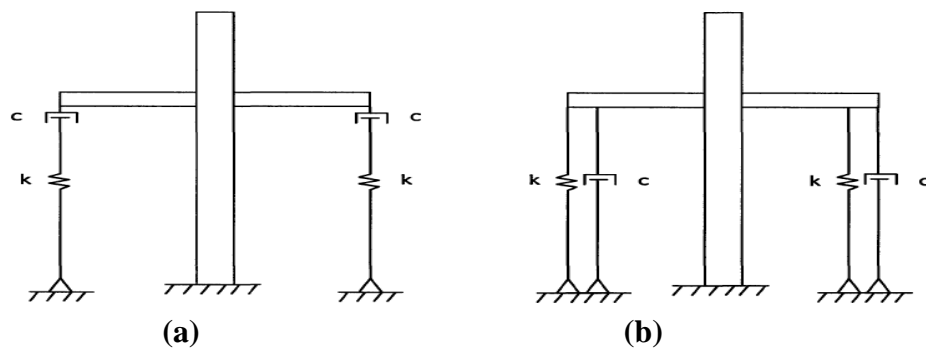


Figure 7. Simplified models of the damped outrigger systems in (a) series (b) parallel, Gamaliel, 2008.

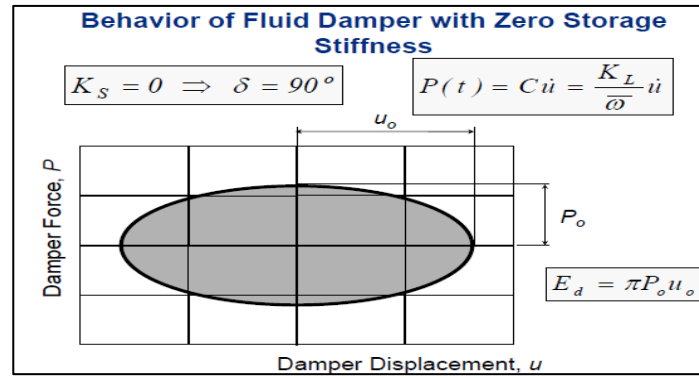


Figure 8. Hysteretic Loop for Viscous Damper

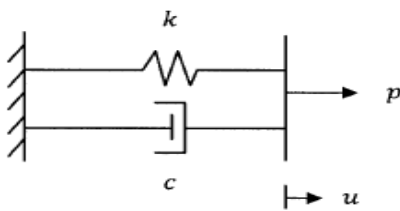


Figure 9. Damper in parallel

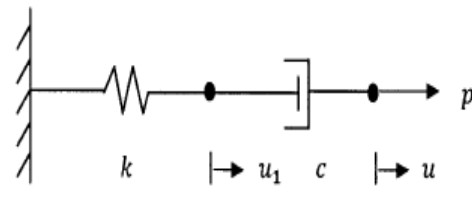


Figure 10. Damper in series

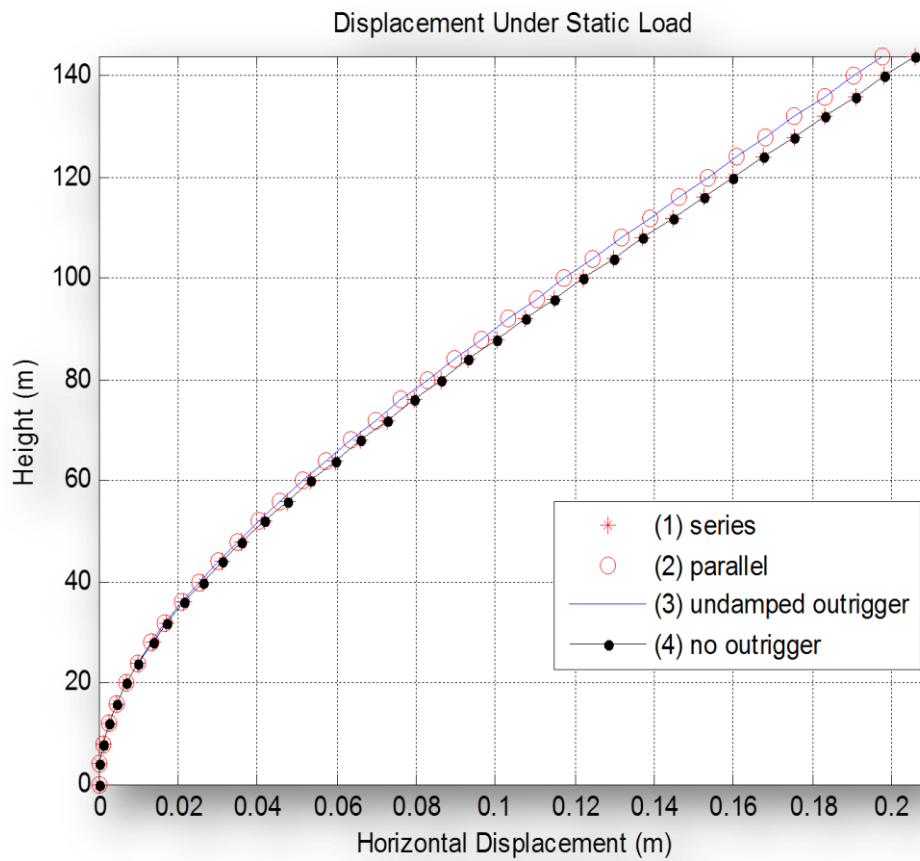


Figure 11. Plot of horizontal displacement profile under static loading.

Table 1. (The values for Δ_x and Δ_a)

Level (from the top)	Δ_x (m) Configuration (1)&(4)	Δ_x (m) Configuration (2)&(3)	Δ_a (m) The allowable drift
36	0.0422	0.0404	0.0800
35	0.0421	0.0404	0.0800
34	0.0420	0.0404	0.0800
33	0.0415	0.0404	0.0800
32	0.0420	0.0403	0.0800
31	0.0420	0.0402	0.0800
30	0.0419	0.0401	0.0800
29	0.0417	0.0400	0.0800
28	0.0415	0.0398	0.0800
27	0.0413	0.0396	0.0800
26	0.0410	0.0392	0.0800
25	0.0406	0.0390	0.0800
24	0.0403	0.0385	0.0800
23	0.0398	0.0380	0.0800
22	0.0392	0.0375	0.0800
21	0.0386	0.0369	0.0800
20	0.0379	0.0361	0.0800
19	0.0371	0.0354	0.0800
18	0.0362	0.0346	0.0800
17	0.0352	0.0338	0.0800
16	0.0342	0.0327	0.0800
15	0.0329	0.0316	0.0800
14	0.0316	0.0303	0.0800
13	0.0302	0.0291	0.0800
12	0.0286	0.0275	0.0800
11	0.0269	0.0260	0.0800
10	0.0251	0.0242	0.0800
09	0.0231	0.0223	0.0800
08	0.0210	0.0204	0.0800
07	0.0188	0.0181	0.0800
06	0.0163	0.0158	0.0800
05	0.0137	0.0134	0.0800
04	0.0110	0.0107	0.0800
03	0.0081	0.0078	0.0800
02	0.0050	0.0048	0.0800
01	0.0017	0.0017	0.0800

Table 2. (The values for φ)

Level (from the top)	F_i (KN)	V_x (KN)	P_x (KN)	φ Configuration (1)&(4)	φ Configuration (2)&(3)
36	1168	1168	12000	0.0197	0.0189
35	1111	2280	24000	0.0201	0.0193
34	1055	3335	36000	0.0206	0.0198
33	1001	4335	48000	0.0209	0.0203
32	948	5283	60000	0.0217	0.0208
31	896	6180	72000	0.0222	0.0214
30	846	7024	84000	0.0228	0.0218
29	796	7820	96000	0.0233	0.0223
28	748	8568	108000	0.0238	0.0228
27	701	9270	120000	0.0243	0.0233
26	656	9925	132000	0.0248	0.0237
25	612	10537	144000	0.0252	0.0242
24	569	11106	156000	0.0275	0.0246
23	528	11634	168000	0.0261	0.0249
22	488	12122	180000	0.0265	0.0253
21	449	12570	192000	0.0268	0.0256
20	412	12981	204000	0.0271	0.0258
19	376	13357	216000	0.0273	0.0260
18	342	13700	228000	0.0274	0.0262
17	309	14008	240000	0.0274	0.0263
16	277	14284	252000	0.0274	0.0262
15	247	14532	264000	0.0272	0.0261
14	219	14741	276000	0.0269	0.0258
13	192	14933	288000	0.0265	0.0255
12	166	15100	300000	0.0258	0.0248
11	142	15243	312000	0.0250	0.0240
10	120	15363	324000	0.0241	0.0232
09	100	15463	336000	0.0228	0.0220
08	81	15545	348000	0.0214	0.0208
07	64	15670	360000	0.0196	0.0189
06	48	15694	372000	0.0176	0.0170
05	35	15715	384000	0.0152	0.0149
04	23	15738	396000	0.0126	0.0122
03	14	15752	408000	0.0095	0.0092
02	6	15759	420000	0.0061	0.0058
01	2	15761	432000	0.0021	0.0021

Recycling of Reclaimed Asphalt Concrete Using Warm Asphalt Mixture and Cationic Emulsified Asphalt

Hussein Hamel Zghair

Assistant Lecturer

Building & Construction Engineering Department, University of Technology/ Baghdad

Email :hussinhamil@yahoo.com

ABSTRACT

Warm asphalt mixture (WMA) and reclaimed asphalt pavement (RAP) are the most memorable sustainable materials in world of asphalt concrete pavements . This research aims to study the warm asphalt mixture for different types of filler materials such as ordinary cement and limestone dust. Beside, this research focused on the test of emulsified asphalt properties by evaluating the performance of warm asphalt mixture by Marshall Stability properties as well as moisture sensitivity. The results of this experiment provided many important points. First, The cationic emulsified asphalt is suitable with RAP aggregate for production warm asphalt mixtures .Second, The effective mixing procedure for warm asphalt mixtures consists heating the RAP aggregate at 100 C° and then mixing with emulsified asphalt. Because of heating of reclaimed asphalt pavement material can improve the dispersion as well as densification significantly. Furthermore, the warm asphalt mixtures containing filler of cement type improved the Moisture sensitivity performance by mean of increasing tensile strength ratio furthermore enhanced Marshall properties .Finally, It was indicated that optimum asphalt content (2.8%) is the best percentage found based on trail mixes ranging from (1.8 to 3.8) %

Key words : warm mix , emulsified asphalt, Marshall stability, indirect tensile strength test.

اعادة تدوير الخرسانة الاسفلتية المستصلحة باستخدام الخلطة الاسفلتية الدافئة والمستحلب الاسفلتي

الكاتيونك

المستخلص

خلطة الاسفلت الدافئة وخرسانة الاسفلت المستصلحة هي المواد المستدامة الأكثر تميزاً في عالم رصف خرسانة الاسفلت. يهدف هذا البحث الى دراسة خلطة الاسفلت الدافئة باستخدام نوعين مختلفتين من مواد المائدة مثل الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي وغبار النورة . بجانب هذا البحث ركز على فحص خواص مادة المستحلب الاسفلتي .وتقيم اداء خلطة الاسفلت الدافئ بواسطة خواص فحص ثباتية مارشال. اثبت النتائج العملية العديد من النقاط المهمة .اولاً ان المستحلب الاسفلتي الكاتيونك كان ملائم مع الخرسانة المستصلحة لانتاج الخلطات الاسفلتية الدافئة .ثانياً ان اسلوب الخلط الملائم لإنتاج خلطة الاسفلت الدافئ تنص على تسخين الركاب المستصلح عند درجة حرارة 100 درجة مئوية وبعد ذلك يتم اضافة المستحلب الاسفلتي وخلطه معه. ان التسخين خرسانة الاسفلت المستصلحة يمكنها من تحسين التشتت وكذلك التكتيف بشكل فعال وعلاوة على ذلك ان الخلطات الاسفلت الدافئ التي تحتوي على نوع الاسمنت كمادة مائدة تحسن اداء الخلطات للحساسية الرطوبة المتمثلة بفحوصات ثباتية مارشال المتبقية ونسبة الشد الغير مباشر وكذلك تمتلك مقاومة عالية لشد الغير مباشر. وأخير ومن خلال عمل العديد من الخلطات التجريبية وجد ان افضل نسب لمحتوى الاسفلت المتبقي الاولي للحصول على افضل نتائج والتي تتراوح (1.8,2.3,2.8,3.3,3.8) % وان افضل نسبة مثالية لمحتوى الاسفلت المتبقي الاولي كانت (2.8) %.

الكلمات الرئيسية :الخلط الدافئ ،المستحلب الاسفلتي ،فحص ثباتية مارشال ،فحص مقاومة الشد الغير مباشر

1. INTRODUCTION

Sustainability is important approach today in engineering world. Warm mix asphalt (WMA) and reclaimed asphalt pavement (RAP) are the most memorable sustainable materials in asphalt concrete pavements. WMA is not a new concept, however new innovations and increased usage of WMA has been spurred by the increased focus on sustainable infrastructure systems.

The RAP, as mentioned earlier, is a deteriorated bituminous mix that contains aged bitumen and aggregates. Hence, its performance is poorer when compared to the fresh mix. The purpose of the bituminous recycling is to regain the properties of the RAP, such that it tends to perform as good as fresh mix. Thus, the process of bituminous recycling involves mixing of the RAP, fresh bitumen, rejuvenators and new aggregates in suitable proportions, **Aravind & Animesh 2006**.

RAP is the primary recycled product of the aged asphalt concrete pavement and its use leads to reductions in virgin aggregate and asphalt demand. However, significant performance issues can stem from the individual integration of WMA or RAP materials in asphalt concrete. Asphalt concrete producers have begun to evaluate sustainable construction practices by adding recycled materials and utilizing new technologies. Therefore, asphalt concrete sustainability in today's society is most readily met through the use of warm mix asphalt (WMA) and reclaimed asphalt pavement (RAP), **Angelo, et al., 2008**.

United States asphalt officials began to take notice of these products and took a European WMA tour in 2002. In 2005, the WMA Technical Working Group was created to introduce these technologies to U.S. asphalt producers and develop preliminary specifications for the allowance of WMA, **Prowell, & Hurley, 2007**. Finally, field trials were conducted over the next few years in many states, NCAT published laboratory results for a number of technologies, and the first WMA International Conference was conducted.

The main objective of Warm mix asphalt is to produce mixtures with similar mechanical properties such as Marshall Stability and indirect tensile strength, durability, and performance characteristics as HMA using substantially reduced production temperatures.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1 Materials Used

The materials used in this research included cationic emulsified asphalt (CSS-1), RAP aggregate, and mineral filler such as ordinary Portland cement, commercially known (Al-mass) and limestone dust (from lime Factory in Kerbala) and the specific gravity for both fillers was (3.14 , 2.73) respectively. The Reclaimed asphalt pavement (RAP) taken and collected from the Baghdad city Kadhimiya road. The specimen of the recycling asphalt pavement was taken using extraction equipment, RAP aggregate extraction and washing to calculate the asphalt content of RAP was (3.8%). The RAP aggregate gradation was verified by the limits recommended by the specification limits for wearing course of the State Corporation for Roads and Bridges in Iraq **SCRB, 2003** except the percentage of filler retained on sieve No. 200. So it has been added to the missing quantity of filler which is (5%) by total weight of RAP aggregate and get the aggregate

gradation within specified limits of aggregate gradation for Iraqi specification for surface course. Where this gradation used is a job mix formula. The RAP gradation is presented in **Fig.1. Table 1. and Table2.** listed the physical properties for RAP aggregate and cationic emulsified asphalt , respectively .

2.2 Warm Mix Design of RAP

In fact, the mix design needs to be an important criterion is as follows:

- ❖ The mix design for RAP and filler material mixes was carried out according to the specification limits of the State Corporation for Roads and Bridges in Iraq (SCRB) was taken as a mid-term between upper and lower limits of aggregate gradation for Iraqi specification for wearing course. Where this gradation used as a job mix formula.

Estimation of Initial Residual Asphalt Content (IRAC) and Initial Emulsified Content (IEC). These estimation done by adopting trial mixes and based on asphalt residual content in RAP. Were these mixes tested for gain some variables such as coating test, mixing and compaction temperature and Marshall properties. Five consecutive percentage were adopted for determine Initial Residual Asphalt Content ranging (1.8,2.3,2.8,3.3,3.8) %. These variables used to verify the mixes practice abilities that were characterized by adequate tests of the above variables. To verify these tests, the initial emulsion content should be considered by total weight of mixture as stated by equation below **Asphalt Institute, 1987, Republic of Indonesia, 1990. :**

$$IEC = \left(\frac{P}{X}\right) * 100\% \quad \dots (1)$$

Where: P =% Initial Residual asphalt Content by mass of' total mixture for percentages (1.8%, 2.3%, 2.8%, 3.3%, 3.8%), X value was (55.3%). The initial emulsified content (IEC) for emulsified type used was calculated from the above equation and the results found as (3.25%, 4.15%, 5.06%, 5.96%, 6.87%) by mass of' total mixture.

- ❖ Asphalt Coating and mixing procedures of WAR mix: Several trials were carried out in order to determine the most suitable mixing procedure that would provide the best coating. All mixing trials were carried out manually in a metal bowl with the aid of a large spatula. The total recommended mixing time was about (5-10) minutes. The temperature degree of mixing of warm mix was (100) C° for obtain on best coating degree between ingredients of mixture. And WMA is produced at temperatures 20 to 55 °C lower than typical hot-mix asphalt (HMA),**Angelo, et al., 2008.**
- ❖ The curing of compacted samples was carried out in two stages:
 - Curing of Compacted Samples for Dry Stability Test. This curing procedure consisted of keeping the newly compacted samples for one day in their compaction molds. Some of the samples were subsequently tested for Marshall Stability and the results obtained were referred to as (dry stability values).
 - other samples applied in water Conditioning After removed molds. In this procedure of each compacted specimen were immersed in water at 60C° for 24 hr. During immersed, the samples

would rest on a bed of coarse aggregate in water pan . The samples were subsequently to be well dried and tested for Marshall Stability results obtained referred as (wet stability values) **Aksoy, et al.,2005**.

3. DENSITY AND POROSITY CALCULATIONS

To determine these properties, the samples were weighed dry in air and when fully saturated in water. Where these values with other known parameter used to calculate (bulk density, Air Voids, V.M.A., and maximum specific gravity of paving mixture **ASTM D2041, D3203**.

4. MARSHALL PROPERTIES

Five different Initial Residual Asphalt content ratios were chosen, (1.8%-3.8%) by total weight of mixtures, were prepared with increment of 0.5% to determine the optimum initial residual asphalt content for each RAP mixture. And the corresponding percentages of initial emulsified content (IEC) (3.25%, 4.15%, 5.06%, 5.96%, 6.87%) by total weight of mixtures. The fifteen specimens were prepared and tested and the optimum emulsified asphalt is found as a percentage by weight of the mixture. Marshall specimens prepared according to **ASTM D6927,2010**. The compaction effort was 150 blows per face using the Marshall compactor to meet the design criteria of air voids that ranging between (3 to 5)%. The compaction effort was conducted according to SCRB for Heavy traffic (75 Marshall Hammer blows) given results that the mixes containing high air voids which exceed the allowable range of air voids for hot mixture about (3-5%). While compaction effort (150 Marshall Hammer blows). Where the air voids percent was within the allowable range of air voids (3-5%). Followed placed the specimens in a water bath at 60 °C for 30 to 40 min. and tested for Marshall Stability and flow, And this represent dry condition . While, wet condition another set of specimens were immersed in water at 60C° for 24 h. then tested for Marshall Stability at 60C°. The Marshall Stability and flow results obtained were referred as wet stability. The ratio of wet to dry condition referred as retained stability is required for mixtures that containing different percentages of initial residual asphalt content a minimum of three samples are required for each percent, **Aksoy, et al.,2005**.

5. CRITERIA DETERMINE OF OPTIMUM INITIAL RESIDUAL ASPHALT CONTENT (OIRC)

The OIRC is determined based on the main parameters namely: dry Stability, Bulk Density, Air voids, Furthermore Flow and V.M.A values must be evaluated with specifications. All parameters shall be plotted in graphical format versus the residual asphalt Content .

Based on **Fig. 2** For bulk density, **Fig. 3** for air voids and **Fig. 5** for stability it can be conducted that the optimum percentage of initial emulsified asphalt content is (5.06%) and Initial Residue asphalt Content is (2.8%).

6. THE INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS) TEST

In the indirect tensile strength test, a cylindrical sample is subjected to compressive loads along two generators which creates tensile stresses perpendicular to and along the diametric plane causing a splitting failure. Testing is carried out **ASTM D4867**. The test is normally carried out were the first subset was tested in a dry condition (soaked in water for 2 hours at 25 °C).The

second subset was tested in wet condition were inundated for 24 hours at 60 C° followed by 25 C° for 2 hours in water bath. All specimens are tested to determine their indirect tensile strengths using a Marshall loading frame fitted with 12.5mm wide concave surface loading strips below and above the Marshall sample and the rate of loading is the same as in the Marshall Stability test, i. e. 50.8 mm per minute , and total number of samples are 15 sample for optimum initial residual asphalt content (%) with different types of filler. The ITS value is calculated using the following formula:

$$ITS = \frac{2P}{\pi \cdot t \cdot d} \quad \dots \quad (2)$$

Where:

ITS = indirect tensile strength (kPa); Pmax = maximum load at failure (N); t= thickness of sample (mm); d= diameter of sample (mm).

The evaluation of moisture induced damage can be made by determining the Tensile Strength Ratio (T.S.R) as follows:

$$T.S.R = \frac{ST \text{ of conditioned (wet) specimen}}{ST \text{ of unconditioned dry specimen}} \quad \dots \quad (3)$$

7. RESULTS AND DISCUSSION

The bulk density of warm asphalt mixture obtained at various initial residual asphalt contents as shown in **Fig.2**. It can be seen that as the emulsified asphalt content increases the bulk density also increases until maximum is reached. The maximum value is obtained at 2.8 percent binder content. Possible way to explain the bulk density trend to binder content for warm asphalt mixture follows the same trend observed for hot asphalt mixture, which show increasing with increase the percentage of initial the, also the result is showing of reduction in the volume and increasing in weight of sample and that mean increasing density. And after certain percentage which known an optimum percentage ,the asphalt material which starting to form film with much thickness which leading to reduce the contact distance between aggregate particles and that resulting increase the volume of the sample which means decreasing in sample density ,**Garber& Hoel 2009**.

Fig.3 shows that, as the binder content increases, the air voids decrease rapidly, up to a certain percentage of binder content. The relations between air voids and binder content follows the same trends observed for hot asphalt mixtures. It may be explained by the fact that as more binder is added into the matrix more voids are filled with binder and therefore the percentage of air voids decreases. In general, the range of air voids percent for hot asphalt mixture about (3-5) %. And air voids values of mixtures with cement filler type are slightly lower than the mixtures with limestone dust filler type. The reduction in air voids is due to the cement particles filling up more of the void space available in the mixture due to fineness of cement particles, increasing packing, and therefore reducing porosity. Therefore the hydration process for cement and developed hydration products would be filled the air voids in mixture and that will be reduced.

Fig.4 show that, initially, as the binder content increases, the V.M.A voids decrease rapidly, up to a certain percentage of binder content and then begins to rises with increasing binder content. It may be explained by the fact that as more binder is added into the matrix more voids are filled with binder and therefore the percentage of air voids decreases. But for any further increase in binder overfills the system, destroys the maximum packing and hence the VMA increases .

Fig. 5 Show that the dry Marshall stability increases continuously as the binder content increases up to a certain percentage of binder content and after this point the stability dropping down with increment of binder content. The difference in dry stability within mixtures with regard to added binder content can be principally attributed to the degree of coating, since all the other factors which might influence the dry stability were kept constant, i. e. compaction level, type of binder and aggregate gradation. As the percentage of emulsified asphalt content was increased, the rate of setting of the emulsified was reduced and hence the coating of the aggregates was improved. The slow rate of setting results in a better distribution of binder and a reduction in the number of uncoated aggregates both of which contribute towards better stability. Although an increase in the amount of emulsion content improves the coating of the aggregate and results in better dry stability, an excessive amount of emulsion content will produce a very wet mix which has two distinct disadvantages. These are the prolonged curing time. The wetter mixtures will certainly require longer time for the water to evaporate in order to reach certain content for compaction, and consequently a longer time for the emulsion to break completely. And **Fig. 5** shows that the dry Marshall stability for mixtures with filler of cement type was higher than that of the mixtures with filler limestone dust type. The increase in dry Marshall stability for mixtures with filler of cement type can be attributed to the cement would reacted with water available in emulsion at first hours from mixing of mixture and developed hydration products which would reducing porosity and increasing the bond cement between cement and emulsion (cohesion and adhesion) and increasing the stiffness and rigidity of mixtures. Therefore, consuming water available in emulsified at first hours from mixing of mixture by evaporation and hydration process would accelerated the gain of strength for mixture at age of test , and this does not occur with the mixtures with filler of limestone dust type. Thus the dry Marshall stability for mixtures with cement type of filler is higher than that of mixtures with limestone dust type of filler at age test.

The wet stability continues to increase as the binder content increases until a maximum is reached. The maximum value is obtained at 2.8 percent residue binder content (5.06 percent initial emulsion content) and the wet stability continues to decrease as the binder content increases, and that can be attributed to the effect of moisture on mixture and causing prevented the evaporation water from mixture, delay the curing process and developed strength of mixture at early age. Thus the wet stability continues decrease as the binder content increases after reached a maximum at the optimum asphalt emulsion content as show in **Fig.6**. The variability of the low wet stability values is attributed to the fact that the specimens, the immersion period capillary soaking, absorbed an appreciable amount of water. The absorbed water may have penetrated between the binder film, and the aggregate surface, causing a reduction in the bonding and adhesion between the aggregate particles. According to that it is found that the wet stability for mixtures with filler of cement type is higher than the mixtures with filler of limestone dust

type at age test. This is due to the mixtures with cement filler having good bond (cohesion and adhesion) between ingredients of mixture, as compared with mixtures containing limestone dust as filler. Also, and due to hydration process and developed hydration products which fill the pores and hence binding the ingredients of mixture. So that mixtures will be with air voids and water absorption values lower than that for mixtures with limestone dust type of filler. Thus the effects of moisture on mixtures with cement filler lower than the mixtures with limestone dust filler at age test.

Fig.7 Show that the retained stability increases as the binder content increases until a maximum is reached at the last percent of binder. The retained stability for mixtures with filler of cement type is higher than the mixtures with filler of limestone dust type. This can be interpreted to the low difference between dry stability and wet stability, so represented the little moisture effect on mixtures with cement type of filler due to hydration process and developed the products of hydration to fill air voids and reducing water absorption.

The Flow values for warm asphalt mixtures are represented in **Fig.8** it is found that the flow values started to increase with increasing of binder content until reached to maximum value at the higher percentage of binder. Also it can be noted that the flow values for mixtures with filler of cement type is lower than that for mixtures with limestone dust filler. This can be attributed to the high rigidity, stiffness and low air voids of mixtures with cement filler and this improves the flow values in general.

Fig.9 shows that the Dry Indirect Tensile Strength for mixtures with filler of cement type is higher than that for mixtures with filler of limestone dust type. This is due to the high rigidity, stiffness, higher density and low air voids of mixtures containing cement filler.

Fig. 10 show that the Wet Indirect Tensile Strength for mixtures with cement filler is higher than that for mixtures with limestone dust filler. This behavior is attributed to the low air voids of warm asphalt mixture with cement filler leading to low water absorption. Therefore, the moisture effects on mixtures with filler of cement type are lower than that for mixtures with filler of limestone dust type. And that can be attributed to the cement which reacts with water available in emulsion content at first hours from mixing of mixture and developed hydration products which would reduce porosity and increasing the bond cement between cement and emulsion (cohesion and adhesion) and increasing the stiffness and rigidity of mixtures with filler of cement type. As a result of the consuming water that available in emulsion by evaporation and hydration process, the gain strength of mixtures is accelerated. This did not occur for mixtures with filler of limestone dust type.

Fig. 11 shows that the Indirect Tensile Ratio for warm mixtures with filler of cement type was higher than the mixtures with filler of limestone dust type. Consequently, Indirect Tensile Strength for warm asphalt mixture is found to be increased with decreasing air void content in a similar behavior that occurs with the hot asphalt mixture.

8. CONCLUSIONS

1. The cationic emulsified asphalt slow setting low viscosity (Css-1) is very suitable with RAP for production warm asphalt mixtures .
2. From many trial mixes it is found that the best range percentages of initial residual asphalt content to produce adequate results for coating test ,mixing ,compaction , and Marshall stability are ranged from (1.8% to 3.8%). And hence the optimum percentage is (2.8%).
3. The effective mixing procedure for warm asphalt mixtures consists of heating the RAP aggregate at 100 C° and then mixing with emulsified asphalt .This procedure produces appropriate coating degree for compositions of warm asphalt mixture .
4. The compaction procedure required to obtain air voids within allowable range (3-5) % is about 150 blows for each face Marshall Sample for warm asphalt mixture.
5. The warm asphalt paving mixture is suitable to Iraqi environmental conditions because of reducing of temperatures for mixing and compaction.
6. Results obtained from dry Marshall Stability test indicate that stability is gradually increasing with increases in initial residual asphalt content and after specific percentage it was decreasing. Maximum Marshall Stability obtained for mixtures with cement filler is 13.6kN and 11.2kN for mixtures with limestone dust filler.
7. Generally, it is believed that the warm asphalt mixtures containing filler of cement type having indirect tensile strength higher than that for warm asphalt mixtures containing filler of limestone dust type.

REFERENCES

- Aravind K. and Animesh Das , 2006, *Bituminous Pavement Recycling* ,Department of Civil Engineering ,IIT Kanpur.
- Aksoy A, Samiloglu K, Tayfur S, Ozen H. ,2005, *Effects of various additives on the moisture damage sensitivity of asphalt mixtures*, Constr Build Mater.
- Angelo, J. D, et al., 2008, *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. FHWA Report No. FHWA-PL-08-007.
- ASTM C127, 2001,*Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*, Annual Book of Standards American Society for Testing and materials, Vol.04.02.
- ASTM C131, 2001,*Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*, Annual Book of Standards American Society for Testing and materials, Vol.04.02.

- ASTM C128, 2001, *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.02.
- ASTM D244, 2008, *Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D2397, 2008, *Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6997, 2012, *Standard Test Method for Distillation of Emulsified Asphalt*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6934, 2008, *Standard Test Method for Residue by Evaporation of Emulsified Asphalt*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6933, 2004, *Standard Test Method for Oversized Particles in Emulsified Asphalts (Sieve Test)*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6935, 2010, *Standard Test Method for Determining Cement Mixing of Emulsified Asphalt*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6930, 2010, *Standard Test Method for Settlement and Storage Stability of Emulsified Asphalts*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D6927, 2014, *Standard Test Marshall Stability*, Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03.
- ASTM D2041 .2013, *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*
- ASTM D3203. 2012, *Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures*
- ASTM D 4867," *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures*", Annual Book of Standards American Society for Testing and Materials, Vol.04.03, 2004.
- Ministry of Public Works Republic of Indonesia, 1990, *Paving Specifications Utilizing Bitumen Emulsions*, Jakarta.

- Garber Nicholas J., Lester A. Hoel.2009, *Traffic and Highway Engineering*", Fourth Edition, University Of Virginia, pp.974-980.
- Prowell, B. and Hurley, G.C. ,2007, *Warm-Mix Asphalt: Best Practices*. National Asphalt Pavement Association Quality Improvement Series 125. Lanham, MD.
- State Organization for Roads and Bridges,2003 ,*Hot Asphaltic Concrete Pavement, Iraqi Standard Specification*, Ministry of Housing and Construction, Department of Design and Study, Section R9.
- The Asphalt Institute, 1987, *Asphalt cold-mix manual*, Manual Series No. 14 (MS -14), Third Edition, Lexington, KY 40512 - 4052, USA.

Table 1 Physical properties of aggregates

Property	ASTM Designation	Test Results	SCRB Specification(2003)
<u>Coarse Aggregate :</u>			
1.Bulk Specific Gravity	C-127	2.63	.....
2.Apparent Specific Gravity	C-127	2.65	.....
3.Water Absorption,%	C-127	0.41	.....
4.Percent Wear by Los Angeles Abrasion ,%	C-131	12	35 Max
<u>Fine Aggregate :</u>			
1.Bulk Specific Gravity	C-128	2.64	.....
2.Apparent Specific Gravity	C-128	2.67	.....
3.Water Absorption,%	C-128	0.43	.....

Table 2. Physical Properties of cationic emulsified asphalt slow setting low viscosity (CSS1).

Test	ASTM Designation (D244)	Test Result	Specification Limits (D2397) for CSS-1	
			Min.	Max.
Particle Charge Test	D244	positive	positive	
Viscosity, Saybolt Furol at 25°C	D244	26	20	100
Residue by Distillation, %.	D6997	55.3	57	.....
Residue By Evaporation	D6934	54.9	50	70

Sieve Test,%	D6933	0.02	.....	0.10
Cement mixing test, %	D6935	0.732	.....	2.0
Settlement Test,5day,%	D6930	0.1	0	1
1 Day Storage stability test, %	D6930	0.04	0	1
Tests on Residue				
Penetration, 25°C (77°F), 100 g, 5 s	D5	133	100	250
Ductility, 25°C (77°F), 5 cm/min,	D113	185	40	.....
Solubility in trichloroethylene, %	D2042	99	97.5	.....
Specific Gravity at 25°C	D70	1.02		



Plate 1. Sample Arrangement for ITS Test Using Marshall Stability Loading Frame.

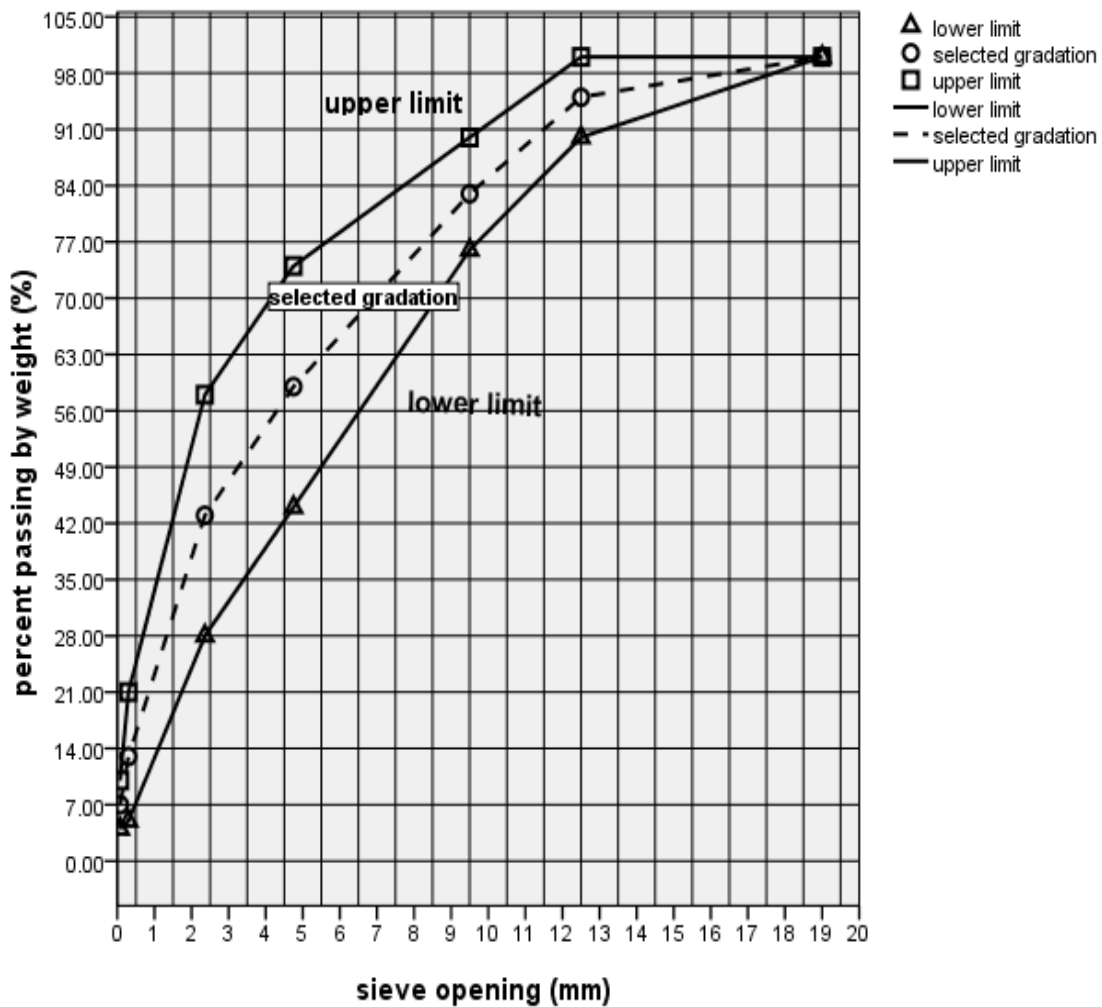


Figure 1. RAP aggregate gradation chart for wearing course.

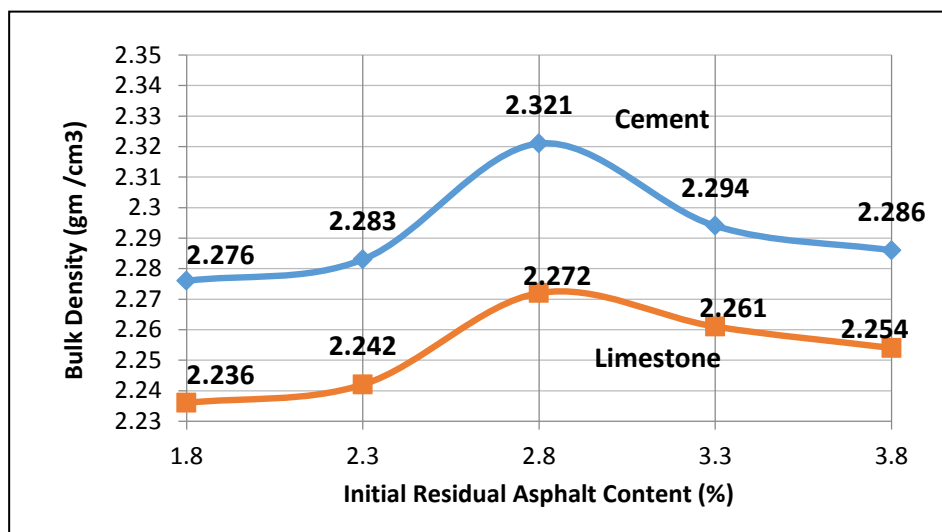


Figure2. Bulk density with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

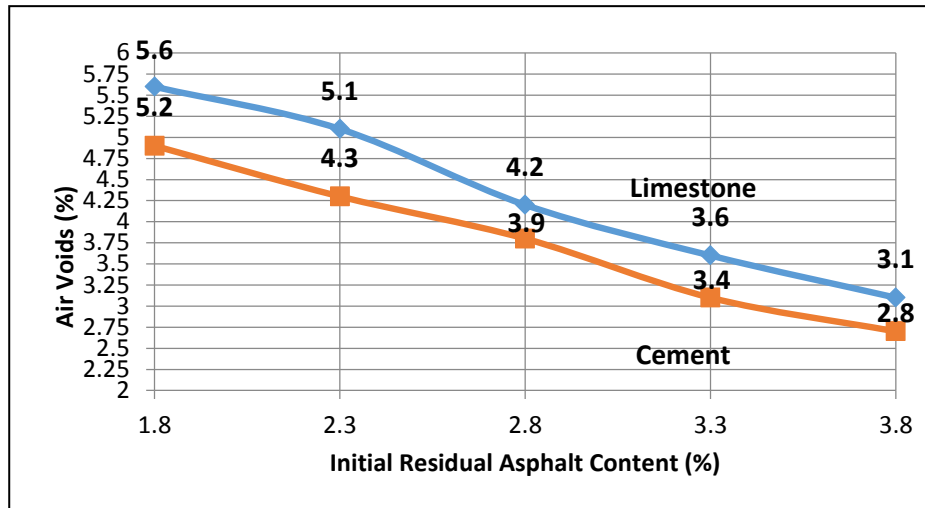


Figure3. Air voids with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

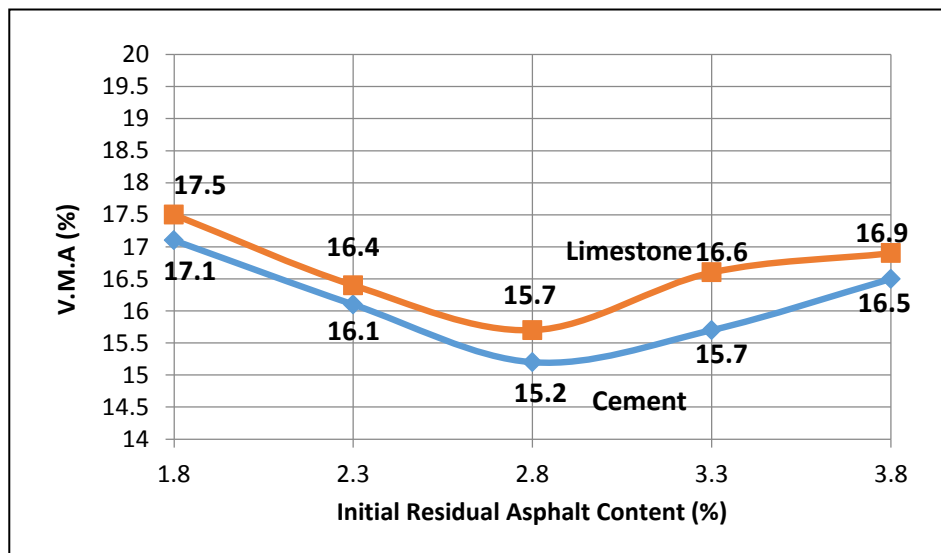


Figure 4. V.M.A% with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

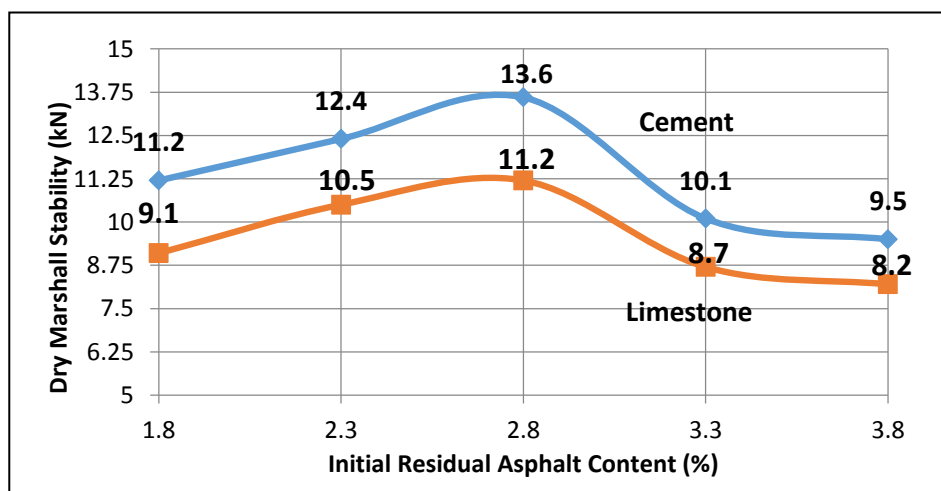


Figure 5. Dry marshall stability with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

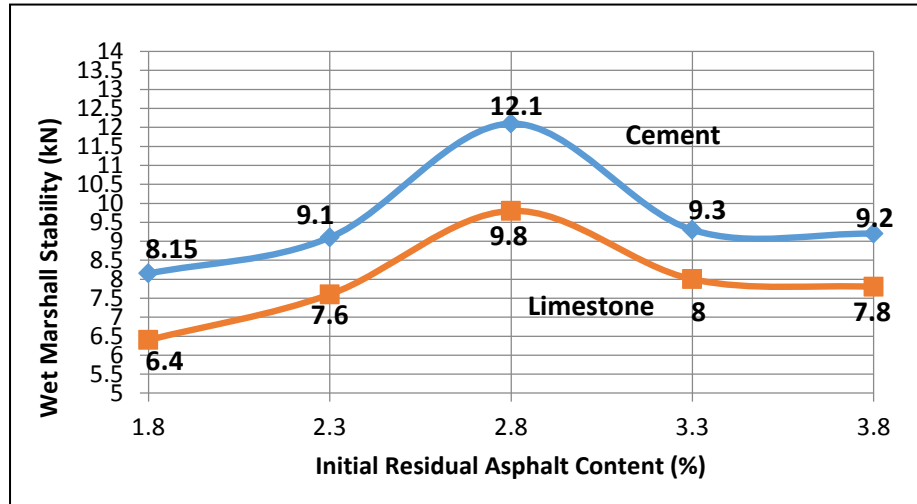


Figure 6. Wet Marshall stability with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

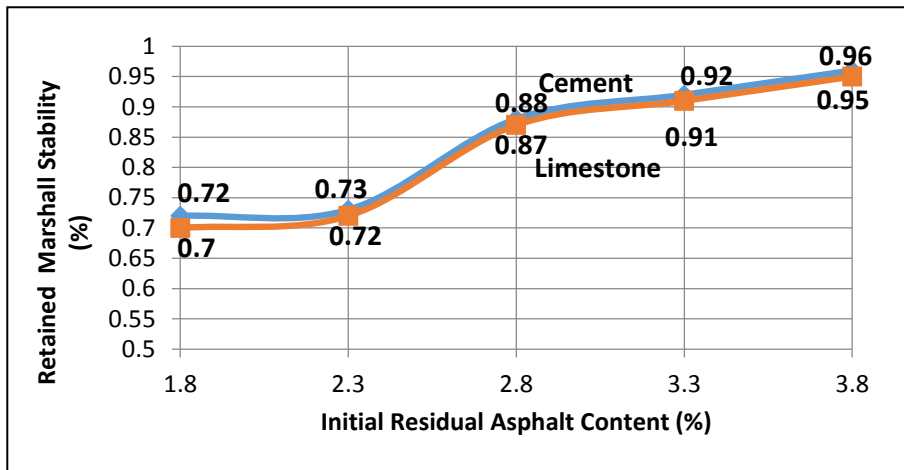


Figure 7. Retained Marshall Stability with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

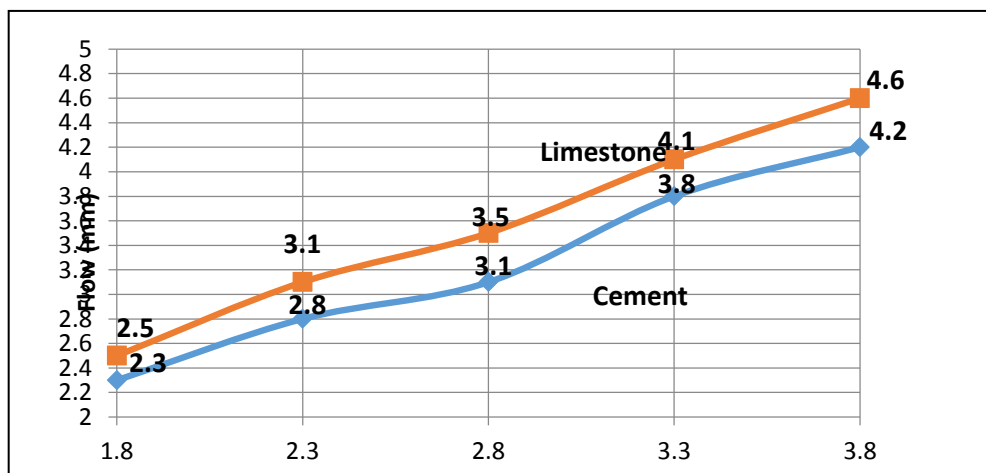


Figure 8. Flow value with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

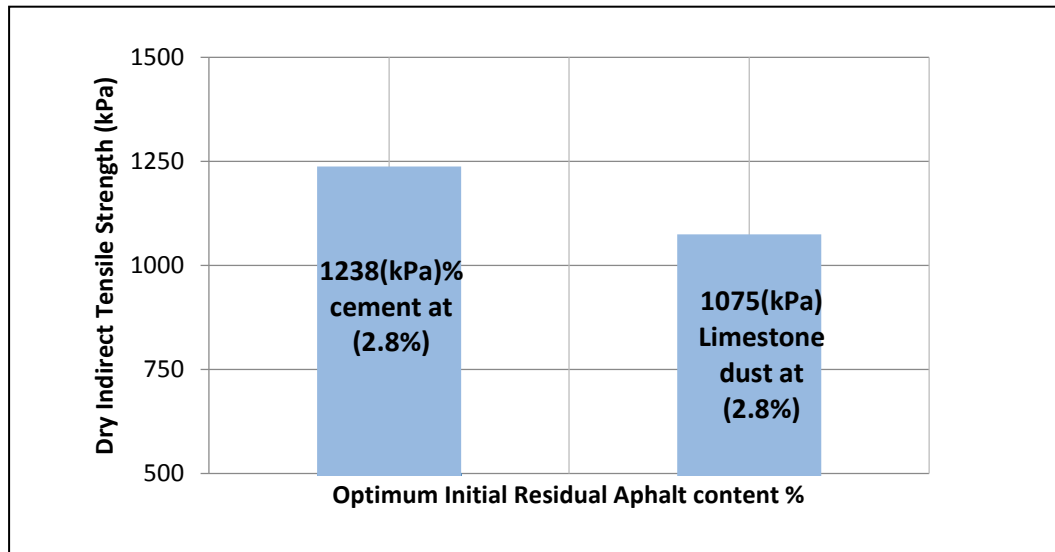


Figure 9. Dry indirect tensile strength (kPa) with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

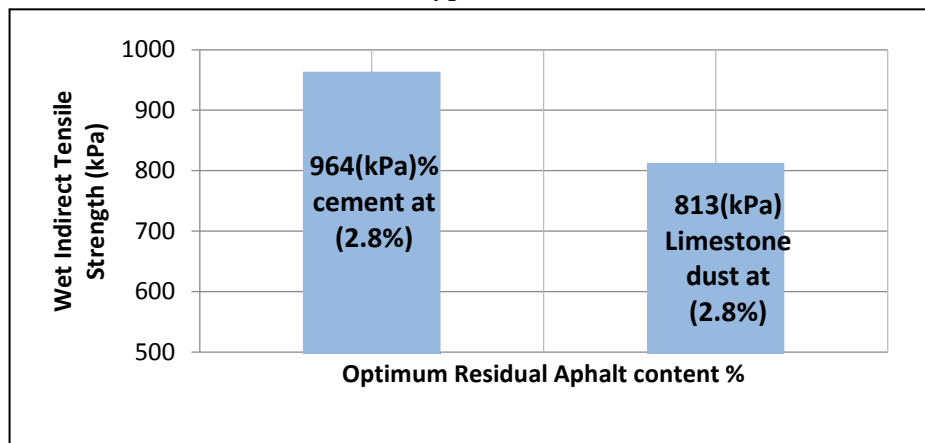


Figure 10. Wet indirect tensile strength (kPa) with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

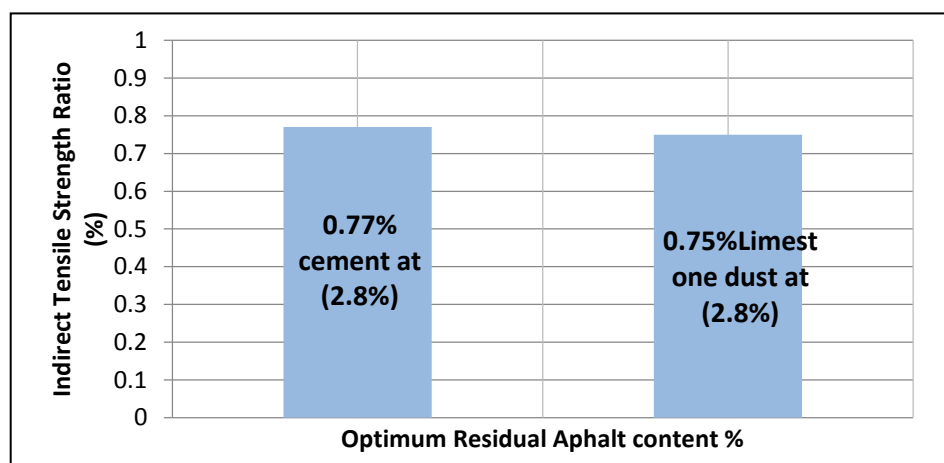


Figure 11. Indirect tensile strength ratio with initial residual asphalt content (%) for different types of filler.

Entropy Generation of Shell and Double Concentric Tubes Heat Exchanger

Basma Abbas Abdulmajeed

Assistant Professor

College of Engineering-University of Baghdad

basma1957@yahoo.com

Zena Fallah Abdulah

M.Sc. Student

College of Engineering-University of Baghdad

zenafallah@yahoo.com

ABSTRACT

Entropy generation was studied for new type of heat exchanger (shell and double concentric tubes heat exchanger). Parameters of hot oil flow rate, temperature of inlet hot oil and pressure drop were investigated with the concept of entropy generation. The results showed that the value of entropy generation increased with increasing the flow rate of hot oil and when cold water flow rate was doubled from 20 to 40 l/min, these values were larger. On the other hand, entropy generation increased with increasing the hot oil inlet temperature at a certain flow rate of hot oil. Furthermore, at a certain hot oil inlet temperature, the entropy generation increased with the pressure drop at different hot oil inlet flow rates. Finally, in order to keep up with modern technology, infrared thermography camera was used in order to measure the temperatures. The entropy generation was determined with lower values when infrared thermography camera was used to measure the temperatures, compared with the values obtained by using thermocouples.

Key Words: entropy, entropy generation, heat exchangers, concentric tubes.

العشوائية المتولدة لمبادل حراري من نوع الغلاف والأنابيب المزدوجة المتحدة المركز

زينة فلاح عبد الله

طالبة ماجستير

كلية الهندسة-جامعة بغداد

بسمه عباس عبد المجيد

أستاذ مساعد

كلية الهندسة-جامعة بغداد

الخلاصة

لقد درست العشوائية المتولدة لنوع جديد من المبادلات الحرارية (المبادل الحراري ذي الغلاف والأنابيب المزدوجة المتحدة المركز). تمت دراسة تأثير كل من معدل جريان الزيت الساخن، ودرجة حرارة الزيت الداخل للمبادل الحراري والهبوط في الضغط مع مقدار العشوائية المتولدة. أظهرت النتائج أن قيمة العشوائية المتولدة زادت مع زيادة معدل تدفق الزيت الساخن. وعندما تضاعف معدل جريان الماء البارد من 20-40 لتر/دقيقة، كانت هذه القيم للعشوائية المتولدة عالية. من ناحية أخرى، ارتفعت قيمة العشوائية المتولدة مع زيادة درجة حرارة الزيت الداخل للمبادل الحراري عند معدل تدفق معين من الزيت الساخن. علاوة على ذلك، عند درجة حرارة معينة للزيت الداخل للمبادل الحراري، فإن العشوائية المتولدة إزدادت بزيادة انخفاض ضغط الزيت عند معدلات تدفق مختلفة للزيت الساخن. وأخيراً، من أجل مواكبة التكنولوجيا الحديثة، تم استخدام كاميرة حرارية تعمل بالأشعة تحت الحمراء لقياس درجات الحرارة، حيث تم تحديد قيم للعشوائية المتولدة منخفضة عندما استخدمت الكاميرة الحرارية لقياس درجات الحرارة، مقارنة مع القيم التي تم الحصول عليها باستخدام المتحسسات الحرارية الإعتيادية.

الكلمات الرئيسية: العشوائية، العشوائية المتولدة، المبادل الحراري، الأنابيب المتحدة المركز.

1. INTRODUCTION

As a result of the worsening global crisis of energy, attention to the heat transfer enhancement has increased significantly, taking into account that heat transfer represents about 80% of total energy consumption, **Qian and Li, 2011**.

With the increasing decline in energy sources, to use energy in the correct way is one of the important ways to face the growing requirements for energy. One of thermal system devices is heat exchanger and it is used extensively in many fields of industry such as power engineering, petroleum refineries, chemical industries, and so on. So in this sense, it is important to develop ways for decreasing unnecessary dissipated energy and improving the performance of heat exchanger by optimizing their design. This may be done by either reducing their cost or reducing irreversibility within heat exchanger. That's why some of the different methods and theories that have been developed to optimize heat transfer, such as the constructed theory, **Bejan, 1997**, and the minimum entropy generation, **Bejan, 1982** and the entransy theory, **Guo et al., 2007**.

Two important functions in thermodynamics are considered, the concepts entropy and entropy generation. These two concepts are used to estimate the irreversibility of process and optimizing heat transfer based on the premise that the minimum entropy generation (MEG) will lead to the most efficient heat transfer performance, **Chen Q. et al., 2011**.

Optimization of heat transfer based on minimum principle of entropy generation was conducted by many researchers, **Poulikakos and Bejan, 1982** and **Erek and Dincer, 2008**. **McClintock, 1951**, was the first who proposed the entropy generation minimization and he developed equations for optimum design of fluid passages for a heat exchanger.

In 1854 Clausius investigated the Carnot cycle (heat-work conversion). The concept of entropy was introduced, **Zhao and Luo, 2002**. It was defined based on the reversible cycle of the Carnot engine. In thermodynamics, entropy was commonly understood as a measure of disorder. It was a measure of the irreversibility of process and a criterion describing the thermal equilibrium of a system.

In non-equilibrium state of system the thermal gradient between two media results in entropy generation. It is produced in any irreversible process. Over a physical process; system will lose more ability to do work as more entropy generation is, **Zhao and Luo, 2002**. According to this consideration, entropy generation was used to optimize or analyze the thermodynamics processes to improve the performance of thermodynamic systems, **Chen et al., 2010 and Myat et al., 2011**.

Kim and Kim, 2015, investigated the effect of entropy generation and entransy dissipation on the optimal design of heat exchanger in both cases of parallel and counter flow. They determined the relation of entropy generation according to several assumptions, where the "heat exchanger is a control volume and the surface is adiabatic", as in Eq.(1).

$$S_g = C_h \ln \left(\frac{T_{ho}}{T_{hi}} \right) + C_c \ln \left(\frac{T_{co}}{T_{ci}} \right) \quad (1)$$

On the other hand, **Cheng et al., 2012**, developed the expression of entropy generation for a multi-stream heat exchanger with several assumptions that "the fluids in the heat exchangers are incompressible, the influence of the viscous dissipation on the entransy could be ignored, and there was no heat exchange between the heat exchangers and the environment". The expression of this physical quantity is presented below in Eq.(2).

$$S_g = \sum_{i=1}^n c_i m_i \ln \frac{T_{out-i}}{T_{in-i}} \quad (2)$$

Additionally, entropy generation was used to measure the irreversibility for any irreversible process, while the concept of irreversibility as a result to finite temperature difference and fluid friction in heat transfer processes was presented by **Bejan, 1977, 1996**. Also the expression of entropy generation for heat and fluid flows was improved by the same author **Bejan, 1982 and 1996**. As well as the entropy generation minimization method was utilized by **Ahmadi et al., 2011** to optimize a cross-flow plate fin heat exchanger. In the analysis of an absorption chiller, **Myat et al., 2011** found that maximum coefficient of performance (COP) can be obtained through the minimization of entropy generation.

The main goal of this research will be to study the entropy generation with flow rate of inlet hot oil, temperature of inlet hot oil, pressure drop of both hot oil and cold water and flow rate of inlet cold water. From the response of entropy generation at different operating conditions, the efficiency of heat transfer will be investigated to ensure minimum energy consumption and reduction of operating costs.

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1 Description for the Parts of the Unit

A tank of 250 liters was used as a supplier for the cold water, which is pumped by single stage centrifugal pump passing through a flow meter to measure its flow rates. The outlet cooling water was collected in a vessel of 100 liters to measure its temperature using a portable thermocouple, where the water was drained to the sewage. On the other side, a cubical tank (reheater tank) supplied with two electrical heaters was used to heat the oil to the desired temperature controlled by thermostats equipped with the two heaters and measured by thermocouple. A centrifugal pump was used to pump the hot oil through the flow meter where the flow was controlled by gate valves. The outlet hot oil leaving the heat exchanger was collected in a 200 liters tank where the temperature was measured using a thermocouple. Six pressure gauges were used to measure the pressure for the fluids streams. Two pressure gauges were used for the inlet and outlet streams of cold water, the other four gauges were used for the inlet and outlet streams of hot oil, two of them for hot oil flow through the shell and the others for the hot oil flow through the inner tubes.

2.2 Heat Exchanger Description

Fadhil, 2013 was used the shell-and-double concentric tubes heat exchanger instead of the conventional one, where the tube was replaced with double concentric tubes, **Fig.2**. This will improve the heat transfer through an additional flow passage which gives larger heat transfer area. The hot oil flow through the shell and the inner tubes sides while the cold water flow through the annulus side.

2.3 Experimental Procedure

The two heaters were switched on for heating oil to the required temperature 50, 60, 70 and 80°C. After that the hot oil was pumped to the shell side and the inner tubes side in the heat exchanger after controlling the flow rate to its desired value 15, 25, 35 and 45 l/min.

The cold water was pumped in the annulus side at the same time with the hot oil to the desired flow rate 20 and 40 l/min. At steady state, the temperatures and pressures were constantly measured during the flow rate variation. The results were analyzed for the different conditions.

Infrared thermography camera (Thermo Gear G100EX/G120EX) was used to measure the temperatures of fluids in the system, **Fig.3**. The results obtained from the

Infrared thermography camera were analyzed and compared with the results obtained by using thermocouples.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Parameters Effect on Entropy Generation in Heat Exchanger

3.1.1 Effects of heated oil flow rate

Entropy generation of oil with different oil flow rates at different oil inlet temperatures 50, 60, 70, and 80°C are shown in the **Fig.4**. It was noticed from the figure that by increasing the oil inlet temperature the entropy generation increases.

The figure shows that the absolute value of entropy generation of oil increases with increasing the flow rates of hot oil 15, 25, 35, and 45 l/min at a certain hot oil inlet temperature. This is true since the entropy generation is caused from the fluid friction and heat transfer, so by increasing the flow rate of hot oil, this causes an increase in the generation of entropy, **Asadi and Tabrizi, 2014**.

3.1.2 Effects of heated oil inlet temperatures

Entropy generation of oil was tested for different hot oil inlet temperatures. The conditions for inlet cold water are 20°C temperature and 20 l/min flow rate. Entropy generation was investigated for different hot oil inlet temperatures 50, 60, 70 and 80°C and at different hot oil flow rates 15, 25, 35 and 45 l/min as seen in **Fig.5**. The figure shows that entropy generation of oil increases with increasing temperature at a certain flow rate of oil. This is in agreement with the results obtained by **Kim and Kim, 2015**. where the entropy generation increases with increasing the inlet temperature. Also, the figure shows that by increasing the hot oil inlet flow rate the entropy generation increases. The reason behind this increase is caused by the high flow rate of the hot stream resulting in high convective heat transfer.

3.1.3 Effects of heated oil pressure drop

The relation between entropy generations of oil with pressure drop at different hot oil inlet temperatures 50, 60, 70, and 80°C were also studied and shown in **Fig.6**. Curves in the figure show that at a certain hot oil inlet temperature, the entropy generation increased with the pressure drop at different hot oil inlet flow rates, but there is no different in the value of the pressure drop at a certain inlet hot oil flow rate.

3.1.4 Effects of cold water flow rate

To investigate the effects of cold water flow rate on the values of entropy Generation, the experiments were repeated for a double flow rate of cold water 40 l/min. Results of comparison between the entropy generation of oil for different oil inlet flow rates at a certain hot oil temperature for both 20 and 40 l/min cold water flow rates illustrated in **Fig.7**. The results show that when 40 l/min cold water flow rate was used the values of entropy generation is larger compared with the values of entropy generation obtained when 20 l/min cold water flow rate was used.

3.2 Infrared Thermography Camera Results

In order to keep up with modern technology, infrared thermography camera was used in order to measure the temperatures of hot oil and compare these results with the results that were obtained when using the conventional thermocouples.

The experiments were repeated with different hot oil flow rate 15, 25, 35, and 45 l/min and 20 l/min cold water flow rate. The oil outlet temperatures were obtained using

infrared thermography camera and the data are illustrated in the **Table 1**. Images of temperature distributions for inlet and outlet paths of oil when hot oil passes at 35 l/min are presented in the **Fig.8**. The color gradients in the images of **Fig.8** represents the temperature distribution in the units. As it can be seen, the intensity of the color gradients is more when the inlet temperature of oil was 80°C. Other image of temperature distribution for the whole heat exchanger can be seen in the **Fig.9**.

The comparison between the entropy generations for the different techniques i.e. the infrared thermography camera and conventional thermocouples is shown in **Fig.10**. The figure shows that for different hot oil inlet flow rates 15, 25, 35, and 45 l/min at certain hot oil inlet temperatures 50, 60, 70, and 80°C, the values of entropy generation obtained from using infrared camera in some points were lower than these values obtained from using conventional thermocouples. This is because that the temperatures obtained by infrared camera were higher than the temperatures obtained by the thermocouples, and according to equation of entropy generation, Eq.(2), as the value of outlet temperature increases, the value of entropy generation decreases. This may be related to the accuracy of the camera and the temperatures can be measured in the real time.

4. CONCLUSIONS

Entropy generation was studied for new type of heat exchanger (shell and double concentric tubes heat exchanger). The relation between entropy generation and hot oil inlet flow rate, temperature of inlet hot oil and pressure drop of oil were studied and the results showed that the entropy generation of oil increases with increasing the flow rate of hot oil. Furthermore, entropy generation of oil increased with increasing the hot oil inlet temperature at a certain flow rate of inlet hot oil. Also, the results showed that there is no change in the pressure drop at a certain hot oil flow rate, but with increasing the hot oil inlet temperature the entropy generation increases. On the other hand, when the cold water flow rate was doubled the entropy generation of oil increased with increasing of the hot oil inlet flow rate and the values of entropy generation are higher. Finally, the entropy generation was determined with lower values when infrared thermography camera was used to measure the temperatures, compared with the values obtained by using thermocouples.

REFERENCES

- Ahmadi, P., Hajabdollahi, H., and Dincer, I., 2011, *Cost and Entropy Generation Minimization of a Cross-Flow Plate Fin Heat Exchanger Using Multi-Objective Genetic Algorithm*, Journal of Heat Transfer, Vol. 133, PP. 021801-1.
- Asadi, M., and Tabrizi, A. S., 2014, *Introducing Some Correlations to Calculate Entropy Generation in Extended Surfaces with Uniform Cross Sectional Area*, Physical Science International Journal, Vol. 4, No. 3, PP. 402-415.
- Bejan, A., 1977, *The Concept of Irreversibility in Heat Exchanger Design: Counter Flow Heat Exchangers for Gas-to-Gas Applications*, Journal of Heat Transfer and Mass Transfer, ASME, Vol. 99, PP. 374-380.
- Bejan, A., 1982, *Entropy Generation through Heat and Fluid Flow*, Wiley, New York, PP. 118-134.
- Bejan, A., 1996, *Entropy Generation Minimization*, CRC Press, Florida, PP. 47-112.
- Bejan, A., 1997, *Constructal-theory, Network of Conducting Paths for Cooling a Heat Generating Volume*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 40, No. 4, PP. 799-811, ISSN 0017-9310.



- Chen, Q., Liang, X. G., and Guo, Z. Y., 2011, *Entransy- A Novel Theory in Heat Transfer Analysis and Optimization*, *Developments in Heat Transfer*, Dr. Marco Aurelio Dos Santos Bernardes (Ed.), ISBN: 978-953-307-569-3.
- Chen, Q., Wu, J., Wang, M. R., Pan, N., and Guo, Z. Y., 2010, *A Comparison of Optimization Theories for Energy Conservation in Heat Exchanger Groups*, *Chin. Sci. Bull*, Vol. 56, PP. 449-454.
- Cheng, X., Zhang, Q., and Liang, X., 2012, *Analyses of Entransy Dissipation, Entropy Generation and Entransy-Dissipation-Based Thermal Resistance on Heat Exchanger Optimization*, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 38, PP. 31-39.
- Erek, A., and Dincer, I., 2008, *An Approach to Entropy Analysis of a Latent Heat Storage Module*, *Int. J. Thermal Sci.*, Vol. 47, PP. 1077-85.
- Fadhil, A. A., 2013, *Shell and Double Concentric Tubes Heat Exchanger Calculations and Analysis*, A Thesis for Master of Science in Chemical Engineering, Uni. of Baghdad.
- Guo, Z. Y., Zhu, H. Y., and Liang, X. G., 2007, *Entransy- A Physical Quantity Describing Heat Transfer Ability*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 50, PP. 2545-2556.
- [Http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/what-thermo.html](http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/what-thermo.html).
- Kim, K. H., and Kim, S. W., 2015, *Entransy Dissipation Analysis for Optimal Design of Heat Exchangers*, *Journal of Automation and Control Engineering* Vol. 3, No. 2.
- McClintock, F. A., 1951, *The Design of Heat Exchangers for Minimum Irreversibility*, ASME Annual Meeting, Paper No. 51-A-108.
- Myat, A., Thu, K., and Kim, Y. D., 2011, *A Second Law Analysis and Entropy Generation Minimization of an Absorption Chiller*, *Appl. Thermal Eng.*, Vol.31, PP. 2405-2413.
- Poulikakos, D., and Bejan, A., 1982, *Fin Geometry for Minimum Entropy Generation in Forced Convection*, *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 104, PP. 616-23.
- Qian, X. D., and Li, Z. X., 2011, *Analysis of Entransy Dissipation in Heat Exchangers*, *Int. J. Thermal Sci.*, Vol. 50, PP. 608-614.
- Zhao, K. H., and Luo, W. Y., 2002, *Thermotics*, Beijing: Higher Education Press, PP.1-222.

6. NOMENCLATURE

Symbols	Description	Units
C_c	heat capacity rate of cold stream	$W.K^{-1}$
C_h	heat capacity rate of hot stream	$W.K^{-1}$
c	specific heat	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
m	mass flow rate	$Kg.s^{-1}$
S_g	entropy generation rate	$W.K^{-1}$
$T_{c,i}$ & $T_{c,o}$	inlet and outlet temperatures of cold stream	K
$T_{h,i}$ & $T_{h,o}$	inlet and outlet temperatures of hot stream	K
T_{in} & T_{out}	inlet and outlet temperatures	K

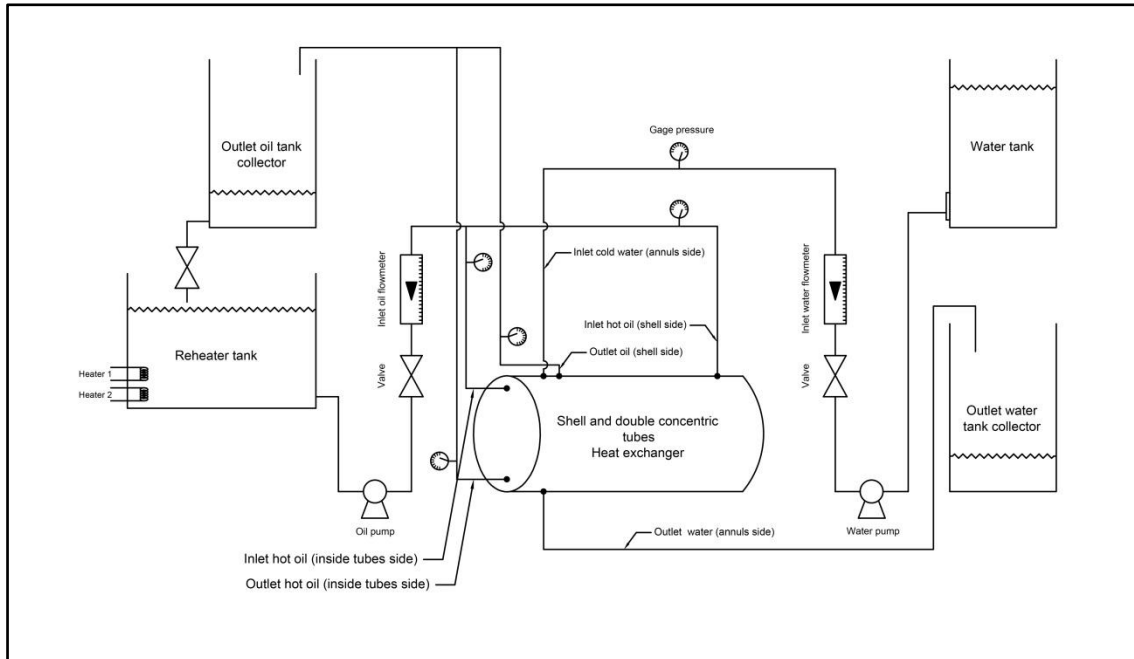


Figure 1. Schematic diagram of operating system unit.

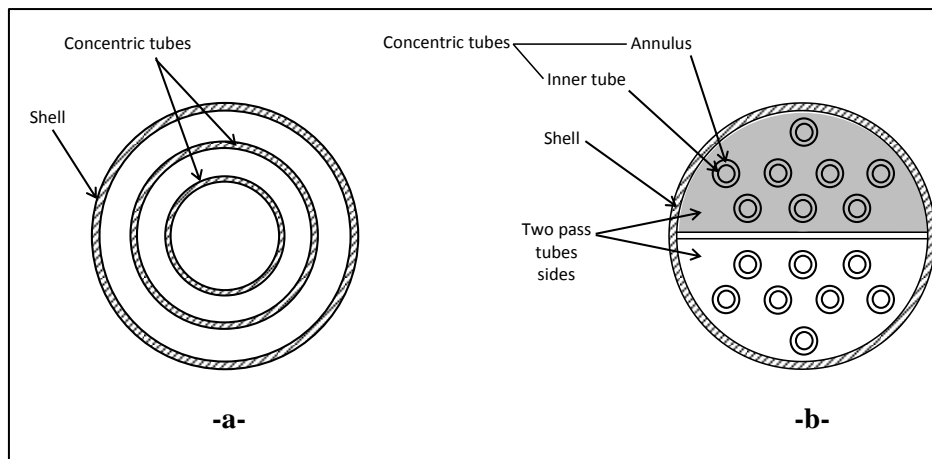


Figure 2. Shell- and -double concentric tube heat exchanger. (a) conventional one (b) modified one.



Figure 3. Infrared thermography camera (Thermo Gear G100EX/G120EX) (www.infrared.avio.co.jp).

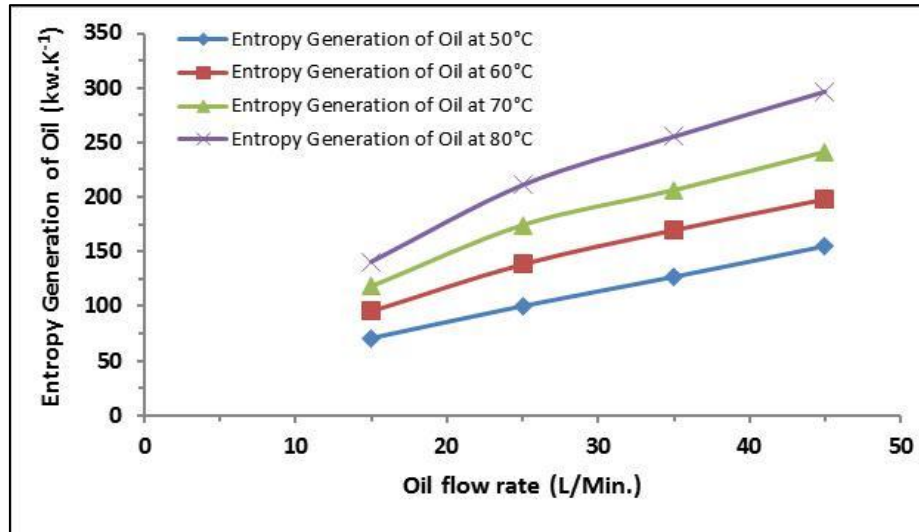


Figure 4. Comparison of entropy generation with hot oil flow rate at different oil inlet temperatures, water flow rate 20 l/min.

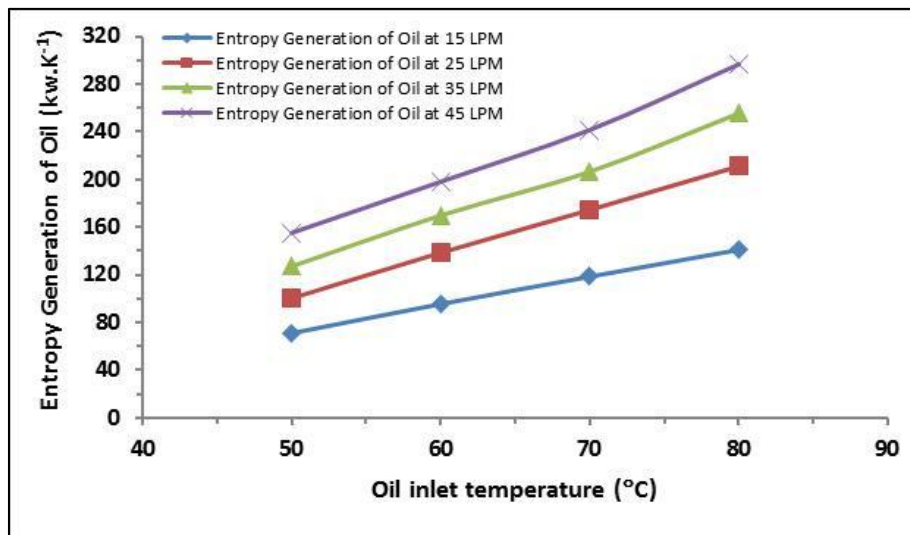


Figure 5. Entropy generation of oil for different hot oil inlet temperatures 50, 60, 70 and 80°C; at different hot oil flow rates 15, 25, 35 and 45 l/min and water flow rate 20 l/min.

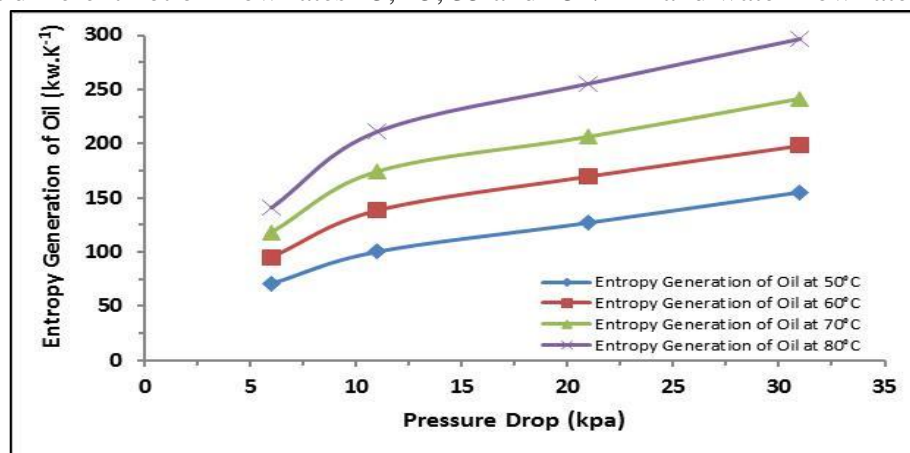


Figure 6. Comparison between entropy generation of oil with pressure drop at different hot oil inlet temperatures 50, 60, 70, and 80°C. Water flow rate is 20 l/min.

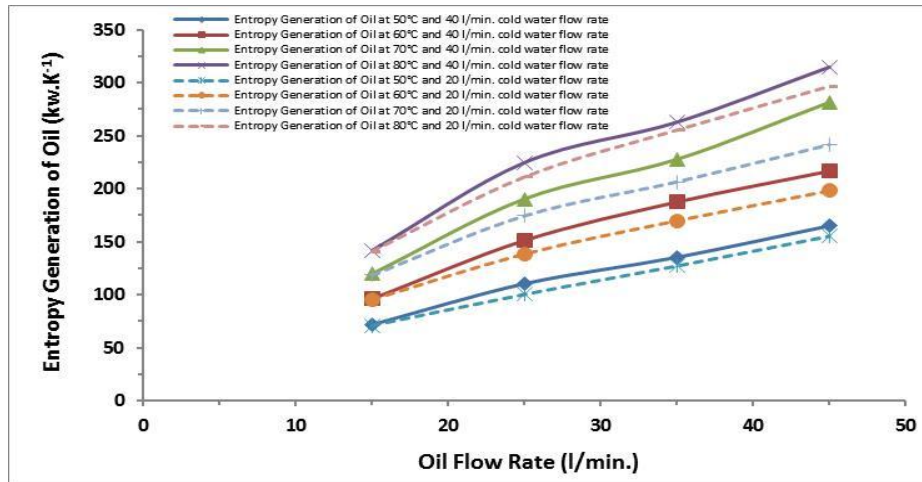


Figure 7. Comparison between the total entropy generation of oil for different oil inlet flow rates at a certain hot oil temperature for both 20 and 40 l/min cold water flow rates.

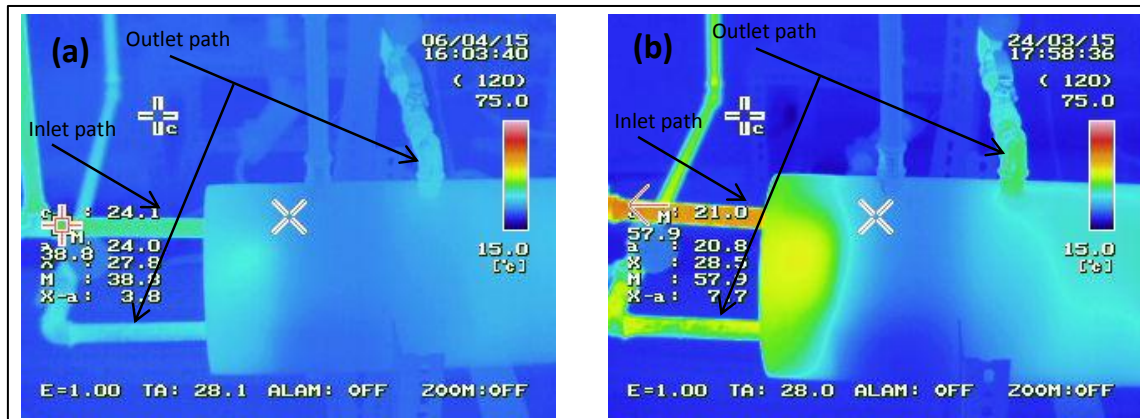


Figure 8. Images of temperature distributions for inlet and outlet paths of oil when hot oil passes at 35 l/min. (a) at 50°C of hot oil inlet temperature. (b) at 80°C of hot oil inlet temperature.



Figure 9. Image of temperature distributions for whole heat exchanger.

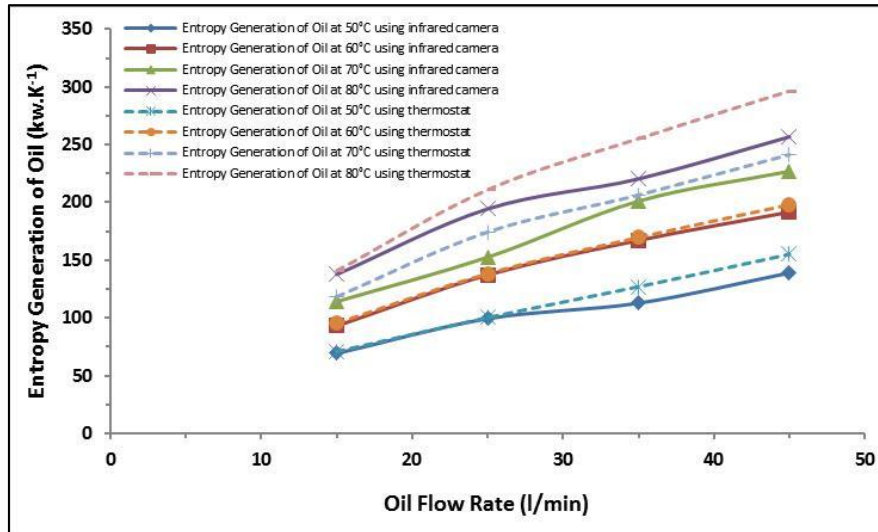


Figure 10. Comparison between the entropy generations for the different techniques (infrared camera and thermostat). The dotted curves represent the entropy generation obtained using thermostat. Cold water flow rate 20 l/min.

Table 1. Outlet temperatures of hot oil obtained by infrared thermography camera at different hot oil inlet flow rates.

Oil flow rate (LPM)	Oil inlet temperature = 50°C		Oil inlet temperature = 60°C		Oil inlet temperature = 70°C		Oil inlet temperature = 80°C	
	T _{tube out} °C	T _{shell out} °C	T _{tube out} °C	T _{shell out} °C	T _{tube out} °C	T _{shell out} °C	T _{tube out} °C	T _{shell out} °C
15	24.3	23.5	24.7	24	25.8	25.2	26	25.1
25	28	26.8	28.5	28	35.3	32.4	36.3	30.3
35	32.4	30.7	33.1	31.3	37	34.7	45.5	37.9
45	32.8	31.8	36	34.2	41.9	37.8	48.8	41.4

Investigation the Optimum Combined Dosages of Date Seeds Powder as Natural Coagulant with Chemical Coagulants in Domestic Wastewater Pretreatment.

Lect. Ali Jwied Jaeel

Department of Civil Engineering
College of Engineering- Wasit University
E-mail: alijwied@hotmail.com

ABSTRACT

The pretreatment process can be considered one of the important processes in wastewater treatment, especially coagulation process to decrease the strength of many pollutants. This paper focused on using powdered date seeds as natural coagulant in addition to chemical coagulants (alum and ferric chloride) to find the optimum dosage of each coagulant that makes efficient removal of turbidity and chemical oxygen demand (COD) from domestic wastewater as a pretreatment process, then finding the optimum combined dosages of date seeds with alum, date seeds with ferric chloride that make efficient removal for both pollutants. Concerning turbidity, the optimum dosage for date seeds, alum and ferric chloride were 40 mg/l (79%), 70 mg/l (84%) and 60 mg/l (82%) respectively. Concerning COD the optimum dosage for date seeds, alum, and ferric chloride were 40 mg/l (75%), 60 mg/l (83%) and 50 mg/l (86%). The study showed that the optimum combined dosage that made higher turbidity removal (95%) resulted from mixing 70 mg/l date seeds with 50 mg/l alum, while for higher COD removal 90% resulted from mixing 40 mg/l date seeds with 70 mg/l ferric chloride.

Key words: coagulation, wastewater treatment, date seeds, turbidity removal, COD removal.

إيجاد التراكيز المشتركة المثلى من مسحوق نوى التمر كمخثر طبيعي مع المخثرات الكيميائية في المعالجة التمهيدية لمياه الصرف الصحي.

م.د. علي جويد جعيل
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة-جامعة واسط

الخلاصة

تعتبر المعالجة التمهيدية لمياه الصرف واحدة من اهم مراحل المعالجة في محطات معالجة مياه الصرف، وخصوصا عملية استخدام المخثرات الكيميائية في تخفيف قوة العديد من الملوثات في هذه المياه. هذه الدراسة تركزت على استخدام مادة نوى التمر بعد طحنها كمخثر طبيعي جنباً الى جنب المخثرات الكيميائية الأخرى مثل الشب وكوريد الحديد في المعالجة التمهيدية لإزالة العكارة والاكسجين الكيميائي المطلوب من مياه الصرف الصحي من خلال إيجاد التراكيز المثلى لكل مخثر على حده. ومن ثم إيجاد التراكيز المثلى المشتركة والناجمة من دمج المخثر الطبيعي مع الشب من جهة ومع كلوريد الحديد من جهة أخرى. بالنسبة لإزالة العكارة بينت النتائج ان التراكيز المثلى للمخثر الطبيعي كانت 40 ملغم باللتر بنسبة إزالة 79%، الشب 70 ملغم باللتر بنسبة إزالة 84% وكلوريد الحديد 60 ملغم باللتر بنسبة إزالة 82% اما فيما يخص إزالة الاوكسجين الكيميائي المطلوب كان التركيز الأمثل للمخثر الطبيعي 40 ملغم باللتر بنسبة إزالة 75%، الشب 60 ملغم باللتر بنسبة إزالة 83% وكلوريد الحديد 50 ملغم باللتر بنسبة إزالة 86%. وكذلك بينت الدراسة ان التركيز الأمثل المشترك لإزالة العكارة كان ناتج من دمج 70 ملغم باللتر من المخثر الطبيعي مع 50 ملغم باللتر من مادة الشب حيث كانت نسبة الإزالة 95%، في حين كان التركيز الأمثل المشترك لإزالة الاوكسجين الكيميائي المطلوب كان ناتج من دمج 40 ملغم باللتر من المخثر الطبيعي و70 ملغم باللتر من مادة كلوريد الحديد حيث كانت نسبة الإزالة 90%.

الكلمات الرئيسية: التخثير، معالجة مياه الصرف، نوى التمر، إزالة العكارة، إزالة الاوكسجين الكيماوي المطلوب.

1. INTRODUCTION

Generally, one of the main causes of pollution is the effluents that are discharged from wastewater treatment systems and these effluents have adverse effects to aquatic ecosystems and to humans. Some of these impacts can include water toxicity from industrial wastewater, algal blooms, death of aquatic life, and habitat destruction from sedimentation, **Canada Gazzette, 2010**. Wastewater is 99.94 percent water by weight and the rest 0.06 percent is suspended solids and dissolved solids materials, **Lee, 2000**. Chemical characteristics are pH, alkalinity, suspended solids, dissolved solids, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), dissolved gases, nitrogen and phosphorus compounds, **Frank, 2003**. Wastewater turbidity is resulted from soluble organic compounds, suspended solids (organic and inorganic matters), such as clay, silt, and plankton and microorganisms, **Harashit, 2014**. In order to remove the suspended solids and turbidity from water and wastewater there is two important preliminary processes coagulation and flocculation. Coagulation process is a chemical process uses chemical either organic such as polymers or natural plants or inorganic salts such as aluminum sulphates, aluminum chloride, sodium aluminates, ferric sulphates, ferric chloride and ferric chloride sulphates. The purpose of coagulation is to neutralize charges and form a bridge of particles thus forming very large particles enough to be settled. Flocculation is gentle stirring or agitation to encourage the agglomeration of particles into masses large enough to be settled or be filtered from solution because of the increment in size and density of particles, which leads to faster rate of settling. The most common material that used in coagulation process in water and wastewater treatment is the Alum, aluminum sulphates $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. The second common material used in coagulation process is ferric chloride. They have been in use and they still in use in the form of powder dispensed by one of the several forms of mechanical dry feeder units in water and wastewater treatment plants.

As a coagulant *M. oleifera* seed used in water or wastewater treatment, the extracted protein from the seeds showed a removal percentage of suspended solids up to 99%, **Katayon, et al., 2006**. The natural coagulant produced from *M. oleifera* seed was capable of improving turbidity removal up to 98%, **Sutherland, et al., 1994**. Using a combined dosage of chemical coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and natural coagulant *M. oleifera* produced a turbidity removal up to 98%, **Ali and Afuye, 2010**. Plant origin coagulant such as *Coccinia indica* (Kundru) used as a coagulant for synthetic turbid water treatment, the efficiency of turbidity removal was 99% and at a range of pH 6.5 to 8, **Madhukar and Yogesh, 2013**. Using aluminum silicate as a coagulant for synthetic turbid wastewater treatment was studied by, **Ho, et al., 2009**. They discovered that the maximum turbidity removal occurred when the salt dosage was more than 20 mg/l and pH was more than three. The removal efficiency for turbidity in wastewater was 99%, **Rubi, and Fall, 2009** studied sedimentation and coagulation treatment of wastewater effluents from car washing workshop. The influence of the chemical coagulants (aluminum hydrochloride $\text{Al}_2\text{Cl}_4(\text{OH})_2$, diallyldimethyl ammonium chloride $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{NCl}$, aluminum sulfate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and ferric chloride FeCl_2) was studied. Coagulation process produced removal of 74%, 88%, 92%, and 90% for COD, TSS, turbidity and oil respectively. Sedimentation process produced removal of 82%, 88% 73% and 51% for oils, TSS, COD, and turbidity, respectively. **Ammar and Yilian, 2013** studied using hybrid copolymer FeCl_2 as a new alternative flocculent to remove COD and turbidity from municipal wastewater, the optimum turbidity and COD removals were 96.56% and 83.54% respectively. **Safaa, 2011** showed that when increasing the

periods of slow mixing and sedimentation resulted more removal percentage in turbidity removal from water, the turbidity removal percentage was 97% using alum dosage 50 mg/l and period of sedimentation varied from 35 to 60 minutes. **Faris, 2012** studied using of chemical coagulants (alum and powdered activated carbon PAC) to treat the oily wastewater, the optimum dosages of alum and PAC were 125 and 100 mg/l that resulted a removal of 97.8%, 97.4% and 99.3% for oil grease, COD, and total suspended solids respectively. **Mohammad, et al., 2013** made a comparative study between starches as a natural coagulant and alum as a commercial coagulant in treatment of semiconductor wastewater to remove the heavy metals. They found that the starches have the same capability to remove heavy metal as the alum. Another efficient method to remove wastewater turbidity is the electrocoagulation method. **Saidat, et al. 2012** showed that electrocoagulation can be considered as an efficient way to remove wastewater turbidity in spite of environmentally friendless and very large cost method.

The aim of this study is to decrease the turbidity and COD strength domestic wastewater and to improve biological treatment through the following investigations:

- 1) The optimum coagulant dosages of chemical coagulants (alum and ferric chloride).
- 2) The optimum coagulant dosage of natural coagulant (date seeds powder).
- 3) The optimum combined coagulant dosage (alum plus date seeds powder).
- 4) The optimum combined coagulant dosage (ferric chloride plus date seeds powder).

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1 Apparatus

The jar testing apparatus contains four paddles as shown in **Fig. 1**, which stir the contents of four 1-liter containers. The mixing speed in all of the containers can be controlled uniformly by a rpm gage built in the device, while the time of mixing can be controlled by a digital timer.

2.2 Materials and Methods

2.2.1 Raw domestic wastewater

Domestic wastewater collected from the primary clarifier influent at Al Aziziyah wastewater treatment plant. Raw wastewater samples were stored at 10°C; the properties of raw domestic wastewater were shown in **Table 1**.

2.2.2 Preparation of alum solution

Stock solutions of alum were prepared according to the APHA procedure for coagulation process enhancement, by dissolving 100 grams of aluminum sulphates $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ in one liter of distilled so one ml of this stock gives alum solution of 100 mg/l concentration. Then after that by titration methods a ten different concentrations of Alum were prepared ranged from 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 mg/l, **APHA, 1998**.

2.2.3 Preparation of ferric chloride solution

Stock solutions of Ferric Chloride were prepared according to the APHA procedure for coagulation process enhancement, by dissolving 100 grams of ferric chloride FeCl_3 in one liter of distilled so one ml of this stock gives ferric chloride solution of 100 mg/l concentration. Then by titration

methods a ten different concentrations of Alum were prepared ranged from 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 mg/l, **APHA, 1998**.

2.2.4 Preparation of natural coagulant solutions (Date Seeds Coagulant)

In this study, the local Iraqi dates were collected from date trees then the seeds were separated. Then, the seeds were washed in tap water and dried in an oven at 50°C for six hours. The seeds then were crashed and powdered using flour grinder machine and finally sieved through a 250µm sieve. Stocks solutions of this natural coagulant (seed dates coagulant) were prepared for coagulation process enhancement, by dissolving 100 grams of seed powder in one liter of distilled, so one ml of this stock gives seed coagulant solution of 100 mg/l concentration. In order to be sure that this solution was free of residual particles, it was filtered using 1µm filter paper. Then by titration methods a ten different concentrations of seeds coagulant were prepared ranged from 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 mg/l.

2.3 Experimental Procedure

Sedimentation and Jar test were carried out to determine the coagulation properties of each coagulant and to obtain the optimal dosage for each coagulant (alum, ferric chloride and seed dates). One beaker was used as a control and other in the beakers, various dosages of each coagulants was added at ranges from 10 to 100 mg/l. Then a rapid mixing for 2 minutes and 100 rpm was subjected to the samples then 30 min with a slow mixing at 25 rpm, when the mixing was completed, the flocs allowed to settle, **ASTM, 1995**. for 60 minutes. In order to measure the residual turbidity, samples were withdrawn using a pipette from a height of 4cm below the surface of each beaker, and residual turbidity was measured. So the optimal dosage can be calculated by calculating the best turbidity removal percentage for each coagulant. After finding the optimal dosage of alum, a combination dosage consisted of this fixed alum dosage (optimal dosage) with different ranges of natural coagulant started from 10 mg/l to 100 mg/l in order to find the optimal mixing ratio of these two coagulants (alum and date seeds). Same procedure was done with the optimal dosage of ferric chloride, a combination consisted of this fixed ferric dosage (optimal dosage) with different ranges of natural coagulant started from 10 mg/l to 100 mg/l in order to find the optimum mixing ratio of these two coagulants (ferric chloride and date seeds).The effect of optimal mixing dosage ratios of chemical and natural coagulants combinations on the removal of turbidity and chemical oxygen demand was examined.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Finding the Optimum Coagulants dosages For Turbidity and COD Removals

A set of experiments were done using jar test device to calculate the optimum dosage for each coagulant (alum , ferric chloride and date seeds) for turbidity and COD removals. A range of concentrations from 10 mg/l to 100 mg/l for each coagulant was used separately. The study showed that the optimum dosages for turbidity removal using alum, ferric chloride and dates seeds were 70 mg/l, 60 mg/l and 40 mg/l and the turbidity removal percentages were 84%, 82% and 79% respectively as shown in the **Fig. 2**. While the optimum dosages for COD removal using alum, ferric chloride and dates seeds were 60 mg/l, 50 mg/l and 40 mg/l and the COD removal percentages were 83%, 86% and 75% respectively as shown in the **Fig. 3**.

3.2 Finding the Optimum Combined Coagulants dosages For Turbidity Removal

Another set of experiments were done using jar test device to calculate the optimum dosage for combination of optimum fixed dosage of ferric chloride which was 60 mg/l with a different dosages of date seeds ranged from 10mg/l to 100 mg/l. The optimum mixing dosage was 60 mg/l ferric chloride plus 40 mg/l date seeds and this combined dosage produced turbidity removal percentage up to 93% as shown in the **Fig. 4**. From the other hand a set of experiments were done using also jar test device to calculate the optimum dosage for combination of optimum fixed dosage of alum, which was 70 mg/l with different dosages of date seeds ranged from 10mg/l to 100 mg/l. The optimum mixing dosage was 70 mg/l alum plus 50 mg/l date seeds and this combined dosage produced turbidity removal percentage up to 95% as shown in the **Fig. 5**. This highly removal of turbidity can be attributed to the fact that the powdered of date seeds has a very good adsorption for the suspended solids beside the highly effect of formation of aluminum coagulant hydrolysis products which considered the most important cause of suspended solids destabilization.

3.3 Finding the Optimum Combined Coagulants dosages For COD Removal

Another set of experiments were done using jar test device to calculate the optimum dosage for combination of optimum fixed dosage of ferric chloride which was 40 mg/l with a different dosages of date seeds ranged from 10mg/l to 100 mg/l. The optimum mixing dosage was 40 mg/l ferric chloride plus 70 mg/l date seeds and this combined dosage produced COD removal percentage up to 90% as shown in the **Fig. 6**. From the other hand a set of experiments were done using also jar test device to calculate the optimum dosage for combination of optimum fixed dosage of alum, which was 60 mg/l with different dosages of date seeds ranged from 10mg/l to 100 mg/l. The optimum mixing dosage was 60 mg/l alum plus 50 mg/l date seeds and this combined dosage produced COD removal percentage as shown in the **Fig. 7**. The removals of COD were attributed by the formation of sediments from the combination of ferric coagulant and the soluble organics **Tebbutt, 1998**. And this finding was fully agreement with study of **Dialynas, et al., 2008** he showed that FeCl_2 was more efficient than alum in removing of organic content of landfill leachate and this was due to FeCl_2 increases the flocs size and decreasing settling time more than alum.

4. CONCLUSIONS

This study has found the possible benefits and effectiveness of using dates seeds as a natural coagulant that could be used in coagulation process in domestic wastewater pretreatment to remove the turbidity and chemical oxygen demand (COD), and the removal efficiency for both parameters (turbidity and COD) could be increased when a combination is done between this natural coagulant (date seeds) and other chemical coagulants such as ferric chloride and alum.

The study showed that the optimum combined dosage used to remove initial turbidity of domestic wastewater (250 NTU) was 120 mg/l resulted from (70 mg/l date seeds plus 50 mg/l alum) and the turbidity removal percentage was 95%. The study also showed that the optimum combined dosage used to remove initial COD of domestic wastewater (390 mg/l) was 110 mg/l resulted from (40 mg/l date seeds plus 70 mg/l ferric chloride) and the COD removal percentage was 90%.



REFERENCES

- Ali, J. O., and Afuye, G. G., 2013, *A case for Using of Moringa Olifera as Natural Coagulant to Improve Water Supply in Rural Farms in Nigeria.*, Journal of Academic Research International, Vol. 4, No. 6, PP. 530-539.
- Ammar S., Dawood, and Yilian, Li, 2013, *Modeling and Optimization of New Flocculant Dosage and pH for Flocculation Removal of Pollutants from Wastewater*, Journal of Water Science and Technology, Vol 5, No. 1, PP. 342-355.
- APHA, AWA, WPCF, 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, American Public Health Association, Washington, DC.
- Ariffin, A., Shatat, R., S., A., Nik Norulaini, A., R., and Mohd Omar, A., K., 2005, *Synthetic Polyelectrolytes of Varying Charge Densities but Similar Molar Mass Based on Acrylamide and Their Applications on Palm Oil Mill Effluent Treatment*, Desalination, Vol. 1, No.173, PP. 201-208.
- ASTM, 1995, *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. American Society for Testing and Materials.
- Canada Gazette, 2010. *Wastewater Systems Effluent Regulations*. Regulatory Impact Analysis Statement, 144: 12.
- Dialynas, E., Mantzavinos, D., Diamadopoulos, E., 2008, *Advanced Treatment of the Reverse Osmosis Concentrate Produced During Reclamation of Municipal Wastewater*, Water Research Vol.42, PP, 4603-4608.
- Faris, H., Al-Ani, 2012, *Treatment of Oily Wastewater Produced From Old Processing Plant of North Oil Company*, Tikrit Journal of Engineering Sciences, Vol.19, No.1, PP.23-34.
- Frank, R., Spellman, 2003, *Handbook of Water & Wastewater Treatment Plant Operations*, CRC Press LLC, USA.
- Harashit, K., M., 2014, *Influence of Wastewater pH on Turbidity*, International Journal of Environment and Development, Vol. 4, No. 2, PP. 105-114.
- Ho, Y.C., Norli, I., Al Karkhi, A.F., and Morad, N., 2009, *Analysis and Optimization of Flocculation Activity and Turbidity Reduction in Kaolin Suspension Using Pectin as a Biopolymer Flocculent*, Journal of Water Science and Technology, Vol. 60, No. 3, PP. 771-781.



- Katayon, S., Megat, M. J., Asma, M., Abdul Ghani, L. A., Thamer, A. M., and Muyibi, S. A., 2006, *Effects of Storage Conditions of Moringa Oleifera Seeds on its Performance in Coagulation*. Journal of Bio resource Technology, Vol 97, No. 1, PP. 1455–1460.
- Lee, C.C, 2000, *Handbook of Environmental Engineering Calculations*. McGraw-Hill, USA. 2000
- Madhukar, V. J., and Yogesh, S. M., 2013, *Comparative Study of Natural Coagulants in Flocculation of Local Clay Suspensions of Varied Turbidity*. Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 35, No. 1, PP. 1103-1110.
- Mohd, O., Mohd, S., and Tjoon, T., 2013, *Comparative Study on Natural and Commercial Coagulants: Treatment of Semiconductor Wastewater in Sludge Production and Removal of Heavy Metals*, International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME), Vol. 1, No. 7, PP. 2319-2386.
- Montgomery, J. M., 1985, *Water and Wastewater Treatment Principles and Design*. New York: Wiley.
- Rubi, H., and Fall, C., 2009, *Pollutant Removal From Oily Wastewater Discharged From Car Washes Through Sedimentation-Coagulation*, Journal of Water Science and Technology, Vol 59, No. 12, PP. 2359-2369.
- Safaa, N., Hassan, 2011, *The Effect of Settlement Time on Reducing Coagulant Dosage in Water Treatment Plants*, Journal of Environmental Studies, Vol 7:, NO. 1, PP. 25-32.
- Saidat O., G., Mustafa, A., and Hale, H., 2012, *Electrocoagulation Treatment of Turbid Petrochemical Wastewater*, International Journal of Advances in Science and Technology, Vol. 5, No. 5, PP. 23-32
- Sutherland, J.P., Folkard, G.K., and Mtawali, M.A., 1994, *Moringa Oleifera as a Natural Coagulant*. Paper presented at 20th WEDC conference: affordable water supply and sanitation. Colombo, Sri Lanka.
- Tebbutt, T., 1998, *Principles of Water Quality Control*, 5th. Edition, Oxford-ButterWorth-Heinemann, London.



Figure 1. Jar test apparatus.

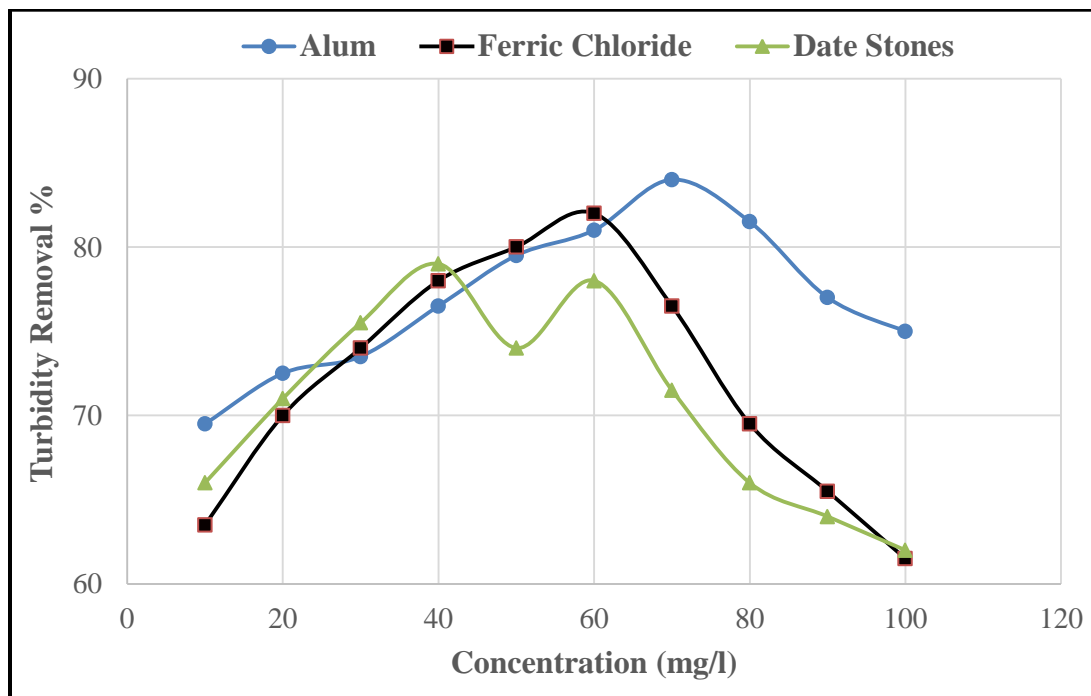


Figure 2. Variation of turbidity removal with coagulant concentration.

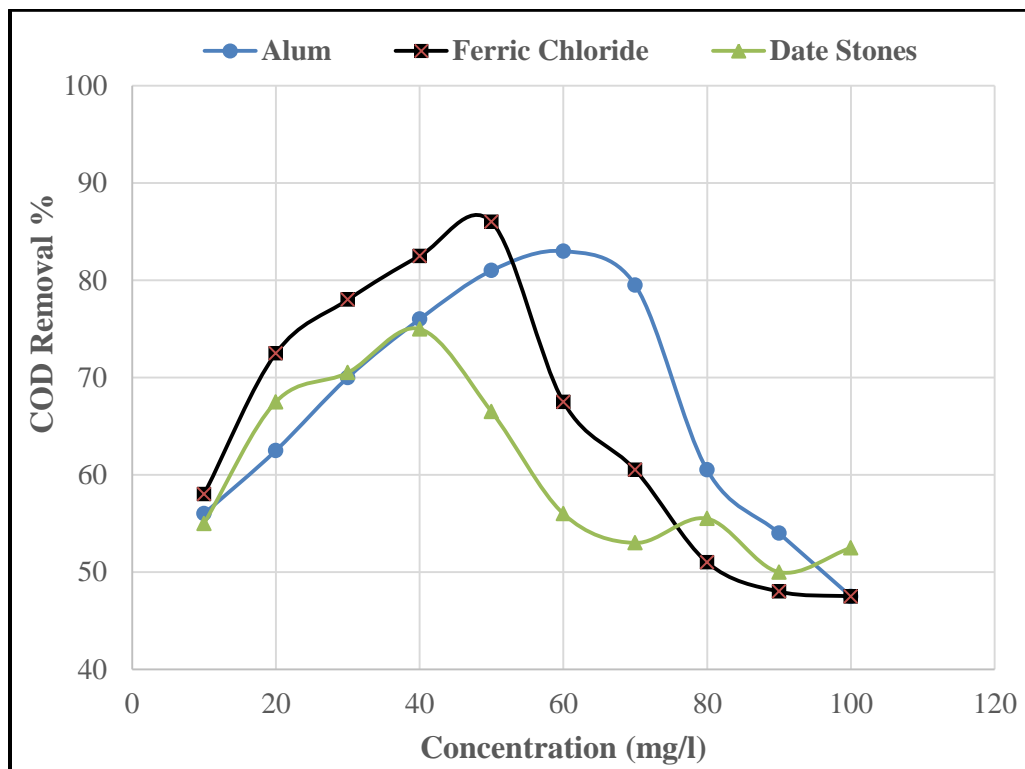


Figure 3. Variation of COD removal with coagulant concentration.

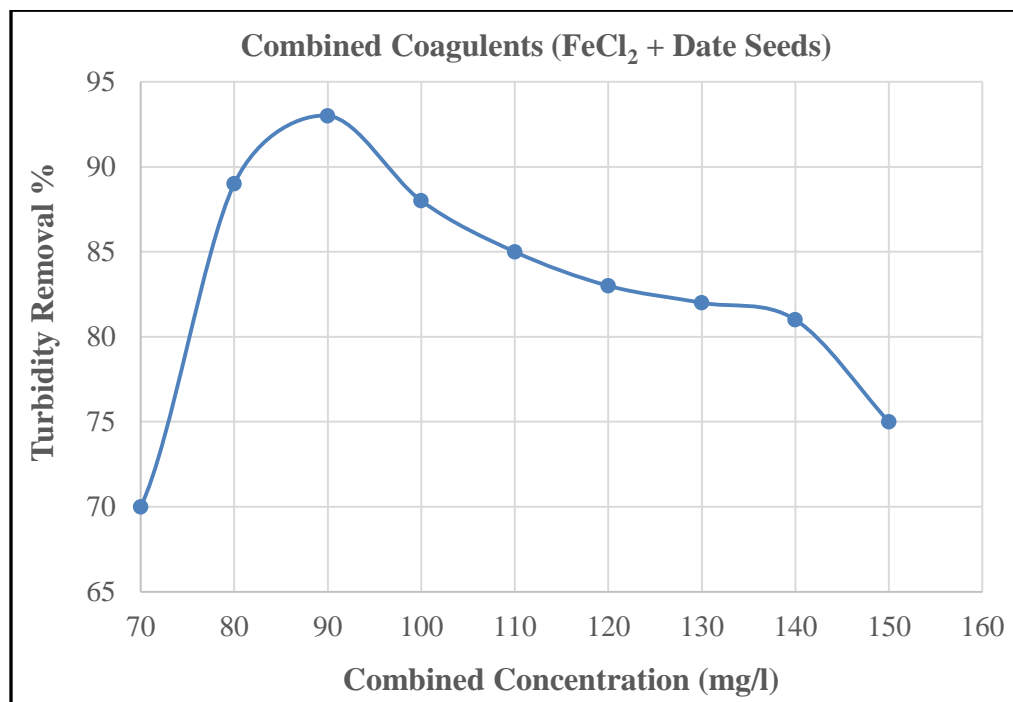


Figure 4. Variation of turbidity removal with combined coagulants.

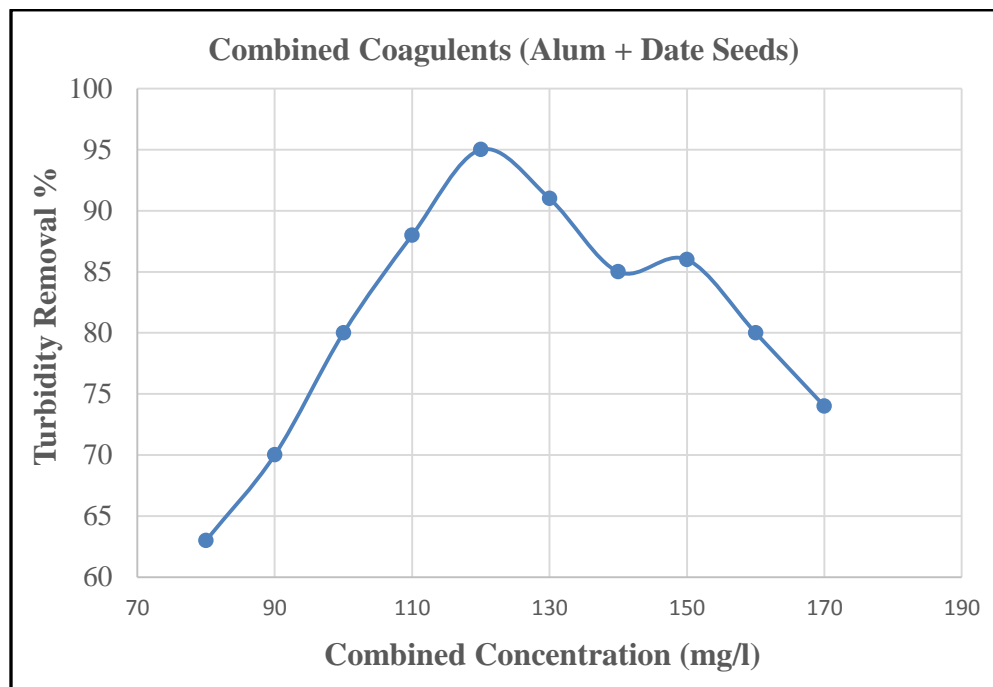


Figure 5. Variation of turbidity removal with combined coagulants.

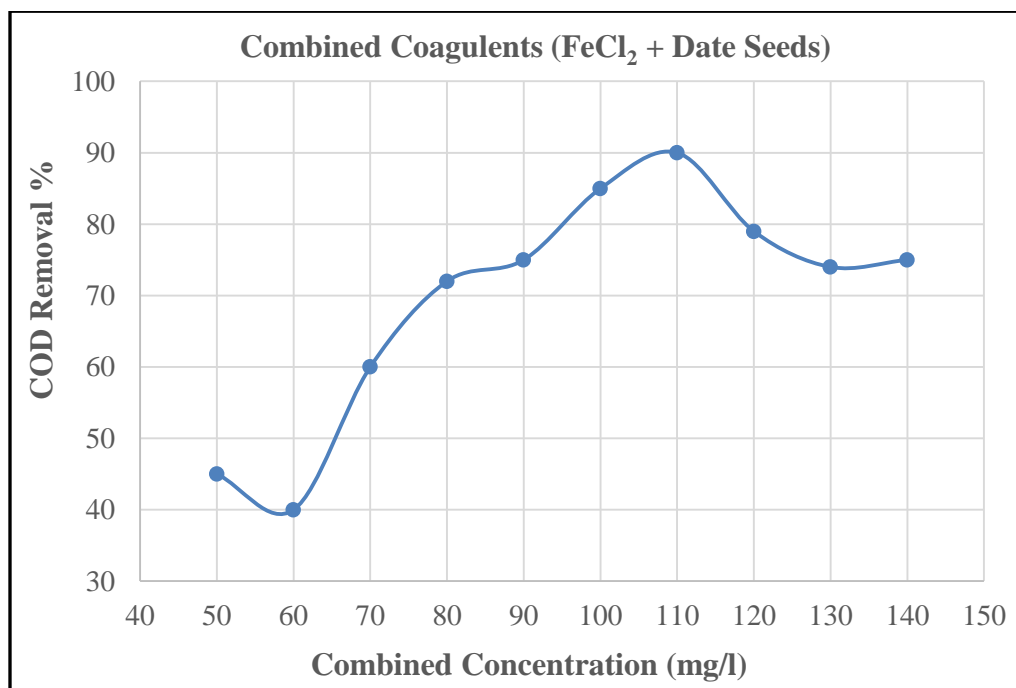


Figure 6. Variation of COD removal with combined coagulants.

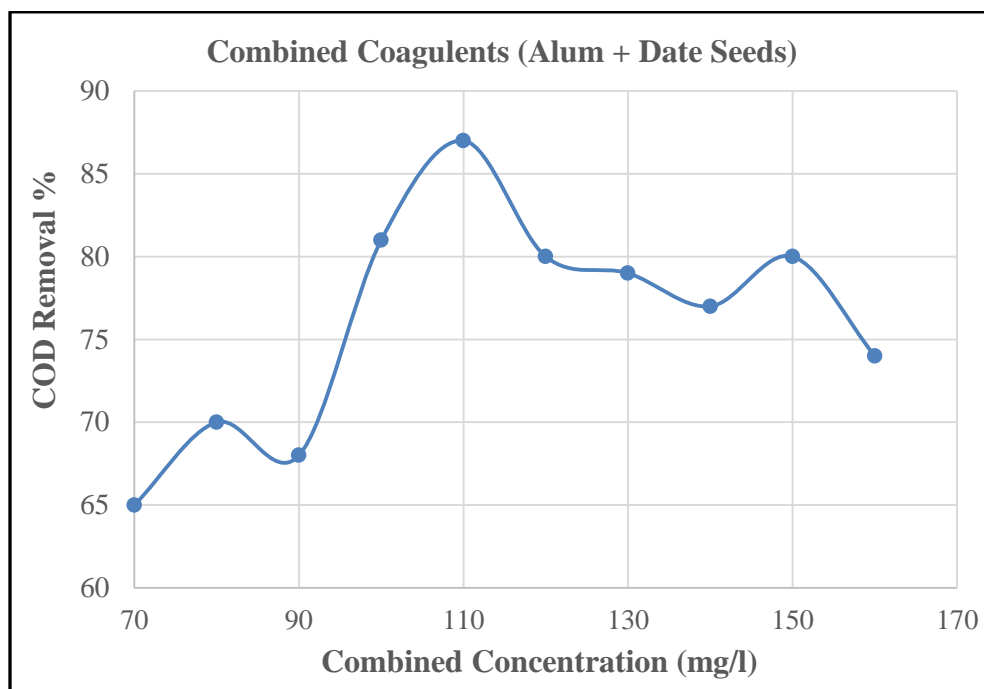


Figure 7. Variation of COD removal with combined coagulants.

Table 1. Characteristics of the domestic wastewater.

Constituent	Concentration*	Unit
BOD	220	mg/L
COD	390	mg/L
Turbidity	250	NTU
pH	7.1-7.4	-

*Average of 3 values

Experimental and Simulation for the Effect of Partial Shading on Solar Panel Performance

Emad Talib Hashim

Assistant Professor

Energy Engineering Department

College of Engineering/Baghdad University

emadchem70@yahoo.com

Aseel Jamal Khaled

M.Sc. Student

Energy Engineering Department

College of Engineering/ Baghdad University

aseel-jamal90@yahoo.com

ABSTRACT

Partial shading is one of the problems that affects the power production and the efficiency of photovoltaic module. A series of experimental work have been done of partial shading of monocrystalline PV module; 50W, I_{sc} : 3.1A, V_{oc} : 22V with 36 cells in series is achieved. Non-linear power output responses of the module are observed by applying various cases of partial shading (vertical and horizontal shading of solar cells in the module). Shading a single cell (corner cell) has the greatest impact on output energy. Horizontal shading or vertical shading reduced the power from 41W to 18W at constant solar radiation $1000W/m^2$ and steady state condition. Vertical blocking a column of cells (9 cells) in a module reduces the power from 41W to 18W (53% power reduction); while, blocking one or two cell in the row reduces the power from 41 W to 18W (53% power reduction). Shading three or four cells in the same row reduces the power from 41W to 1W or 0.006W (94% power reduction). A complete Matlab / Simulink model are achieved to simulate the effect of partial shading on power output of module. It is found that shading a single cell reduces the power from 50 W to 25 W (50%) using Matlab/Simulink model. Comparisons have been made between the I-V and P-V characteristic curves from the simulation with the practical (experimental) curves. The results showed that the percentage of error between the Simulink results and the corresponding experimental measurement are 22% without shading effect and, 32% with partial shading.

Key words: partial shading, bypass diode, matlab/simulink, pv module, photovoltaic system

التجربة والمحاكاة لتأثير الظل الجزئي على أداء اللوح الشمسي

اصيل جمال خالد

طالبة ماجستير

قسم هندسة الطاقة /كلية الهندسة/جامعة بغداد

عماد طالب هاشم

أستاذ مساعد

قسم هندسة الطاقة/كلية الهندسة/جامعة بغداد

الخلاصة

التظليل الجزئي هو احد المشاكل التي تؤثر على الطاقة المنتجة والكفاءة للوح الكهروضوئي. تم اجراء سلسلة من التجارب من التظليل الجزئي على وحدة كهروضوئية من نوع احادية البلورة 50 واط، 3.1 امبير، 22 فولت تحتوي 36 خلية مبربطة على التوالي. الاستجابة الغير خطية للطاقة الناتجة يمكن ملاحظتها عند تطبيق حالات مختلفة للتظليل الجزئي (افقي، عمودي). تظليل خلية واحدة (خلية الزاوية) لها الاثر الكبير على الطاقة الخارجية. التظليل الافقي او العمودي يقلل الطاقة من 41 واط الى 18 واط عند اشعاع ثابت 1000 واط وحالة مستقرة. تم

التحقق من ان حجب عمود من الخلايا(9خلايا)في الوحدة الضوئية يقلل الطاقة من 41 واط الى 18 واط (53%تخفيض استهلاك الطاقة) و حجب خلية او خليتين في الرف الواحد يقلل الطاقة من 41 واط الى 18 واط (53%تخفيض استهلاك الطاقة). بتظليل ثلاث او اربع خلايا في نفس الرف يقلل الطاقة الى 1 واط او 0.006 واط (94%تخفيض استهلاك الطاقة). تم توضيح تأثير الظل الجزئي ببرنامج السمولنك ماتلاب.تم التحقيق ان تظليل خلية واحدة يقلل من الطاقة من ال50 واط الى 25 واط (50% تخفيض استهلاك الطاقة). عملت مقارنة بين منحنيات (تيار- فولتية) و(طاقة- فولتية) الناتجة من برنامج الماتلاب مع المنحنيات الناتجة من التجارب العملية، وكما هو مبين من النتائج نسبة الخطأ المئوية بين النتائج العملية والنظرية بدون تأثير الظل تصل الى 22%، ومع تأثير الظل الجزئي تصل الى 32%

الكلمات الرئيسية: الظل الجزئي ، الدايمود الثنائي ، ماتلاب/ سمولنك، النظام الفوتوفولتائي

1.INTRODUCTION

Solar cell is a device that directly converts sunlight into electricity with no intervening heat engine through the process of photovoltaic. In 1839, French physicist Antoine Edmond Bequerel's research was the beginning to develop of solar cell technology.

A number of parallel/series connected solar cell are used to construct a PV module. Series connected solar cells has a negative impact on PV module performance if all its cells are not equally illuminated (partially shaded).

Shading is one of the many factors that have a great effect on the performance of solar photovoltaic modules. Two possible sources that the shading arises from them in the natural environment; the first is some type of plant such as trees, while the second is a solid body like a socle or construction **Di Piazza and Vitale, 2010**. So even if a tiny part of the solar photovoltaic module is in shade, the performance of the full solar photovoltaic module will significantly decrease. Also, there are two factors have impact on the performance of PV modules in natural environmental; artificial like evaporation of pollution from different factories and natural like dust, temperature and clouds. Accumulation of a permanent pollution strip along the edge of the framed cell lead to reduction of energy production up to 10-20% of PV cell **Eloy Di'az-Dorado, 2014**.

In recent years, the effect of partial shading on the PV array performance has been widely discussed and studied. the impact of partial shading is complicated because the testing field is costly, time consuming and depends strongly on the prevailing weather condition, **Ahmed et al., 2014**.

All the cells carry the same amount of current. In a series connected concentration of cells, Even though a few cells under shade produce less photon current but these cells are also obliged to carry the same current as the other fully lighted cells. The shaded cells may be in reverse biased state, acting as loads, absorbing power from fully lighted cells. Hot-spot problem can appear if the system is not well protected; the system can be irreversibly damaged, **Quaschnig and Hanitsch, 1996**.

Many researchers examined the effect of partial shading on PV technologies. **Gross et al., 1997** depending on heliodon analysis concluded that replacing the current central inverter by module inverters could decrease losses due to shading from 25 to 19.5% of the yearly energy product. **Tegtmeyer et al., 1997** found from experimental measurements that when partial inverter systems where shading happens from time to time, with central inverters extra losses are lower than 5% of the optimum. **Beuth, 1998** simulated two present PV systems with partial shading for various arrangements did not see big avail of the module inverter configuration. Depending on the cost for

installations and inverters, and reliability considerations, advises the application of series or central inverters. **Belhaouas et al., 2013** studied the built PV module depended on two diode model by use matlab / Simulink under partial shading. Concluded when shaded one cell the power reduced 50%.

The objective of this work is to illustrate the effect of partial shading first by experimental measurements, and then theoretically by Matlab /Simulink.

2. MODELING OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM

2.1 PV Cell Model

The single diode equivalent circuit of a photovoltaic cell in **Fig.1** consists of a current source, a diode, a series and a parallel resistance.

The open circuit voltage (V_{oc}) and the short circuit current (I_{sc}) obtained from the cell manufacturer's data sheet the PV current can be derived by Eq. (1), **Yusof et al., 2004**.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \quad (1)$$

In which I_{pv} is the output current and I_{ph} refers to the photo-generated current, I_o represents the diode current, the photo-generated current (I_{ph}) which is a function of incident solar irradiation and cell temperature. It can be calculated as Eq. (2), **Wang and Hsu, 2010**.

$$I_{ph}(G) = \left(I_{sc} + k_i T_{dif} \right) \frac{G_1}{G_r} \quad (2)$$

Where k_i is the temperature coefficient, T_{dif} is the deviation of the operating temperature from the reference temperature ($T_{dif} = T - T_r$), and G_r and G_1 are reference and operating irradiances, respectively. Also the reverse saturation current (I_{rs}) at a certain reference temperature can be calculated as follows, **Ekpenyong and Anyasi, 2013**.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{qV_{oc}}{KAT_rN_s} - 1\right)} \quad (3)$$

The diode current saturated (I_s) changes with fluctuations in environmental conditions, so it can be calculated by the equation below. The parameter E_g refers to the band gap energy for the silicon semiconductor which should be between 1.1 and 1.2 eV, **Pandiarajan and Muthu, 2011**.

$$I_s = I_{rs} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{AK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4)$$

Where K is the Boltzmann constant, q is constant known as the electron charge ($q = 1.602 \times 10^{-19}$ C), A is ideality factor depends on PV technology as I_o is the diode current that will be calculated by the Shockley Equation, **Pandiarajan and Muthu, 2011**.

$$I_o = I_s \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AkT} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

A photovoltaic module is the basic element of each photovoltaic system. It consists of many jointly connected PV cells. The equivalent module circuit equation for an (N_s) PV cells in series, leads to equation, **Wang and Hsu, 2010**.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AKTN_s} \right) - 1 \right] - \frac{(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{R_p} \quad (6)$$

3. EXPERIMENTAL FACILITIES AND MATLAB – SIMULINK

3.1 Experimental setup

A study on the effect of partial shading has been done through a series of experimental measurements. **Fig.2** shows the PV system of single PV module. A single monocrystalline silicon solar module used in this experimental, which consists of 36 solar cells connected in series and placed on a mobile metallic holder, to get the desired radiation flux. The experimental work has been make at the department of energy engineering in March, April and May, 2015. **Table 1** shows the electrical characteristics of monocrysalline module under standard test conditions (STC); irradiance $G = 1000 \text{ W/m}^2$ and temperature $= 25^\circ\text{C}$. The PV module is connected to the Prova 200 solar module analyzer shown in **Fig.3** which used for the measurements of output power, efficiency, fill factor, V_{\max} and I_{\max} of the solar module. Solar power meter (TES1333R) shown in **Fig.4** that measures irradiation in W/m^2 . The temperature of the module was measured using digital thermometer (TPM-10) attached firmly to the back of the module shows in **Fig.5**. The entire device and the solar module, which is supplied by the manufacture (Pasco, TES Electrical Electronic Corp), are calibrated on line. A software program is supplied by the manufactory company for calibrated the solar module and prova 200 and solar power meter. For resolution accuracy of the measuring device (prova 200, solar power meter, digital thermometer), **Table 2** demonstrates the properties of measurement apparatus range, resolution and accuracy.

3.2 Matlab Simulink

A single solar module simulation is based on the single diode model equations were implemented in Matlab/Simulink. This simulation allows modifying the environmental data and the electrical parameters characteristic of the implemented photovoltaic module such as irradiance (G), temperature (T), short circuit current (I_{sc}), open circuit voltage (V_{oc}), etc. The simulation model of the PV system shown in **Fig.6** is divided into two groups, each one of them connected to bypass diode. The first group contains number of solar cells without shade at radiation flux 1000W/m^2 . The second group contains number of shaded cells at radiation flux 500W/m^2 .

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Experimental Results

The effect of partial shading is shown in **Figs.7** and **8** the I-V and P-V characteristic curve respectively at $G=1000\text{W/m}^2$ and $T=45^\circ\text{C}$. I_{sc} is equal to 2.8A, V_{oc} is close to 21.4V, the I_{\max} is equal

2.4A, V_{\max} equal 16.5V. The blue curve represents the case without shade, the red and green curves represent the case when one or two cells are shaded in horizontal way, noticing that shading has a strong influence on the I-V and the P-V characteristics curve of the module and the maximum power decreases for approximately 50% power reduction. The Purple and light blue curves represent the case when three or four cells are shaded in horizontal way, so that the maximum power decreases for approximately (96% power reduction). **Fig.9** shows the power drop with number of cells. The power decreases whenever the number of shaded cells increases.

The I-V and P-V characteristic curves of partial shading in vertical way illustrated in **Figs.10** and **11**. The blue curve (without shade). The red and green curves represent when one and two cells are shaded respectively (power decreases for approximately 50%). The Purple and light blue curves represent the case when three and four cells are shaded respectively (power decreases for approximately 96%). **Fig.12** shows the power drop with number of cells. The power decreases to half when one or two columns are shaded and continue decreasing when shading three or four columns.

The power drop with number of shaded cells at different radiation flux 500, 800, 1000 in horizontal and vertical case shown in **Figs.13** and **14**. Notice that whenever the radiation flux decreases the power is decreased. When the radiation flux value of 500 W/m² the power became 20 W less than what it was when the radiation flux (800, 1000), which is 36W, 41W respectively. When 1, 2 cells are shaded the power reduces to half and when 3, 4 cells are shaded the power reduces more than half in horizontal case, when shading 1, 2, 3, 4 cells in vertical case the power reduces to half. Notice the impact of shading when shading (1, 2, 3, 4) cells, in vertical state. It's different from the shading (1, 2, 3, 4) cells in horizontal state.

4.2 Partial Shading Simulation

The simulation result of the I-V characteristic curve is shown in **Fig.15**. The short circuit current is very close to 3.1A and the V_{oc} is very close to 22V. The simulation result of the P-V characteristic curve is shown in **Fig.16**. The maximum power is 50 W which is the expected value. V_{\max} is very close to 17.5 V and I_{\max} is very close to 2.9 A. In **Fig.17** shows the simulated I-V characteristic curve for irradiance ($G = 1000 \text{ W/m}^2$) on Group 1 and shading on Group 2 ($G = 500 \text{ W/m}^2$) with two bypass diodes connected. The V_{\max} equals 8.6 V, as the two groups are not equally illuminated the power shown in **Fig.18** contributed by each group is different and the maximum power is less than 50 W. **Table 3** introduces a comparison between the maximum power obtained in this work and a sample of other previous work such as **Basim et al., 2013** and **Quaschnig and Hanitsch, 1996**. Those works studied the partial shading effect on the performance of PV modules.

5. CONCLUSIONS

This paper presented the procedure for creating the mathematical model of photovoltaic module under partial shaded condition in the different current Simulink libraries and choose the appropriate one. The results are found to be in close agreement with the Laboratory results. Experimental results showed that single cell shading reduces the total power of the solar module to 50%, and the horizontal shading more influential than the vertical shading. In horizontal shading blocking one or two cells in the row reduce the power 41 W to 18W (53% power reduction). Shading three or four cells in the same row reduces the power to 1W or 0.006W (94% power reduction) and also, in

vertical shading blocking a column of cells (9 cells) in a module has reduce the power from 41W to 18W (53% power reduction).The decrease in power of the photovoltaic module is not proportional to the shaded area. Also showed when decrease solar radiation the I_{sc} and V_{oc} reduce. As it is shown by the results that the percentage of error between the theoretical and practical in case without shade reach to 22.0%, and with partial shading reach to 32%.

REFERENCES

- Ahmed Bouraiou, Salah Lachtar, Abdelkader Hadidi, Nadir Benamira, GEEE-2014, *Matlab/Simulink Based Modeling and Simulation of Photovoltaic Array under Partial Shading*, International Conference on Green Energy and Environmental Engineering.
- Basim A. Alsayid, Samer Y. Alsadi, Ja'far S. Jallad, Muhammad H. Dradi, 2013, *Partial Shading of PV System Simulation with Experimental Results. Smart Grid and Renewable Energy*,4, 429-435
- Beuth, O., Vergleichende, 1998, *System Analyzes netzgekoppelter Photovolt aikanlagen*. Universita't Hannover, Fachbereich Elek trotechnik and Institut fu'r solar energieforschung, Hannover.
- DiPiazza, M.C., Vitale, G., 2010, *Photovoltaic field Emulation Including Dynamic and Partial Shadow Conditions*. Appl. Energy 87 , 814–823.
- Eloy Di'az-Dorado, Jose' Cidra's, Camilo Carrillo, 2014, *Discrete I–V Model for Partially Shaded PV-Arrays*, Solar Energy 103 , 96–107.
- Gross, M.A., Martin, S.O., Pearsall, N.M., 1997, *Estimation of Output Enhancement of a Partially Shaded BIPV Array by the Use of AC Modules*. In: Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, CA, pp. 1381–1384.
- Ekpennyong, e.e and anyasi, fi., Nov. - Dec. 2013, *Effect of Shading on Photovoltaic cell* IOSR journal of electrical and electronics engineering (iosr-jeee); e-issn: 2278-1676,p-issn: 2320-3331, volume 8, issue 2, pp. 01-06.
- Belhaouas, N., Ait Cheikh, M.S., Malek, A. and Larbes, C.,2013, *Matlab-Simulink of Photovoltaic System Based on a Two-Diode Model Simulator with Shaded Solar Cells*, Revue des Energies Renouvelables 16, 65-73.
- Pandiarajan, N., Muth, R., 2011, *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. In Proceedings of the 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), Newport Beach, CA, USA, 3–5 January,pp,258–263.
- Quaschnig.V., Hanitsch.R. , 1996, *Numerical Simulation of Current-Voltage Characteristics of Photo Voltaic System with Shaded Solar Cells*, Solar Energy,pp 56,1996,513-520.
- Tegtmeier, D., Nasse, W., Grochowski, J., 1997, *Untersuchung des Betriebsverhaltens von Wechselrichtern in netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen*, In: Proceedings of the 12th Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, pp, 241–245.

- Wang, Y.J.; Hsu, P.C., 2010, *Analytical Modeling of Partial Shading and Different Orientation of Photovoltaic Modules*. Renew. Power Gener. IET,4,272–282.
- Yusof, Y.; Sayuti, S.H.; Abdul Latif, M.; Wanik, M.Z.C., 2004, *Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System*, In Proceedings of Power and Energy Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 29–30 November, pp. 88–93.

NOMENCLATURE

A = diode ideality factor, dimensionless.

E_g = band gap energy (EV= electron volt)

G_1 = operating irradiances (W/m^2)

G_r = reference irradiances (W/m^2)

I_o = diode current (Amp)

I_{ph} = solar-generated current (Amp)

I_{pv} = output current (Amp)

I_{rs} = reverse saturation current (Amp)

I_s = diode current saturated (Amp)

I_{sc} = short circuit current, (Amp)

K = boltzmann constant 1.3805×10^{-23} (Joule/k)

K_i = temperature coefficient

N_s = number of solar cells connected in series.

R_p = parallel resistance (Ω)

R_s = series resistance (Ω)

T = operating temperature (K)

T_{dif} = deviation of the operating temperature from the reference temperature (K)

V_{oc} = open circuit voltage, V.

Table 1. Electrical characteristics parameters of the PV module at 25°C and 1000 W/m².

Rated power	50 W
Voltage at maximum power (V_{max})	17.5V
Current at maximum power (I_{max})	2.9A
Open circuit voltage (V_{oc})	22V
Short circuit current (I_{sc})	3.1A
Total number of cells in series	36
Module weight	5.6Kg
Module type	(50)17M800×541
Temperature coefficient k_i	0.0017

Table 2. Measurement apparatus range, resolution and accuracy.

	Measuring range	Resolution	Accuracy
Solar module analyzer PROVA 200A			
DC voltage measurements	0-60 V	0.001-0.01 V	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } V_{oc} \pm 0.09 \text{ V})$
DC current measurements	0-6 A	0.1-1 A	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } I_{sc} \pm 0.9 \text{ mA})$
Solar power meter TES1333R			
Solar radiation measurements	0-2000 W/m ²	0.1 W/m ²	$\pm 10 \text{ W/m}^2$ or $\pm 5\%$. higher temperature induced error of $\pm 0.38 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ from 25°C
Digital thermometer TPM-10			
Temperature measurement	-50~70 $^\circ\text{C}$	0.1 $^\circ\text{C}$	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

Table 3. Maximum power degradation comparison with some previous studies.

	Power without partial shade (W)		Power with partial shade (W)		$P_{loss}^* \%$
	Experimental	Simulink	Experimental	Simulink	
Present Results	41	50	18.93	25	0.53
Basim et al., 2013	110	108	49	48	0.55
Quaschnig and Hanitsch ,1996	20	30	6.3	10.3	0.68

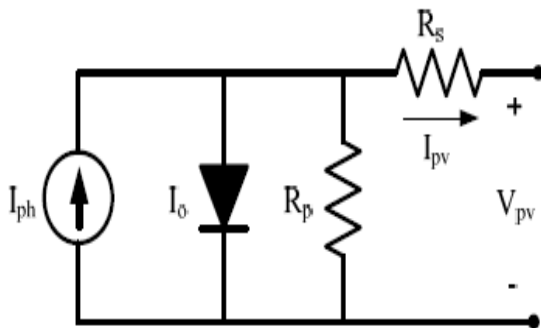

Figure 1. Equivalent circuit of PV.

Figure 2. Experimental system.



Figure 3. Solar analyzer prova.

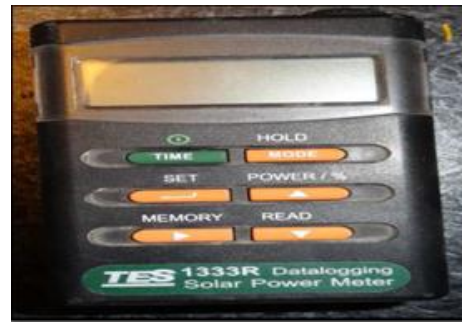


Figure 4. Solar power meter.



Figure 5. Digital thermometer.

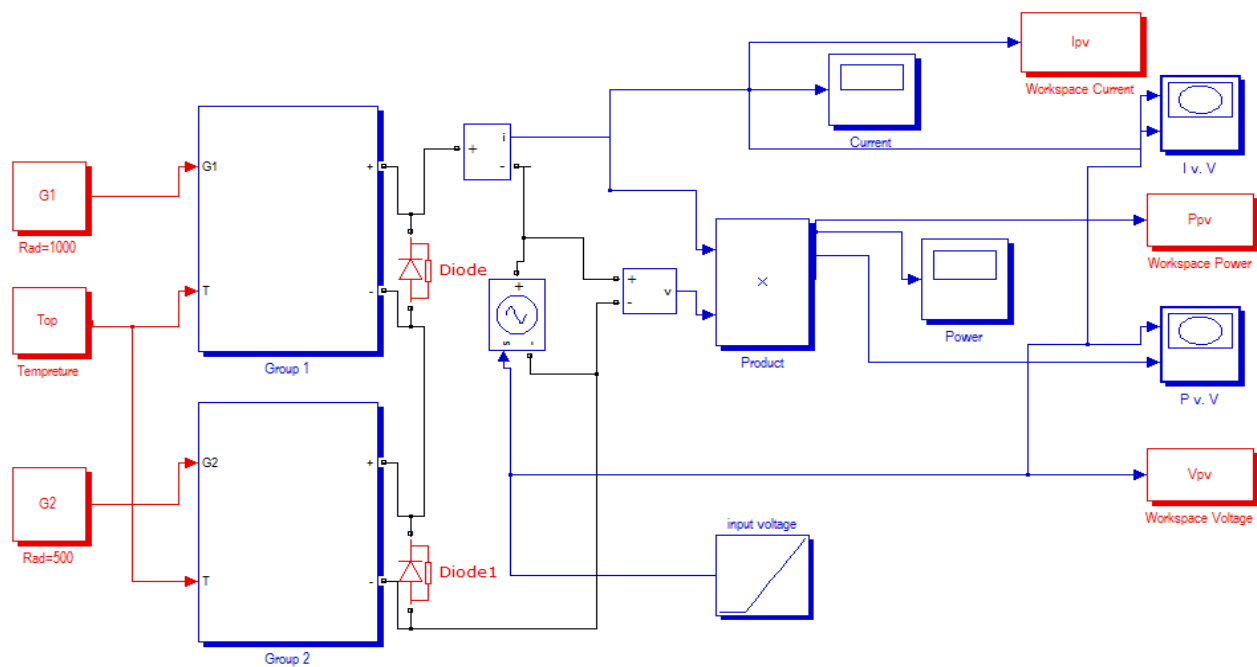


Figure 6. Simulink model for partial shading of single PV module.

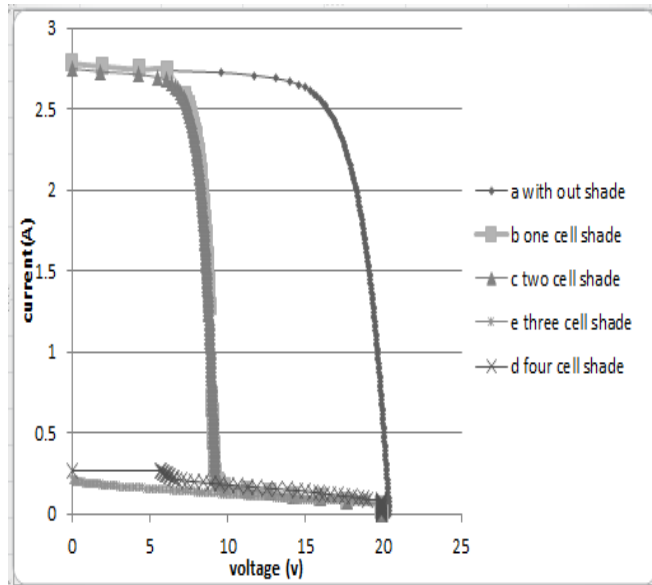


Figure 7. I-V curve with partial shade.

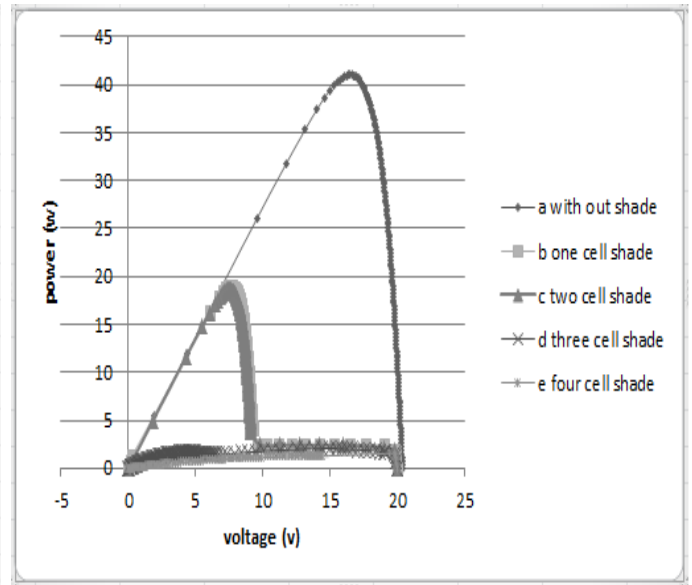


Figure 8. P-V curve with partial shade.

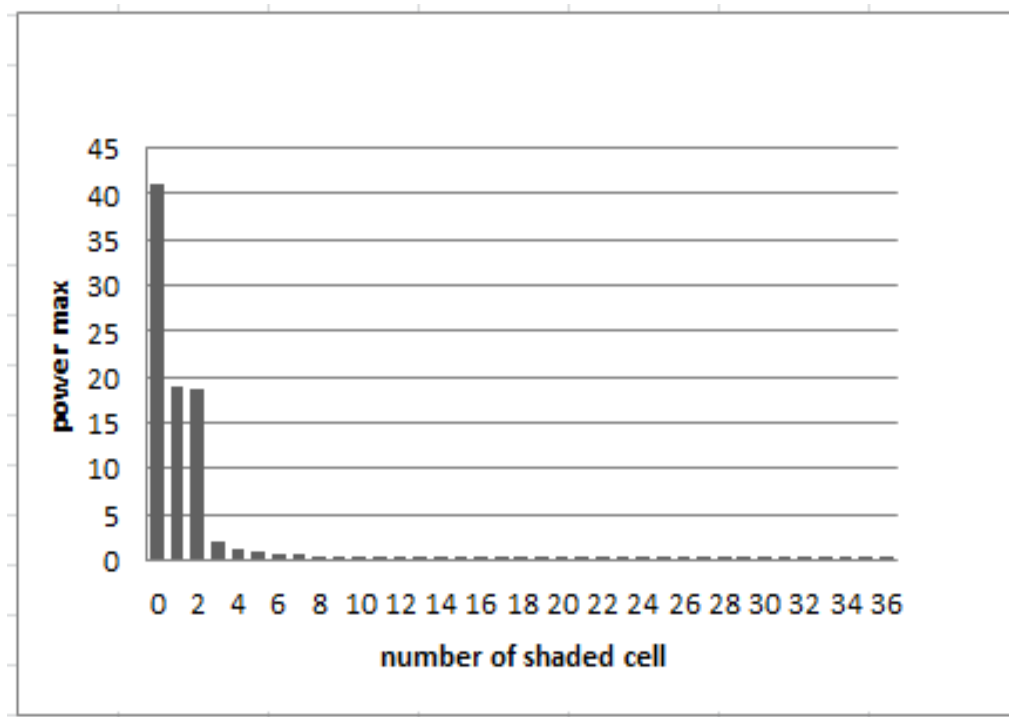


Figure 9. Power drop with number of shaded cells.

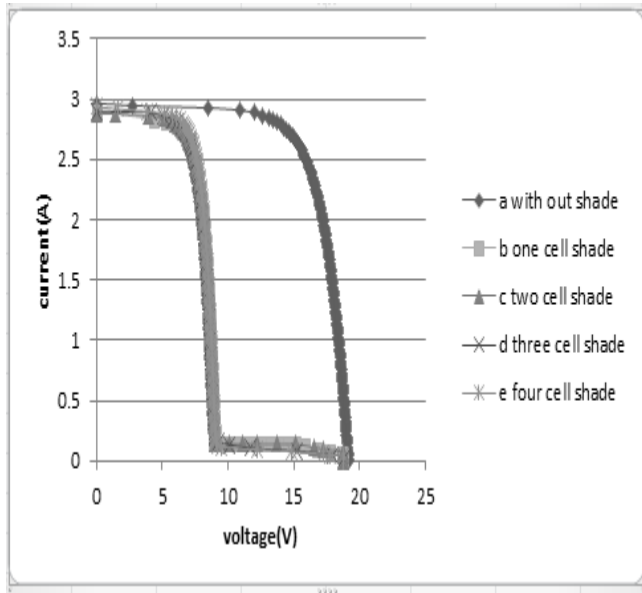


Figure 10. I-V curve of PV module.

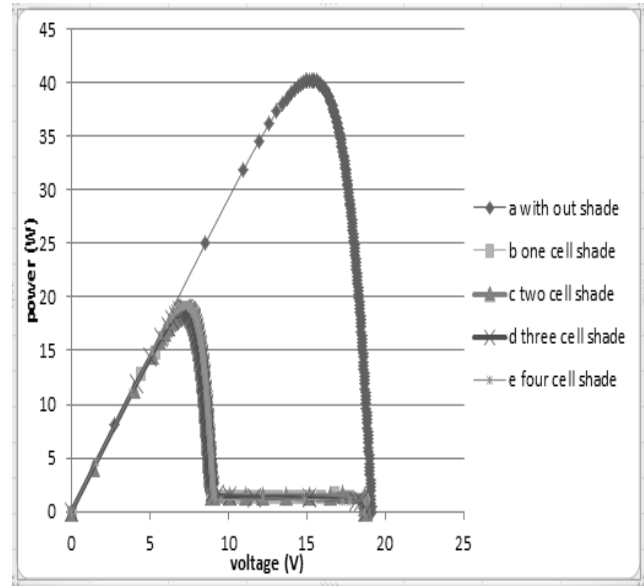


Figure 11. P-V curve of PV module.

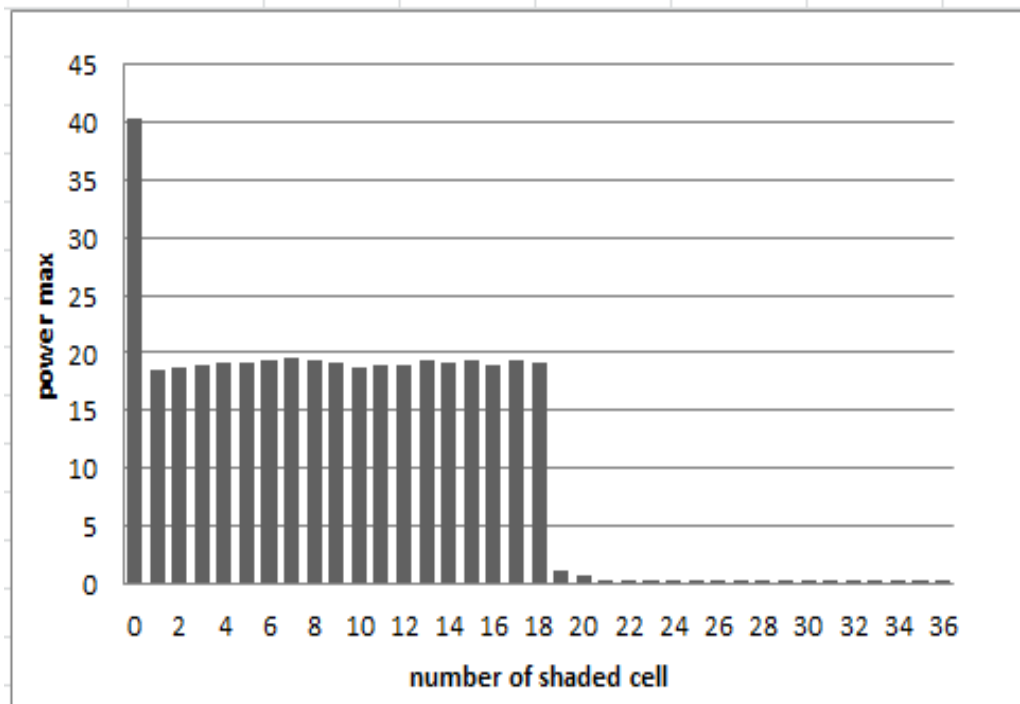


Figure 12. Power drop with number of shaded cells.

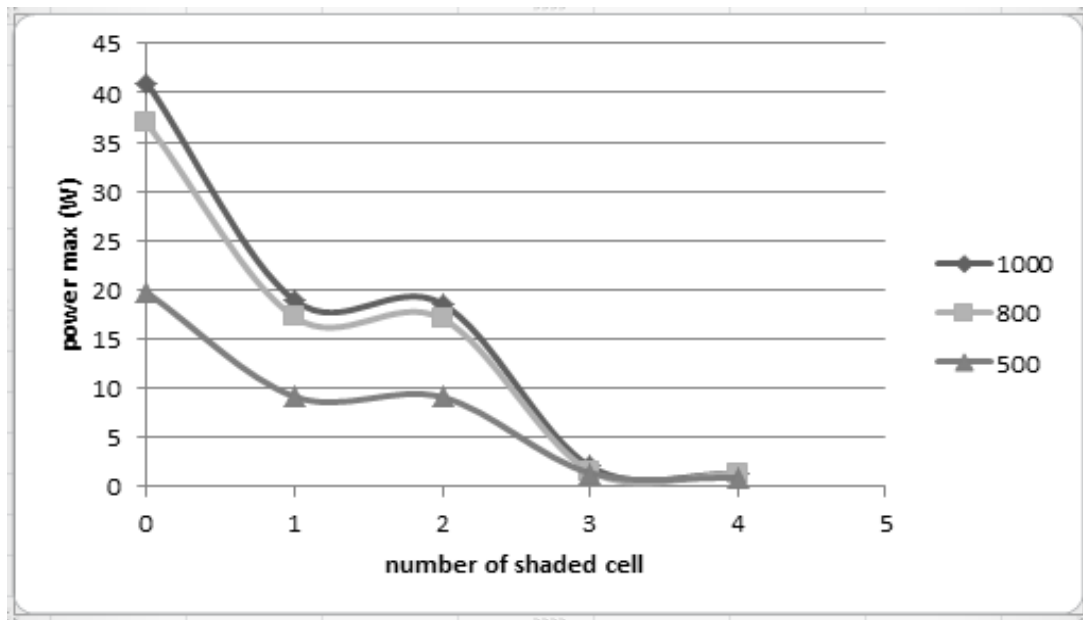


Figure 13. Power drop with number of shaded cells in horizontal shade at different radiation (500, 800, 1000) W/m².

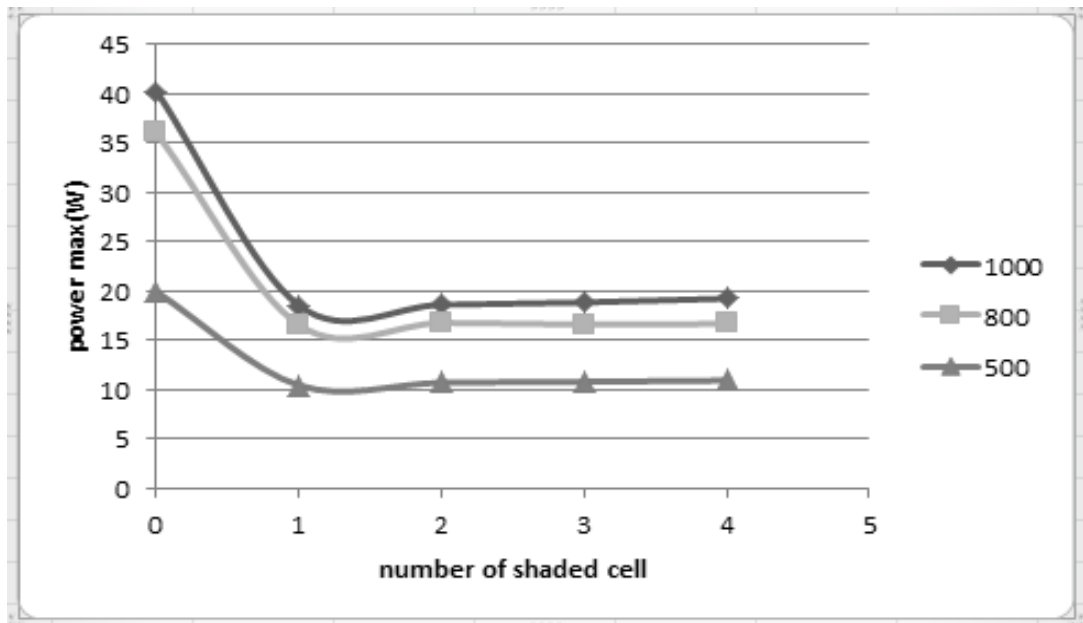
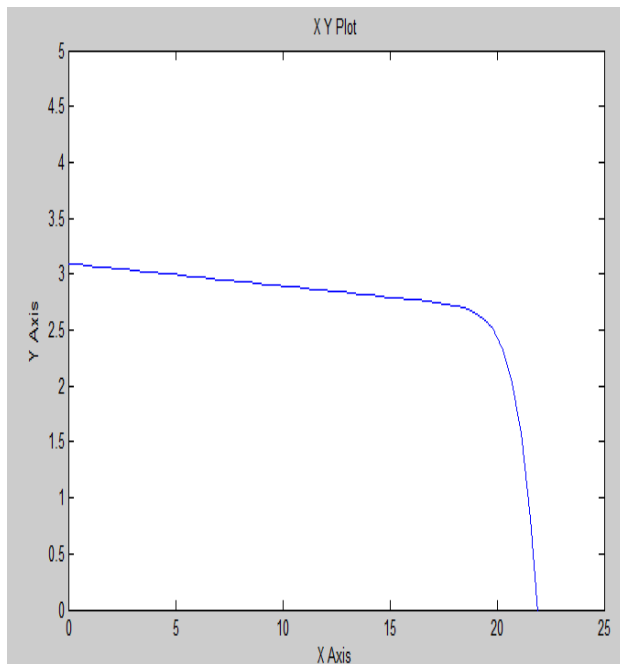
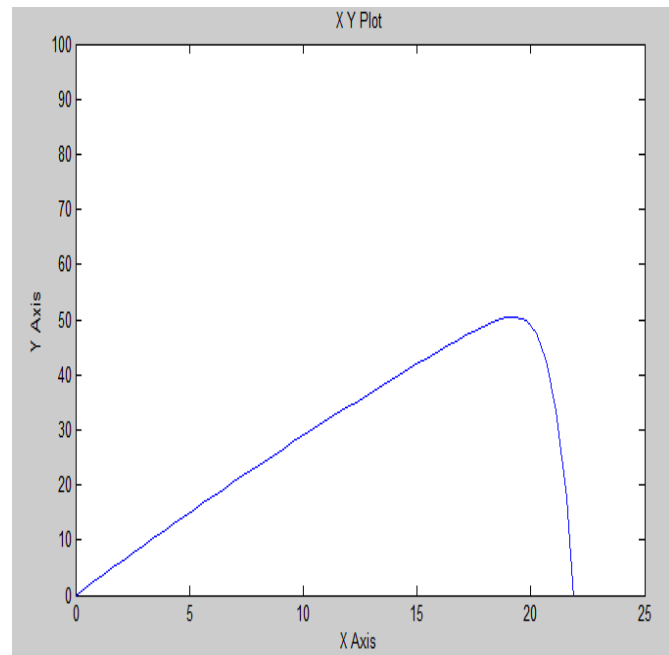
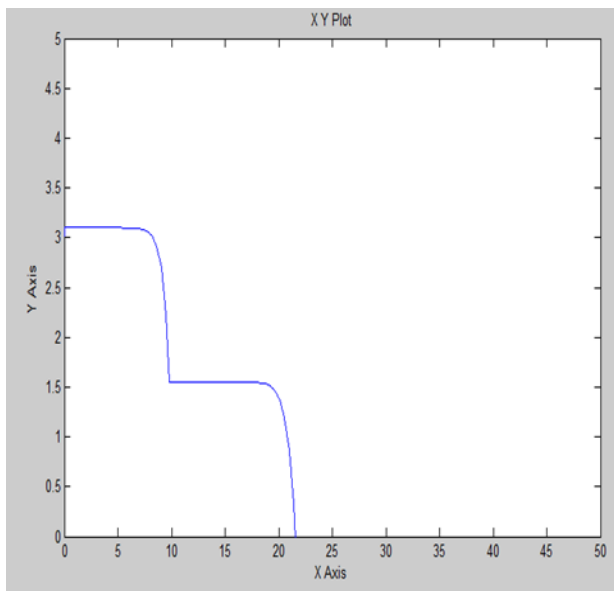
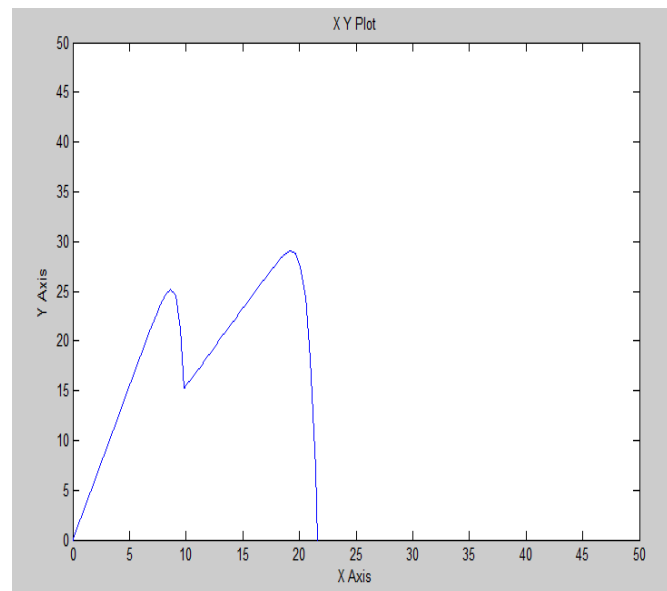


Figure 14. Power drop with number of shaded cells in vertical shade at different radiation (500, 800, 1000) W/m².

**Figure15.** Simulink I-V curve without shade.**Figure 16.** Simulink P-V curve without shade.**Figure17.** Simulink I-V curve with shade.**Figure18.** Simulink P-V curve with shade.



The Effects of Inclination and Compounds Angles of Round Holes in Staggered Rows on Adiabatic Film Cooling Effectiveness of Vane Suction side

Dr. Najdat N. Abdullah

Department of Mechanical Engineering
College of Engineering / University of Baghdad
Email: najdat_abdulla@yahoo.co.uk

Rashid Khalid Nsaif

Ministry of Oil
Email: rashidnsaif@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this work is oriented to increase film cooling effectiveness value through numerical investigations for flow of Mach number not more than 0.3 around vane surface, to find the effects of inclination and compounds angles of round holes in staggered rows on adiabatic film cooling effectiveness of vane suction side. Multi cylindrical film cooling hole cases were studied with pitch ratio $P/d = 2$ and 3, local blowing ratios $M = 0.382, 0.77$ and 1.14, inclination angles $\alpha = 30^\circ$ and 45° , compound angles $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ and 45° and local momentum ratios $I = 0.084, 0.34$ and 0.756 for better cooling process.

A numerical technique, using ANSYS-FLUENT version 14.5, was used to solve governing partial differential equations of mass, momentum (Navier Stokes equations) and energy conservations in three dimensions with a $v^2 - f$ turbulence model that involves the solution of the four transport equations. Based on the results of the numerical solution, the best film cooling configuration, blowing ratio, with the range of actual engine flow conditions, dimensions and vane geometry; density ratio 1.74, temperature ratio 0.57 and blowing ratio $M = 0.382, 0.77$ and 1.14 was obtained. The best case for inclination angle $\alpha = 30^\circ$, $P/d = 2$ was at $M = 1.14$ and $\beta = 0^\circ$ for the total average effectiveness along 60L/d of surface suction side was 0.616, while the best case for inclination angle $\alpha = 45^\circ$, $P/d = 2$ was at $M = 0.382$ and $\beta = 30^\circ$ for the total average effectiveness along 60L/d of surface suction side was 0.516.

In addition, comparisons were performed with available other work, where the experimental total average effectiveness results of Dees et al., 2011 were in good agreements with the numerical results of current work with a maximum deviation of 9.9% at $I = 0.34$ and 3.6% at $I = 0.75$.

Key words: vane turbine, film cooling, adiabatic cooling effectiveness.

تأثيرات زوايا الميل والدوران للثقوب الدائرية في الصفوف المتخالفة على كفاءة التبريد الغشائي لجانب السحب من ريش التوجيه الرئيسية في التوربين

راشد خالد نصيف
وزارة النفط

أ.د. نجدة نشأت عبد الله
كلية الهندسة-جامعة بغداد

الخلاصة

ان الهدف من هذه الدراسة هو زيادة كفاءة التبريد الغشائي من خلال دراسة نظرية لجريان هواء برقم ماخ لا يزيد عن 0.3 حول سطح الريشة لغرض الوصول الى تأثيرات زوايا الميل والدوران للثقوب الدائرية في الصفوف المتخالفة على كفاءة التبريد الغشائي لجانب السحب من ريش التوجيه الرئيسية في التوربين. تمت دراسة العديد من الحالات نظريا لثقوب تبريد اسطوانية بنسبة مسافة بين ثقبين الى قطر الثقب هي 2 و 3 وبمعدل ضخ نسبة الى السرعة الموقعية للجريان الرئيسي هو 0.328 و

0.77 و 1.14 وبزاوية توجيه علوي 30° و 45° وزاوية توجيه جانبي 0° , 15° , 30° , 45° وبعزم ضخ 0.084, 0.34, 0.756 لافضل تبريد.

باستخدام الحل العددي بواسطة البرنامج ANSYS-FLUENT version 14.5 تم حل المعادلات التفاضلية الجزئية بالاتجاهات الثلاثة للكتلة والعزم والمعروفه Navier Stokes equations بالاضافة لمعادلة الطاقة وباستخدام نموذج $v^2 - f$ للجريان المضطرب الذي يشمل اربع معادلات انتقال. بالاعتماد على نتائج الحل العددي والتي هي بظروف مشابهة لظروف المحرك التوربيني من الناحية النسبية نسبة كثافة 1.74، نسبة درجات حرارة 0.57، نسبة ضخ 0.77, 0.382, 1.14، تم الوصول الى أمثل: شكل وكمية الضخ. الحالة الامثل عندما تكون زاوية الميل $\alpha=30^\circ$ ، $P/d=2$ ، $\beta=0^\circ$ and $M=1.14$ حيث المعدل الكلي لكفاءة التبريد لطول 60L/d من سطح السحب لريشة التوربين هو 0.616، بينما الحالة الامثل عندما تكون زاوية الميل $\alpha=45^\circ$ ، $P/d=2$ ، $\beta=30^\circ$ and $M=0.382$ حيث المعدل الكلي لكفاءة التبريد لطول 60L/d من سطح السحب لريشة التوربين هو 0.516.

تمت المقارنة مع بحوث متوفرة لاعمال أخرى حيث كانت النتائج العملية لمعدل التبريد الكلي للباحث Dees et al., 2011 متقاربة بشكل جيد مع النتائج العملية لهذه الدراسة وكانت اعلى نسبة للاختلاف بين العمليين هو 9.9% عند نسبة عزم للضخ 0.34 و 3.6% عند نسبة عزم ضخ 0.75. الكلمات الرئيسية: ريش التوربين، التبريد الغشائي، الكفاءة التبريد الاديابتيكي.

1. INTRODUCTION

Modern high pressure turbine blade and vane are set under high thermal stress. Since the early years, the turbine combustion gases inlet temperature has been increasing considerably in order to increase the work output per unit mass and the thermal efficiency of gas turbine engine. Nowadays, the combustion gases temperature in the first stages of turbine can be beyond acceptable vane metal temperatures. In order to keep vanes at an acceptable temperature, a complex cooling ways were used. Many works were made in the earlier years in order to increase the cooling efficiency and in the recent years continuous efforts are doing to develop the technologies for higher blade loading, **Gomes and Niehuis, 2013 part II**. Film cooling technique is widely used for the vanes and blades of the front stages in order to reduce material temperatures as far as necessary for an acceptable life span of the components. As film cooling jets reduced combustion gases temperature, improvements can be gain by decreasing the amount of jet cooling mass flow rate and with effective film cooling distribution on vane surface, **Kusterer, et al., 2007**.

Several global researches studied the vane film cooling and great affords was done to improve film cooling method. **Cutbirth and Bogard, 2002**, defined thermal fields of the showerhead film cooling region which is part of suction side of a turbine vane by using a closed-loop, low speed wind tunnel with ranged of blowing ratios from 0.5 to 2.0. Showerhead cooling jet was completely lift-off from the vane surface even at low blowing ratios and the interaction of the coolant jets from lateral adjacent holes improve adiabatic film cooling effectiveness. **Dittmar, et al., 2003**, investigated four different film-cooling hole configurations on a large scale suction side of vane in open loop atmospheric wind tunnel and one of them was staggered arrangement of double row cylindrical holes. It was found that all configurations show similar film-cooling effectiveness at low blowing ratios. Effectiveness was decreased drastically for the cylindrical holes which were attributed to coolant jet separation from the vane surface. **Colban, et al., 2006**, presented a study of the adiabatic cooling effectiveness and heat transfer coefficients for turbine vane under low-speed conditions by using low speed wind tunnel. Near the leading edge, the Stanton number had the maximum value. Measurements of single row adiabatic film cooling effectiveness without upstream showerhead blowing showed that the jet lift-off was along vane suction side. **Waye and Bogard, 2007**, investigated adiabatic film cooling effectiveness for round axial hole and with compound angle on

the simulated vane suction side to evaluate the performance of these configurations. Experiments were conducted by using low speed wind tunnel for different coolant density ratio, main flow turbulence levels, and hole spacing. Compound angle holes provided higher laterally averaged adiabatic effectiveness than axial holes and the adiabatic effectiveness for the compound angles, showed better than axial holes. **Dees, et al., 2011**, presented experimental measurements of external surface temperature on the cooled adiabatic model of scaled up vane suction side. Adiabatic effectiveness values were measured on downstream of the film cooling holes near the mid span of adiabatic vane at local momentum ratio $I = 0.34$ and 0.75 . The highest values of laterally averaged adiabatic effectiveness occur immediately downstream of film injection. At $I = 0.34$ best effectiveness was obtained over the whole test domain. Increasing the film cooling momentum flux ratio decreased the adiabatic effectiveness values due to coolant flow separation.

Mhetras, et al., 2012, studied experimentally the effect of cooling holes location in lateral direction of a stationary linear cascade on film-cooling effectiveness using the pressure sensitive paint method. The effect of showerhead cooling jet at vane leading edge and the compound angle hole type on the suction sides were examined. **Dyson, et al., 2013**, measured the adiabatic and overall effectiveness for a scaled up linear vane cascade model, fully cooled, with film cooling holes on a showerhead and rows on vane suction side in a low speed wind tunnel with a “chord-exit Reynolds number” of 700,000. Adiabatic effectiveness measured for a model was constructed from foam low thermal conductivity. The spatial variation in the overall effectiveness was considerably less than that for the adiabatic effectiveness. **Naik, et al., 2014**, investigated film cooling effectiveness characteristics of a first stage turbine via numerical method. The oil flow visualization indicated that the secondary flows on the vane suction side were relatively small. The impact of high and low blowing ratios was relatively small on the film cooling effectiveness.

A model studied in this work represents the actual dimensions of vane geometry of 125MW gas turbine for South Baghdad Power Station as given in **Table 1**. Study of performance of gas turbine vane suction side film cooling effectiveness was investigated through different inclination and orientation angles of film cooling holes. Multi cylindrical film cooling holes cases were studied as shown in **Table 2** to find the best case for better cooling.

2. NUMERICAL SOLUTION

In order to analyze the fluid flow and heat transfer characteristics mathematically at vane suction sides of turbine, a solution of Navier-Stokes equations is required. Due to the complexity of vane surface configuration and the significant viscous and heat effects, it is impossible to obtain an analytical solution of Navier-Stokes equation. Therefore, a numerical technique, using ANSYS-FLUENT version 14.5, was used to solve governing partial differential equations of mass, momentum and energy conservations in three dimensions with a $v^2 - f$ turbulence model that involves the solution of the four transport equations; the turbulence kinetic energy k , its rate of dissipation ϵ , the velocity variance scale $\overline{v^2}$ and the elliptic relaxation function f , to demonstrate the effect of the turbulence on the flow structure.

The annular geometry of vanes was converted to straight for one vane with periodic boundary condition from suction and pressure side and symmetry boundary conditions in span direction far from endwall effects at the hub and shroud as shown in **Fig. 1**. Only 12mm in the middle of the span which contains holes film cooling, was modeled. This method was used by, **Colban, et al., 2007**.

For the modeled geometry, the distance from inlet section of combustion gases to the leading edge of the vane is 55mm, while the distance from vane trailing edge to exit boundary of combustion gases is 30mm and the distance between periodic boundaries was 167mm and all other dimensions are listed in **Table 1**. Depending on the dimensions of actual vane gas turbine for South Baghdad Power Station 125MW, the same dimensions of cylindrical film cooling holes have been made in a model vane with different inclination and compound angles in order to investigate its effects on adiabatic film cooling effectiveness on vane suction side. In this work, air was chosen as a working fluid and cold air was used in film cooling flow while the hot air represents the hot main stream flow. The physical properties for stream was fed as an input to ANSYS-FLUENT and used in solving the cases.

Pointwise V17.0R1 was used to generate structured, unstructured and hybrid grids. Structured grid was used around the vane surface for a sufficient distance from the vane surface and then completed the whole domain by using unstructured grid which result a hybrid mesh in the block that a mixture from hexahedron, pyramid and prism cells as shown in **Fig. 1**. Non-conformal grids was produced due to the difference in cells configuration between vane wall cells and cooling hole exit area cells (named interface where the locations of grid node at the meet boundaries of two subdomains not identical).

To obtain accurate solution in this work, skewness kept to not exceed 0.85 for hex, quadratic and triangular cells and for tetragonal cells, skewness should not exceed 0.9. The mesh adjacent to the wall was so fine to solve the boundary layer flow. In the film cooling researches that presented, the recommended value of y^+ is less than four. In this work the value of y^+ near the vane surface was kept at a value $y^+ = 1$.

For structured domains the orthogonality of grid points adjacent to the vane wall was kept to perfect orthogonality and max value was 90° along the entire vane surface. For the present model 1,091,160 cells was used. The rate of convergence is indication to mesh quality. In this work the convergence was achieved with about 160 iterations.

The numerical study of this work depends on the general gas turbine engine conditions that was specified and used from a very few researches as was found in the literature surveyed. These engine conditions represented by density ratio $DR=1.2$ to 1.75 , temperature ratio $\frac{T_c}{T_\infty} = 0.5$ to 0.7 and blowing ratio $M=0.3$ to 1.5 . In this research will focus on the effect of inclination and compound angle of round hole on adiabatic film cooling effectiveness for $P/d=2$ on vane suction side.

The free stream out from the combustion chamber is normally turbulent or the simulation one in this study entering the vane inlet boundary and flowing around the vane surfaces suction and pressure side. This flow is as a flow around an obstacle and it considered as external flow **Mathew, et al., 2013**. Flow around obstacle was considered as turbulent for $Re_d \geq 20,000$. The Reynolds number for the model vane is $Re_d = 25100$ where the characteristic length is the leading edge diameter. The characteristic Reynolds number depending on vane cord length as a characteristic length is normally high $Re_c = 1.49E+05$ in this study depending at inlet velocity and $Re_c = 5.51E+05$ depending on exit velocity at trailing edge and 20% turbulent intensity was used at free stream inlet velocity.

In the present work, the working fluid was air and the flow characteristics were assumed to be three-dimensional turbulent incompressible Newtonian fluid flow, density ρ varies only with

temperature and single-phase flow. In addition, flows pressure work $\frac{P}{\rho}$, and kinetic energy $\frac{v^2}{2}$ terms in energy equation are negligible, viscous dissipation terms $(\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{V})$ are negligible and $S_h = 0$.

In this work Reynolds averaged Navier-Stokes equations RANS was used, **ANSYS theory guide, 2014**.

In Cartesian tensor, they can be written as:

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \rho \bar{u}_i \bar{u}_j = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_k} \right) \right] \quad (2)$$

where $(-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j)$ is a Reynolds stress tensor R_{ij} which represents the effects of turbulence. The forma of energy equation that solves in ANSYS FLUENT, was:

$$\nabla \cdot \vec{V} \rho E + P = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{V}) \right) + S_{\#} \quad (3)$$

The film cooling flow over the vane surface is a boundary layer flow. The most suitable turbulent model for this type of flow considering the boundary layer is $v^2 - f$ model. This model is the successful modeling of the separation of fluid from a curved surface for example, the suction side of an airfoil. The turbulence kinetic energy k , rate of dissipation ϵ , the velocity variance scale \bar{v}^2 , and the elliptic relaxation function f can be obtained from the following transport equations:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \bar{u}_i) = P_k - \rho \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon \bar{u}_i) = \frac{C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon}{T} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{v}^2 \bar{u}_i) = \rho k f - 6 \rho \bar{v}^2 \frac{\epsilon}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \bar{v}^2}{\partial x_j} \right] \quad (6)$$

$$f - L^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_j^2} = (C_1 - 1) \frac{\frac{2}{3} \frac{\bar{v}^2}{k}}{T} + C_2 \frac{P_k}{\rho k} + \frac{\frac{5 \bar{v}^2}{k}}{T} \quad (7)$$

The model constants have the following default values:

$\alpha = 0.6$, $C_1 = 1.4$, $C_2 = 0.3$, $C_{\epsilon 1} = 1.4$, $C_{\epsilon 2} = 1.9$, $(C_\eta = 70)$, $C_\mu = 0.22$, $C_L = 0.23$, $\sigma_k = 1$, $\sigma_L = 1.3$, $\dot{C}_{\epsilon 1} = C_{\epsilon 1} \left(1 + 0.045 \sqrt{k/\bar{v}^2} \right)$, **ANSYS Fluent $v^2 - f$ turbulence model manual, 2013**.

Boundary conditions were specified for each zone of the computation domain. For the steady state, there were four boundaries in the physical flow domain, inlet, outlet, periodic boundary and solid surfaces wall as shown in **Fig. 1**. However, the internal domain zone that shares common areas faces does not require any boundary condition.

The boundary conditions used in this work are as follow:

- Velocity-inlet boundary at area NO.1, where $U_\infty = 23\text{m/s}$, $T_\infty = 527\text{k}$, $T_u = 20\%$, $D_h = 22.3\text{mm}$ and pressure gage=0.
- Pressure outlet boundary at area NO.2, where $T_\infty = 527\text{k}$, $T_u = 5\%$, $D_h = 22.3\text{mm}$.
- Periodic boundary at area NO.3.
- Velocity-inlet boundary at area NO.4, where its velocity depend on blowing ratios with $T_\infty = 300\text{k}$, $D_h = 2\text{mm}$.
- Symmetry boundary at area NO.5
- Wall boundary at area NO.6, no-slip and adiabatic wall was defining by setting a zero heat flux condition.
- Zero-gradient boundary condition for the variable f at inlets with default value = 1
- $k, \varepsilon, \sqrt{v^2}$ and ℓ at inlet boundaries were compute its initial values from:

$$k = 1.5(T_u U_\infty)^2 \quad ; \quad \varepsilon = 0.09^{0.75} \frac{k^{3/2}}{\ell} \quad ; \quad \sqrt{v^2} = \frac{2}{3}k \quad ; \quad \ell = 0.07(D_{h \text{ of area 1 or 4}})$$

ANSYS Fluent $v^2 - f$ turbulence model manual, 2013.

In this work the predicting near-vane wall cell distance was specified according to $y^+ = 1$, a good power law correlation for a flat plate for turbulent coefficient of skin friction was used, **Saadati, 2009**, as follows:

$$C_f \approx 0.027 Re_x^{1/7} \quad (8)$$

Wall shear stress was predicted from;

$$\tau_w = \frac{1}{2} C_f \rho U_\infty^2 \quad (9)$$

From τ_w compute the velocity U_τ ;

$$U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (10)$$

The distance from the wall to the centroid of the first cell Δy can be estimated by choosing the desired wall distance vector $y^+ = \frac{y U_\tau}{\nu}$ dimensionless where y distance from the wall.

$$\Delta y = \frac{y^+ \mu}{U_\tau \rho} \quad (11)$$

To characterize the film cooling performance, adiabatic film cooling effectiveness was used. It represent a normalized form of T_{aw} (the coolant temperature at the wall will be at the adiabatic wall temperature, T_{aw} , which it was the driving temperature potential for heat transfer into the wall). The film effectiveness η is defined as follows, **Bogard, 2012**:

$$\eta = \frac{T_\infty - T_{aw}}{T_\infty - T_{c,exit}} \quad (12)$$

In this work Mach number (Ma) is assumed to not exceed 0.3 in two passages around the vane surface, in order to be within incompressible flow range. The velocity was kept approximately at $U_{\infty} = 23 \text{ m/s}$ at the inlet of vane near the leading edge to ensure the Mach number not exceeds 0.3 around the vane. This velocity was specified via using Auto-Cad program and thus the minimum vane passage flow area was calculated (it is equal to 0.0003396 m^2). Also, the cross sectional area between two stagnation points on the pair of the neighbor vanes was equal to 0.002 m^2 . The velocity of sound (a) at the temperature of hot main stream flow of 527C° was equal to 458 m/s that found from Eq. (13).

$$a = \left(\frac{C_p}{C_v} \right) R T)^{0.5} \quad (13)$$

$$U = Ma * a \quad (14)$$

Hence, from Eq. (14), the maximum hot flow speeds at minimum vane passage cross section area was computed.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

As shown from the contours of vane static temperature, **Fig. 2**, the staggered arrangement of holes improves the film cooling on vane surface where the upstream row of staggered arrangement fills the film cooling gap between the holes of downstream row of staggered arrangement. As shown in the jet film cooling fully attached to vane surface because of low momentum ratio $I=0.085$ corresponding to blowing ratio of $M=0.382$. The local span average effectiveness of case (1) for $\beta=0^{\circ}$, 15° and 30° along $60L/d$ was presented in **Fig. 3** with insignificant difference among local span effectiveness. The values of total average effectiveness for these cases were 0.342, 0.413 and 0.387 respectively. **Figure 4** shows local span average effectiveness for case (2) for $\beta=0^{\circ}$, 15° and 30° along $60L/d$ of vane surface distance. At $\beta=30^{\circ}$, the cooling jet was lift-off little from the hole trailing edge of the downstream row and reattached at $8L/d$ after mixes with hot gases and the temperature of cooling jet was increased. While the cooling jets for $\beta=0^{\circ}$ and 15° were fully attached to the vane surface which that improve the cooling effectiveness. The momentum ratio of $I=0.34$ corresponds to $M=0.77$ was the moderate between $I=0.25$ and $I=0.5$. Below $I=0.25$ the cooling jet was fully attached the vane surface and for $I=0.5$ and above the cooling jet flow was separated. The value of total average effectiveness at $60L/d$ surface distance was 0.517, 0.535 and 0.432 respectively. The local span average effectiveness of case (3) for $\beta=0^{\circ}$, 15° and 30° along $60L/d$ was presented in **Fig. 5**. The cooling jet was fully attached the vane surface at $\beta=0^{\circ}$ and 15° . For $\beta=30^{\circ}$, the jet was separated and mixed with hot mainstream gas that flows above the cooling jet and between the gap formed in cooling jet from staggered holes arrangement and the second vortex system of hot gas sweeps and mixes under cooling jet and warm the gap area and the cooling jet warms and mixes as it flows in downstream direction. The value of total average effectiveness at $60L/d$ surface distance was 0.616, 0.496 and 0.366 respectively.

Among the cases (1, 2 and 3) the best one that gave higher total average effectiveness along $60L/d$ was case (3) at $\beta=0^{\circ}$ ($\eta=0.616$) where the local span average effectiveness for this case as shown in **Fig.6**. It was obvious that the case 3 at $\beta=0^{\circ}$ had the highest total average effectiveness of 0.616, but for the case 2 at $\beta=15^{\circ}$ had also a good value of total average effectiveness 0.535. The

percentage difference between two values of total average effectiveness was 8.1% and this value was achieved by increasing the blowing ratio from 0.77 to 1.14 which represents 25.2%.

Fig. 7 represents the span average effectiveness of case 4 for $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° . In this case, the cooling jet fully attached to vane surface. While the high inclination angle, $\alpha = 45^\circ$ assists the jet to separate, but the low blowing ratio $M = 0.382$ and its corresponding low momentum ratio prevent the separation. Due to low blowing ratio, the cooling jet quickly losses its coldness due to mixing with hot flow stream. This mix is proportional with degree of compound angle. $\beta = 30^\circ$ produces a high lateral cooling distribution and increases perfectly the effectiveness. The values of total average effectiveness along 60L/d of vane surface were 0.375, 0.362, 0.516 and 0.334 respectively. **Fig. 8** shows the span average effectiveness of case (5) for $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° . At $\beta = 0$ and 15° , the cooling jet attached to the surface with not allowing the hot gases to control and weaken the cooling effect. For $\beta = 30^\circ$, lift-off was occurred and reattached at 5L/d while at $\beta = 45^\circ$ lift off was occurred and mixed with hot gases and causes poor in lateral cooling distribution which decreases the cooling effectiveness. Very good lateral cooling distribution at compound angle 15° and 30° . The values of total average effectiveness for $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° were 0.47, 0.523, 0.487 and 0.215 respectively. From **Fig. 9** the span average effectiveness of case (6) for $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° were clarified. At $\beta = 0^\circ$ and 15° the hot gas don't mix strongly with cooling jet and the cold mixture still in touch with the vane surface with good lateral cooling distribution. At $\beta = 30^\circ$ the cooling jet were separated and warmed via mixes with hot gas and reattached at 6L/d after losing some of its cooling effect with few lateral distributions. At $\beta = 45^\circ$ the cooling jets mixed with hot gas, converged and lost the cooling effect after 8L/d. The values of total average effectiveness for $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° were 0.524, 0.452, 0.286 and 0.09 respectively. Among cases (4, 5 and 6) the best one that gave higher total average effectiveness along 60L/d was case 6 at $\beta = 0^\circ$ ($\eta = 0.524$). It was clear that the values of total average effectiveness of these three cases had the highest and approximately equal values which were 0.516 at $\beta = 30^\circ$, 0.523 at $\beta = 0^\circ$, and 0.524 at $\beta = 0^\circ$, respectively. The choosing one of these values as the best case must not depend on the highest value of total average effectiveness only, but also depends on the blowing ratio for each of these cases must. The increase of blowing ratio from 0.382 to 1.14 represents 50.8% increasing in blowing ratio which reduces gas turbine engine efficiency. The percentage increase in total average effectiveness from 0.523 to 0.524 was 0.1% with corresponding to percentage increase in blowing ratio 25.2% for increasing M from 0.77 to 1.14. So that the case (6) with $\beta = 0^\circ$ will be out of the interest. Thus the comparison will be between case 4 at $\beta = 30^\circ$, and case (5) at $\beta = 0^\circ$. The percentage increase in total average effectiveness for these cases, from 0.516 to 0.523 is 0.7% with corresponding increasing in blowing ratio of 25.6% for increasing M from 0.382 to 0.77. So that the best case was case (4) at $\beta = 30^\circ$, because it was not logic to cool and increase the gas turbine efficiency of 0.7% by increasing the injection cooling air through increase blowing ratio 25.6% .

The best case for thirty degrees inclination angles of film cooling holes was the case (3) at $\beta = 0^\circ$ that had the value of 0.616 total average effectiveness, and the best case for forty five degrees inclination angle of film cooling holes was the case (4) at $\beta = 30^\circ$, that had the value of 0.516 total average effectiveness. The difference between the values of total average effectiveness 0.616 and 0.516 is 10%. This 10% increase accomplished with increase in blowing ratio of 50.8% .The designer of gas turbine engine is the only person has the permission to decide whether this 10% increase in cooling effectiveness worth to increase blowing ratio. In this work the case (3) at $\beta = 0^\circ$

with total average effectiveness 0.616 was chosen to be the best case among all the twenty one different cases as shown in **Fig. 10**.

Comparison was made between cases from current work and experimental cases from **Dees, et al., 2011**, as shown in **Fig. 11**. Two cases from current study on the vane suction side, consists of a line of holes at $\alpha=45^\circ$, $\beta=0^\circ$, $P/d=3$ at $I=0.75$ and the second at $I=0.34$. These two cases were compared with two cases from **Dees, et al., 2011**, work with a line of holes at the suction side of scaled up vane four times bigger than the actual size at $\alpha=42^\circ$, $\beta=0^\circ$, $P/d=3$, where first case at $I=0.75$ and the second at $I=0.34$. It was obvious that the value of local momentum factor was close together among the compared cases. It was obvious that there were no lift-off occurred in the cooling jet for both cases of **Dees et al., 2011**, while in current study, the cooling jet lift-off was found and reattached at $5.4L/d$. So that the total average effectiveness of **Dees, et al., 2011** two cases was 0.279 at $I=0.34$ and 0.206 at $I=0.75$ along $55L/d$ where higher than the total average effectiveness of current cases, which were 0.18 at $I=0.34$ and 0.17 at $I=0.75$. The reason of these differences in cooling performance between cases of **Dees, et al., 2011**, and current study cases were related to used actual engine vane size in this work, while **Dees, et al., 2011**, was used scaled up four times larger than the actual engine vane size. Generally, for $I=0.34$ and $I=0.75$ for current study as shown in **Fig. 11** was closed to spouse results of **Dees, et al., 2011**, cases especially after $16L/d$, where the maximum deviation of 9.9% at $I=0.34$ and 3.6% at $I=0.75$.

5. CONCLUSIONS

The following conclusions were extracted from numerical simulation results on the prediction of the best configurations of film cooling round holes on vane suction side:

- 1- For case (1) the highest effectiveness was at $\beta=15^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.413.
- 2- For case (2) the highest effectiveness was at $\beta=15^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.535.
- 3- For case (3) the highest effectiveness was at $\beta=0^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.616.
- 4- For case (4) the highest effectiveness was at $\beta=30^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.516.
- 5- For case (5) the highest effectiveness was at $\beta=0^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.523.
- 6- For case (6) the highest effectiveness was at $\beta=0^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ was 0.524.
- 7- The best case for inclination angle $\alpha=30^\circ$ was case (3) at $\beta=0^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ of surface suction side was 0.616, while the best case for inclination angle $\alpha=45^\circ$ was case (4) at $\beta=30^\circ$ with the total average effectiveness along $60L/d$ of surface suction side was 0.516.

REFERENCES

- ANSYS Fluent 12.1, 2012, *Using Flow Boundary Conditions*.
- ANSYS Fluent, 2013, $v^2 - f$ *Turbulence Model Manual*.



- ANSYS Fluent, 2014, *Theory Guide*.
- Bogard, D. G., 2012, *Airfoil Film Cooling*, web site: <https://www.netl.doe.gov>.
- Colban, W., Gratton, A., Thole, K. A., and Haendler, M., 2006, *Heat Transfer and Film-Cooling Measurements on a Stator Vane with Fan-Shaped Cooling Holes*, ASME J. Turbomach., Vol. 128.
- Colban, W., Thole, K. A., and Haendler, M. 2007, *Experimental and Computational Comparisons of Fan-Shaped Film Cooling on A Turbine Vane Surface*, ASME J. Turbomach., Vol. 129.
- Cutbirth, J. M., and Bogard, D., 2002, *Thermal Field and Flow Visualization within the Stagnation Region of a Film-Cooled Turbine Vane*, ASME J. Turbomach., Vol. 124.
- Dees, J. E., Bogard, D. G., Ledezma, G. A., and Laskowski, G. M., 2011, *Overall and Adiabatic Effectiveness Values on a Scaled Up, Simulated Gas Turbine Vane: Part I – Experimental Measurements*, ASME paper GT2011-46612.
- Dittmar, J., Schulz, A., and Wittig, S., 2003, *Assessment of Various Film-Cooling Configurations Including Shaped and Compound Angle Holes Based on Large-Scale Experiments*, ASME J. Turbomach., Vol. 125.
- Dyson, T. E., McClintic, J. W., Bogard, D. G., and Bradshaw, S. D., 2013, *Adiabatic and Overall Effectiveness for a Fully Cooled Turbine Vane*, ASME paper GT2013-94928.
- Gomes, R. A., and Niehuis, R., 2013, *Film Cooling on Highly Loaded Blades with Main Flow Separation-Part II: Overall Film Cooling Effectiveness*, ASME J. Turbomach., Vol. 135.
- Kusterer, K., Bohn, D., Sugimoto, T., and Tanaka, R., 2007, *Double-Jet Ejection of Cooling Air for Improved Film Cooling*, ASME J. Turbomach., Vol. 129.
- Mathew, S., Ravelli, S.; and bogard, D. G., 2013, *Evaluation of CFD Predictions Using Thermal Field Measurements on a Simulated Film Cooled Turbine Blade Leading Edge*, ASME J. Turbomach., Vol. 135.
- Mhetras, S. Han, J. C., and Rudolph, R., 2012, *Effect of Flow Parameter Variations on Full Coverage Film-Cooling Effectiveness for a Gas Turbine Blade*, ASME J. Turbomach., Vol. 134.
- Naik, S., Krueckels, J, Gritsch, M., and Schnieder, 2014, *Multirow Film Cooling Performances of a High Lift Blade and Vane*, ASME J. Turbomach., Vol. 136.
- Saadati, E., 2009, *Turbulence Modeling*, Sharif University of technology.



- Waye, S. K., Bogard, D. G., 2007, *High-Resolution Film Cooling Effectiveness Comparison of Axial and Compound Angle Holes on the Suction Side of a Turbine Vane*, ASME J. Turbomach., Vol. 129.

NOMENCLATURE

Latin Symbols

Symbol	Description	Unit
C_p	specific heat	J/ kg.K
C_f	turbulent coefficient of skin friction	-
C	chord length	mm
d	cooling hole diameter	mm
DR	density ratio	-
E	energy	W
f	elliptic relaxation function	-
H	span or vane height	mm
I	local momentum ratios	-
k	turbulence kinetic energy	m ² /s ²
k	fluid thermal conductivity	W/m.K
ℓ	the turbulence length scale	mm
M	local blowing ratios	-
Ma	mach number	-
\bar{P}	average pressure	Pa
P	hole pitch	mm
P/d	pitch ratios	-
R_{ij}	reynolds stress tensor	N/m ²
Re_c	reynolds number depending on vane cord length as a characteristic length	-
Re_d	reynolds number for the model vane where the characteristic length is the leading edge diameter.	-
$S_h, S_k, S_\varepsilon, S_{\overline{v^2}}, S_f$	chemical reaction heat, and any heat source	W
S	distance between two stagnation points of vane leading edge.	mm
s	distance from stagnation point on vane leading edge downstream along suction side vane surface.	mm
T_u	turbulence intensity.	%
T	local flow temperature, turbulent time scale.	K
T_∞	mainstream temperature	K
T_{aw}	adiabatic wall temperature	K
T_c	coolant temperature	K
TR	temperature ratio	-
t	time	s



U_{∞}	mean mainstream velocity	m/s
$U_{h,local}$	local hot flow velocity near cooling hole region	m/s
U_c	cooling flow velocity at hole exit	m/s
U_{τ}	shear velocity	m/s
\vec{V}	velocity vector	m/s

Greek Symbols

Symbol	Description	Unit
α	inclination angle	degree
α'	constant	-
β	compound or orientation angle	degree
$\beta 1$	vane angle at inlet	degree
$\beta 2$	vane angle at outlet	degree
ϵ	rate of dissipation	m ² /s ³
η	adiabatic film cooling effectiveness	-
Δy	distance from the wall to the centroid of the first cell	mm
μ	dynamic viscosity	kg/m.s
μ_t	turbulent or eddy viscosity	kg/m.s
ν	kinematic viscosity	m ² /s
ρ_h	hot flow density	kg/m ³
ρ_c	cold flow density	kg/m ³
ρ	density	kg/m ³
τ_w	wall shear stress	N/m ²

Table 1. Dimensions of actual gas turbine vane (at the mid span) of South Baghdad Power plant and numerical model vane of this study with its initial conditions.

Item	Model vane
Pitch or vane spacing S	167mm
Chord length C	267mm
Vane angle at inlet $\beta 1$	0 degree
Vane angle at outlet $\beta 2$	76 degree
Inlet uniform velocity U_{∞}	23.24m/s
Chord Reynolds number $Re_{c,in}$ at inlet boundary	1.49E+05

**Table 2.** Cases studied.

Case no.	M	I	α	β
Case (1)	0.382	0.084	30°	0°
				15°
				30°
Case(2)	0.77	0.34	30°	0°
				15°
				30°
Case(3)	1.14	0.756	30°	0°
				15°
				30°
Case(4)	0.382	0.084	45°	0°
				15°
				30°
				45°
Case(5)	0.77	0.34	45°	0°
				15°
				30°
				45°
Case#6	1.14	0.756	45°	0°
				15°
				30°
				45°

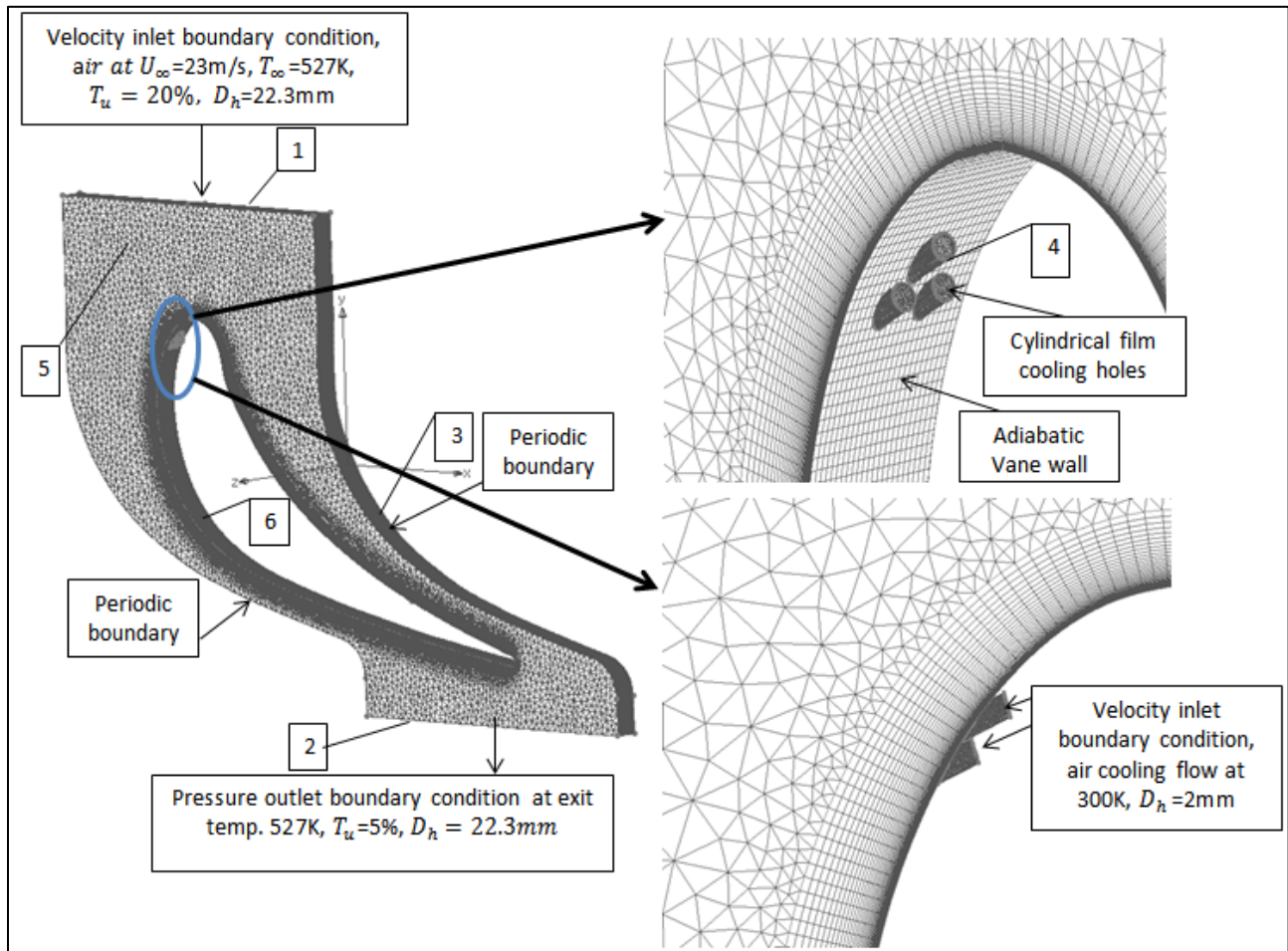


Figure 1. CFD model of vane.

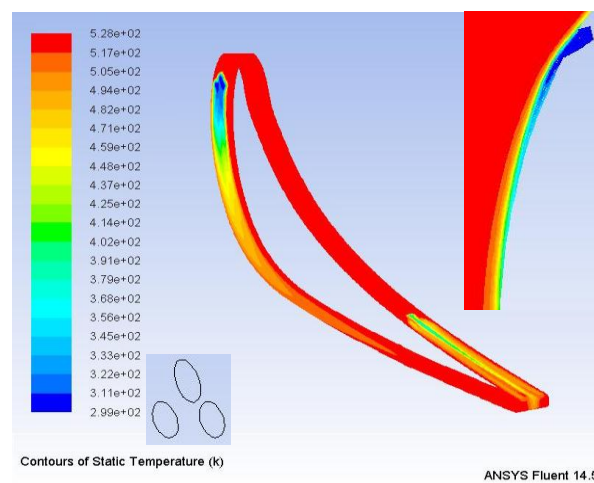


Figure 2. Contours of static temperature K for the vane suction side with staggered film cooling holes. Model for $M=0.382$, $\alpha=30^\circ$, $P/d=2$.

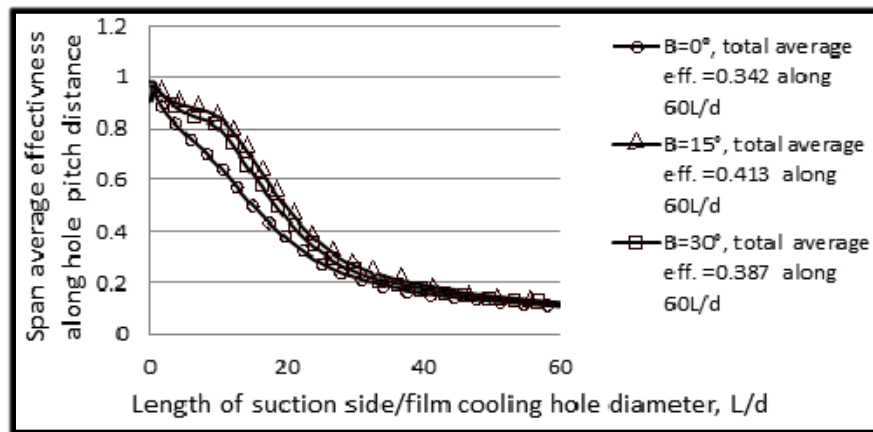


Figure 3. Span average effectiveness for the case 1 at $\beta = 0^\circ, 15^\circ$ and 30° .

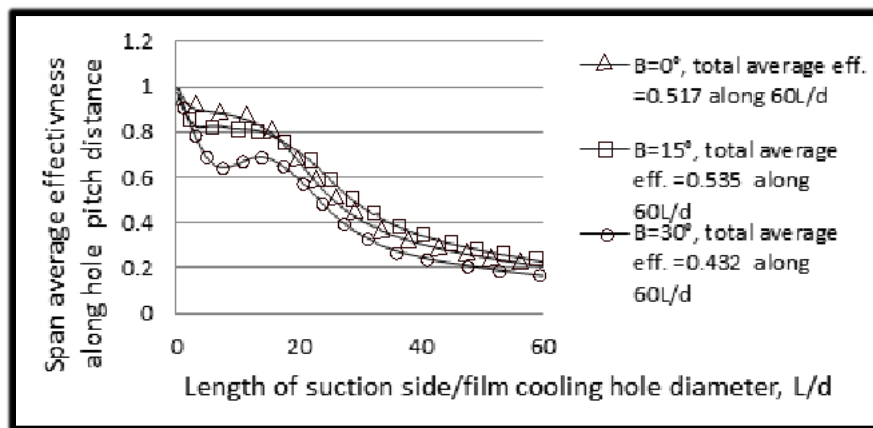


Figure 4. Span average effectiveness for the case 2 at $\beta = 0^\circ, 15^\circ$ and 30° .

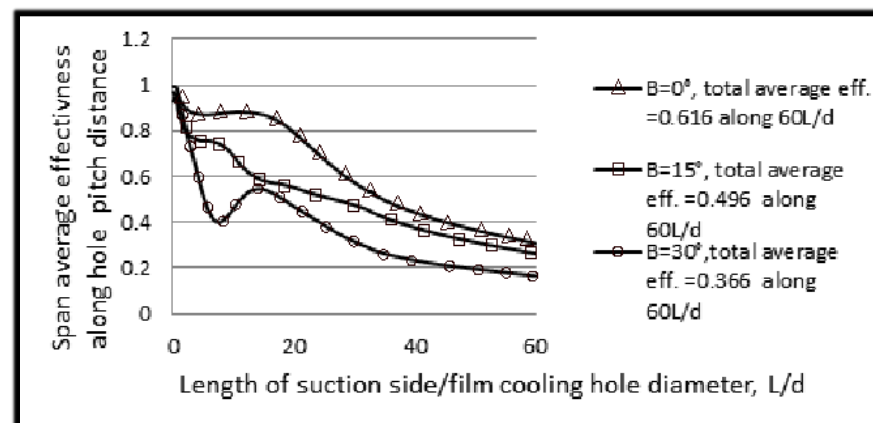


Figure 5. Span average effectiveness for the case 3 at $\beta = 0^\circ, 15^\circ$ and 30° .

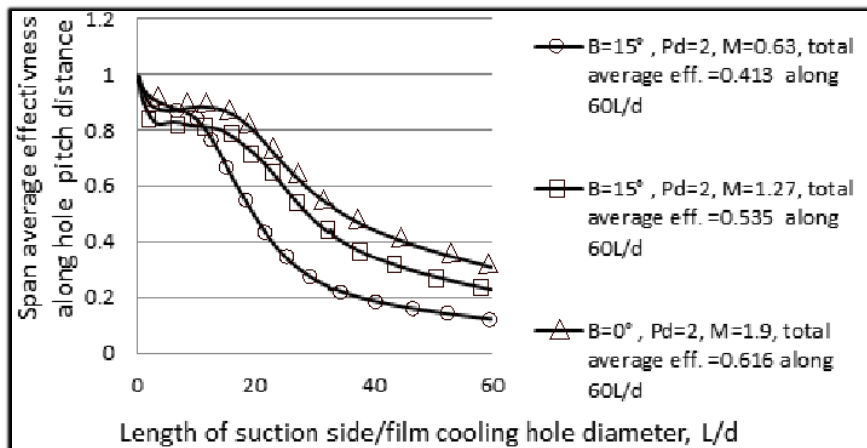


Figure 6. Best span average effectiveness among the cases for $\alpha=30^\circ$.

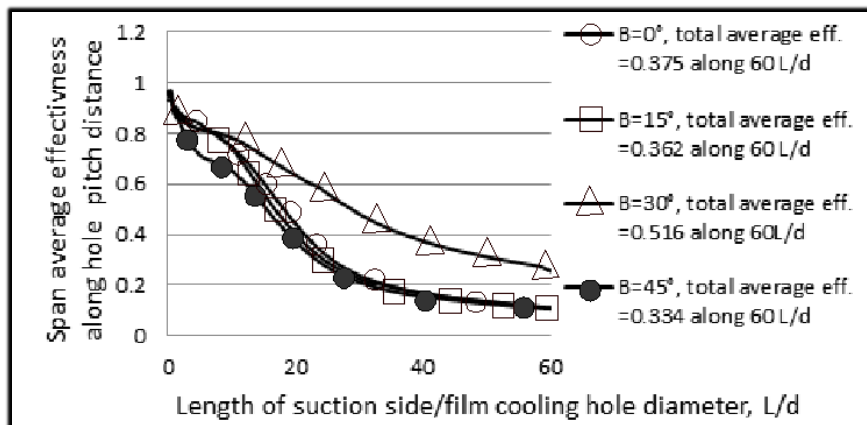


Figure 7. Span average effectiveness for the case 4 at $\beta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° .

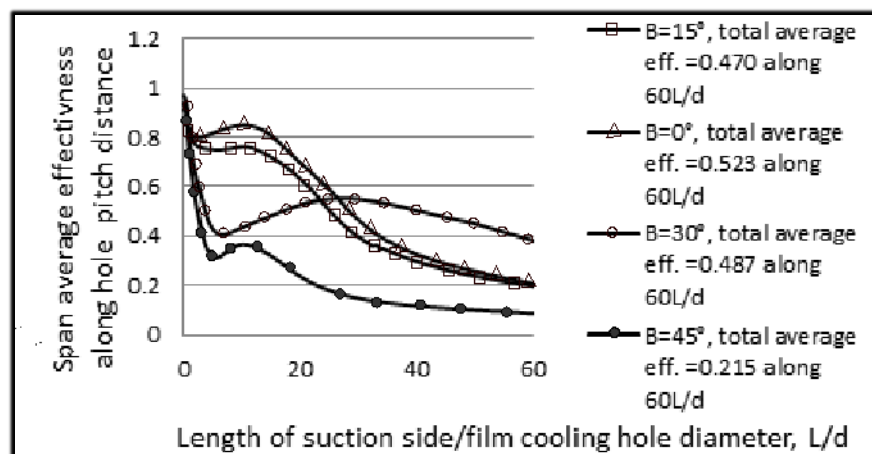


Figure 8. Span average effectiveness for the case 5 at $\beta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° .

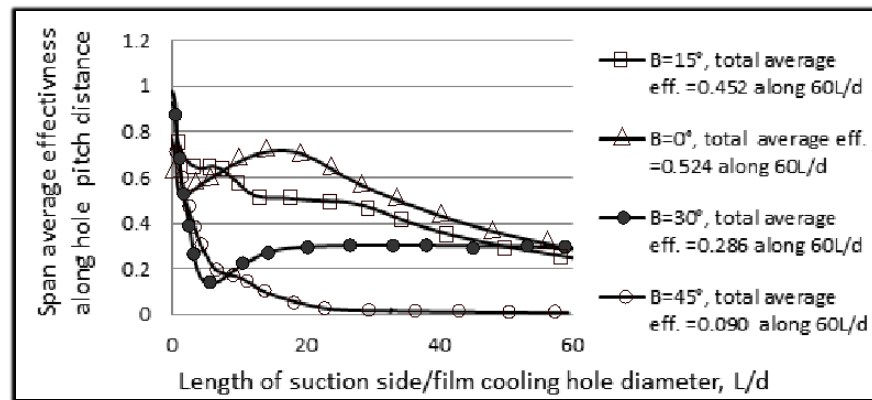


Figure 9. Span average effectiveness for the case 6 at $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, and 45° .

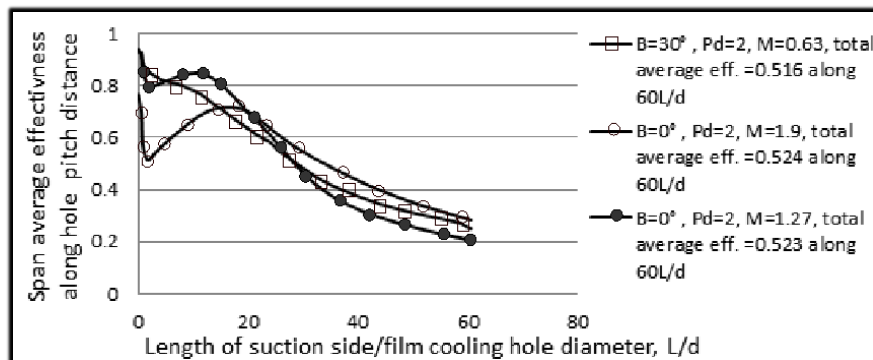


Figure 10. Best span average effectiveness for the cases 4, 5, and 6.

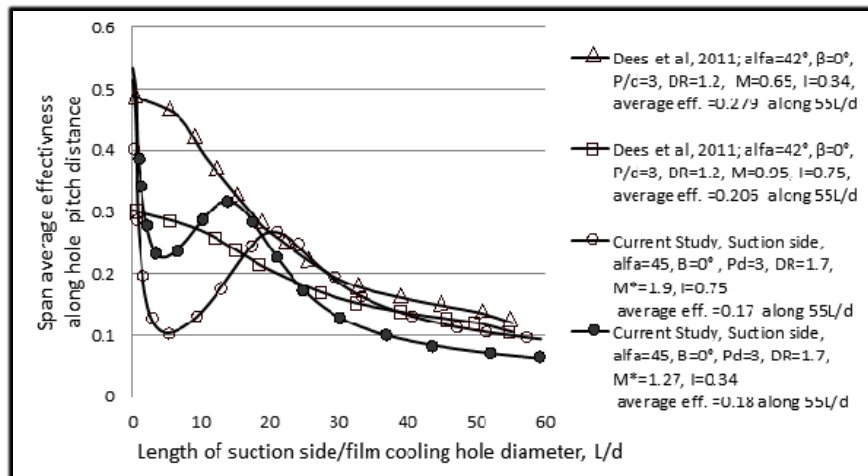


Figure 11. Comparison between results of current study and experimental results of Dees, et al., 2011.

A Novel Analytical Model to Design Piezoelectric Patches Used to Repair Cracked Beams

Waleed Al-Ashtari

Instructor

Mechanical Engineering Department

College of Engineering - University of Baghdad

E-Mail: Waleed.AL.Ashtari@coeng.uobaghdad.edu.iq

ABSTRACT

In this paper, an analytical solution describing the deflection of a cracked beam repaired with piezoelectric patch is introduced. The solution is derived using perturbation method. A novel analytical model to calculate the proper dimensions of piezoelectric patches used to repair cracked beams is also introduced. This model shows that the thickness of the piezoelectric patch depends mainly on the thickness of the cracked beam, the electro-mechanical properties of the patch material, the applied load and the crack location. Furthermore, the model shows that the length of the piezoelectric patches depends on the thickness of the patch as well as it depends on the length of the cracked beam and the crack depth. The additional flexibility of the beam caused by crack is modeled depending on a dimensionless parameter identified from finite elements method. Different piezoelectric patches were designed and investigated using analytical and finite elements models. The results show that increasing the patch thickness enhances the beam resistance to crack and load effects, while increasing the length of the piezoelectric patch reduces the magnitude of the voltage required to repair the cracked beam.

Keywords: Repaired beam deflection, slope discontinuity and piezoelectric patch dimensions

نموذج تحليلي جديد لتصميم الصفائح الكهروضغطية المستخدمة لأصلاح العتبات الحاوية على تصدعات

وليد خالد خيرى الاشترى

مدرس

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة – جامعة بغداد

الخلاصة

يقدم هذا البحث النموذج التحليلي لوصف الانحراف الناتج في العتبات الحاوية على تصدع والمصلحة باستخدام صفائح كهروضغطية. تم تطوير هذا النموذج بالاعتماد على اضافة مفردات رياضية للحل التحليلي مشتقة من استخدام نموذج مبني باستخدام طريقة العناصر المحددة. يقدم هذا البحث ايضاً نموذجاً تحليلي جديد لأيجاد الأبعاد المناسبة لصفائح الكهروضغطية المستخدمة لأصلاح العتبات الحاوية على تصدعات. ان النموذج المقترح اظهر ان سمك الصفيحة الكهروضغطية يعتمد بشكل كبير على سمك العتبة المراد اصلاحها و المواصفات الكهروميكانيكية للصفيحة و مقدار الحمل المسلط و موقع التصدع في العتبة. وايضاً، اظهر النموذج ان طول الصفيحة الكهروضغطية يعتمد على سمك الصفيحة بالاضافة الى أنه يعتمد على طول العتبة و عمق التصدع. ان المرونه الاضافية للعتبة الناتجة بسبب وجود التصدع تم نمذجتها بالاعتماد على معامل بدون وحدات يمكن ان يوجد باستخدام طريقة العناصر المحددة. مختلف من الصفائح تم تصميمها ودراستها اعتماداً على النماذج التحليلية المقترحة و نموذج العناصر المحددة. أظهرت النتائج ان زيادة سمك الصفيحة الكهروضغطية سيحسن مقاومة العتبة لتأثير التصدع و تأثير الحمل الخارجي بينما زيادة طول الصفيحة الكهروضغطية يقلل مقدار الفولطية المطلوبة لأجراء عملية الأصلاح

1. INTRODUCTION

Repair cracked structure using passive patch is achieved from bonding the patch at the crack location where it causes to local increasing in the structure stiffness. Thus, the structure will resist the crack propagation. Composite patch usually is preferable on the metal patch because it has a higher stiffness and a lighter weight. Many researches are investigated the repair of cracked structures using metal or composite patches (passive patches) e.g. **Rose, 1981, Chue et al., 1994, Sun et al., 1996, Doung et al., 2006, Ayatollahi and Hashemi, 2007, Hosseini-Toudeshky et al., 2011, Maligno et al., 2013, Ramji et al., 2013, and Kwon and Hall, 2015.**

Passive patches become inefficient when the load conditions and/or the crack characteristics are changed. This motivates many researchers to study active patches made from a piezoelectric material instead passive patches. The active patch converts the applied voltage on it to a bending moment to counter the bending moment caused by the external load on the beam at the crack location. The magnitude and direction of the bending moment caused by the piezoelectric patch can be controlled by adjusting the external applied voltage. The technique of crack repair using piezoelectric patch is proposed first by **Wang et al., 2002.** The authors discussed the feasibility of using piezoelectric patch to repair a simply supported beam includes an open type crack subjected to static load. They were theoretically showed that using piezoelectric patch can effectively repair the cracked beam. Later **Wang et al., 2004** studied theoretically the repair of the cracked beam subjected to an external dynamic load. It was deduced that using piezoelectric patch may decrease the singularity at the crack tip. **Liu, 2007,** studied two-dimensional plane strain finite element analyses of the active repair for cracked structures using multi-layered piezoelectric patch. It was concluded that the better design choices for the piezoelectric patch are as follows: increasing the layer number and increasing the patch length. In additions, it is not a good idea to use higher input voltage that is larger than the required voltage because it will enlarge the crack open near the crack tip. Later **Liu, 2008, made a** comparison between two criteria which are used to repair beams with piezoelectric patches: the slope continuity and fracture mechanics criteria. The finite element analyses have been used to consider crack contact analyses and fracture mechanics in the crack tip. It was concluded that the fracture mechanics criterion is better for defining the required voltage for repair. **Ariaei et al., 2010,** introduced an approximated model describing the deflection of a beam contains a crack and is repaired with a piezoelectric patch; the beam is subjected to moving mass. The governor equation is derived basing on Timoshenko beam theory. The authors deduced that using piezoelectric patch can reduce the cracked beam deflection to be same as that when the beam is healthy i.e. has no crack. **Platz et al., 2011,** introduced a statistical approach to evaluate the reduction of the fatigue crack propagation within a simply supported beam which is repaired using piezoelectric patch. It was shown that repair the beam with piezoelectric patch leads to a significant reduction in the crack propagation within the beam.

In the present work, an analytical solution describing the deflection of a cracked beam is introduced. This solution is extended to describe a cracked beam repaired with piezoelectric patch. The solution is developed using perturbation method whereas the model describing the repaired beam includes a mathematical term identified from a finite elements model. Precisely, the crack is assumed to cause an additional flexibility to the beam. This flexibility makes discontinuity of the beam slope at the crack location. The slope discontinuity is described by a proposed relationship which contains a dimensionless parameter identified from finite elements models. Furthermore, the derived solution is developed to obtain a novel model which can be used to determine the proper dimensions of the piezoelectric patch depending on the magnitude of the subjected force, crack depth and location and the desired applied voltage. The patch

design is based on two important factors: factor of safety and the voltage factor. These factors are introduced to ensure that the piezoelectric patch can repair effectively the cracked beam depending on the designer preferences. A cantilever beam subjected to an external static load at its tip was used to validate the proposed model. The cantilever beam was studied at different conditions: different dimensions and locations of the crack and different dimensions of the piezoelectric patch. For each condition, a proper piezoelectric patch was designed and investigated using finite elements model. In all conditions a good agreement was obtained between the results and the designed piezoelectric patch satisfied the repair requirements.

2. MODELLING OF BEAM

Cantilever beam is chosen to investigate the parameters which affect the repair of a cracked beam with piezoelectric patch. The same procedure can be followed to obtain the solution for any other type of beam support. As shown in **Fig. 1**, three cases will be modeled: healthy cantilever beam, cantilever beam includes open type crack and cracked cantilever beam repaired with piezoelectric patch.

The crack is considered to be an open type crack as shown in **Fig. 2**. The width of the crack is b_c and the depth of the crack is t_c . It is assumed that the crack appears along the whole width of the beam.

2.1 Healthy Cantilever Beam

Healthy beam refers to that beam does not contain any crack; the equation of the deflection of such beams can be expressed as (**Hearn, 1985**)

$$Y_b I_b \frac{d^2 y}{dx^2} = M_b(x), \quad (1)$$

where y the deflection of the beam, Y_b is the modulus of elasticity, I_b is the moment of inertia and $M(x)$ the external applied moment. Based on Equation (1), the deflection of the healthy cantilever beam shown in **Fig. 1a** can be expressed as

$$Y_b I_b \frac{d^2 y_h}{dx^2} = -Fx, \quad 0 \leq x \leq l_b, \quad (2)$$

where y_h is the deflection of the healthy beam and F is the applied external load. The slope θ_h and deflection y_h of the healthy cantilever beam can be obtained from integrating Equation (2) with using the following boundary conditions

$$\theta_h|_{x=l_b} = \left. \frac{dy_h}{dx} \right|_{x=l_b} = 0, \quad (3a)$$

and

$$y_h|_{x=l_b} = 0, \quad (3b)$$

where l_b is the length of the beam. Thus, the slope of this beam is can be written as

$$\theta_h = \frac{F}{2Y_b I_b} (l_b^2 - x^2), \quad 0 \leq x \leq l_b. \quad (4)$$

The deflection of a healthy cantilever beam can be expressed as

$$y_h = \frac{F}{6Y_b I_b} (3l_b^2 x - 2l_b^3 - x^3), \quad 0 \leq x \leq l_b. \quad (5)$$

More details can be found in any textbook of mechanics of materials e.g. **Hearn, 1985**.

2.2 Cracked Cantilever Beam

Cracked beam can be modeled basing on the piecewise approach introduced by **Krawczuk and Ostachowicz, 1995**. In this approach, the beam is divided into finite segments depending on the crack location. Referring to **Fig. 1b**, the slope of the cracked beam θ_c can be written as

$$\theta_c = \begin{cases} \theta_{c1} & 0 \leq x \leq l_c, \\ \theta_{c2} & l_c \leq x \leq l_b. \end{cases} \quad (6)$$

The deflection of the cracked beam y_c can be expressed as

$$y_c = \begin{cases} y_{c1} & 0 \leq x \leq l_c, \\ y_{c2} & l_c \leq x \leq l_b, \end{cases} \quad (7)$$

where l_c is the length of the beam at which the crack appears. For simplicity, l_c will be called crack location. The governing equations of the cracked beam can be written as

$$Y_b I_b \frac{d^2 y_{c1}}{dx^2} = -Fx, \quad 0 \leq x \leq l_c, \quad (8a)$$

and

$$Y_b I_b \frac{d^2 y_{c2}}{dx^2} = -Fx, \quad l_c \leq x \leq l_b. \quad (8b)$$

Integrating Equation (8a) and Equation (8b), thus

$$Y_b I_b \theta_{c1} = -\frac{F}{2} x^2 + c_3, \quad 0 \leq x \leq l_c, \quad (9a)$$

$$Y_b I_b y_{c1} = -\frac{F}{6} x^3 + c_3 x + c_4, \quad 0 \leq x \leq l_c, \quad (9b)$$

$$Y_b I_b \theta_{c2} = -\frac{F}{2} x^2 + c_1, \quad l_c \leq x \leq l_b, \quad (9c)$$

$$Y_b I_b y_{c2} = -\frac{F}{6} x^3 + c_1 x + c_2, \quad l_c \leq x \leq l_b. \quad (9d)$$

To find the constants (c_1 to c_4) in Equation (9a) to Equation (9d), it is required four boundary conditions; these conditions are:

$$\theta_{c2}|_{x=l_b} = 0, \quad (10a)$$

and

$$y_{c2}|_{x=l_b} = 0. \quad (10b)$$

It can be predicted that the crack causes a discontinuity of the beam slope at the crack location. This means that the slope of the beam to right of the crack differs from the slope of the beam to the left of the crack as shown in **Fig. 3**. Therefore, the following relationship between the slopes of the beam at the crack location can be assumed

$$\theta_{c1}|_{x=l_c} - \theta_{c2}|_{x=l_c} = \mu \theta_{c1}|_{x=l_c}. \quad (10c)$$

where μ is a dimensionless parameter has a value less than one as shown in **Fig. 3**. This parameter is introduced to count for the additional flexibility of the beam due to crack. Therefore, it will be called the crack flexibility parameter. It depends on beam characteristics (geometry and properties) and crack Characteristics (dimensions and location). This parameter can be identified either from experiments or from finite element model. In this paper, the crack flexibility parameter will be identified from solving the system with finite elements model. Because of the homogeneity in beam deflection, the following boundary condition can be assumed

$$y_{c1}|_{x=l_c} = y_{c2}|_{x=l_c}. \quad (10d)$$

These boundary conditions (Equation (10a) to Equation (10d)) are used to calculate the constants (c_1 to c_4) in Equation (9a) to Equation (9d); these constant found to be

$$c_1 = \frac{F}{2} l_b^2, \quad (11a)$$

$$c_2 = -\frac{F}{3} l_b^3, \quad (11b)$$

$$c_3 = \frac{F}{2} \left[\frac{(l_b^2 - l_c^2)}{(1 - \mu)} + l_c^2 \right], \quad (11c)$$

and

$$c_4 = \frac{F}{6} \left[3l_b^2 l_c - 2l_b^3 - 3l_c^3 - \frac{3}{1 - \mu} (l_b^2 l_c - l_c^3) \right]. \quad (11d)$$

Substituting the expressions of the constants (Equation (11a) to Equation (11d)) into the equations of the slopes derived earlier (Equation (9a) and Equation (9c)) gives

$$\theta_{c1} = \frac{F}{2Y_b I_b} \left[\left(\frac{l_b^2 - l_c^2}{1 - \mu} \right) + l_c^2 - x^2 \right], \quad 0 \leq x \leq l_c, \quad (12a)$$

and

$$\theta_{c2} = \frac{F}{2Y_b I_b} (l_b^2 - x^2), \quad l_c \leq x \leq l_b. \quad (12b)$$

Also, from substituting Equation (11a) to Equation (11d) into Equation (9b) and Equation (9d) gives the deflections of the cracked beam as

$$y_{c1} = \frac{F}{6Y_b I_b} \left[3l_c^2 x + 3l_b^2 l_c - 2l_b^3 - 3l_c^3 - x^3 + \frac{3}{1 - \mu} (l_b^2 - l_c^2)(x - l_c) \right], \quad 0 \leq x \leq l_c, \quad (13a)$$

and

$$y_{c2} = \frac{F}{6Y_b I_b} (3l_b^2 x - 2l_b^3 - x^3), \quad l_c \leq x \leq l_b. \quad (13b)$$

2.3 Cracked Cantilever Beam Repaired with Piezoelectric Patch

Now, same approach stated before will be used to model the repaired beam with patch. Referring to **Fig. 1c**, the slope of the repaired beam θ_r can be expressed as

$$\theta_r = \begin{cases} \theta_{r1}, & 0 \leq x \leq l_c - l_p, \\ \theta_{r2}, & l_c - l_p \leq x \leq l_c, \\ \theta_{r3}, & l_c \leq x \leq l_c + l_p, \\ \theta_{r4}, & l_c + l_p \leq x \leq l_b. \end{cases} \quad (14)$$

Also, the deflection of the repaired beam y_r can be written as

$$y_r = \begin{cases} y_{r1}, & 0 \leq x \leq l_c - l_p, \\ y_{r2}, & l_c - l_p \leq x \leq l_c, \\ y_{r3}, & l_c \leq x \leq l_c + l_p, \\ y_{r4}, & l_c + l_p \leq x \leq l_b. \end{cases} \quad (15)$$

The governing equations of the repaired beam can written as

$$Y_b I_b \frac{d^2 y_{r1}}{dx^2} = -Fx, \quad 0 \leq x \leq l_c - l_p. \quad (16a)$$

Two effects can be caused by piezoelectric patch at the bonding location on the beam: increasing local stiffness and applying local bending moment M_p . The local increasing of the beam stiffness at the bonding location can be addressed from considering the total flexural rigidity $Y_t I_t$, thus

$$Y_t I_t \frac{d^2 y_{r2}}{dx^2} = -Fx + M_p, \quad l_c - l_p \leq x \leq l_c, \quad (16b)$$

$$Y_t I_t \frac{d^2 y_{r3}}{dx^2} = -Fx + M_p, \quad l_c \leq x \leq l_c + l_p, \quad (16c)$$

and

$$Y_b I_b \frac{d^2 y_{r4}}{dx^2} = -Fx, \quad l_c + l_p \leq x \leq l_b. \quad (16d)$$

The total flexural rigidity $Y_t I_t$ is calculated and found to be

$$Y_t I_t = Y_p \left\{ \frac{b_p t_p^3}{12} + \left[b_p t_p \left(\frac{t_b + t_p}{2} \right)^2 \right] \right\} + Y_b \left(\frac{b_b t_b^3}{12} \right). \quad (17)$$

where Y_p , t_p and b_p are the modulus of elasticity of the piezoelectric patch, the thickness of the piezoelectric patch and the width of the piezoelectric patch, respectively. t_b and b_b are the thickness and width of the beam, respectively. Again, integrating Equation (16a) to Equation (16d) gives

$$Y_b I_b \theta_{r1} = -\frac{Fx^2}{2} + r_7, \quad 0 \leq x \leq l_c - l_p, \quad (18a)$$

$$Y_b I_b y_{r1} = -\frac{Fx^3}{6} + r_7 x + r_8, \quad 0 \leq x \leq l_c - l_p, \quad (18b)$$

$$Y_t I_t \theta_{r2} = -\frac{Fx^2}{2} + M_p x + r_5, \quad l_c - l_p \leq x \leq l_c, \quad (18c)$$

$$Y_t I_t y_{r2} = -\frac{Fx^3}{6} + \frac{M_p x^2}{2} + r_5 x + r_6, \quad l_c - l_p \leq x \leq l_c, \quad (18d)$$

$$Y_t I_t \theta_{r3} = -\frac{Fx^2}{2} + M_p x + r_3, \quad l_c \leq x \leq l_c + l_p, \quad (18e)$$

$$Y_t I_t y_{r3} = -\frac{Fx^3}{6} + \frac{M_p x^2}{2} + r_3 x + r_4, \quad l_c \leq x \leq l_c + l_p, \quad (18f)$$

$$Y_b I_b \theta_{r4} = -\frac{Fx^2}{2} + r_1, \quad l_c + l_p \leq x \leq l_b, \quad (18g)$$

and

$$Y_b I_b y_{r4} = -\frac{Fx^3}{6} + r_1 x + r_2, \quad l_c + l_p \leq x \leq l_b. \quad (18h)$$

In order to calculate the constants (r_1 to r_8) in Equation (18a) to Equation (18h), the following boundary conditions are applied:

$$\theta_{r4}|_{x=l_b} = 0, \quad (19a)$$

$$y_{r4}|_{x=l_b} = 0, \quad (19b)$$

$$\theta_{r3}|_{x=l_c+l_p} = \theta_{r4}|_{x=l_c+l_p}, \quad (19c)$$

$$y_{r3}|_{x=l_c+l_p} = y_{r4}|_{x=l_c+l_p}, \quad (19d)$$

$$\theta_{r2}|_{x=l_c} - \theta_{r3}|_{x=l_c} = \mu \theta_{r2}|_{x=l_c}, \quad (19e)$$

$$y_{r2}|_{x=l_c} = y_{r3}|_{x=l_c}, \quad (19f)$$

$$\theta_{r2}|_{x=l_c-l_p} = \theta_{r1}|_{x=l_c-l_p}, \quad (19g)$$

and

$$y_{r1}|_{x=l_c-l_p} = y_{r2}|_{x=l_c-l_p}. \quad (19h)$$

Applying the above boundary conditions on Equation (18a) to Equation (18h), thus the constants can be expressed as (the constants are calculated depending on each other in order to keep short term expression)

$$r_1 = \frac{Fl_b^2}{2}, \quad (20a)$$

$$r_2 = \frac{Fl_b^3}{6} - r_1 l_b, \quad (20b)$$

$$r_3 = \frac{F}{2}(1-k)(l_c + l_p)^2 + kr_1 - M_p(l_c + l_p), \quad (20c)$$

$$r_4 = \frac{F}{6}(1-k)(l_c + l_p)^3 - \frac{M_p}{2}(l_c + l_p)^2 + (kr_1 - r_3)(l_c + l_p) + kr_2, \quad (20d)$$

$$r_5 = \frac{1}{(1-\mu)} \left[\mu \left(M_p l_c - \frac{Fl_c^2}{2} \right) + r_3 \right], \quad (20e)$$

$$r_6 = (r_3 - r_5)l_c + r_4, \quad (20f)$$

$$r_7 = \frac{1}{2k} \left[F(k-1)(l_c - l_p)^2 + 2M_p(l_c - l_p) + 2r_5 \right], \quad (20g)$$

and finally

$$r_8 = \frac{1}{6k} \left[F(k-1)(l_c - l_p)^3 + 3M_p(l_c - l_p)^2 + 6(r_5 - kr_7)(l_c - l_p) + 6r_6 \right]. \quad (20h)$$

The constant introduced in the above equations k is defined as

$$k = \frac{Y_t I_t}{Y_b I_b}, \quad (21)$$

3. OPERATION OF THE PIEZOELECTRIC PATCH

Adjusting the operation of the piezoelectric patch is the most important parameter which determines the achieving of the beam repair. The operation can be adjusted from controlling the voltage applied on the piezoelectric patch. This voltage should be calculated based on a certain operation strategy of the piezoelectric patch. The strategy should ensure that the applied voltage does not exceed the maximum voltage which the piezoelectric patch can withstand. Also, it should ensure that the moment induced by the piezoelectric patch not exceeds and counters the moment caused by the external force at the crack location.

3.1 Applied Voltage

The axial stress along piezoelectric layer σ_x induced by the applied voltage V_a can be written as (Sun et al, 1999)

$$\sigma_x = e_{31} \frac{V_a}{t_p}, \quad (22)$$

where t_p is the thickness of the piezoelectric layer and e_{31} the stress constant of the piezoelectric patch which can be calculated as (Southin et al, 2001)

$$e_{31} = \frac{d_{31}}{s_{11}^E + s_{12}^E}, \quad (23)$$

where d_{31} is the piezoelectric coefficient, s_{11}^E and s_{12}^E are elastic compliance of piezoelectric layer at constant electric field; these properties can be found in the datasheet of the used piezoelectric patch. The axial stress σ_x will cause a local bending moment effecting on the beam; this bending can be expressed as (Wang et al, 2002)

$$M_p = \sigma_x t_p \left(\frac{t_b + t_p}{2} \right). \quad (24)$$

The applied voltage V_a can be determined from using Equation (24) and Equation (22), thus

$$V_a = \frac{2M_p}{e_{31}(t_b + t_p)}. \quad (25)$$

The maximum moment generated by the piezoelectric patch $M_{p_{max}}$ equal to the moment caused by the external force at the crack location, otherwise the patch will bend the beam in the opposite

and enlarge the crack open near the crack tip as stated by **Liu, 2008**. Therefore, the maximum moment induced by the piezoelectric patch $M_{p_{max}}$ can be expressed as

$$M_{p_{max}} = -Fl_c. \quad (26)$$

The minus sign refers to that the moment counting the moment caused by the external force F . The maximum applied voltage $V_{a_{max}}$ can be calculated from substituting Equation (26) into Equation (25), thus

$$V_{a_{max}} = -\frac{2Fl_c}{e_{31}(t_b + t_p)}. \quad (27)$$

In this paper, the repair is achieved if the piezoelectric patch makes the slope of the cracked beam return back to its original state when there is no crack; this means that the slope of the repaired beam equal to the slope of the healthy beam, thus

$$\theta_{r2}|_{x=l_c} = \theta_h|_{x=l_c}. \quad (28)$$

The slope $\theta_{r2}|_{x=l_c}$ can be found from substituting Equation (20a), Equation (20c) and Equation (20e) into Equation (18c) at $x = l_c$, thus

$$\theta_{r2}|_{x=l_c} = \frac{1}{Y_t I_t (1 - \mu)} \left\{ \frac{F}{2} \left[k \left[l_b^2 - (l_c + l_p)^2 \right] + l_p^2 + 2l_p l_c \right] - M_p l_p \right\} \quad (29)$$

Equating Equation (29) and Equation (5), and then solving the obtained expression to find the moment M_p can be expressed as

$$M_p = \frac{F}{2l_p} \left[k\mu(l_b^2 - l_c^2) - (k - 1)(l_p^2 + 2l_c l_p) \right] \quad (30)$$

Equation (31) can be used to calculate the constants derived before (Equation (20a) to Equation (20h). the applied voltage V_a can be found from substituting Equation (30) into Equation (25), thus

$$V_a = \frac{F \left[(k - 1)(l_p^2 + 2l_c l_p) - k\mu(l_b^2 - l_c^2) \right]}{e_{31} l_p (t_b + t_p)}. \quad (31)$$

Equation (31) shows the effect of many important parameters on the magnitude of the applied voltage V_a ; these parameters are the length of the patch l_p , the length of the beam l_b , the stiffness parameter k and the flexibility parameter μ which their effects are not considered in the work of **Wang et al, 2002 and 2004**.

3.2 Design of Piezoelectric Patches

In order to ensure that the piezoelectric patch can effectively repair the cracked beam under the effect of the force F , it will be designed to withstand a larger force F_d which is related to the applied force F by the following relationship

$$\alpha_F = \frac{F_d}{F}, \quad (32)$$

where α_F is factor of safety has a value greater than one depending on the designer preferences. The maximum voltage V_d corresponding to the force F_d can be calculated from substituting Equation (32) into Equation (26), and then substituting the result into Equation (25), thus

$$V_d = -\frac{2\alpha_F Fl_c}{e_{31}(t_b + t_p)}. \quad (33)$$

E is the maximum electrical field which can be applied on the piezoelectric patch. It is a property can be found in the datasheet of the used piezoelectric patch. Therefore, the desired applied voltage V_d can written as

$$V_d = Et_p. \quad (34)$$

Equating Equation (33) with Equation (34), and then solving the obtained expression to calculate the thickness of the piezoelectric patch t_p which is found to be

$$t_p = \frac{1}{2} \left(\sqrt{t_b^2 - \frac{8\alpha_F Fl_c}{e_{31}E}} - t_b \right). \quad (35)$$

For completing the patch design, it is required to define a new factor α_V which will be called the voltage factor and defined as

$$\alpha_V = \frac{V_a}{V_{a_{max}}}. \quad (36)$$

The factor α_V is dimensionless factor has a value ranging from zero to one based on the desired applied voltage specified by the patch designer. From using Equation (27) and Equation (36), the applied voltage V_a can be expressed as

$$V_a = -\frac{2\alpha_V Fl_c}{e_{31}(t_b + t_p)}. \quad (37)$$

The required length of the piezoelectric patch l_p can be calculated from equating Equation (31) with Equation (37), and then solving the obtained quadrant equation to calculate the length l_p which is found to be

$$l_p = \sqrt{\left(\frac{k\mu}{k-1}\right) l_b^2 + \left[\left(\frac{\alpha_V + k - 1}{k-1}\right)^2 - \left(\frac{k\mu}{k-1}\right)\right] l_c^2} - \left(\frac{\alpha_V + k - 1}{k-1}\right) l_c. \quad (38)$$

In the above analysis, the width of the piezoelectric patch is considered to be constant and equal to beam width.

4. FINITE ELEMENT MODEL

In this paper, a steel cantilever beam was chosen to be the case study. The beam has a rectangular cross sectional area of 10 mm width and 30 mm thickness. The length of the beam was chosen to be 1000 mm. The external force was applied at the tip of the beam of magnitude 100 N. The standard mechanical properties of steel material were used e.g. the value of modulus of elasticity was taken as 210 GN/m². The piezoelectric is chosen to be hard lead zirconate titanate type EC-63 manufactured by EXELIS. **Table 1** shows the specifications of this material obtained from the datasheet. These specifications are required for running the finite elements model and simulating the analytical solution. The proposed cantilever beam was built using finite element model as shown in **Fig. 4**. The piezoelectric patch was considered to be perfectly bonded in the opposite side to the crack at the surface of the beam.

The crack flexibility parameter μ is identified from comparing the slopes obtained from the finite elements model and that obtained from the derived equation (Equation (29)). **Figure 5** shows the identified crack flexibility parameter μ at different crack depth and locations. The results shown in **Fig. 5** can be used with very good accuracy to a crack width b_c up to 5 mm.

In this finite elements model, the magnitude of the applied voltage on the piezoelectric patch is manipulated manually till the slope of the cracked beam becomes same as to that of the healthy beam.

5. RESULTS AND DISCUSSION

The proposed analytical model and the built finite element model were used to find the deflection profiles at different crack locations as shown in **Fig. 6**. Both models give almost the same deflection profiles. This is expected because the crack flexibility parameter μ used in the analytical model is identified from the finite elements model. Thus, the assumed relationship given in Equation (10c) is accurate and can be used at different crack depths and locations.

The patches shown in **Table 2** are designed using the proposed analytical model: Equation (35), Equation (37) and Equation (38). These patches are investigated using the derived analytical solution and the built finite elements model whereas very good agreements between results were obtained. It can be noticed in this table that increasing the factor of safety α_F has no significant effect on determining the patch length l_p or the applied voltage V_a . Furthermore, the decreasing of α_V cause to decrease the applied voltage V_a , but this decreasing causes increasing in the required patch length l_p .

The deflection profile of the repaired beam is almost the same when any of the designed patches shown in **Table 2** is used. This because of that the effect of the piezoelectric patch is adjusted by changing the patch thickness t_p and length l_p with the applied voltage V_a all together as shown in **Table 2**. Therefore, **Fig. 7** includes only one curve representing the deflection profile of the repaired beam. This figure shows the deflection of the healthy beam and that of the repaired beam. It is clear that the designed piezoelectric patch repairs the beam effectively and causes a reduction of 6% in the maximum beam deflection.

Equation (35) states that for certain beam dimensions and load condition, the piezoelectric patch thickness t_p depends on two parameters: the factor of safety α_F and the crack location l_c . **Figure 8** shows the effect of these parameters on the patch thickness t_p . This figure indicates two important things: increasing the factor of safety α_F cause to increase the patch thickness t_p and increasing the crack location l_c requires using a thicker patch.

It can be deduced from Equation (37) that for certain beam dimensions and load condition, the applied voltage V_a depends on the voltage factor α_V , crack location l_c and patch thickness t_p .

Increasing the voltage factor α_V and crack location l_c will increase the required applied voltage V_a , while increasing the patch thickness t_p will decrease the required applied voltage V_a .

Also for certain beam dimensions and load condition, Equation (38) shows that the length of the piezoelectric patch depends on four parameters: the voltage factor α_V , the crack location l_c , the crack flexibility parameter μ and piezoelectric patch thickness t_p . Actually, the crack flexibility parameter μ depends on the crack depth t_c and location l_c as shown in **Fig. 5**, while the piezoelectric patch thickness t_p depends on the factor of safety α_F and the crack location l_c as shown in **Fig. 8**.

Figure 9 shows the variation of the length of the piezoelectric patch l_p with the factor of safety α_F at different crack locations l_c . This figure indicates that increasing the factor of safety α_F causes to reduce the required length of the piezoelectric patch l_p . Also, it indicates that the patch length l_p is decreased when the crack location l_c is increased. This because of that the increasing in the crack location l_c is already encountered by increasing the patch thickness t_p as shown in **Fig. 8**.

Figure 10 shows the variation of the length of the piezoelectric patch l_p with the voltage factor α_V at different crack locations l_c . This figure shows that increasing the voltage factor α_V reduces the required length of the piezoelectric patch l_p . Also, it shows that crack location l_c has no significant effect at the patch length l_p at large voltage factors α_V .

Figure 11 shows the variation of the length of the piezoelectric patch l_p with the voltage factor α_V at different factors of safety α_F . At this situation, it can be deduced that increasing the factors of safety α_F has no advantage if the voltage factor α_V is large.

Figure 12 shows the variation of the length of the piezoelectric patch l_p with the voltage factor α_V at different crack depths t_c . In this figure, it is clear that increasing the crack depth t_c requires also increasing in the patch length l_p .

6. CONCLUSION

In this work, closed form solutions describing the deflection of a beam subjected to static load at two cases are introduced. The first case for a beam contains a crack, while the second case for a beam contains a crack and is repaired with a piezoelectric patch. Also, a novel model to design the required piezoelectric patch is introduced. Thus, the following points are remarked from the present work:

1. The factor of safety chosen by the patch designer is very important parameter which plays great rule in determining the patch thickness and hence the amount of applied voltage
2. The thickness of the piezoelectric patch is highly affected by the crack location whereas they are proportionally related
3. The additional flexibility of the beam due to crack depends mainly on the crack dimensions and location
4. The length of the piezoelectric patch depends on the thickness of the piezoelectric patch and the crack dimensions

REFERENCES

- Ariaei A., Ziaei S., and Ghayour M., 2010, *Repair of a cracked Timoshenko beam subjected to a moving mass using piezoelectric patches*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 52(8): 1074-1091.



- Ayatollahi M. R., and Hashemi R., 2007, *Mixed mode fracture in an inclined center crack repaired by composite patching*, Composite Structures, Vol. 81: 264-73.
- Chue C. H., Chang L. C., and Tsai J. S., 1994, *Bonded repair of a plate with inclined central crack under biaxial loading*. Composite Structures, Vol. 28: 39-45.
- Duong C. N., Verhoeven S., and Guijt C. B., 2006, *Analytical and experimental study of load attractions and fatigue crack growth in two-sided bonded repairs*, Composite Structures, Vol. 73: 394-402.
- Hearn E. J., 1985, Mechanics of Materials, Second Edition, Volume I, PERGAMON PRESS.
- Hosseini-Toudeshky H., Ghaffari M. A., and Mohammadi B., 2011, *Fatigue propagation of induced cracks by stiffeners in repaired panels with composite patches*. Composite Structures, Vol. 10(5): 3293-3298.
- Krawczuk M., and Ostachowicz W. M., 1995, *Modelling and vibration analysis of a cantilever composite beam with a transverse open crack*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 183(1): 69-89.
- Kwon Y. W., and Hall B. L., 2015, *Analysis of cracks in thick stiffened plates repaired with single-sided composite patch*, Composite Structures, Vol. 119: 727-737.
- Liu T. J. C., 2008, *Crack repair performance of piezoelectric actuator estimated by Slope continuity and fracture mechanics*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 75(8): 2566-2574.
- Liu T J C., 2007, *Fracture mechanics and crack contact analysis of the active repair of multi-layered piezoelectric patches bonded on cracked structures*, Theoretical and Applied fracture Mechanics, Vol. 47(2): 120-132.
- Maligno A. R., Soutis C., and Silberschmidt V. V., 2013, *An advanced numerical tool to Study fatigue crack propagation in aluminum plates repaired with a composite patch*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 99: 62-78.
- Platz R., Stapp C., and Hanselka H., 2011, *Statistical approach to evaluating active reduction of crack propagation in aluminum panels with piezoelectric actuator patches*, Smart. Mater. Struct., Vol. 20: 085009.
- Ramji M., Srilakshmi R., and Bhanu Prakash M., 2013, *Towards optimization of patch shape on the performance of bonded composite repair using FEM*, Composites Part B: Engineering, Vol. 45: 701-720.
- Rose L. R. F., 1981, *An Application of the Inclusion Analysis for bonded*

reinforcement, Int. J. Solids Struct., Vol. 8: 827-38.

- Southin J. E. A., Wilson S. A., Schmitt D. and Whatmore R. W., 2001, e_{31} determination for PZT films using a conventional ' d_{33} ' meter. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 34:1456-1460.
- Sun C. T., Klug J., and Arendt C., 1996, *Analysis of a Cracked Aluminum Plates Repaired with Bonded Composite Patches*, AIAA J., Vol. 34: 369-74.
- Sun D. C., Wang D. J., and Xu Z. L., 1999, *Distributed piezoelectric element method for vibration control of smart plate*, AIAA Journal, Vol. 37: 1459-63.
- Wang Q., Duan W. H., and Quek S. T., 2004, *Repair of Notched Beam Under Dynamic Load Using Piezoelectric Patch*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 46: 1517-1533.
- Wang Q., Quek S. T., and Liew K. M., 2002, *On the Repair of a Cracked Beam with a Piezoelectric Patch*. *Smart Mater. Struct.*, Vol. 11: 404-410.

NOMENCLATURES

b_c	Width of the crack
b_p	Width of the piezoelectric patch
c_1 to c_4	Constants of the equation described the cracked beam deflection
d_{31}	Charge constant of the used piezoelectric material
E	Maximum applied field of the piezoelectric patch
e_{31}	Stress constant of the used piezoelectric material
F	Applied static force
F_d	Force used to design the piezoelectric patch
g_{31}	Voltage constant of the used piezoelectric material
I_b	Moment of inertia of the beam
I_p	Moment of inertia of the piezoelectric patch
I_t	Total moment of inertia of the beam with the piezoelectric patch
k	Ratio equal to $Y_t I_t / Y_b I_b$
l_b	Length of the beam
l_c	Length at which the crack appears (simply is called crack location)
l_p	Half length of the piezoelectric patch
$M_b(x)$	Total bending moment at x location
M_p	Bending moment induced by the piezoelectric patch
M_{pmax}	Maximum induced moment by the piezoelectric patch to counter the external load effect
r_1 to r_8	Constants of the equation described the repaired beam deflection
s_{11}^E and s_{12}^E	Elastic compliances of the used piezoelectric material
t_b	Thickness of the beam
t_c	Depth of the crack
t_p	Thickness of the piezoelectric patch
V_a	Applied voltage on the piezoelectric patch to achieve the beam repair

$V_{a_{max}}$	Maximum applied voltage on the piezoelectric patch to achieve the beam repair
V_d	Applied voltage corresponds to the force F_d
x and y	Used plane
Y_b	Modulus of elasticity of the beam
Y_p	Modulus of elasticity of the piezoelectric patch
y_c	Deflection of the cracked beam
y_h	Deflection of the healthy beam
Y_p	Modulus of elasticity of the piezoelectric patch
y_r	Deflection of the repaired beam
Y_t	Total Modulus of elasticity of the beam with the piezoelectric patch
α_F	Factor of safety
α_V	Voltage factor
θ_c	Slope of the cracked beam
θ_h	Slope of the healthy beam
θ_r	Slope of the repaired beam
μ	Crack flexibility parameter
σ_x	Stress in x direction

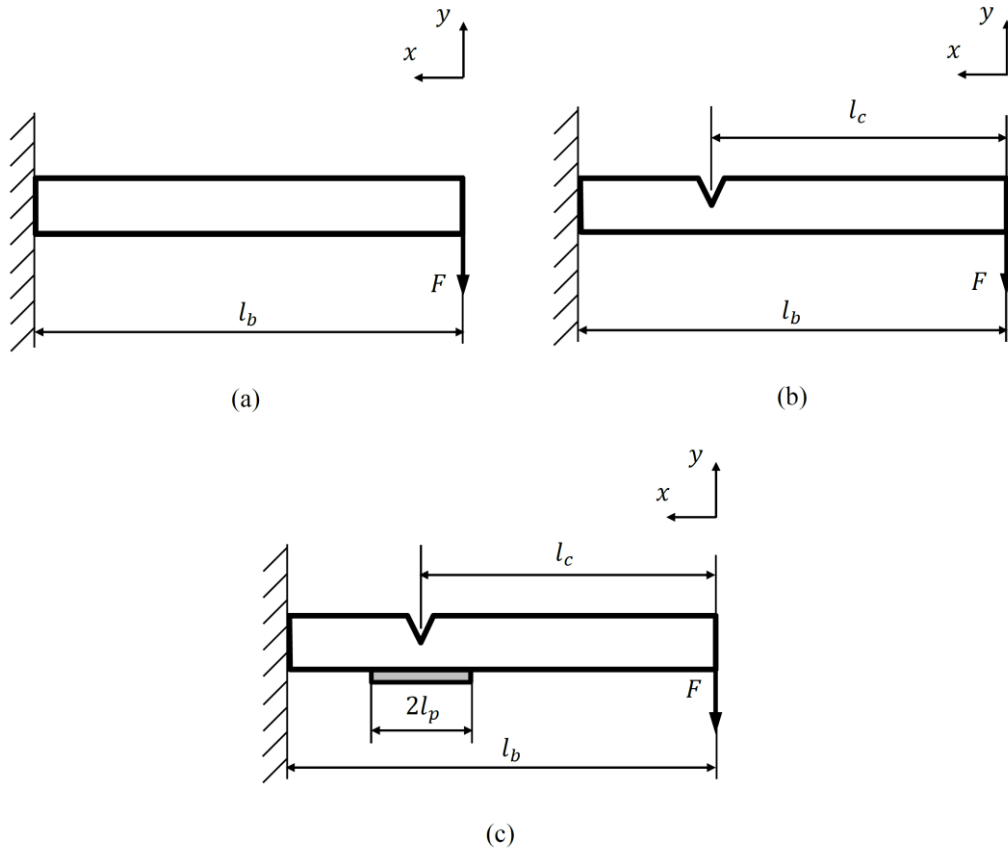


Figure 1. (a) Healthy cantilever beam, (b) Cantilever beam includes open type crack and (c) cracked cantilever beam repaired with piezoelectric patch

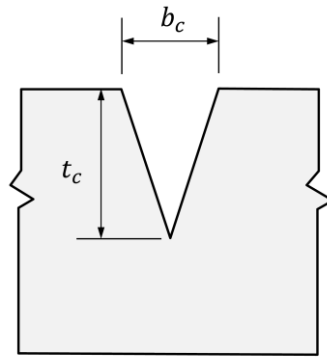


Figure 2. Part of the beam shows shape and dimensions of the crack

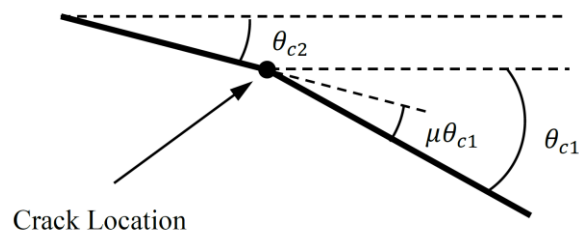


Figure 3. Slope of the beam at the crack location

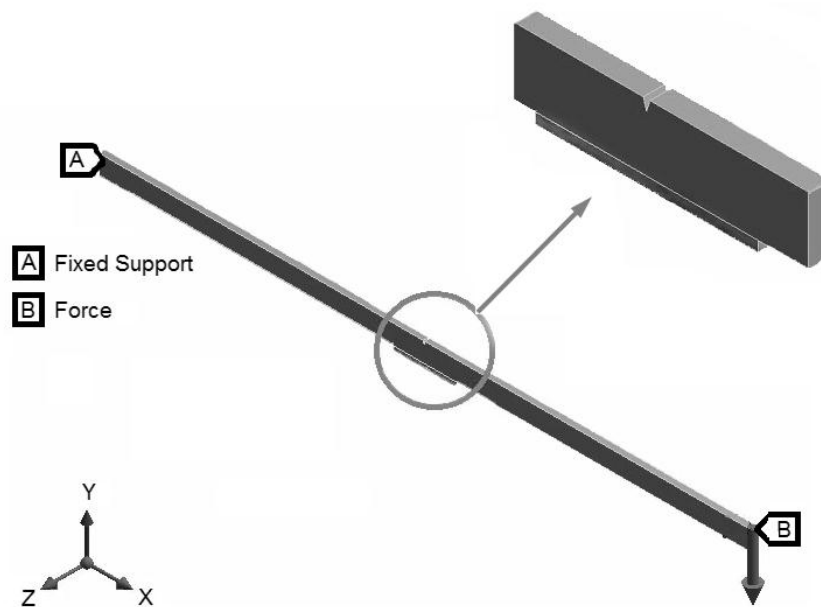


Figure 4. Implementation of the case study with finite element method

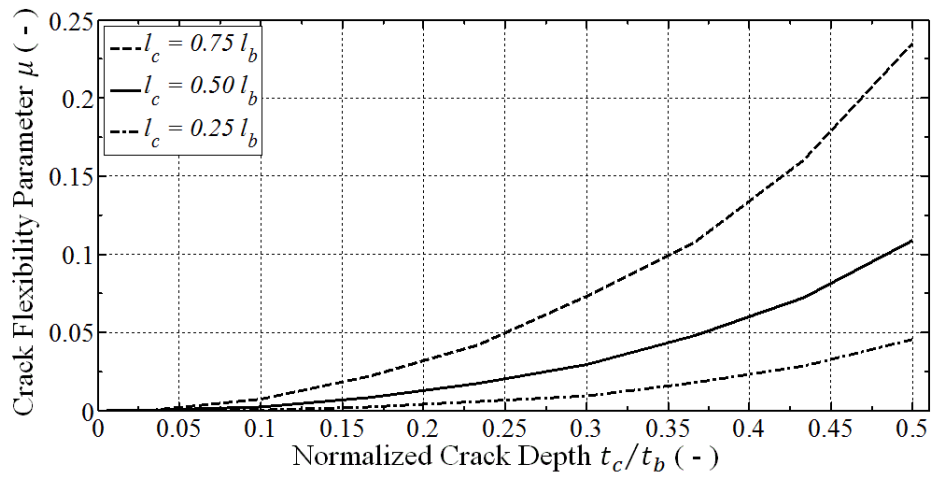


Figure 5. Identified crack flexibility parameter μ at different crack depths and locations

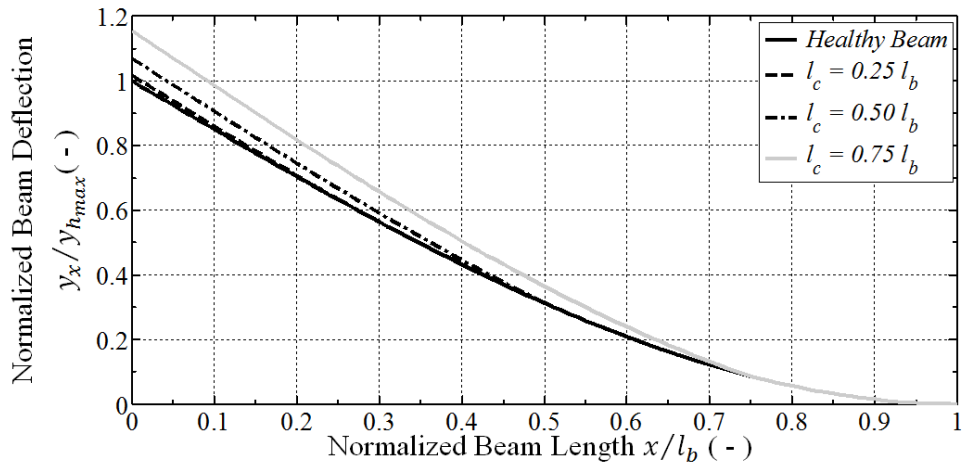


Figure 6. Deflections of the cracked beam at different crack locations (origin of x is located at the free end of the beam)

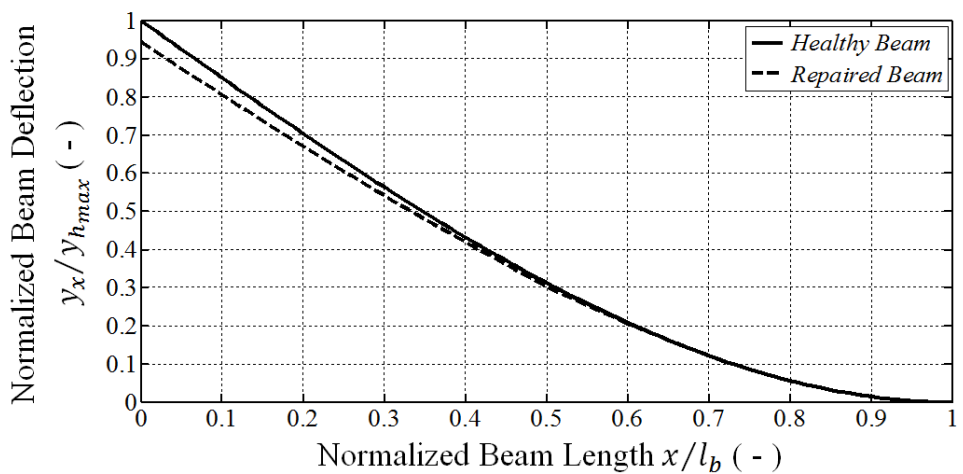


Figure 7. Deflections of the healthy and Repaired beams (origin of x is located at the free end of the beam)

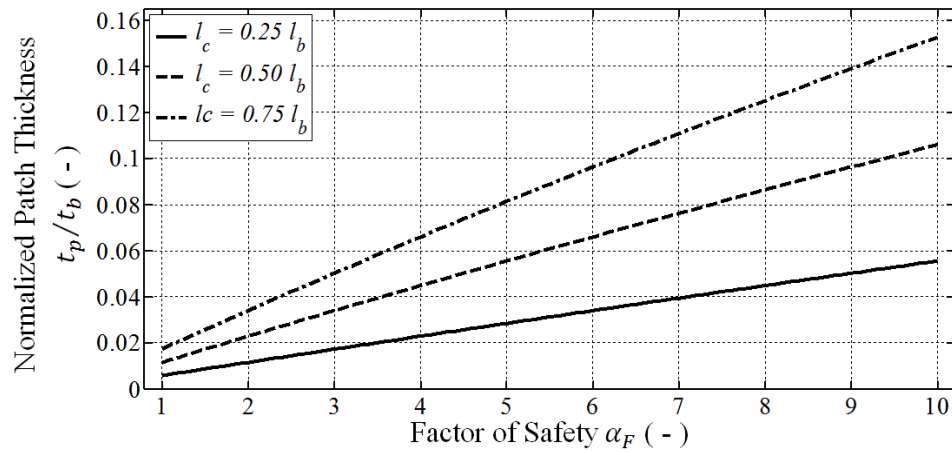


Figure 8. Variation of the piezoelectric patch thickness with the factor of safety at different crack locations.

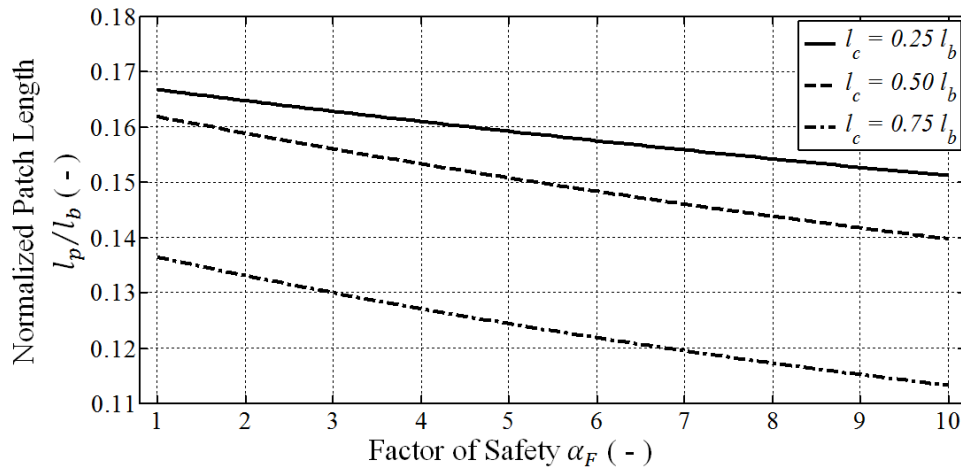


Figure 9. Variation of the piezoelectric patch length with the crack depth at different crack locations

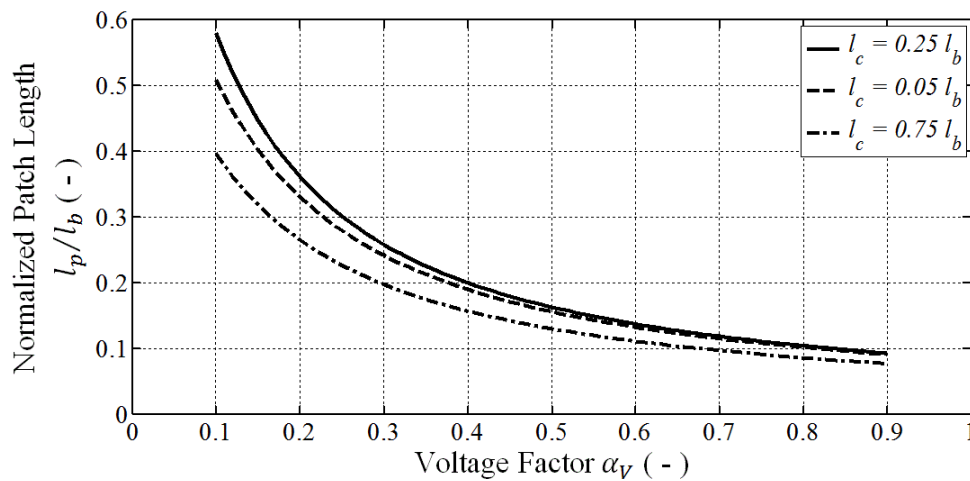


Figure 10. Variation of the length of the piezoelectric patch with the voltage factor at different crack locations

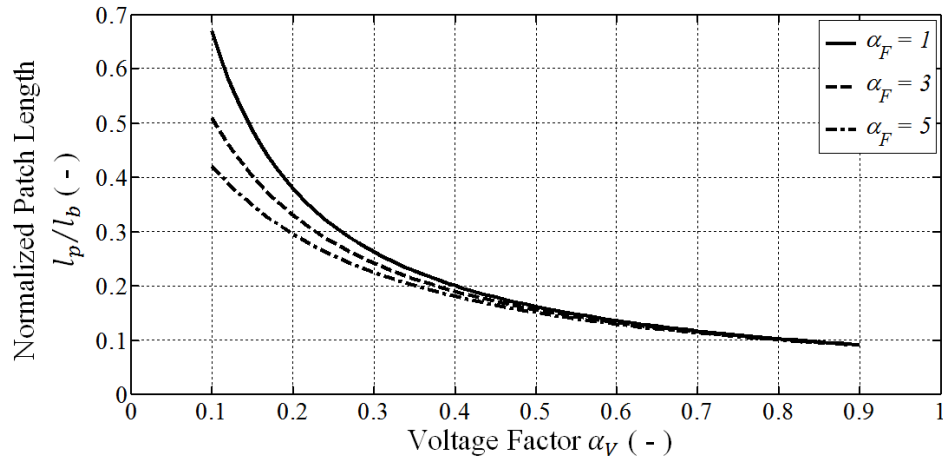


Figure 11. Variation of the length of the piezoelectric patch with the voltage factor at different factors of safety

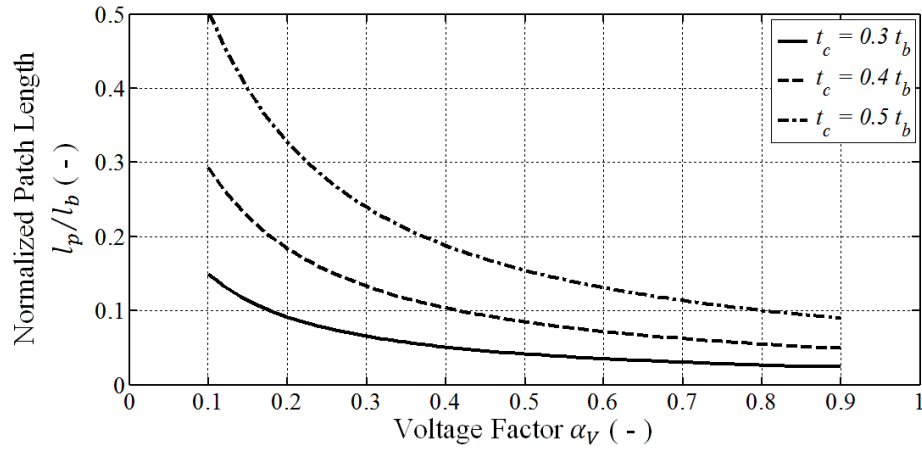


Figure 12. Variation of the length of the piezoelectric patch with the voltage factor at different depth of the crack

Table 1. Specifications of the used piezoelectric patch

Property	Magnitude	Unites
d_{31}	-120×10^{-12}	m/V
s_{11}^E	11.3×10^{-12}	m ² /N
s_{12}^E	-3.7×10^{-12}	m ² /N
E	394	V/mm

Table 2. Designed piezoelectric patches (based on the proposed model)

Designer Preferences		Calculated Patch Dimensions (mm)			Calculated Required Voltage V_a (V)
Factor of Safety α_F	Voltage Factor α_V	Thickness t_p	Length l_p	Width b_p	
1	1	0.35	82.40	10	208.69
3	1	1.00	82.20	10	204.16
5	1	1.70	82.00	10	200.00
5	0.75	1.70	106.30	10	150.00
5	0.5	1.70	150.70	10	100.00

Reducing Lost Circulation Problem by Using Rice Material

Asst. Prof. Ayad Abdulhaleem A. Razzaq

Department of Petroleum Engineering

Collage of Engineering

Baghdad University

ayadah62@yahoo.com

Researcher: Wasan Abdullah Kzar

Department of Petroleum Engineering

College of Engineering

Baghdad University

wasan_sahar86@yahoo.com

ABSTRACT

Drilling fluid loss during drilling operation is undesirable, expensive and potentially hazardous problem.

Nasiriyah oil field is one of the Iraqi oil field that suffer from lost circulation problem. It is known that Dammam, um-Radoma, Tayarat, Shiranish and Hartha are the detecting layers of loss circulation problem. Different type of loss circulation materials (LCMs) ranging from granular, flakes and fibrous were used previously to treat this problem.

This study presents the application of rice as a lost circulation material that used to mitigate and stop the loss problem when partial or total losses occurred.

The experimental work included preparing drilling fluid, which is selected to be water based mud. Amount of loss for rock samples was measured where the percentage of losses of drilling mud were 46.25% and 96.96% as well as the percentage of improvement in curing of lost circulation were calculated after rice adding. Rice materials addition was done by tow stages: a) Adding 24 Ib/bbl of fine rice and 1 Ib/bbl of course rice gave improvement in curing from 30.67% to 100%. b) Adding 24 Ib/bbl of fine rice and 6 Ib/bbl of course rice gave an improvement in curing equal to 92.12%.

Keywords: lost circulation materials, drilling fluid, treatment, rice.

تقليل مشكله فقدان سائل الحفر باستخدام ماده الرز

الباحث: وسن عبدالله كزار

قسم هندسه النفط

كلية الهندسة / جامعه بغداد

أ.م. د. أياد عبد الحليم عبد الرزاق

قسم هندسه النفط

كلية الهندسة / جامعه بغداد

الخلاصة

فقدان سائل الحفر اثناء عمليه الحفر هي مشكلة كبيرة ومكلفة وخطيرة في نفس الوقت. حقل الناصرية النفطي هو أحد الحقول العراقية التي تعاني من هذه المشكلة. الدمام وام رضومه والطيارات وشيرانيش والهارثه من أكثر الطبقات التي يفقد فيها سائل الحفر في هذا الحقل. استخدمت العديد من المواد المعالجة للفقدان في حقل الناصرية سواء كانت مواد حبيبيه او ليفيه او صفائحيه.

في هذه الدراسة تم استخدام ماده الرز كماده معالجه لفقدان سائل الحفر للتخفيف من حدة وإيقاف مشكلة الفقدان عند حدوثها بشكل جزئي أو كلي.

التجارب المختبرية شملت إعداد سائل الحفر مائي القاعدة حيث تم قياس مقدار الخسارة لنماذج صخريه تم قياس النسبة المئوية لفقدان طين الحفر فيها حيث كانت نسبة الفقدان 46.25% و 96.96%. وكذلك تم حساب النسبة المئوية للتحسن في علاج حالات الفقدان بعد اضافته ماده الرز.

تم استعمال الرز على مرحلتين أ) اضافته 24 باوند/برميل من الرز الناعم مع 1 باوند/برميل من الرز الخشن حيث اعطى نسبة تحسن تتراوح من 30.67% الى 100%. ب) اضافته 24 باوند من الرز الناعم مع 6 باوند/ برميل من الرز الخشن والذي اعطى نسبة تحسن 92.12%.

الكلمات الرئيسية: مواد معالجه الفقدان، سائل الحفر، معالجه، الرز.

1. INTRODUCTION

Routine practice to stop lost circulation is to add LCMs to the mud system to fill the fractures and vugs created while drilling. Although using these materials decreases the loss rate, the method is not consistent because materials are selected by trial and error. , **Salehi, and Nygaard, 2011**. Further, it is not clear to what extent loss rate can be decreased and how long LCMs are stable and effective in the loss zone.

The complexity of diagnosing lost circulation arises for several reasons, including limited knowledge of a loss mechanism when it occurs and of an appropriate strategy to mitigate it. , **Ghalambor et al., 2014**.

1.1 Causes of Lost Circulation Zones

Lost circulation is widely classified into two major categories based on the cause of the loss: , **Toreifi, et al., 2014**.

- a) Natural losses occur in formations with natural permeability, usually fractures or voids.
- b) Induced losses occur in an induced fracture, caused when hydraulic forces within the well bore exceed the formation strength. The frequency and severity of natural and induced losses vary around the world and are dependent on both the geology and the drilling conditions. , **Baker Hughes INTEQ., 1999**.

1.1.1 Natural Losses

Natural losses can occur within three formation types:

- a) Formations with conductive natural fractures or faults.
- b) Losses into high matrix permeability formations (gravels and coarse sands).
- c) Vugular or cavernous formations

1.1.2 Induced Losses

Induced losses result from the creation and extension of fractures by the drilling operation. Induced fractures result when the equivalent circulation density (ECD) of the drilling fluid exceeds the fracture gradient. This causes the formation to part, opening a fracture. Unlike natural losses that first occur at the bit, induced fractures occur at the weakest exposed formation. Induced fractures happen, when the ECD is increased, while weighing up, tripping, drilling too fast, or as the result of a mud ring or other situation causing a temporary pressure surge that breaks down a weak formation. The location of the fracture is often closer than the hole bottom. This attribute of induced fractures complicates the identification of the loss zone and the placement of materials designed to combat the problem. , **Baker Hughes INTEQ., 1999**.

1.2 Lost Circulation Severity

Loss circulation may be categorized based on the intensity and type of circulation loss zone. Although no generally accepted standard exists to classify the problem in terms of intensity, operators usually use the following terms to describe the severity of the fluid loss.

1.2.1 Seepage loss

Although some studies concluded that seepage loss may happen in any formation, **Messenger, 1981**. seepage loss mostly occurs in porous and permeable formations where a firm low permeability mud cake cannot be formed. Under static conditions, seepage loss rate may vary from in a range of 10 to 20 bbl/hr and under dynamic conditions, less than 10% of the fluid may be lost. , **Sweatman, et al., 1997**. Some studies have limited seepage loss to less than 10 bbl of fluid loss per hour. , **Cowan, et al., 1991**. Others have defined the upper limits of 25 bbl/hr and

10 bbl/hr for the seepage loss when drilling with WBM and OBM, respectively. , **Nasirov S., 2005.**

1.2.2 Partial loss

Partial loss of fluids happens in unconsolidated sands and loose gravels as well as zones containing one or more small natural or induced fractures. , **Baker Hughes INTEQ., 1999.** Some studies concluded that partial losses rarely occur in induced fractures. [**Robert, 2007**] The loss rate of 20 to 50 bbl/hr in static conditions and 20% to 50% of the drilling fluid in dynamic mode happens during a partial loss of fluids. In another study, ranges of 25 to 100 barrels per hour and 10 to 30 bbl/hr have been presented as the partial loss range for WBM and OBM, respectively.

, **Nasirov, 2005.** In another classification, all fluid losses in a rate between 10 bbl/hr and 25 bbl/hr have been categorized as partial circulation losses. , **Ivan, 2003.**

1.2.3 Severe losses

Severe lost circulations happen in long sections of unconsolidated sands and larger fractures. Fluid is lost at a rate of 50 to 150 bbl/hr and 50% to 100% in static and dynamic conditions, respectively during severe lost circulation. In some studies, severe losses have been defined as loss rates of fluid loss higher than 500 bbl/day. Severe losses have also been described as conditions in which more than 30 barrels of oil-based muds or 100 bbl of WBMs are lost per hour, **Nasirov, 2005.** and in another work , **Ivan, 2003.** all circulation losses over 25 bbl/hr have been classified as severe losses.

1.2.4 Total losses

Total fluid loss, however, occurs when all the mud flows into a formation with no return to surface. Unless the fracture is induced, losses normally cannot be stopped by pumping conventional LCM pills. The alternative reinforcing plug or cement. However, a pill of LCM often is the first choice since, if successful, it delivers a quick response and it's easy to apply. If this pill does not heal the fracture, a reinforcing plug or cement should be set across the loss zone. , **Bp Lost Circulation Manual, 1995.**

2. PRESENT WORK

The present work is about the use of rice as LCM to plug core samples that have large natural fractures. **Table 1** summarize the core samples specifications. Tests were performed in closed loop circulating system **Fig. 1** which was designed and built for this purpose. It has four main components: a circulating system, a mud loss collector, a pressure measurement system and a dynamic mud cell.

A detailed description of the used system showed in **Fig. 2**, which give a schematic diagram of different components.

3. METHODOLOGY OF THE EXPERIMENTS PERFORMED

The tank was used for draining the fluid. The tank was filled with 100 liters of mud. A Gear pump (flow rate =12 m³/hr., Hp = 7.5, Pressure =110 psi) was used to circulate the mud from the mud tank at 100 psi, across the face of the core that is held in the dynamic mud loss cell. The pump rate was adjusted to maintain a flow velocity across the face of the core of 0.22 m/sec, the circulating temperature was maintained at 56°C (reservoir temperature). The volume of mud loss was collected in a cylinder to compute the cumulative volume of the mud loss with time. The pressure across the sample and the drilling mud was recorded using a pressure gauge. The

dynamic mud loss cell was consisted of a core holder similar to standard Haussler core holder where the core was placed inside a rubber sleeve and the two sealed together by means of overburden pressure applied by hydraulic hand pump. A thermal jacket was used to surround the Haussler cell to provide and maintain the desired temperature.

The experiments were carried out as follows:

- 1- The core sample was sited in Haussler Cell and the pressure of cell (500) Psi was applied around the rubber sleeve to prevent any fluid by-pass.
- 3- The Haussler core holder was connected with thermal jacket to raise the temperature to reservoir formation temperature (56C°).
- 4- The prepared drilling mud was then circulated across the face of the core. The out flowing mud loss was collected in a fraction sampler.
- 5- The volume of mud loss was measured with time.
- 6- Repeat the tests by adding different concentrations of Rice to the drilling fluid.
- 7- These steps were repeated for each core sample and for each fluid type.

The composition of the mud systems that were used are presented in **Table 2** and their properties presented in **Table 3**.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Tables 4 and **5** and **Fig. 3** to **6**, illustrate that adding of 15 lb/bbl of fine rice to the base mud gave a reduction in loss percentages from 96.96% to 80.03% and from 46.25% to 26.26%, which means an improvement in curing percentages from 17.46%–43.23%. Adding 24 lb/bbl of fine rice and 1 lb/bbl of coarse rice together gave a reduction in loss percentage from 96.96% to 67.22.% and from 46.25% to 0%, which means an improvement in curing equals to 30.67% to 100%. Finally, adding 24 lb/bbl of fine rice and 6 lb/bbl coarse rice together gave a reduction in loss percentages from 96.96% to 7.64%, which means an improvement in curing equals to 92.12 % when loss was stopped and sealing was achieved after 3.6 minutes only. **Fig. 7** and **8** illustrate the core samples (represent partial (46.25%) and complete(96.96%) losses) before and after treatment.

1. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. The size of the treated material is very important, for example adding (24) lb/bbl of fine rice with (1) lb/bbl of coarse rice together gave an effect (30.67%), while adding (24) lb/bbl of fine rice with adding (6) lb/bbl of coarse rice gave 92.12% effective when the amount of the loss is 96.96%. that mean (5) lb/bbl of coarse rice gave change in improvement from 30.67% to 92.34%. Therefore, a mixture of coarse granular (of rice) material and a fine material (of rice) can be considered as an optimum treatment to stop loss of drilling fluids.
2. To achieve the complete treatment of lost circulation, the concentration of rice is preferably in the range from about 50 percent to about 60 percent by weight of the total materials from drilling mud can be considered.
3. The results revealed a strong relationship between fluid loss and the sealing efficiency, i.e. lower fluid loss gave higher sealing efficiency. For example, 1 lb/bbl of course rice with 24 lb/bbl of fine rice gave an improvement in curing (30.76%) for (96.96%) losses while same quantity of same material gave treatment (100 %) for (46.25%) losses.
4. For future studies its recommended to take the size, dimensions and specific gravity of rice and PH of drilling mud which contains the treatment materials into consideration.



5. The factors of the mixing and mixture waiting time before treatment should be take an interest for any similar study since the time factor have an important effect on changing the mixture properties

2. REFERENCES

- Baker Hughes INTEQ. 1999, *Prevention and Control of Lost Circulation: Best Practices*, 750-500-104, Revision B/ February.
- Bp Lost Circulation Manual. 1995, *A practical guide to planning, preparation and operating procedures to assist in prevention and cure lost circulation*, issue 1- May.
- Cowan J.C., House F. F., and Harrington A. H. 1991, *Seepage Loss Reducing Additive for Well Working Compositions and Uses Thereof*, Patent 5076944, 31-December.
- Ghalambor A., Salehi S., Shahri M.P. and Karimi M. 2014, *Integrated Workflow For Lost Circulation Prediction*, Paper SPE 168123, Presented at The SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 26-28.
- Ivan C., Bruton J. and Bloys B., June- 2003, *Lost circulation can be managed better than ever*, World Oil.
- Messenger J. 1981, *Lost Circulation*, Pennwell Corp. Publications.
- Robert F. M., 2007, *Petroleum Engineering Handbook*, Society of Petroleum Engineers Publications.
- Nasirov S., 2005, *Drilling Fluid Optimization to Mitigate Lost Circulation*, Master of Petroleum Engineering Dissertation, Volume No: Thesis / N-UIS 2005, University of Stavanger, Stavanger, Norway.
- Salehi, S. and Nygaard, R. 2011, *Evaluation of New Drilling Approach for Widening Operational Window: Implications for Wellbore Strengthening*, SPE 140753, SPE Production and Operations Symposium, Oklahoma City, USA, 27-29 March.
- Sweatman R.E., Kessler C.W., and Hillier J.M., 1997, *New Solutions to Remedy Lost Circulation, Cross flows, and Underground Blowouts*, Paper SPE /IADC 37671 presented at the 1977 SPE/IADC drilling conference held in Amsterdam, Netherlands 4-6 March.
- Toreifi, H., Rostami, H. and Manshad, A. K. 2014, *New Method for Prediction and Solving the Problem of Drilling Fluid Loss Using Modular Neural Network and Particle Swarm Optimization Algorithm*, J Petrol Explore Prod Technol. D.

Nomenclatures

bbl/hr= barrel per hour

ECD= equivalent circulation density

FV=funnel viscosity

Ib/bbl= pound per barrel

LCMs= lost circulation materials

OBM= oil based mud

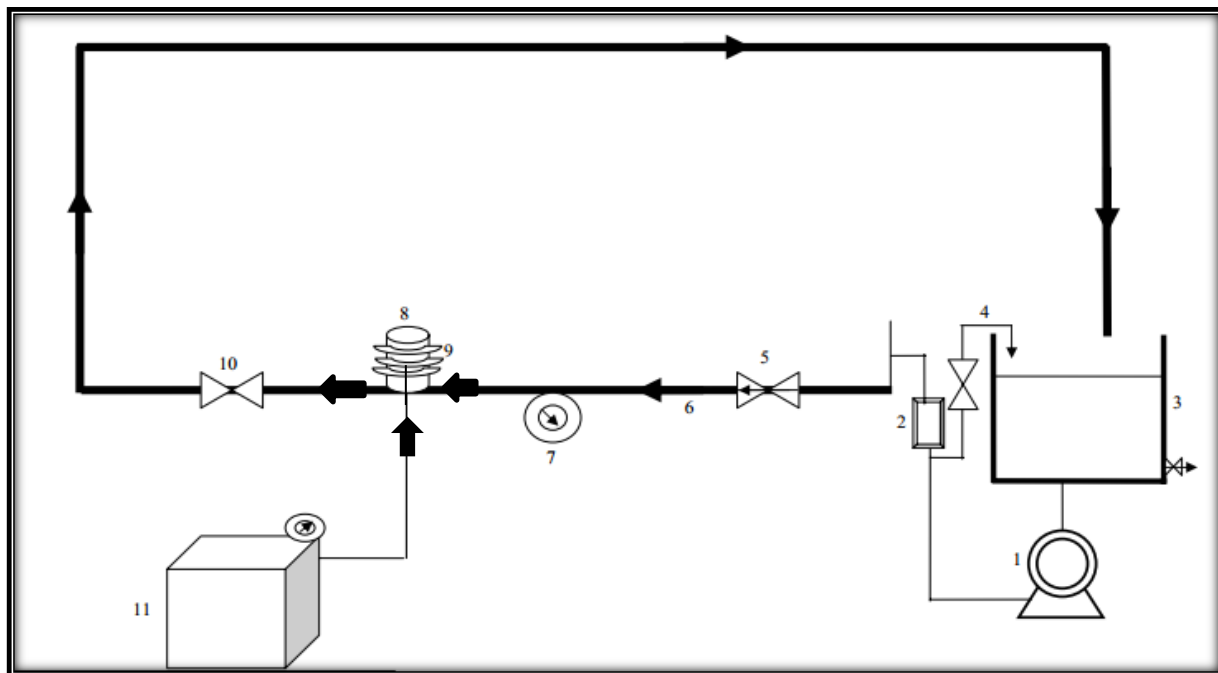
PV=plastic viscosity

WBM= water based mud

YP= yield point



Figure 1. Closed loop circulating system.



1. Gear pump, 2. Flow meter, 3. Tank, 4. By pass line, 5. One-way valve, 6. Entrance length, 7. gauge pressure, 8. Core holder, 9. Thermal jacket, 10. Valve, 11. Hydraulic hand pump

Figure 2. Schematic diagram of flow system.

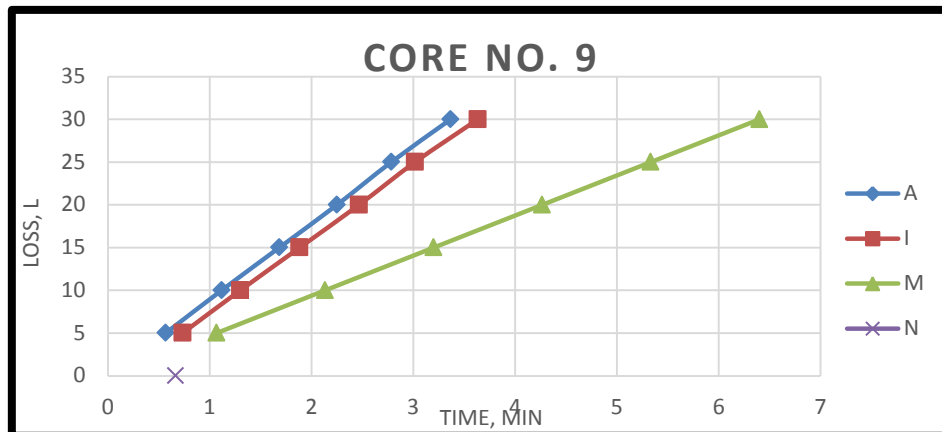


Figure 3. Relationship between muds loss and rice additions as a function of time for partial loss (46.25%).

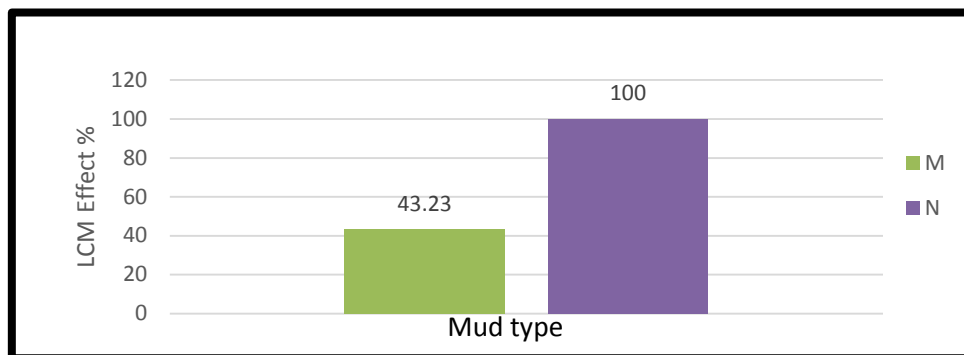


Figure 4. Effect of rice additions on improvement percentage for partial loss (46.25%).

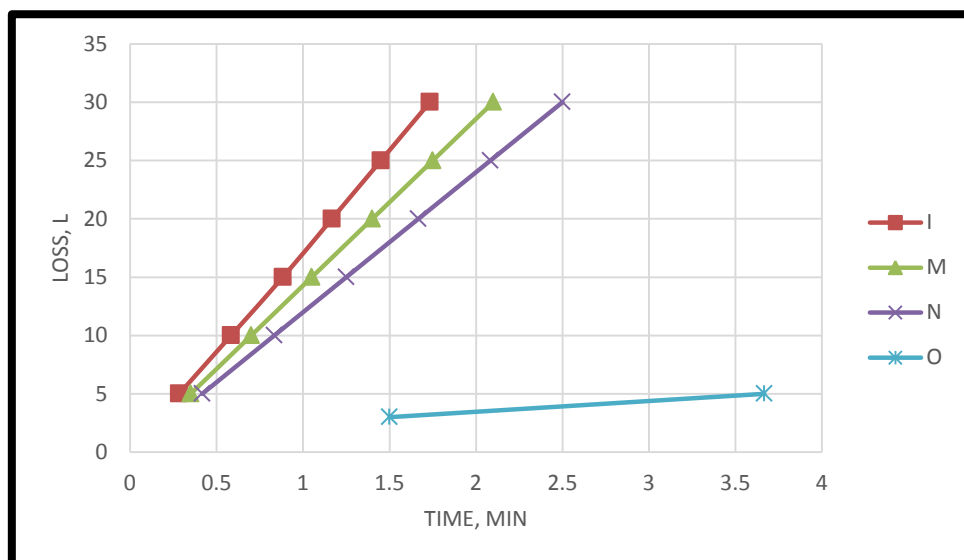


Figure 5. Relationship between muds loss and Rice additions as a function of time for complete loss (96.96%).

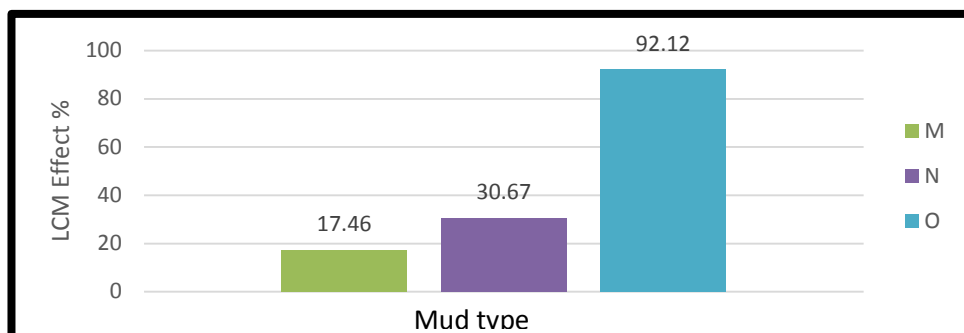


Figure 6. Effect of rice additions on improvement percentage for complete loss (96.96%).



Fig.7. core sample with partial losses (46.25%).



Fig.8. core sample with complete losses (96.96%).

Table 1. Summarized specifications of cores

Core No	Formation	Depth m	Lithology	Diameter in	Length cm	Permeability md	Losses rate%	Losses type
1	Dammam	625	Limestone Dolomite, bf-light grey at the top, bf, beige porous vuggy.	1	2.5	413.4715	46.25	partial
2		506				1104.85	96.96	complete

Table 2. Composition of the used drilling muds with rice material in ppb of water

Fluid No.	Bentonite	Barite	Soda Ash	Caustic soda	Rice (F)	Rice (C)
I	25	25	0.75	0.5		
M	25	25	0.75	0.5	15	
N	25	25	0.75	0.5	24	1
O	25	25	0.75	0.5	24	6

**Table 3.** Physical Properties of Drilling muds.

Fluid No.	Density (lb/gal)	ϕ_{600}	ϕ_{300}	Pv (cp)	Yb (lb/100ft ²)	FV (sec)
I	9.16	36	24	12	12	44
M	9.19	46	35	11	24	57
N	9.26	52	36	16	20	69
O	9.40	95	75	20	55	88

Table 4. The test results of muds loss for partial loss (46.25%).

1				
Mud type	Mud Loss %	Loss type	Reduction in loss %	Improvement percentage%
I	46.25	Partial	0	0
M	26.26		19.99	43.23
N	0		46.25	100

Table 5. The test results of muds loss for complete loss (96.96%).

2				
Mud type	Mud Loss %	Loss type	Reduction in loss %	Improvement percentage%
I	96.96	Complete	0	0
M	80.03		16.93	17.46
N	67.22		29.73	30.67
O	7.64		89.32	92.12

Accuracy Evaluation of Digital Elevation Model Created Using Handheld Global Positioning System Receivers

Zahraa Ezzulddin Hussein

Assistant Lecturer

College of Engineering - University of Baghdad

E-mail: Zahraazeldeen@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to assess the accuracy of digital elevation model (DEM) created with utilization of handheld Global Positioning System (GPS) and comparing with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), version 2. It is known that the quality of the DEM is affected by both of accuracy of elevation at each pixel (absolute accuracy) and accuracy of presented morphology (relative accuracy). The University of Baghdad, Al Jadriya campus was selected as a study area to create and analysis the resulting DEM. Additionally, Geographic Information System (GIS) was used to visualize, analyses and interpolate GPS track points (elevation data) of the study area. In this research, three additional DEMs were created using 60%, 30% and 15% of the all GPS track points to deduce the effect of the number of the included points on the accuracy of the resulting DEM. The study findings show a high resolution for the resulting DEM less than 5m when taking into consideration all GPS tracking points that observed in this research. Moreover, the resulting DEM has relative accuracy better than absolute accuracy and reaches to around 2m. By comparing with ground control points (reference points), the quality of handheld GPS DEM shows considerable improvement better than ASTER GDEM. Thus, this study indicates to improve the accuracy level of handheld GPS DEM by about 40% with increasing the observed number of GPS track points to twice.

Key words: digital elevation model (DEM), handheld GPS, DEM accuracy

تقييم دقة نموذج الارتفاع الرقمي المنتج باستخدام متسلمات نظام تحديد المواقع العالمية المحموله

م.م زهراء عز الدين حسين

قسم هندسة المساحة

كلية الهندسة/جامعة بغداد

الخلاصة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم دقة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الذي تم تكوينه باستخدام نظام تحديد المواقع المحمول (GPS) ومقارنتها مع نموذج الارتفاع الرقمي العالمي (ASTER GDEM) الإصدار الثاني. من المعروف أن جودة نموذج الارتفاع الرقمي تتأثر بكل من دقة الارتفاع الناتجة عند كل وحدة من وحدات الصورة (الدقة المطلقة) ودقة التشكل الظاهرة (الدقة النسبية). حيث تم اختيار جامعة بغداد/ الحرم الرئيسي في الجادرية كم منطقة دراسة لإنشاء وتحليل نموذج الارتفاع الرقمي الناتج في هذه الدراسة. علاوة على ذلك تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لغرض عرض وتحليل واستكمال نقاط مسار الـ GPS (بيانات المنسوب) الخاصة بمنطقة الدراسة. كما تم إنشاء ثلاث نماذج للارتفاع الرقمي إضافية في هذه الدراسة باستخدام 60% و 30% و 15% من جميع نقاط مسار الـ GPS لاستنتاج تأثير عدد النقاط المضمنة على دقة نموذج الارتفاع الرقمي الناتجة. أظهرت نتائج هذه الدراسة دقة عالية لنموذج الارتفاع الرقمي المنشأ الذي استخدم جميع نقاط مسار الـ GPS أقل من 5 متر. علاوة على ذلك، أن نموذج الارتفاع الرقمي المكون له دقة نسبية أفضل من الدقة المطلقة وتصل إلى حوالي 2 متر. كما أظهرت جودة نموذج الارتفاع الرقمي للـ GPS المحمول تحسناً ملحوظاً عما هو عليه في الـ

ASTER GDEM وذلك عن طريق المقارنة مع نقاط الضبط الارضية (النقاط المرجعية). كما اشارت هذه الدراسة الى تحسن مستوى نموذج الارتفاع الرقمي للـ GPS المحمول بنحو حوالي 40% مع زيادة عدد نقاط مسار الـ GPS المرصوده الى الضعف.

الكلمات الرئيسية: نموذج الارتفاع الرقمي، نظام تحديد المواقع المحمول، دقة نموذج الارتفاع الرقمي

1. INTRODUCTION

Digital elevation models play an important part for several applications such as hydrologic analysis, land use, landslide monitoring and others. Some of these applications require high accuracy of DEM despite of the cost such as planning of dam area and drainage channel networks. Where, high resolution DEM less than 30m does not freely available for most of the world's regions **Srivastava and Mondal, 2012**. Data of freely available DEM provide varied ground parameters (e.g. Earth's relief, slope and aspect of terrain) to be utilized for 3 dimensional modeling and geospatial analysis. For example, the most common freely available DEM are the Advanced Spaceborne. Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM, 30m resolution) and the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 90m resolution). Additionally, several techniques were adopted for DEM production with different level of accuracy such as traditional field survey, photogrammetry, and laser scanning, **Suganthi and Srinivasan, 2010**. Where, traditional survey techniques such as leveling surveys and total stations are utilized for DEM generation with high accuracy for civil engineering project, however its cost comparing with other techniques, **Farah, 2008**. It is known that a geodetic GPS receivers are used for positioning with centimeters/ millimeters level of accuracy (depending on the length of baselines), while positioning accuracy of handheld GPS receivers reach to about a few meters. By Wide Area Augmentation System (WAAS) enabled the positioning accuracy of handheld GPS increases to about 3 meters based on WAAS correction for broadcast signal, **Fry, et al., 2015**. Thus, the objectives of this research were to (1 assess the accuracy of DEM which created based on handheld GPS, (2 develop a high resolution DEM (less than 5m) based on low cost GPS, (3 compare the resolution of freely available DEM (ASTER GDEM) with the resulting DEM of this study.

2. DEM STRUCTURE AND INTERPOLATION TECHNIQUE

Digital Elevation Models (DEMs) represent data files that include the elevation of the earth's surface for a specified area. Digital elevation data are obtainable in variety formats that consist of Digital Terrain Models (DTM), Digital Surface Models (DSM), and Triangulated Irregular Network (TIN). The difference between a DTM and a DSM is that a DSM represents the ground surface and includes all objects on it whereas a DTM represents the earth's surface without any objects like building and trees, **De Sawal, 1996**. DEM can be created based on two main sources using interpolation method. The first is the traditional ground surveying (e.g. level, theodolite, and GPS). While, remotely sensed surveying, e.g. satellite image and laser scan, is the second source. After the data collection step, DEM generation needs to interpolation technique (whatever the data collection size). This technique is applied for determining the unknown values for certain locations based on the known values for another points (all points in DEM generation area become known data), **Carlisle, 2002**. Geographic Information System (GIS) is a tool widely used to visualize, manage, integrate, and analyze large quantities of spatial data. There are several interpolation methods available in GIS such as inverse distance weighting (IDW), ordinary kriging (KG), and spline with tension (ST). Most studies showed that kriging is more superiority by comparing with the other methods, **Erdogan, 2009; Svobodová, 2011; and**

Arun 2013. Thus, Kriging is a geo statistical interpolation which based on the spatial distribution of data instead of real values.

3. STUDY AREA AND FIELDWORK DESCRIPTION

In this study, Baghdad University Campus and Al Nahrain University were selected as the study area. The selected area located in the Iraqi, Baghdad, Al Jadriyah on geographic coordinates 33° 16' 20" to the North and 44° 22' 44" to the East (as shown in Fig. 1). The dimensions of the observed region of this study area are approximately 0.8 km in the East-West direction and 1 km in the North-South direction. Regarding this study, fieldwork was accomplished in two stages. From 5 - 17 April 2015, handheld GPS units (2 Garmin eTrex units) as shown in Fig. 3-A, were used to gather elevation of GPS track points (by rate three thousand points per day) for the DEM creation of the interested area as the first stage. GPS track points, which amounted to over thirty-seven thousand points, were distributed to cover all the selected area by arbitrary tracks as shown in Fig. 2 (red points). In the fieldwork of the first stage, the two handheld GPS receivers were set to receive the signal of Wide Area Augmentation System (WAAS). WAAS delivers signal corrections to enhance point positioning accuracy of GPS receivers, **Andreea, 2011; and Donghai et al. 1998.** For the period 18 - 28 April 2015, one hundred fifty two ground control points, which shown as a yellow points in Fig. 2, were created in obvious and specified sites of the study area, and represent the second stage of the fieldwork. Where, Differential Global Positioning System (DGPS) technique using two GR5 receivers, shown in Fig. 3-B, was used to observe these control points, which utilized for evaluating the accuracy of the resulting DEM.

4. DEM CREATION AND ACCURACY ASSESSMENT

In this study, spatial data for both of handheld receivers and geodetic receivers were used to construct DEM and assess its accuracy. Spatial data of GPS was visualized, analyzed and interpolated using Geographic Information System (GIS) **Bussink, 2003 and Salih, and AL-Tarif, 2012.** Thus, the created DEM based on GPS track points was implemented through several stages in GIS. Firstly, GPS points were reviewed and edited for filtering and removing the blunders. This filtering was applied manually by comparing GPS points with data for both of fieldwork and satellite image of the study area. In the second stage, initial DEM for the study area was created based on interpolation method. This interpolation for GPS points was applied using ordinary kriging, which deduces values for unobserved locations based on advanced statistical method **Svobodová, and Tuček, 2009 and Muhsin 2013.** Re-filtering was performed for the initial DEM in the third step. Thus, GPS points, which have elevation values significantly different from the neighboring points, were edited to represent the real terrain as it appeared in field data. Finally, interpolation of ordinary kriging was again achieved to obtain the final DEM of the study area. Moreover, GPS ground control points were considered as reference points (RP) to assess the accuracy for both of ASTER Global DEM (ASTER GDEM) and handheld GPS DEM (HGPS DEM). The absolute accuracy of the resulting DEM can be computed using the root mean square error (RMSE). The RMSE values were computed for the resulting DEMs (ASTER GDEM and HGPS DEM) relative to the reference points DEM (RP DEM) as shown in Eq. (1), **Jenson and Domingue, 1988 and Wechsler and Kroll, 2006.** .

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(E_i - E_t)^2}{n}} \quad (1)$$

where E_i is the elevation of the interpolated DEM, E_t is the reference elevation (RP DEM), and n is the number of RP. Furthermore, the relative accuracy of DEM also can be computed in addition to the absolute accuracy. Where, the relative accuracy, which is elevation difference for sample of point pairs, was calculated using the following equation, **Bhakar, et al., 2010 and Gu, et al., 2014**:

$$\text{Relative accuracy} = |\text{Dif}_{\text{RP}} - \text{Dif}_{\text{DEM}}| \quad (2)$$

where Dif_{RP} refers to the elevation difference between RP point pairs and Dif_{DEM} refers to the elevation difference between the interpolated DEM point pairs. Additionally, accuracy assessment of DEM is also based on the value of spatial resolution which can be determined by the following spatial equation **Chirico, et al., 2012**:

$$\text{Average spatial resolution} = \sqrt{\frac{D}{N}} \quad (3)$$

where D stands for the dimension of the study area, which used to create DEM, and N stands for the number of observed GPS track points. Thus, the quality of a DEM is determined based on the level for both of absolute accuracy and relative accuracy (accuracy of morphology presented). Where, several factors significantly impact on quality of interpolated DEM, **Sulebak, 2000; Guo-an, et al., 2001 and Ashraf, et al., 2012**:

- Earth surface roughness,
- collected data density,
- resulted resolution,
- and interpolation method.

5. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, DEM with spatial resolution less than 5m were developed using handheld GPS (low cost GPS) for the study area (Baghdad University) as shown in **Fig. 4** (yellow grid). On the other hand, the open source data (free available DEM) do not provide DEM at this resolution such as ASTER GDEM, which has resolution equals to 30 m, as shown in **Fig. 4** (red grid). Thus, results of this study showed that DEM which created by handheld GPS has high resolution and closer to the reference DEM (ground control points DEM) than open source DEM (ASTER GDEM), see **Fig. 5**. It is worth to mentioning that accuracy of handheld GPS observations was inhomogeneous due to constant changing in both of number and geometry of satellite that observed by the limited scope of handheld GPS. Therefore, the procedure of filtering by GIS, which applied in this study, plays an important factor to improve the accuracy of this resulting DEM (HGPS DEM). Where, the yellow grid in **Fig.4** represents the DEM production based on the collected GPS track points (up to 37000 points) which input to GIS tool as individual shapefile. Thus, the points of this shapefile were interpolated after applying the visualizing and the filtering procedures to get high resolution DEM for the specific region. Moreover, the red grid (**Fig.4**) refers to ASTER GDEM grid which freely uploaded from internet and input to GIS with another shapefile. Meanwhile, ASTER GDEM showed lower resolution than HGPS DEM by over 6 times. Moreover, the significant variation between the reference DEM and ASTER GDEM can be noted in **Fig.5**. In contrary, this Figure shows magnitude similarity between DEM

of handheld GPS and DEM of reference points in terms of values of elevation and their distribution pattern in the study area. Additionally, the diagram for both of elevations and difference elevations, which were obtained from DEMs (RP DEM, HGPS DEM and ASTER GDEM), were presented in **Fig. 6**. Regarding the outcome of this study, the root mean square error, which refers to absolute accuracy, for the HGPS DEM is 3.07 m. Where, the ASTER GDEM has root mean square error more than HGPS DEM by over 5 times as shown in **Table 1**, which also presented the values of minimum and maximum difference elevation. In this study, the relationship between the number of GPS track points and the accuracy of resulted DEM was deduced. Where, all GPS track points (up to 37000 points) were reduced to three groups by 60%, 30% and 15% to create three additional DEMs. Thus, accuracy assessment values for the 4 DEMs, which created from either all points or reduced points, were computed depending on each of absolute accuracy, relative accuracy and spatial resolution (shown in **Table 2**). In **Table 2**, it can be noted that the relative accuracy value was significantly lower for all the DEMs than the absolute accuracy. Where, the interest of the relative accuracy is represented by obtaining earth surface parameters such as aspect and slope that depend on differences between elevation points. Regarding **Table 2**, it is noticeable an increase values for each of relative accuracy, absolute accuracy and spatial resolution by reducing the number of GPS track points. For example, DEM for a 50% reduction results in a 2 m increase in spatial resolution. Thus, the number of the observed GPS track points can be determined based on a required spatial resolution and project budget (time and availability of personnel).

6. CONCLUSION

Results of this study showed the ability to generate high resolution DEM, which reached to about 4 m, using low cost GPS that associated with GIS analysis (filtering and interpolation technique) based on the satellite image of the study area and ancillary field data. Additionally, created DEMs using this technique have more certainty for relative elevation accuracy than absolute elevation accuracy. Thus, this procedure provides considerable utility for obtaining earth parameters that rely on elevation difference of points such as earth surface relief, terrain depth, and determination of cut/fill volume. Moreover, ASTER GDEM (freely available DEM) showed lower accuracy than handheld GPS DEM by about 5 times. This study suggests that the quality of the resulting DEM can be improved by increasing the observed number of GPS track points, which determined depending on the required accuracy and the budget of the project.

REFERENCES

- Andreea, B. U., 2011, *Considerations on the Development of Geodetic Network by Classical and GPS Methods*, Agricultura, agricultural practice and science journal, Vol.77, PP.230-234.
- Arun, P.V., 2013, *A Comparative Analysis of Different DEM Interpolation Method*, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol.16, PP.133-139.



- Ashraf, A., Ahmad, M.M., and Iqbal, M.B., 2012, *Quality Assessment of Digital Elevation Models in Comparison with Global Positioning Data of a Stream Profile in Dera Ismail Khan*, Vol.49, No.2, PP.131-138.
- Bhakar, R., Srivastav, S. K., and Punia, M., 2010, *Assessment of the Relative Accuracy of ASTER and SRTM Digital Elevation Models Along Irrigation Channel Banks of Indira Gandhi Canal Project Area, Rajasthan*, Journal of Water & Land-use Management, Vol.10, No.1-2, PP.1-11.
- Bussink, C., 2003, *GIS as a Tool in Participatory Natural Resource Management: Examples from the Peruvian Andes*, Mountain research and development, Vol.23, No.4, PP.320-323.
- Carlisle, B. H., 2002, *Digital Elevation Model Quality and Uncertainty in DEM-Based Spatial Modelling*, DISS. University of Greenwich.
- Chirico, P., Malpeli, K., and Trimble, S. (2012). *Accuracy Evaluation of an ASTER Derived Global Digital Elevation Model (GDEM) Version 1 and Version 2 for Two Sites in Western Africa.* "GIS Science & Remote Sensing, 49,775–801.
- De Sawal, R., 1996, *Digital Elevation Data and GIS projects*, In Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, University of California.
- Donghai Dai, Walter, T., Enge, P., and Powell, J.D, 1998, *Optimal Use of Ionospheric Corrections for Wide Area Augmentation System (WAAS) Users [GPS]*, in Position Location and Navigation Symposium, IEEE 1998 , pp.358-365, 20-23.
- Erdogan, S., 2009, *A Comparison of Interpolation Methods for Producing Digital Elevation Models at the Field Scale*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol.34, PP.366–376.
- Farah, A., 2008, *Accuracy assessment of Digital Elevation Models using GPS*, artificial satellites, Vol.43, No.4, PP.151-161.
- Fry, M., Ponette-González, A. G., and Young, K. R., 2015, *A Low-Cost GPS-Based Protocol to Create High-Resolution Digital Elevation Models for Remote Mountain Areas*, Mountain Research and Development, Vol.35, No.1, PP.39-48.
- Guo-an, T., Strobl, J., Jian-ya, G., Mu-dan, Z., and Zhen-Jiang, C., 2001, *Evaluation on the Accuracy of Digital Elevation Model*, Journal of Geographical Sciences, Vol.11, No.2, PP.209-216.



- Gu, Y., Wu, X., and Wang, J., 2014, *A Simplification Method of Terrain Modeling Based on Spatial-Autocorrelation*, International Journal of Multimedia & Ubiquitous Engineering, Vol.9, No.5, PP.185-194.
- Jenson, S.K., and Domingue, J.O., 1988, *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Cartosat1*, International Journal of Geomatics and Geosciences, Vol.1, No.1, PP.41-50.
- Muhsin, I.J., 2013, *High Spatial Resolution Digital Elevation Model (DEM) Production Using Different Interpolations Techniques*, Iraqi Journal of Physics, Vol.11, No.21, PP.116-126.
- Suganthi, S., and Srinivasan, K., 2010, *Digital Elevation Model Generation and its Application in Landslide Studies Using Information System Analysis*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol.54, No.1593-1600.
- Salih, S.A., and AL-Tarif, A.M., 2012, *Using of GIS Spatial Analyses to Study the Selected Location for Dam Reservoir on Wadi Al-Jirnaf, West of Shirqat Area, Iraq*, Journal of Geographic Information System, Vol.4, PP.117-127.
- Srivastava, V. K., and Mondal, K., 2012, March, *Evaluation of Digital Elevation Models (DEMs) generated from ASTER and SRTM Data: a Case Study of Flat Alluvium Terrain of Bakreshwar-Dubrajpur (WB), India*, in Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2012 1st International Conference on (pp. 666-671). IEEE.
- Sulebak, J. R., 2000, *Applications of Digital Elevation Models*, DYNAMAP Project, 11.
- Svobodová, J., and Tuček, P., 2009, *Creation of DEM by Kriging Method and Evaluation of the Results*, Geomorphologia Slovaca et Bohemica, Vol.9, No.1, PP.53-60
- Svobodová, J., 2011, *Selection of Appropriate Interpolation Methods for Creation DEMs of various Types of Relief by Complex Approach to Assessment of DEMs*, GIS Ostrava.
- Wechsler, S. P., and Kroll, C. N., 2006, *Quantifying DEM Uncertainty and its Effect on Topographic Parameters*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.72, No.9, PP.1081-1090.

Table1.Summary of the mean error and range of elevations from resulting DEMs.

Resulting DEM	Maximum elevation difference (m)	Minimum elevation difference (m)	Root mean square error, RMSE (m)
---------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

HGPS DEM	3.05	0.20	3.07
ASTER GDEM	17.17	1.3	16.11

Table2. Accuracy results for the 4 interpolated DEMs based on the number of GPS track points.

HGPS DEMs	GPS points	Spatial resolution (m)	Absolute accuracy (RMSE,m)	Relative accuracy
HGPS DEM	37875	4.5	3.0	2.1
HGPS DEM (50%)	18938	6.5	4.0	3.2
HGPS DEM (30%)	11362	8.4	4.8	3.7
HGPS DEM (15%)	5681	11.9	5.2	4.3



Figure 1. Study area, Baghdad and Al Nahrain Campus University.

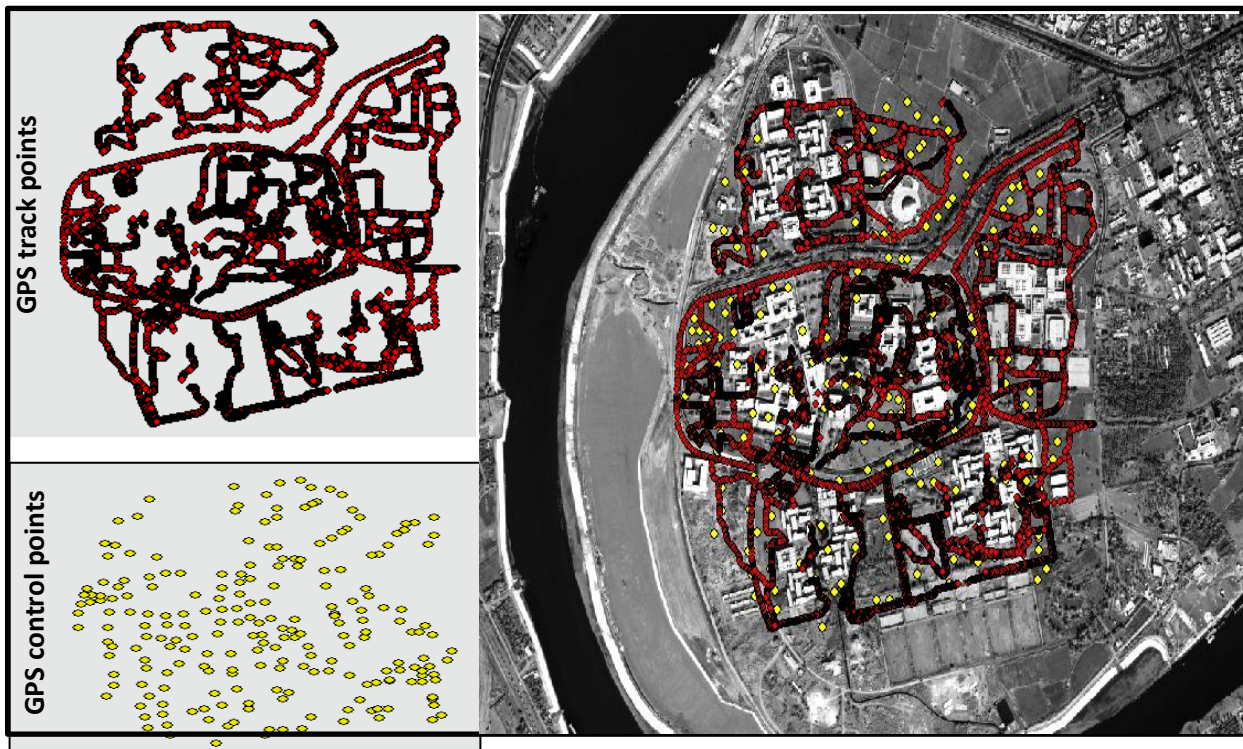


Figure 2. The distribution of points which included both of control points and GPS track points.



Figure 3.The distribution of points which included both of control points and GPS track points.

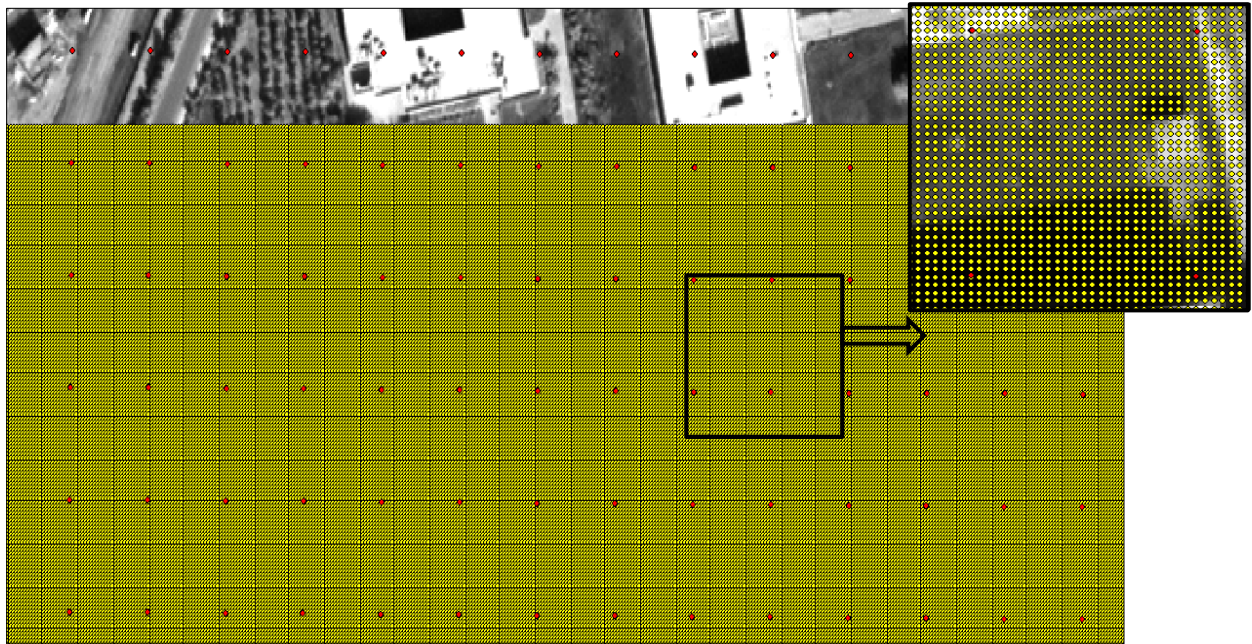


Figure 4. DEM grid production utilizing handheld GPS and ASTER GDEM.

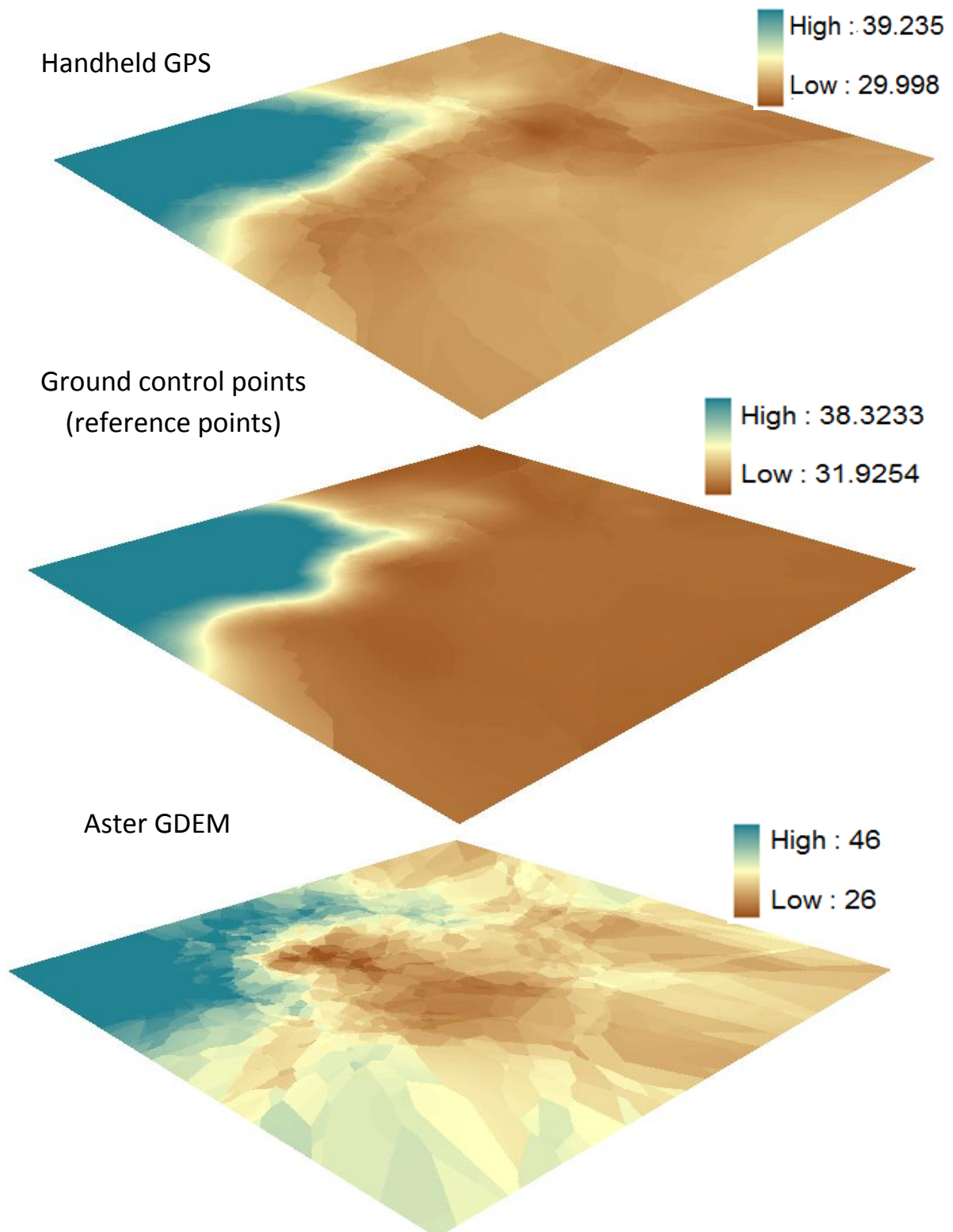


Figure 5. Created DEM using each of handheld GPS, ground control points and Aster GDEM.

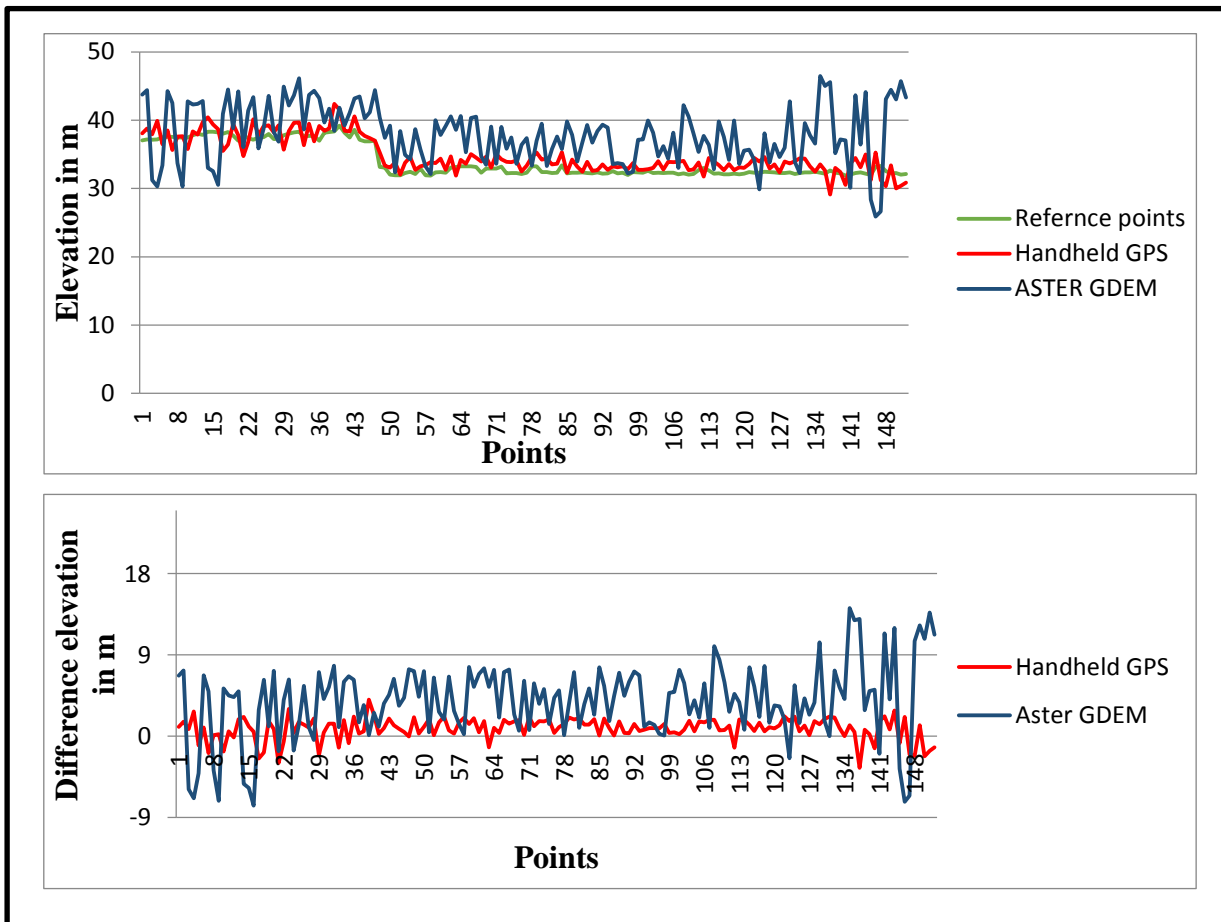


Figure 6. Comparison of elevation and difference elevation for the resulting DEMs.