



Journal of Engineering

ISSN 1726-4073



A Scientific Refereed Journal
Published by College of
Engineering University of
Baghdad

January
2015

Number 1
Volume 21

ISSN 1726-4073

مجلة الهندسة



مجلة علمية محكمة تصدرها
كلية الهندسة - جامعة بغداد

العدد 1

المجلد 21

ENGINEERING

College of Engineering

Baghdad University

Baghdad

List of Contents

English Section:

Page

| | |
|--|------------------|
| Properties of Superpave Asphalt Concrete Subjected to Impact of Moisture Damage <i>Saad Issa Sarsam</i> <i>Ali Hussein Alwan</i> | 1 – 14 |
| Corrosion Study of the Injection Equipments in Water in Al-Ahdeb Wells -Iraq <i>Hassan Abdulkadhim Alwan Alsaadi</i> | 15 – 28 |
| Wastewater Bio-solids Management for Fertilizer Quality Using Co-composting Process <i>Dr. Jathwa Abdul Karime Ibrahim</i> <i>Dr. Iman Sahib Salman</i> <i>Tasnim Fahem Chyad</i> | 29 – 44 |
| Extraction of heavy metals from contaminated soils using EDTA and HCl <i>Assistant professor. Hatem Asel Gzar</i> <i>Israa Mohammed Gatea</i> | 45 – 61 |
| Shell and Double Concentric Tube Heat Exchanger Calculations and Analysis <i>Basma Abbas Abdulmajeed</i> <i>Fadhil Abed Allawi</i> | 62 – 82 |
| A Visual Interface Design for Evaluating the Quality of Google Map Data for some Engineering Applications <i>Dr. Mouayed Y. Ahmed</i> <i>Dr. Maythm al-Bakri</i> <i>Luma Layth Abedulridha</i> | 83 – 99 |
| GNSS Baseline Configuration Based on First Order Design <i>Oday Yaseen Mohamed</i> <i>Muayed Yaseen Ahmed</i> <i>Zahraa Azeldeen Husain</i> | 100 – 114 |
| Reinforcement of Asphalt Concrete by Polyester Fibers to Improve Flexural Bending Fatigue Resistance <i>Dr. Mohammed Qadir Ismael</i> <i>Hiba M. Al-Taher</i> | 115 – 130 |

Properties of Superpave Asphalt Concrete Subjected to Impact of Moisture Damage

Saad Issa Sarsam

Professor of transportation Engineering
College of engineering, Dept. of Civil Eng.
University of Baghdad

E-mail: saadisarsam@coeng.uobaghdad.edu.iq

Ali Hussein Alwan

MSc. student
College of engineering, Dept. of Civil Eng.
University of Baghdad

E-mail: ali_h.alwan@yahoo.com

ABSTRACT

Moisture damage is a primary mode of distress occurring in hot mix asphalt (HMA) pavements in Iraq. Because of the loss of bond, or stripping, caused by the presence of moisture between the asphalt and aggregate, which is a problem in some areas and can be severe in some cases, it requires to evaluate the design asphalt mixture to moisture susceptibility. Many factors such as aggregate characteristics, asphalt characteristics, environment, traffic, construction practices and drainage can contribute to stripping. Asphalt concrete mixes were prepared at their optimum asphalt content by superpave system and then tested to evaluate their engineering properties, which include tensile strength, resilient modulus, and permanent deformation, stiffness, and fatigue characteristics. These properties have been evaluated using indirect tensile strength, uniaxial repeated loading and repeated flexural beam. The experimental results, in general, showed that the mixes subjected to moisture damage give low resistance to indirect tensile strength, low resilient modulus at 40 °C, high permanent deformation at 40 °C, low stiffness, and low fatigue life, by (19%, 21%, 93%, 62% and 70%) respectively as compared with unconditioned mixture.

Key words: Asphalt concrete, Moisture Damage, Superpave System

خصائص الخرسانة الاسفلتية فائقة الاداء المعرضة لتأثير الضرر بالرطوبة

علي حسين علوان

طالب ماجستير

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بغداد

سعد عيسى سرسم

أستاذ

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بغداد

الخلاصة

الضرر بالرطوبة هو أسلوب رئيسي لحدوث الفشل في التبليط بالخلطة الساخنة الاسفلتية في العراق بسبب خسارة الربط، أو التقشر، والنتيجة عن وجود الرطوبة بين الأسفلت والركام، والتي هي مشكلة في بعض المناطق ويمكن أن تكون شديدة في بعض الحالات، فانه من المطلوب تقييم الخلطة الاسفلتية المصممة الى حساسية الرطوبة. أن العديد من العوامل مثل خصائص الركام، وخصائص الأسفلت، والبيئة، والحجم المرور، وطريقه التنفيذ والصرف يمكن ان تساهم في التقشر. تم إعداد خلطات الخرسانة الإسفلتية في نسبة الأسفلت المثلى باستخدام النظام فائق الاداء ومن ثم اختبارها لتقييم الخواص الهندسية الخاصة والتي تشمل قوة الشد، ومعامل المرونة الحركي، تشوه دائم، والصلادة، وخصائص الكلال. وقد تم تقييم هذه الخصائص باستخدام قوة الشد غير المباشرة، الحمل احادي المحور المتكرر وكذلك فحص انحناء الكسر المتكرر. النتائج المختبرية وبشكل عام، أظهرت أن الخلطة المعرضة للضرر بالرطوبة تعطي مقاومة منخفضة لقوة الشد غير المباشرة، ومعامل مرونة حركي منخفض عند 40 درجة مئوية وتشوه دائم عالي في 40 درجة مئوية، صلادة منخفضة، عمر كلال منخفض، بمقدار (19٪، 21٪، 93٪، 62٪ و 70٪) على التوالي مقارنة مع خليط غير معرض للرطوبة.

الكلمات الرئيسية: خرسانة اسفلتية، الضرر بالرطوبة، النظام فائق الاداء



1. INTRODUCTION

The asphalt paving mixture is normally subjected to various detrimental types of distresses during its service life. Moisture damage is the loss of strength and durability in asphalt mixtures due to the effect of water or moisture vapor. It tends to accelerate the presence of the distress types. **Alwan, 2013**. The types of distress that can be related to moisture or the other factors are bleeding, cracking, rutting, and raveling. In view of this, the primary objective of this study is to evaluate the mechanical properties of asphalt concrete mixtures after it was subjected to the impact of moisture damage based on the following tests, Indirect tensile test (Moisture susceptibility), uniaxial repeated load test (Resilient Modulus and permanent deformation) and repeated flexural beam test (fatigue characteristics).

2. BACKGROUND

2.1 Mechanisms of Moisture Damage

It is generally agreed that moisture can degrade the integrity of bituminous mixtures in two ways:

- By causing a reduction in the cohesive strength and stiffness of the mixture, characterized by the softening of the mixture.
- By causing failure of the adhesion (or bond) between bitumen and aggregate, referred to as stripping, **Terrel and shute, 1989**.

The following are some of the major moisture damage mechanisms that cause stripping, **Kennedy, 1985**:

- 1- Pore pressure of water in the mixture voids due to wheel-loading repetitions, thermal expansion-contraction differences produced by ice formation, temperature cycling above freezing, freeze-thaw, and chemical shock, or a combination of these factors,
- 2- Asphalt removal by water, in the mixture at moderate to higher temperatures,
- 3- Water-vapor interaction with the asphalt filler mastic and larger aggregate interfaces.

2.2 Consequences of Moisture Damage

Damage due to moisture occurs in various forms and degrees of severity. The primary consequence of moisture damage is that of stripping, characterized by failure of the bitumen-aggregate bond. Stripping is often initially manifested in localized areas where the bitumen has integrated to the surface of the bituminous layer, referred to as flushing or bleeding. This migration of bitumen results in an unstable matrix in the lower portions of the bituminous layer which can lead to permanent deformation in the form of rutting and/or shoving as well as the development of potholes and cracking under the action of traffic loading, **Scholz, 1995**.

The other major consequence of moisture damage is that of a reduction of stiffness and strength in the bituminous layer, which decreases the load spreading capabilities of the pavement. Under the action of traffic loading, a pavement with reduced stiffness due to water damage is prone to rutting because of increased stresses and strains in the underlying layers. Loss of strength in the bitumen-aggregate matrix may also encourage stripping, **Kennedy, 1985**.

2.3 Water Sensitivity Tests

The moisture effect on physical properties and mechanical behavior of asphalt paving mixtures has been known for many years. Numerous empirical or semi-empirical test methods, such as the Lottman Laboratory Test, Tunnickliff and Root Test, Boiling Water Test, and Hamburg Wheel



Tracing Device, have been developed to predict moisture damage on asphalt mixtures. These test methods attempted to simulate the moisture damage that would occur in the field. **Sarsam, 2010**.

Lottman, 1982 describes the method, commonly referred to as the Lottman procedure; developed for the prediction of moisture damage in dense-graded bituminous mixtures. The method consists of nine specimens (4" diameter and 2 1/2" high) are compacted to expected field air void content. Specimens are divided into 3 groups of 3 specimens each. Group I is treated as control without any conditioning. Group 2 specimens are vacuum saturated (26 inches Hg) with water for 30 minutes. Group 3 specimens are vacuum saturated like Group 2 and then subjected to a freeze (0°F for 15 hours) and a thaw (140°F for 24 hours) cycle. All 9 specimens are tested for resilient modulus (M_r) and/or indirect tensile strength (ITS) at 55°F or 73°F. A loading rate of 0.065 inch/minute is used for the ITS test. Group 2 reflects field performance up to 4 years. Group 3 reflects field performance from 4 to 12 years. Retained tensile strength (TSR) is calculated for Group 2 and Group 3 specimens. A minimum TSR of 0.70 is recommended by **Lottman and Maupin, 1982**, who reported values between 0.70 and 0.75 differentiated between stripping and non-stripping HMA mixtures. It has been argued that the Lottman procedure is too severe because the warm water soak of the vacuum saturated and frozen specimen can develop internal water pressure. However, **Stuart 1986** and **Parker and Gharaybeh, 1987** generally found a good correlation between the laboratory and field results. Oregon has successfully used this test with modulus ratio in lieu of tensile strength ratio (TSR).

Tunnicliff and Root, 1984 report a method similar to the Lottman procedure. They proposed six specimens to be compacted to 6-8% air void content and divided into two groups of three specimens each. Group 1 was treated as control without any conditioning. Group 2 specimens are vacuum saturated (20 inches Hg for about 5 minutes) with water to attain a saturation level of 55 to 80 percent. Specimens saturated more than 80 percent are discarded. The saturated specimens are then soaked in water at 140°F for 24 hours. All specimens are tested for ITS at 77°F using a loading rate of 2 inches/minute. A minimum TSR of 0.7 to 0.8 is usually specified. Evidently, the use of a freeze-thaw cycle is not incorporated into **ASTM D4867-88**, which is based on this method. The freeze-thaw cycle is optional. The primary emphasis is on saturation of the specimen which for a short duration of about 24 hours has been reported to be insufficient to induce moisture related damage, **Copland and Newcomb 1988**.

AASHTO accepted the Modified Lottman Test **AASHTO T-283, 1985**. It is a combination of the Lottman and the Tunnicliff and Root Tests. Six specimens are produced with air voids between six percent and eight percent. The specimens are then split into two groups. The first group is the control group. The second group is saturated between 70 and 80 percent with water and is placed in the freezer (0°F or -18°C) for 16 to 18 hours. The frozen cores then are moved to a water bath at 140°F (60°C) for 24 hours. After conditioning, the resilient modulus test and/or the indirect tensile strength (ITS) tests are performed. The ITS test is performed at 77°F (25°C) with a loading rate of 2 in/min. The ratio of the average tensile strengths of the wet cores and the dry cores is known as the tensile strength ratio (TSR). The minimum acceptable TSR as per AASHTO is 70%, **Roberts et al. 1996**. Despite the recognized problems of AASHTO T 283, it was considered the best available method for evaluating the moisture sensitivity of asphalt concrete mixes. Since AASHTO T 283 was the recommended Superpave test, several researchers have investigated the parameters of this test method and compared it to the results of other methods.

3. MATERIAL CHARACTERAZATION

The materials used in this work, namely asphalt cement, aggregate, and fillers were characterized using routine type of tests and results were compared with superpave system.

3.1 Asphalt Cement

The asphalt cement used in this work is a 40-50 penetration grade. It was obtained from the Dora refinery, south-west of Baghdad. The asphalt properties are shown in **Table 1**.

3.2 Aggregate

The aggregate used in this work was crushed quartz obtained from Al-Nibaie quarry. This aggregate is widely used in Baghdad city for asphaltic mixes. The coarse and fine aggregates used in this work were sieved, and recombined in the proper proportions to meet the wearing course gradation as required by SP-2 specification. The gradation curve for the aggregate is shown in **Fig. 1**. Routine tests were performed on the aggregate to evaluate their physical properties. The results together with the specification limits as set by the **SCRB, 2003** are summarized in **Table 2**.

3.3 Filler

Mineral filler used in this study is Portland cement obtained from Badoush factory; the physical properties are shown in **Table 3**.

4. EXPERIMENTAL WORK

The experimental work was started by determining the optimum asphalt content for the asphalt concrete mix using the Superpave mix design method. Asphalt concrete mixes were made at their optimum asphalt and tested to evaluate the engineering properties to mixture subjected to moisture damage which (Specimen is considered conditioned after it was subjected to vacuum saturation followed by a freeze cycle followed by a 24 hour thaw cycle, and accomplished by performing AASHTO T-283). These properties have been evaluated using indirect tensile strength, uniaxial repeated loading and repeated flexural beam tests.

4.1 Superpave Mix Design

Two specimens are prepared at the trial asphalt content. It was compacted using gyratory compaction, four asphalt binder contents, at ± 0.5 % of the estimated asphalt content, and at $+ 1.0$ % of the estimated asphalt content. About 4.7 kilograms of the mix are used to prepare test specimens of 150 mm (5.9 in) in diameter and 115 ± 5 mm (4.53 ± 0.2 in) in height, and prepared accordance to method AASHTO TP4.

4.2 Indirect Tensile Test

The moisture susceptibility of the asphalt concrete mixtures was evaluated using AASHTO T-283. The result of this test is the indirect tensile strength (ITS) and tensile strength ratio (TSR). In this test, a set of specimens were prepared for each mix according to Superpave procedure and compacted to 7 ± 1 % air voids. The set consists of six specimens and divided into two subsets, one set (unconditioned) was tested at 25°C and the other set (conditioned) was subjected to one cycle of freezing and thawing then tested at 25°C . The test shown in **Fig. 2** involved loading the specimens with compressive load at a rate of (50.8mm/min) acting parallel to and along the vertical diametrical plane through 0.5 in. wide steel strips which are curved at the interface with specimens. These



specimens failed by splitting along the vertical diameter. The indirect tensile strength which is calculated according to **Eq 1** of the conditioned specimens (ITSc) is divided by the control specimens (ITSd), which gives the tensile strength ratio (TSR) as the following **Eq 2. Alwan, 2013.**

$$ITS = \frac{2P}{\pi D} \quad (1)$$

$$TSR = \frac{ITS (Conditioned)}{ITS (Unconditioned)} \quad (2)$$

Where:

ITS= Indirect tensile strength

P = Ultimate applied load

t = Thickness of specimen

D = Diameter of specimen

Other parameters are defined previously

4.3 Uniaxial repeated loading test

The uniaxial repeated loading tests were conducted for cylindrical specimens, 101.6 mm (4 inch) in diameter and 203.2 mm (8 inch) in height, using the pneumatic repeated load system shown below in **Fig. 3**. In these tests, repetitive compressive loading with a stress level of 20 psi was applied in the form of rectangular wave with a constant loading frequency of 1 Hz (0.1 sec. load duration and 0.9 sec. rest period) and the axial permanent deformation was measured under the different loading repetitions. All the uniaxial repeated loading tests were conducted at 40°C (104°F). The specimen preparation method for this test can be found elsewhere, **Albayati,, 2006**. The test was conducted at university of Baghdad. The permanent strain (ϵ_p) is calculated by applying **Eq. 3**.

$$\epsilon_p = \frac{Pd}{h} \times 10000 \quad (3)$$

Where

ϵ_p = axial permanent microstrain

P d = axial permanent deformation

h= specimen height

Also, throughout this test the resilient deflection is measured at the load repetition of 50 to 100, and the resilient strain (ϵ_r) and resilient modulus (M_r) are calculated as follows:

$$\epsilon_r = \frac{rd}{h} \times 10000000 \quad (4)$$

$$M_r = \frac{\sigma}{\epsilon_r} \quad (5)$$

where

ϵ_r = axial resilient microstrain



rd= axial resilient deflection (mm)

h= specimen height (mm)

Mr= Resilient modulus

σ = repeated axial stress (KPa)

ϵ_r = axial resilient strain (mm)

The permanent deformation test results for this study are represented by the linear log-log relationship between the number of load repetitions and the permanent microstrain with the form shown in **Eq.6** below which is originally suggested by **Monismith et. al., 1975** and **Barksdale 1972**.

$$E_p = a N^b \quad (6)$$

Where

E_p = permanent strain

N =number of stress applications

a = intercept coefficient

b = slope coefficient

4.4 Flexural Beam Fatigue Test

Within this study, four-point flexural fatigue bending test was adopted to evaluate the fatigue performance of asphalt concrete mixtures using the flexural fatigue testing equipment shown in **Fig. 4**, this test was performed in strain controlled mode with flexural stress level $250\mu\epsilon$, $400\mu\epsilon$ and $750\mu\epsilon$ applied at the frequency of 5 Hz and a repeated haversine (sinusoidal). All tests were conducted as specified in **AASHTO T 321** standards at 20°C (68°F) on beam specimens 50 mm x 63 mm x 400 mm prepared using Roller Compactor Device at NCCLR (National Center for Construction Laboratories and research) according to, **EN12697-33 2003**, because this method of compaction simulates field compaction in a progressive way. A slab sample of (400 mm by 300 mm by 53 ± 6 mm) was prepared using the hot aging asphalt concrete loose mix. A metal stripe of 30mm height and 1.5 mm width was fixed on the base plate of the slab before pouring the asphalt concrete to insure having weak point for beams after compaction of the slab, then cut by the cutter-water into dimension previously mentioned. In the fatigue test, results should be monitored and recorded at the selected load cycle intervals and the test should be terminated when the beam has reached a 50 percent reduction in stiffness. The initial strain was plotted versus the number of repetition to failure on log scales, collapse of the beam was defined as failure, the plot can be approximated by a straight line and has the form shown below in **Eq. 7. EN12697-33 2003**. The test was conducted at NCCLR (National center for construction laboratories and research).

$$N_f = k_1 (\epsilon_t)^{-k_2} \quad (7)$$

Where

N_f = fatigue life

ϵ_t = Initial tensile strain

k_1 = fatigue constant, value of N_f when = 1

k_2 = inverse slope of the straight line in the logarithmic relationship

5. TEST RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Effect of Moisture Damage on Indirect Tensile Strength

The indirect tensile strength (ITS) property of an HMA mix gives an indication on the overall strength of the mix. **Fig. 5** depicts the effect of unconditioned and conditioned mix on indirect tensile strength. Results indicated that tensile strength at 60 ° C for condition shows lower resistance than unconditioned by 19 %, at optimum asphalt content.

Tensile Strength Ratio (TSR) has been used for predicting moisture susceptibility of mixtures. The recommended limit of (80 %) for tensile strength ratio (TSR) is used to distinguish between moisture susceptible mixture and moisture resistance mixtures (**AASHTO T-283**). **Fig. 5** show the unconditioned and moisture conditioned mixture. The data show that optimum asphalt content mixtures have resistance to the action of water. The tensile strength ratio was 81%, at optimum asphalt content mix.

5.2 Effect of Moisture damage on Resilient Modules

The resilient modulus (M_r) properties were obtained from indirect tensile test, and used to evaluate the moisture damage of the HMA mixtures for two reasons. The first one is that M_r test is a nondestructive test that can be conducted on the same samples before and after moisture conditioning, and the second one is that the M_r is an engineering property that can be used to estimate the response of HMA pavements under traffic loads. **Table 4** summarizes the M_r properties of the unconditioned and moisture conditioned HMA mixtures. The data show that the resilient modulus of moisture condition was significantly lower than the values obtained for unconditioned mix with 21% at optimum asphalt content. Similar findings were reported by **Sarsam, 2009**.

5.3 Effect of Moisture damage on Resistance to Permanent Deformation

Table 5 shows effect of unconditioned and moisture condition mix on permanent deformation. It can be seen that slope increase in condition mix and intercept increase, that give indication that the unconditioned mixtures have low permanent strain compared with condition mix. The analysis of the Table indicated that the moisture condition mix lower resistance to permanent deformation (at 1000 cycles) by 93% as compared with the unconditioned mixture, and also fail before the unconditioned mix. **Fig. 6** Shows the relationship between strain and load repetition for unconditioned, and condition mixture with at (40°C).

5.4 Effect of Moisture damage on stiffness

Also noted when micro-strains level increase, the stiffness of specimen decrease. **Fig. 7** depicts the effect of unconditioned and condition moisture mix on stiffness. It can be seen that stiffness decrease at condition moisture mix by 62 % from unconditioned mix (in 250 $\mu\epsilon$ and optimum asphalt content) the reason may be due to the lack of bond between asphalt and aggregates.

5.5 Effect of Moisture damage on Fatigue Life

Table 6 and **Fig. 8** Depicts the effect of unconditioned and moisture condition mix on fatigue life. The analyses of the figure shows that fatigue life after impact to moisture condition decrease by 70 % from unconditioned mix (at 250 $\mu\epsilon$, and optimum asphalt content), also noted that the K_2 (which



represents the intercept) was decreased from (3.46 to 3.28) and K1 (which represents the slope) was increased from (9.15E-09 to 1.52E-08) at optimum asphalt content.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Best on the limited testing program, the following conclusion could be drawn:

1. The impact of moisture conditioning of superpave asphalt concrete was lowering the indirect tensile strength by (19%) as compared with unconditioned mix.
2. At (40°C), Mr was reduced by (21%) due to the impact to moisture damage.
3. The permanent deformation increases by 93 percent after subject the specimens to moisture damage (at 40°C).
4. Stiffness at (250µE, 750 µE) was reduced after subjecting the asphalt concrete to moisture damage (conditioned mix) as compared with unconditioned mix by (-62%, -16%) respectively.
5. The results of repeated four point flexural fatigue beam testing indicated that fatigue life decreases by 70 percent after subjected asphalt concrete to moisture damage. For a microstrain change from 250 µE to 400 µE, the fatigue life decreases by 87 percent.

REFERENCES

- AASHTO., 2010, *Guide for Design of Pavement Structures*,. The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., USA.
- Al- Bayati, A. ,2006, *Permanent Deformation Prediction of Asphalt Concrete under Repeated Loading*, Ph.D. Thesis, Civil Engineering, University of Baghdad.
- Alwan A. H. , 2013, *Durability of superpave asphalt concrete pavement*, MSc thesis, Department of Civil Engineering, University of Baghdad.
- ASTM, ,2009, *Road and Paving Materials*, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03, American Society for Testing and Materials,” West Conshohocken, USA.
- Asphalt Institute, , 1996, *Superpave Mix Design*, Superpave Series No. 2 (SP-2), The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
- European Standards EN 12697: , 2005, *Bituminous mixtures Test methods for hot mix asphalt*, published under the authority of European Committee for Standardization and Technical Committee CEN/TC 227 “Road materials”, August.
- Kennedy, T.W., 1985, *Prevention of Water Damage in Asphalt Mixtures*, STP 899, American Society for Testing and Materials, pp 119-133, Philadelphia.
- Lottman, R.P., 1982, *Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete-Field Evaluation*, NCHRP 246, Transportation Research Board, Washington.
- Maupin, G.W., 1982, *The Use of Anti-stripping Additives in Virginia*. Proc. Assoc. of Asphalt Paving Technologists, Vol. 51, 1982.
- Monismith, C., Ogawa, N. and Freeme, C. 1975. *Permanent Deformation Characteristics of Subgrade Soils due to Repeated Loadings*, TRR 537.



- Parker, F, and Gharaybeh, F., *Evaluation of Indirect Tensile Tests for Assessing Stripping of Alabama Asphalt Concrete Mixtures*. TRB, Transportation Research Record 1115, 1987.
- Roberts, F., P. Kandhal, E. Brown, D. Lee, and T. Kennedy 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. 2nd edition. Lanham, Maryland: NAPA Education Foundation.
- Stuart, K.D., 1986, *Evaluation of Procedures Used to Predict Moisture Damage in Asphalt Mixtures*. FHWA, Report FHWA/RD-86/091, 1986.
- Saad Issa Sarsam, Israa Lutfi AL-Zubaidi , 2014, *Resistance to Deformation under Repeated Loading of Aged and Recycled Sustainable Pavement*. American Journal of Civil and Structural Engineering AJCSE 2014, 1(2):34-39.
- Saad Issa Sarsam, Ali Hussein Alwan 2014, *Assessing Fatigue Life of Superpave Asphalt Concrete*, American Journal of Civil and Structural Engineering AJCSE 2014, 1(4):88-95.
- Sarsam S. , 2010, *Modeling Asphalt Concrete Pavement Deterioration*. Proceeding, the second regional conference for engineering sciences, 1-2 December. Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq.
- Sarsam S. , 2009, . *Assessing Asphalt Concrete Deterioration Model from In-service Pavement Data*. Proceeding, Developing a research agenda for Transportation infrastructure preservation and renewal, TRB – Conference, Washington D.C., November 12-13.
- Saad Issa Sarsam, Samer Muayad Al-Sadik , 2014, *Deterioration Model Assessment of Asphalt Concrete Pavement*, Research Journal of Modeling and Simulation RJMS 2014, 1(2):30-39.
- Terrel, R.L. and Shute, J.W., 1989, *Summary Report on Water Sensitivity*, SHRP/PAJR- 89-003, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington.
- Todd V Scholz, 1995, *Durability of Bituminous paving Mixtures*. Thesis of Doctor of Philosophy, University of Nottingham.
- Tunnicliff, D.G. and R.E. Root. *Use of Antistripping Additives in Asphaltic Concrete Mixtures*. TRB, NCHRP 274, 1984.

**Table 1.** The physical properties of asphalt cement.

| Property | Unit | ASTM Designation | Penetration Grade (40-50) | SCRB Specification |
|---|---------|------------------|---------------------------|--------------------|
| Penetration @ (25°C, 100 gm, 5sec) | 1/10 mm | D-5 | 41 | 40-50 |
| Softening Point.(Ring & Ball) | (°C) | D-36 | 49.4 | ----- |
| Specific Gravity @ 25°C | ----- | D-70 | 1.04 | ----- |
| Ductility @ (25 °C, 5cm/min) | cm | D-113 | 144 | >100 |
| after thin film oven test | | | | |
| Penetration of Residue 25 °C, 100 gm, 5 sec | 1/10 mm | D-5 | 27 | ----- |
| Mass loss (163 °C, 50gm, 5 hr | % | D-1754 | 0.3 | <0.75 |
| Ductility of Residue (25 oC , 5 cm/min) | cm | D-113 | 87 | ----- |

Table 2. Physical properties of Al-Nibaie aggregate.

| Property | ASTM Designation | value | SCRB Specification |
|---|------------------|--------|--------------------|
| Coarse aggregate | | | |
| Bulk Specific Gravity | C-127 -01 | 2.584 | ----- |
| Apparent Specific Gravity | C-127 -01 | 2.608 | ----- |
| Percent Water Absorption | C-127 -01 | 0.57 % | ----- |
| Loss Angeles Abrasion | C-131-03 | 13.08 | 35-45 Max. |
| Percent Soundness loss by sodium sulfate solution | C-88 | 2.678 | 10-20 Max. |
| Percent flat and elongated particles | ASTM D4791 | 1.6% | 10% Max. |
| Percent Fractured faces | | 97% | 95 Min. |
| Fine aggregate | | | |
| Bulk Specific Gravity | C-128-01 | 2.604 | ----- |
| Apparent Specific Gravity | C-128-01 | 2.664 | ----- |
| Percent Water Absorption | C-128-01 | 1.419 | ----- |
| Percent Sand equivalent | D-2419 | 51 | 45 Min.* |

* According to Asphalt Institute SP-2, (2001)

Table 3. Physical properties of Portland cement.

| Property | Limestone |
|--|-----------|
| % passing No.200 | 96 |
| Bulk specific gravity (gm./cm ³) | 3.14 |

**Table 4.** Resilient modulus value for moisture damaged mixture.

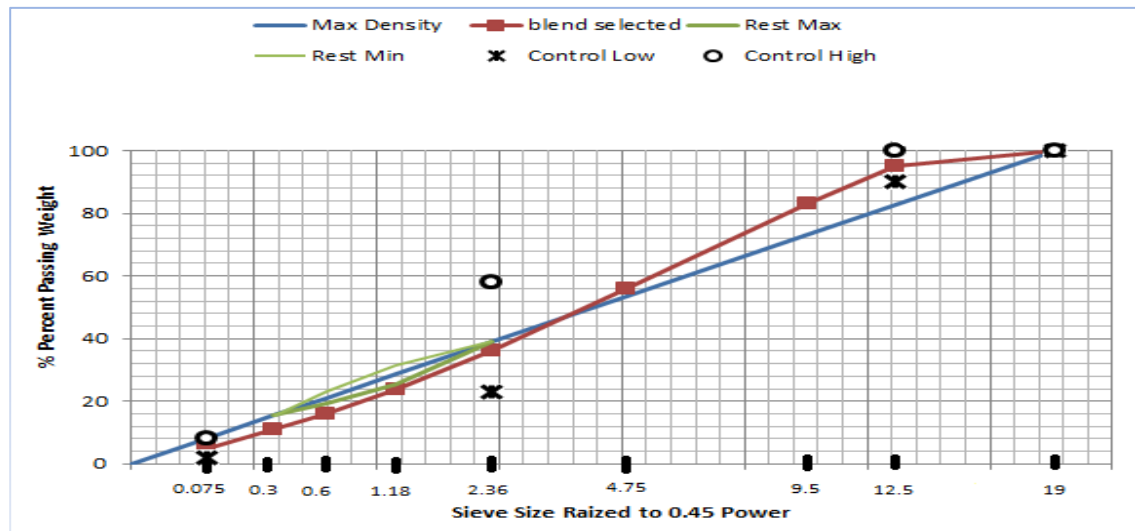
| Mix | Resilient Modulus (psi) |
|---------------|-------------------------|
| | 40 °C |
| Unconditioned | 96970 |
| Condition | 76190 |

Table 5. Slops, intercepts, and permanent deformation at 1000 cycle value for, unconditioned and conditioned mixtures.

| Mix | 40 °C | | |
|---------------|-------|-------------------------|----------------------------|
| | Slop | Intercept (microstrain) | Permanent def. @1000 cycle |
| Unconditioned | 0.441 | 149 | 3158 |
| Condition | 0.457 | 259 | 6083 |

Table 6. Parameter K1, K2, and fatigue life for, unconditioned, and conditioned mixtures.

| State | K1 (slope) | K2 (microstrain) | Fatigue Life (Nf) | | |
|---------------|---------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | 250 $\mu\epsilon$ | 400 $\mu\epsilon$ | 750 $\mu\epsilon$ |
| Unconditioned | 9.15E-09 | 3.46 | 30082 | 3860 | 693 |
| Condition | 1.52E-08 | 3.28 | 9015 | 903 | 319 |

**Figure 1.** Specification limits and selected gradation for wearing course (normal surface course (12.5 mm) nominal maximum size).

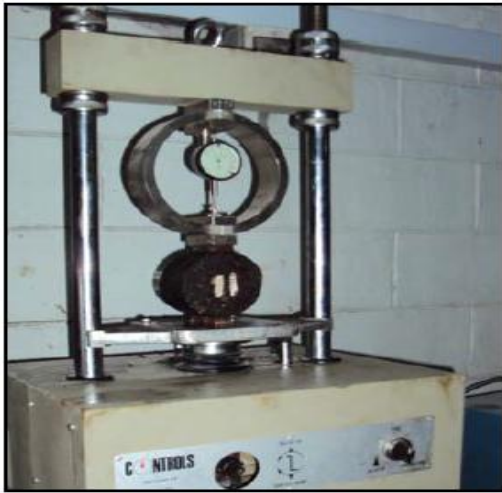


Figure 2. Photograph for ITS test (University of Baghdad laboratories).



Figure 3. Photograph for the PRLS (University of Baghdad laboratories).



Figure 4. Flexural fatigue testing equipment (NCCLR laboratory, Baghdad).

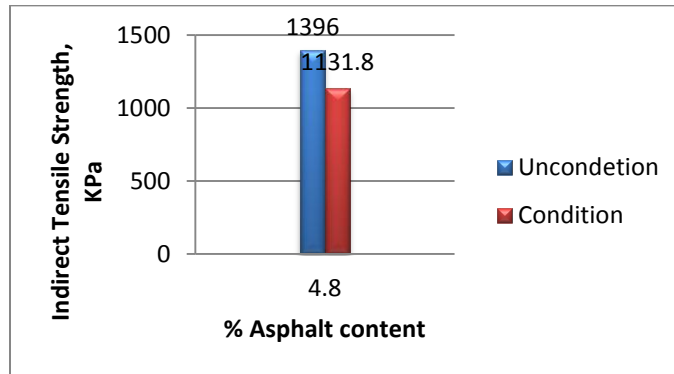


Figure 5. Indirect tensile strength for unconditioned, and condition mixture at 60°C.

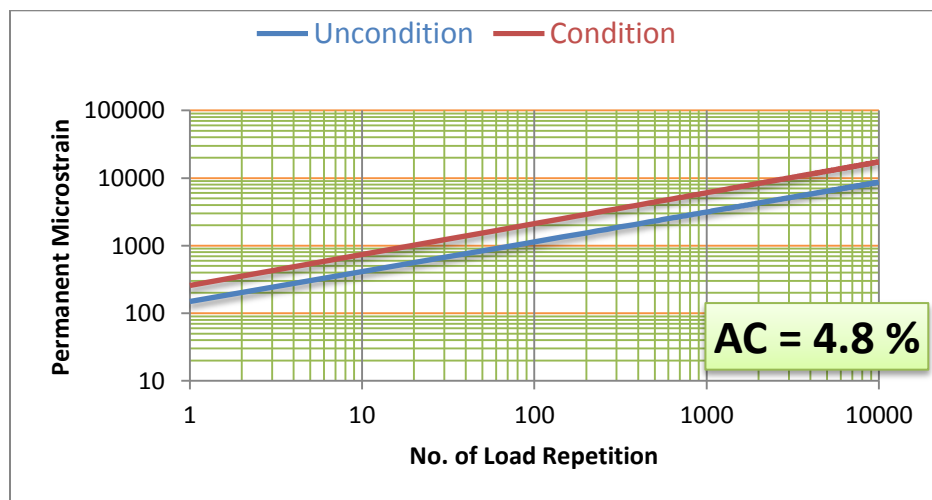


Figure 6. Relationship between strain and load repetition for unconditioned, and condition mixture.

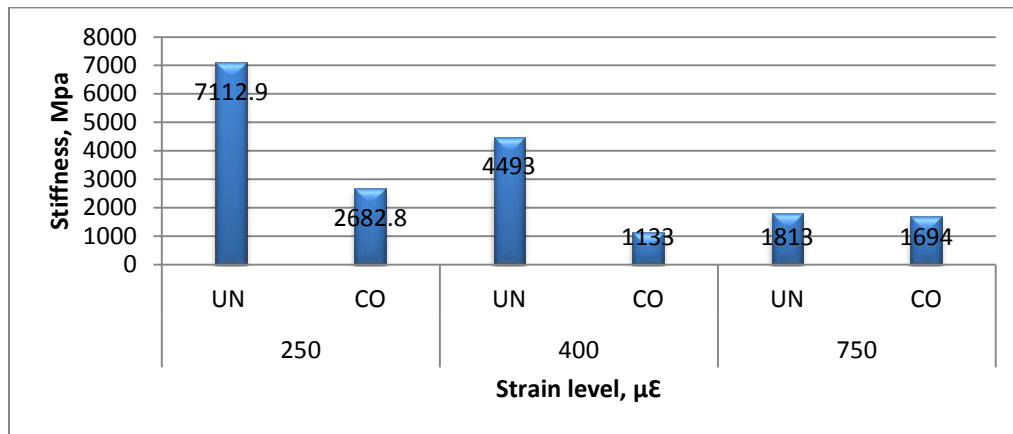


Figure 7. Stiffness for unconditioned and conditioned mixture.

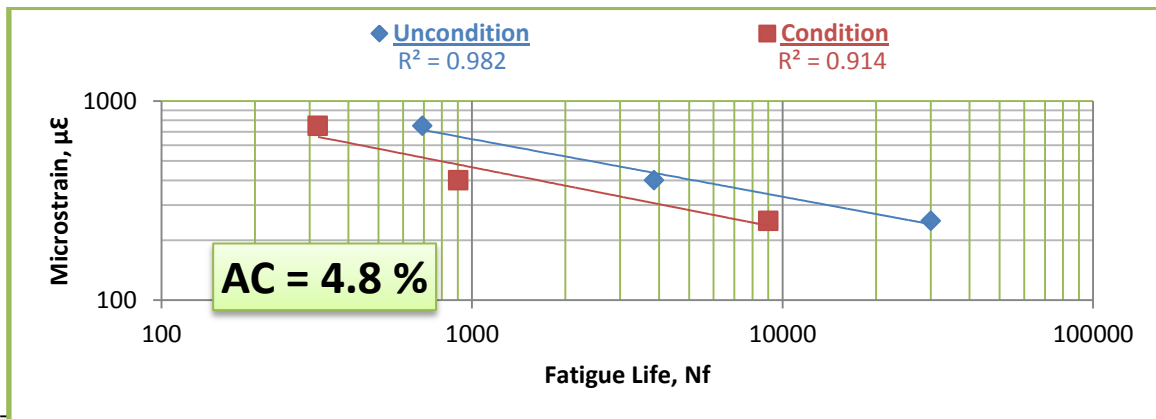


Figure 8. Fatigue life for unconditioned and conditioned mixture.

Corrosion Study of the Injection Equipments in Water in Al-Ahdeb Wells -Iraq

Hassan Abdulkadhim Alwan Alsaadi

Assistant Lecturer

Engineering College-Baghdad University

E-mail: alwan_hassan@yahoo.com

ABSTRACT

Water injection equipments such as pipelines, which are used in the second recovery of oil in the Al-Ahdeb wells, suffer from the corrosion in water during maintaining vacuum deoxygenated tower that used to decrease concentration of the dissolved oxygen gas in the water from 6.2-9.1 ppm to 0.5 ppm. This study involved calculation the corrosion rates of the internal surfaces of the pipelines either during operation of the vacuum unit or when the tower out of operation. Finally, find the solution by one of the following suggestions. In the first suggestion removal of the dissolved O_2 from water is achieved by increasing the dosage of the oxygen scavenger (sodium sulphite). The second suggestion involves removing the dissolved O_2 from water by bubbling the oxygenated water with nitrogen gas. The study showed that the corrosion rates of various inside diameter pipelines are between 0.13 mm/yr and 1.5 mm/yr during operation of the vacuum tower and between 3.2 mm/yr and 18.5 mm/yr when the tower out of the operation. While the results showed that the corrosion rate of the pipelines when the tower out of operation reached to the acceptable value of 0.1 mm/y when the dissolved oxygen in the injected water removed by increasing the dosage of the sodium sulphite (Na_2SO_3) to 48-72 ppm. The results also explained that corrosion rates of the pipelines reached to 0.5 mm/y when the dissolved oxygen removed by bubbling the water with nitrogen gas.

Key Words: corrosion, deaerated water, oxygen scavenger, aerated water

دراسة تأكل معدات الحقن في الماء في حقول الاحدب – العراق

حسن عبد الكاظم علوان

مدرس مساعد

جامعة بغداد / كلية الهندسة / قسم الكيمياء

الخلاصة

معدات وانابيب حقن الماء المستخدمة ففي عملية زيادة انتاج النفط في حقول الاحدب تعاني من مشكلة التأكل في الماء الحاوِي على الأوكسجين ويصل معدل التأكل الى اعلى قيمة له خلال فترة صيانة وحدة التفريغ المستخدمة لتقليل تركيز الأوكسجين الذائب في الماء من 6.2-9.1 جزء بالمليون الى 0.5 جزء بالمليون. هذه الدراسة اشتملت على حساب معدلات التأكل لسطح الأنابيب الداخلية في حالة ان تكون وحدة تفريغ الأوكسجين في الخدمة او خلال فترة صيانتها. هذه الدراسة اشتملت على اقتراح تقنيتان من اجل التخلص او تقليل تركيز الأوكسجين في الماء خلال فترة صيانة وحدة تفريغ الأوكسجين. في المقترح الأول تقليل تركيز الأوكسجين بواسطة زيادة كمية المواد الكيميائية (مادة كبريتيد الصوديوم) التي تتفاعل مع الأوكسجين وينتج عنه مادة غير آكلة للمعادن. المقترح الثاني اشتمل على تقليل تركيز الأوكسجين في الماء عن طريق تعريض الماء الى غاز النتروجين. الدراسة اوضحت على ان معدلات تأكل السطوح الداخلية الأنابيب ذات اقطار داخلية مختلفة يتراوح بين 0.13 ملم/سنة و 1.5 ملم/سنة في حالة التي تكون وحدة التفريغ في الخدمة. بينما معدلات تأكل السطوح الداخلية الأنابيب ذات اقطار داخلية مختلفة يتراوح بين 3.2 ملم/سنة الى 18.5 ملم/سنة عندما تكون وحدة التفريغ تحت الصيانة. نتائج هذه الدراسة ايضا اوضحت بان معدلات تأكل الانابيب وصلت الى الحدود المسموح بها وهي اقل من 0.1 ملم/سنة عندما تم تقليل تركيز الاوكسجين عن طريق اضافة بين 48 الى 72 جزء بالمليون من مادة كبريتيد الصوديوم. اخيرا بينت النتائج ايضا بان معدل تأكل الانابيب اصبح 0.5

ملم/سنة عن طريق تقليل تركيز الاوكسجين في الماء بواسطة غاز النتروجين.
الكلمات الرئيسية : ألتأكل, الماء الغير مهوى (الخالي من الاوكسجين), قانص الاوكسجين, الماء المهوى (الحاوي على الاوكسجين)

1. INTRODUCTION

Generally the water injection systems are used in oil industries in order to increase the oil production. This occurs when the water is injected into the reservoir at high flow rate or at high pressure. As result, the pressure of the oil reservoir rises. Consequently, the quantity of the oil recovery from the well increases. The sources of water, which are used in this process, vary from seawater, produced water, lake, and river **Havard, 2006**, and **Stephen et al.,1989**. All these types of water contain dissolved oxygen approximately 8-9 ppm at 20 C° which causes corrosion of the internal surface of the injection system equipments such as pipelines. The cathodic reaction is oxygen reduction Eq. (1), while the metal dissolution is the anodic reaction Eq. (2).

The corrosion rate of the metal is controlled by rate of the mass transport of the dissolved oxygen from bulk to the solution/metal interface. Therefore, O₂ should be removed from the Injected water before pumping into the reservoir. There are many methods that are used in the oil production in order to eliminate the concentration of the dissolved oxygen in the water such as mechanical deaeration combination with the chemical process. The former process is used before the chemical treatment. In the mechanical deaeration removal oxygen can be established by either introducing steam into the water that leads to increase the temperature of the water. As a result, oxygen will releases from the water to the atmosphere and consequently the concentration of oxygen decreases or by using vacuum process such as that uses in the Al-Ahdeb wells. In this process vacuum pumps are utilized in order to reduce the partial pressure of O₂ in the gas phase. Hence, concentration of the dissolved O₂ in the feed water will reduce [Havard, 2006, Stephen et al.,1989]. While removal oxygen by chemical process is achieved by adding a small amount of chemical substance {either hydrazine (N₂H₄) or sodium sulfite (Na₂SO₃)} to the water which reacts with oxygen **Stephen et al.,1989, Zaki, 2006**, and **Nathan,1981**.

Three vacuum deoxygenation packed towers, which have installed recently by Al-Waha company one of the Chinese companies, uses to remove the gas of O₂ from water that utilized to enhance the oil production in the Al-Ahdeb wells in the Al-Kut city. According to the Al-Waha document, this process leads to decrease concentration of O₂ in the water to 500 ppb (0.5 ppm) [Al Ahdeb Wells, 2013]. Although the corrosion rate of the system equipment will decrease, but it not within the acceptable value 0.1 mm/yr. In addition to the aggressive environment (dissolved O₂), the pipe lines, which transport the water from the water tank to the wells, are subjected to the high stress (water pressure). The stress values reaches to 17 Mpa at the high pressure section and 12 Mpa at sub high pressure section. Hence, the pipelines will susceptible to the stress corrosion cracking (SCC), which takes place when a metal/an alloy is subjected to the combination of aggressive environment (O₂) and stress (water pressure) **Zaki,2006**, and **Nestor,2004**.

The aim of this research is to study and calculate the corrosion rates of the internal surface of the water injection components (pipelines) when the Vacuum deoxygenation tower will be out of operation and then find the solution.

2. OPERATION OF THE SYSTEM

In Al-Ahdeb wells, removing dissolved oxygen from water takes place in two processes, vacuum and chemical processes. The vacuum process carries out in three vacuum deoxygenation packed towers that are parallel operated. Each tower consists of two stages. In the first stage most of the dissolved O₂ gas is removed from feed water to the gas phase by vacuum process. In the second

stage the oxygen scavenger is added to the deaerated water. Hence, further removing of dissolved O_2 from water takes place by the chemical process **Al Ahdeb Wells, 2013**.

The O_2 -free water is transported to the deaerated water tank through 18-20 in. inside diameter of carbon-steel pipe at flow rate 900-1075 m^3/h . In addition to the deaerated water, the deaerated water tank is also supplied with formation water (produced water) after treatment. Then, the deaerated water and produced water (injected water) pumping to the high pressure section and sub high section through 28 in. id pipe at flow rate 4200 m^3/h . At the high pressure section, the injected water is transported to the oil gathering main field (OGM) through 8 in. id steel pipes at flow rate 150 m^3/h and pressure 17 Mpa (170 bar). While, at the sub high section the injected water is transported to the different (OGM) through pipes, which have the same inside diameter (16 in), and at equal flow rate 650 m^3/h and pressure 12 Mpa. Finally, the injected water is pumping from the (OGM) to the many wells through pipes, which have the same inside diameter (6 in), and at equal flow rate 5000 bbl/day and pressure either 17 MPa. or 12 MPa. depending on the source of the water injection **Al Ahdeb Wells, 2013**.

3. OPERATION CONDITION OF THE TOWER

According to the Al-Waha documents, operation conditions of the unit are represented in the Table1. As can be seen from the Table, concentration of the dissolved O_2 in the inlet water is not recorded. This is because of it depending on the solubility of the gas in the water which is function to the temperature of water (i.e operating temperature). As the temperature of water increases, the solubility of dissolved O_2 in the water decreases. Consequently, concentration of dissolved O_2 decreases. The concentration of dissolved oxygen in the outlet water is 500 ppb (0.5 ppm) as recorded in the Table1. In order to treat the microbiological induced corrosion (MIC), which forms on the surface of the structure of the system such as sulfate reducing bacteria (SRB), the chemical removal oxygen process will be stopped for a certain time and adds biocide species.

4. PROBLEM

In the water injection system there is a problem will appear during either shutdown of the deaeration unit or normal maintenance when the concentration of the oxygen in the water will be at high value. This leads to corrode the internal surfaces of the system equipments as shown in Fig.1 Therefore, it should calculate the corrosion rate of internal surface of the system components when the deaeration unit will be out of operation and find the solution.

5. EXPERIMENTAL WORKS

The experimental works consist of two steps. In the first step, the lowest concentration of the dissolved O_2 gas in the water, which can be obtained by bubbling water with nitrogen gas, was estimated by doing an experimental work. In the second step corrosion rate of the internal surfaces of the pipelines, which made of carbon steel, are calculated under aeration and deaeration conditions of water.

First step, The experimental work of dissolved oxygen removal from water by using nitrogen gas stream was done in order to estimate the lowest concentration of dissolved gas of oxygen in water that can be obtained after the deaeration process. The experiment includes preparation an electrochemical cell that consists of a calomel electrode as a reference electrode and two platinum wires as working and auxiliary electrodes (note, in this step it is not necessary to use iron as working electrode). All electrodes were immersed in electrolyte that prepared by dissolving 4.5% of NaCl in one liter of distilled water. Then, the electrochemical cell was

connected to a potentiostat in order to polarise the cell during deaeration process as shown in **Fig. 2**. a nitrogen gas stream was used to deaerate the system. This was achieved by bubbling a solution with pure nitrogen gas which caused removal of a high proportion of the dissolved oxygen gas from the system to the water-containing flask and then to the atmosphere through a vent present at the top of the flask. As a result, a decrease in the concentration of the dissolved oxygen gas in an electrolyte (water) is obtained according to the Henry's law. Residual dissolved oxygen in the system can be controlled by the period of deaeration process and preventing an oxygen gas from entering to the system either during or after deaeration process.

Second step, corrosion rates of the pipelines are calculated during aerated condition and deaerated condition by using equations that derived experimentally by scientists. Concentration of O_2 , which used in the calculation, are obtained from the references and from the experimental work of this study.

6. CALCULATION AND RESULTS

Calculation and result can be divided into two parts, the first part includes prediction corrosion of the injection equipments (i.e. pipelines) in injected water at flow condition and in either deaerated or aerated condition. While the second part of calculation involves estimate the lowest concentration of dissolved oxygen in the injected water after deoxygenated of water with nitrogen gas.

First part, corrosion of the pipelines in injected water at flow condition and in either deaerated or aerated condition can be predicted by studying the effect of flow velocity of the water on the mass transfer of the dissolved O_2 . As result, the corrosion rates of the pipelines increase .

Flow in pipes is usually turbulent that destroys the concentration gradients in the bulk of the fluid, and all the action affecting then takes place in a very thin boundary layer of fluid adjacent to the pipe wall. Consequent, the flux of the dissolved O_2 increases, **Scheers,1992**.

Equations relating mass transport and flow velocity for various geometries have been derived by several authors. While several equations describing mass transfer in pipes have been deduced theoretically, others have been derived experimentally. These equations, which are classified according to the value of Schmidt number (Sc) **Scheers,1992**, and **Van den Berg et al.,1989**.

Chilton-Colburn relation Eq. (3) is used for $SC < 1$, for $1 < SC < 1000$ Deissler equation is used see Eq. (4), and Harriott-Hamilton relationship is used for $SC > 1000$ see Eq.(5).

Hence, in the first step of the calculation, it is required to select one of the above equations by calculation Schmidt number (Sc) for injected water by using Eq. (6).

At $T = 20^\circ C$, $v = 1 \times 10^{-6}$ (m^2/sec), $D = 1.8 \times 10^{-9}$ (m^2/sec) (see **Table 3**)

At $T = 40^\circ C$, $v = 6.6 \times 10^{-7}$ (m^2/sec), $D = 3.7 \times 10^{-9}$ (m^2/sec) (see **Table 3**)

$Sc = 555.55$ at $20^\circ C$ and $Sc = 178.38$ at $40^\circ C$.

According to the above values of Sc either Eq. (4) or Eq. (7) is used for calculation the mass transfer coefficient (K).

As it is mentioned before that the corrosion rate of the metal in water is controlled by the rate of transport of the oxygen to the surface of the metal and the cathodic current density reaches to the limiting value. Therefore, the second step of this calculation includes calculation the limiting current density (I_{lim}) by using equation Eq. (10) **Hongwei, 2000**.

Third step involves converting the limiting current density (I_{lim}) into a rate of dissolution of the internal surfaces of the pipe lines, which made of carbon steel, by using the Faraday's law Eq. (11) **Zaki,2006**.

The results are represented in the **Table 3**, while corrosion rates of the equipment during operation of the deaeration unit are represented in the **Table 2**.

The second part of this calculation involves estimate the lowest concentration of dissolved oxygen in the injected water after deoxygenated of water with nitrogen gas. **Fig. 3** shows polarization curve of the working electrode (platinum wire) after deaerating the cell for certain time.

As can be seen from **Fig. 3**, the limiting current density at aerated condition is 8.68 A/m^2 at potential -0.85 V SCE , whereas the limiting current density at deaerated condition is 0.462 A/m^2 at -0.55 V SCE . The lowest oxygen concentration achieved by deaerating the water with nitrogen gas can be calculated from the cathodic current density. It was limited by the diffusion rate of oxygen to the platinum surface according to Fick's first law see Eq. (12).

The cathodic limiting current density was achieved when the concentration of dissolved species at the WE became depleted, i.e. $C_s = \text{zero}$ see Eq. (13).

Since thickness of the diffusion layer in the case of deaeration is similar to that in the aerated condition, therefore it can be calculated by using Eq.(13) for aerated system according to the following data at room temperature:

$$C_b = 8 \text{ ppm (mg/l or g/m}^3\text{)}.$$

$$C_b = 0.25 \text{ mole/m}^3 \text{ (atomic mass of O}_2 \text{ 32 g/mole)}.$$

$$D_{\text{O}_2} = 2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s (diffusion coefficient of O}_2 \text{ in water)}.$$

$$I_{\text{lim}} = 8.68 \text{ A/m}^2 \text{ from Figure 3 (i.e for aerated curve)}$$

$$F = 96,500 \text{ C/mole}$$

$$n = 4 \text{ electrons that required for oxygen reduction}$$

$$8.68 \text{ A/m}^2 = \frac{2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} * 4 * 96,500 \text{ C/mole} * 0.25 \text{ mole/m}^3}{x}$$

$$x = 2.22 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Now calculate concentration of dissolved oxygen in solution under deaerated condition. The lowest I_{lim} , which was achieved after aerating process, was 0.462 A/m^2 at $E -0.55 \text{ V SCE}$ (see **Fig. 3**). Using Eq.(13) to calculate C_b in deaerated condition:

$$0.462 \text{ A/m}^2 = \frac{2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} * 4 * 96,500 \text{ C/mole} * C_b}{2.22 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$C_b = 0.013 \text{ mole/m}^3$$

$$C_b = 416 \text{ ppb}$$

The corrosion rate of injection pipelines can be calculated by using Eq. (11)

$$CR = 0.5 \text{ mm/year.}$$

7. DISCUSSION AND SOLUTIONS

Fig. 1 shows the limiting current densities for aerated and deaerated conditions. While **Table 2** and **Table 3** show the corrosion rates of various pipelines during operation the vacuum deoxygenation packed towers and during maintenance respectively. It can be seen from **Table 2** that although most of the dissolved O_2 gas is removed from water by the deaeration process, but the corrosion rates of the pipe lines are still higher than the acceptable value that is 0.1 mm/yr . This because of the concentration of the remaining dissolved oxygen in the water, which leaves the vacuum towers after deoxygenation process, is high 0.5 ppm (500 ppb) as shown in the **Table 1**. Whereas **Table 3** explains that the O_2 related corrosion rates of various diameter

pipelines are high when the vacuum deoxygenation tower is out of the operation. **Table 3** also explains that the corrosion rate of a pipeline strongly depends on the water flow rate. As the flow rate of injected water increases, thickness of the diffusion layer decreases and hence the flux of the oxygen increases **Coulson et al.,1999**. Therefore, the corrosion rate of a pipe lines increase. It can be seen from the same **Table** that the CR of 8 in. id pipeline is 7 mm/yr at 150 m³/hr, while the CR of 28 in. id pipeline is 18.5 mm/yr at 4200 m³/hr. On the other hand, the corrosion rate of a pipeline decreases with increasing the diameter of a pipeline.

It also can be seen from the **Table 3** the effect of the temperature of the injected water on the corrosion rate. Although the concentration of dissolved oxygen in water decreases with increasing temperature, but the corrosion rate of a pipeline increases. This because of increasing temperature leads to increase the diffusivity of the oxygen in the water. Consequently, the oxygen flux increases and hence the corrosion rate increases **Coulson et al.,1999**. The corrosion rates of a pipelines during maintenance of the deaeration unit can be calculated by multiplying the corrosion rate of a pipe line in mm/month by a period of a maintaining.

In both cases when either the vacuum towers operate or out of operation, in additional to the general corrosion, the pipe lines will susceptible to the stress corrosion cracking (SCC) as it be mentioned in the introduction. Therefore, it is necessary to remove or to eliminate quantity of dissolved O₂ gas in the injected water to acceptable value 0.01 ppm (10 ppb) especially when the water injection system operates without the deaeration process (i.e. vacuum towers are out of operation). These can be achieved either by increasing the amount of the chemical species that acts as oxygen scavenger or by bubbling the water with nitrogen gas. Each option will be discussed separately.

The first recommendation involves increasing the amount of the scavenger added to compensate for the loss of the deaeration unit. The new amount of the oxygen scavenger, which will be added to the system, should be sufficient to reduce the concentration of dissolved oxygen from either 9.1 ppm at 20°C or 6.2 ppm at 40°C into 0.01 ppm (10 ppb). This will reduce the reduction of O₂ (cathodic reaction) and iron dissolution (oxidation reaction) that take place on the internal surfaces of the injection system pipelines and oil production during the repair of the deaeration unit. There are many chemical species that are used as oxygen scavenger but sulfite and hydrazine are the most common oxygen scavengers agent for water system. It prefers to use sodium sulfite (Na₂SO₃) to remove the O₂ from water. This is because hydrazine is very toxic and dangerous **Zaki, 2004, Nathan,1984**.

According to the chemical equilibrium reaction Eq. (14), two mole of Na₂SO₃ are required for remove one mole of dissolved oxygen.

Where the atomic mass of 2Na₂SO₃ = 252 gm/mole, and atomic mass of O₂=32 g/mole. Then, the number of parts (grams) of sodium sulfite that required to remove one part of dissolved oxygen from water = 8 parts (grams) of Na₂SO₃ per part (gram) of O₂. Therefore, it is required to add 48-72 ppm of sodium sulfite for reduce the concentration of dissolved oxygen from 6.2-9.1 ppm to 0.01 ppm. As result the corrosion rate of the pipelines and other equipments of the injection system decrease to acceptable values as shown in **Table 4**.

On the other hand, the performance of the sodium sulfite affects by presence of the anearobic sulphate reducing bacteria (SRB) in the system which utilise sulphate to produce high aggressive substance such as H₂S. It forms unprotective sulphide corrosion product. This is can be treated by adding Biocide to the injected water in order to prevent formation the SRB on the inner surface of the pipelines and other structure.

The second suggestion is deaerated the injected water, which is utilized to enhance the oil production, by using nitrogen gas stream and this process should take place in the water injection tank before transport through pipelines into the wells **Barnhart,1995**. This was achieved by



bubbling a solution with pure nitrogen gas which caused removal of a high proportion of the dissolved oxygen gas from the water to the atmosphere. As a result, a decrease in the concentration of the dissolved oxygen gas in an electrolyte (water) is obtained according to the Henrys law. The experimental result showed that the residual dissolved oxygen in the water was 0.013 mol/m^3 (416 ppb) and the corrosion rate of metal was 0.5 mm/year. Amount of the residual dissolved oxygen in the injected water can be controlled by the period of deaeration process and preventing an oxygen gas from entering to the system either during or after deaeration process. This process can be used combine with chemical species in order to reduce the quantity of oxygen scavenger, which used to eliminate the concentration of dissolved O_2 in water. Hence, the cost of using oxygen scavenger will be reduced and the dangerous of SRB also will be eliminated.

8. CONCLUSION

It can be concluded that presence dissolved oxygen in the water which is injected to the oil wells, without treating causes severe damage of its structure. The O_2 related corrosion rate is predicted to be higher during the repair of the deaeration unit. This influence can be reduced by increasing the amount of the oxygen scavenger between 48 to 72 ppm which reacts chemically with the dissolved O_2 . This influence also can be overcome by bubbling the water with oxygen-free nitrogen gas which caused removal of a high proportion of the oxygen gas from the system to the atmosphere through a vent present at the top of the water injection tank and experimental result showed that the residual dissolved oxygen in the water was 0.013 mol/m^3 (416 ppb) and the corrosion rate of metal of the internal surfaces of the pipelines, which is made of carbon steel, was 0.5 mm/year.

The first and second recommendations could be used together in order to decrease the cost of the chemical substance, which be used as O_2 scavenger, and the dangerous of SRB also will be eliminated.

REFERENCES

- Al Ahdeb Well Documents, 2013, Al Kut, Iraq.
- Barnhart, M. C., 1995, *An Improved Gas Stripping Column for Deoxygenating Water*, J. N. Am. Benthol. Soc., Vol.14, No. 2, pp. 347-350.
- Coulson, J.M., Richardson, J.F., Marker, J. H., Backhurst, J. R., 1999, *Chemical Engineering* Vol. 1, 6th edition, UK.,
➤ p. 279.
- Havard, D., 2006, *Oil and Gas Production HandBook*, ABB ATPA Oil and
➤ Gas.
- Hongwei, W., Tao, H., Ji-Yong, C., Howard, D.D., William, P.J., 2000, *Enhancement of the Instantaneous Mass-Transfer Coefficient in Large Diameter Pipeline under Water/Oil Flow*, Journal of The Electrochemical Society, Vol. 147, no. 1, pp. 2552-2555.



- Josepn, K., Mordechai, S., William, A.w., 1978, *Viscosity of Liquid Water in the Range - 8°C to 150°C*, J. Phys. Chem., Vol. 7, No. 3, pp. 941-948.
- Nathan, C. C., 1981, *Corrosion Inhibitors*, 5thedithion, NACE.
- Nestor, P., 2004, *Electrochemistry and Corrosion*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Scheers, P.V., 1992, “*The Effects of Flow Velocity and pH on the Corrosion Rate of Mild Steel in a Synthetic Mine Water*”, J. S. Afr. Inst. Min. Metall., vol. 92, no.10, Oct. pp. 275-281.
- Stephen, C.R., John, F.B., Robert, J.W., 1989, *The Design Engineering Aspects of Water Flooding*, Society of Petroleum Engineers Inc., Vol.11, USA.
- Van den Berg, G.B., Racz, I.G., Smolders, C.A., 1989, *Mass Transfer Coefficients in Cross-Flow Ultrafiltration*, Journal of Membrane Science, vol.47, pp. 25-51.
- Verhallen, P.T.H.M., Oomen, L.J.P., Elsen, A.J.J.M.v.d., Kruger, A.J., Fortuin, J. M. H., 1984, *The Diffusion Coefficients of Helium, Hydrogen, Oxygen and Nitrogen in Water Determined from the Permeability of a Stagnant Liquid Layer in the Quasi-Steady State*, Chemical Engineering Science, Vol. 39, No. 11, pp. 1535-1541.
- Zaki, A., *Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, 1st edition, printed in UK, 2006, p. 370.

EQUATIONS



$$Sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^{0.33} \quad (3)$$

$$Sh = 0.023 Re^{0.875} Sc^{0.25} \quad (4)$$

$$Sh = 0.0096 Re^{0.91} Sc^{0.35} \quad (5)$$

$$Sc = \nu / D \quad (6)$$

$$\frac{K.d}{D} = 0.023 * \left(\frac{d.u}{\nu} \right)^{0.875} * \left(\frac{\nu}{D} \right)^{0.25} \quad (7)$$

$$u = \frac{Q}{A} \quad (8)$$



$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (9)$$

$$I_{lim} = n.F.K.C_b \quad (10)$$

$$CR(mm/yr) = \frac{I_{lim}.t.m}{n.F.\rho} * 1000 \quad (11)$$

$$I_{lim} = \frac{DnF(C_b - C_s)}{x} \quad (12)$$

$$I_{lim} = \frac{DnFC_b}{x} \quad (13)$$



NOMENCLATURE

A = cross-section area of the pipe (m²)

C_b = concentration of the oxygen in the bulk of feed water (mole/m³).

C_s = concentration of dissolved species at surface of the WE (mole/m³).

CR: corrosion rate in mm/yr.

D = diffusion coefficient of oxygen in water (m²/s).

d = diameter of the pipe (m).

F = faraday's constant (96,500 C/mole).

K = mass transport coefficient of the oxygen (m/sec).

I_{lim} = limiting current density (A/m²).

m = atomic mass of iron = 55.845 g/mol.

n = number of the electrons that are consumed or released.

Q = volumetric flow rate (m³/s).

Re = reynold number and is related to the fluid flow rate.

Sc = schmidt number and is related to the fluid properties.

Sh = sherwood number and is related to the mass transport.

t = time (year)

u = velocity of the fluid (m/s).

ν = kinematic viscosity m²/sec

x = thickness of the diffusion layer m

ρ = density of the iron = 7.874 g/cm³

Table 1. The operation conditions of the vacuum deoxygenation tower .

| Parameter | unit | Range | Parameter | unit | Range |
|-----------------------|------|--------|--|-------------------|-------|
| Operating Temperature | °C | 20-40 | Inlet Water Flow Rate (per tower) | m ³ /h | 300 |
| Operating Pressure | Mpa | -0.098 | Dissolved Oxygen in Inlet Water | ppm | - |
| Design Life | year | 20 | Dissolved O ₂ in outlet Water | ppm | 0.5 |

**Figure 1.** Internal corrosion of water injection pipeline.

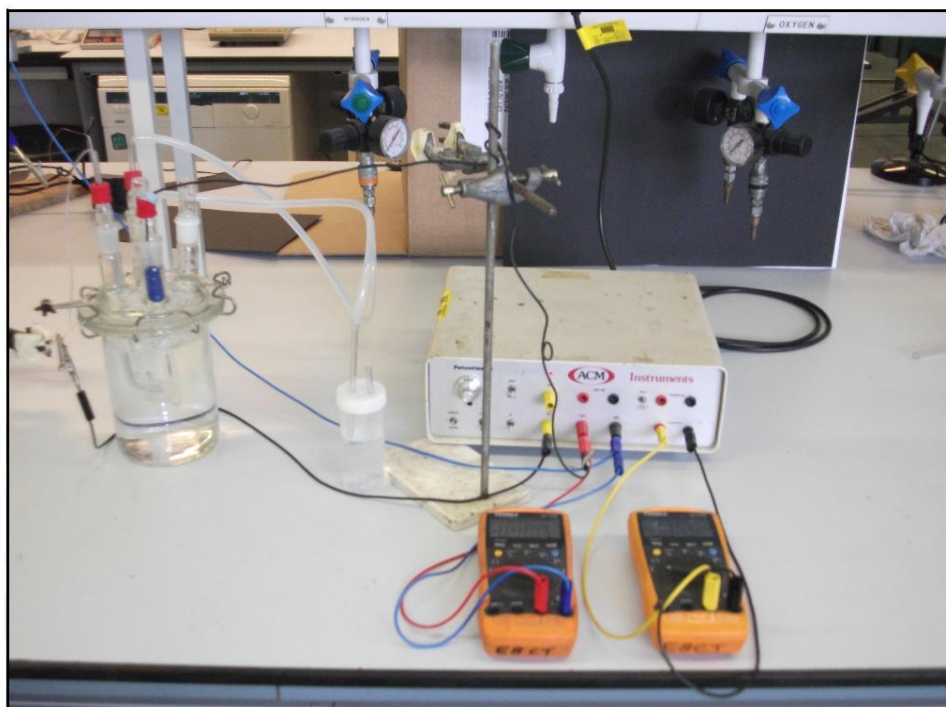


Figure 2. Electrochemical cell during deaerated process at -200 mV SCE.

Table 2. Corrosion rate of the water injection system during operation of the vacuum deoxygenation tower.

| | CR | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|-----|-----|
| | At 20 °C | | | | | At 40 °C | | | | |
| | Inside diameter (in.) | | | | | Inside diameter (in.) | | | | |
| Parameter | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 |
| CO ₂ (ppm) | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 |
| C _b (ppm) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| CR (mm/yr) | 0.18 | 0.13 | 0.37 | 0.46 | 0.67 | 0.38 | 0.84 | 0.84 | 1 | 1.5 |

**Table 3.** Corrosion rate of the water injection system equipments during Maintenance.

| | CR | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|------|------|------|--------|-----------------------|------|------|--------|--------|
| | At 20 °C | | | | | At 40 °C | | | | |
| | Inside diameter (in.) | | | | | Inside diameter (in.) | | | | |
| Parameter | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 |
| Flow rate (m ³ /hr) | 33 | 150 | 650 | 1075 | 4200 | 33 | 150 | 650 | 1075 | 4200 |
| Area of a pipe (m ²) | 0.01 | 0.03 | 0.13 | 0.16 | 0.397 | 0.01 | 0.03 | 0.13 | 0.164 | 0.397 |
| Eq.(9) | 82 | 2 | | 4 | | 82 | 2 | | | |
| u (m/s) | 0.50 | 1.3 | 1.39 | 1.82 | 2.94 | 0.50 | 1.3 | 1.39 | 1.82 | 2.94 |
| Eq.(8) | 3 | | | | | 3 | | | | |
| CO ₂ (ppm) | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 |
| C_b mol/m ³ | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.284 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.1937 | 0.1937 |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | | 37 | 37 | 37 | | |
| D (m ² /s) | 1.8E | 1.8E | 1.8E | 1.8E | 1.8E-9 | 3.7E | 3.7E | 3.7E | 3.7E-9 | 3.7E-9 |
| | -9 | -9 | -9 | -9 | | -9 | -9 | -9 | | |
| ν (m ² /s) | 1.0E | 1.0E | 1.0E | 1.0E | 1.0E-6 | 6.6E | 6.6E | 6.6E | 6.6E-7 | 6.6E-7 |
| | -6 | -6 | -6 | -6 | | -7 | -7 | -7 | | |
| Re | 7642 | 2633 | 5632 | 8296 | 20846 | 1165 | 4002 | 8559 | 12645 | 31680 |
| | 8 | 69 | 06 | 15 | 74 | 00 | 42 | 03 | 96 | 72 |
| K (m/s) | | | 5.3E | 6.6E | 9. 6E- | 5.5E | 1.2E | 1.2E | 1. 5E- | 2. 1E- |
| Eq.(7) | | | -5 | -5 | 5 | -5 | -4 | -4 | 4 | 4 |
| | 2.5E | 5.5E | | | | | | | | |
| | -5 | -5 | | | | | | | | |
| I_{lim} | 2.74 | 6.0 | 5.81 | 7.24 | 10.52 | 4.11 | 9.0 | 8.97 | 11.21 | 15.95 |
| Eq.(10) | | | | | | | | | | |
| CR(mm/yr)Eq.(11) | 3.2 | 7 | 6.7 | 8.4 | 12.2 | 4.8 | 10.4 | 10.4 | 13 | 18.5 |
| | | | | | | | 2 | | | |
| CR (mm/month) | 0.26 | 0.6 | 0.56 | 0.7 | 1.0 | 0.4 | 0.87 | 0.86 | 1.1 | 1.54 |
| | 5 | | | | | | | | | |

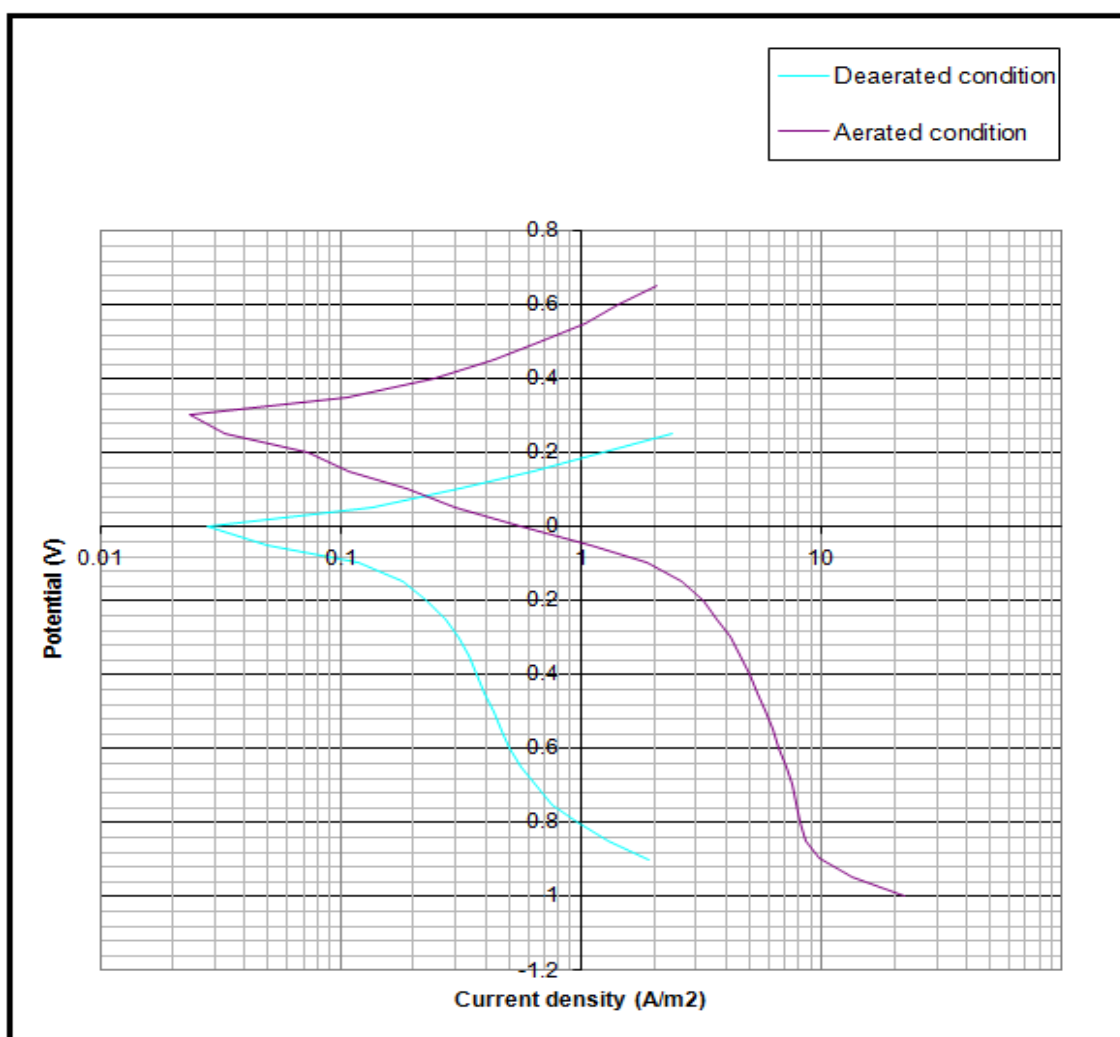


Figure 3. Polarization curve of platinum in solution of sodium chloride.

Table 4. Corrosion rate of the water injection system equipments after increasing the amount of the O₂ scavengers

| | CR | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|------|-----------|-------|-----------------------|-----------|------|-------|-------|
| | At 20 °C | | | | | At 40 °C | | | | |
| | Inside diameter (in.) | | | | | Inside diameter (in.) | | | | |
| Parameter | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 | 6 | 8 | 16 | 18 | 28 |
| Flow rate (m ³ /hr) | 33 | 150 | 650 | 1075 | 4200 | 33 | 150 | 650 | 1075 | 4200 |
| Area of a pipe (m ²) Eq.(9) | 0.018 2 | 0.032 | 0.13 | 0.16 4 | 0.397 | 0.018 2 | 0.03 2 | 0.13 | 0.164 | 0.397 |
| <i>u</i> (m/s) | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Eq.(8) | 0.503 | 1.3 | 1.39 | 1.82 | 2.94 | 0.503 | 1.3 | 1.39 | 1.82 | 2.94 |
| C _{O2} (ppm) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| C _b mol/m ³ | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 | 3.1E-4 |
| D (m ² /s) | 1.8E-9 | 1.8E-9 | 1.8E-9 | 1.8E-9 | 1.8E-9 | 3.7E-9 | 3.7E-9 | 3.7E-9 | 3.7E-9 | 3.7E-9 |
| ν (m ² /s) | 1.0E-6 | 1.0E-6 | 1.0E-6 | 1.0E-6 | 1.0E-6 | 6.6E-7 | 6.6E-7 | 6.6E-7 | 6.6E-7 | 6.6E-7 |
| Re | 76428 | 263369 | 563206 | 829615 | 2084674 | 116500 | 400242 | 855903 | 1264596 | 3168072 |
| K (m/s) Eq.(7) | 2.5E-5 | 5.5E-5 | 5.3E-5 | 6.6E-5 | 9.6E-5 | 5.5E-5 | 1.2E-4 | 1.2E-4 | 1.5E-4 | 2.1E-4 |
| I _{lim} Eq.(10) | 3E-3 | 6.6E-3 | 6.3E-3 | 7.9E-3 | 1.15E-2 | 6.6E-3 | 1.4E-2 | 1.4E-2 | 1.79E-2 | 2.5E-2 |
| CR(mm/yr) Eq.(11) | 3.4E-3 | 7.6E-3 | 7.3E-3 | 9.1E-3 | 1.3E-2 | 7.6E-3 | 1.6E-2 | 1.6E-2 | 2E-2 | 2.9E-2 |

Diffusivity coefficient of O₂ in the water at 20°C and at 40°C are obtained from Coulson et al.,1999, Verhallen et al.,1984.

Kinematic viscosities of water at 20°C and 40°C are obtained from, Josepn et al.,1987.

Wastewater Bio-solids Management for Fertilizer Quality Using Co- composting Process

Dr. Jathwa Abdul Karime Ibrahim

Assistant Professor
Engineering College-Baghdad
University
E-mail:jathwa58@yahoo.com

Dr. Iman Sahib Salman

Senior chief of Agronomist
Ministry of Agriculture
Email: eman_sahib@yahoo.com

Tasnim Fahem Chyad

Assistant Lecturer
Engineering College-Al-
Mustenseryah University
Email: omdema_81@yahoo.com

ABSTRACT

Co-composting process can be acquired by combining organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) with sewage sludge (SS) and mature compost (MC) as enhancement and bulking agent to overcome the problems of municipal solid waste and wastewater treatment plants besides the finally produced fertilizer usage for agriculture and horticulture. The effects of different mixture ratios of (OFMSW), (SS) and (MC) on the performance of composting process were investigated in this study. Piles of about 10 kg were prepared by mixing OFMSW, SS and MC in three different ratios (w/w) [OFMSW: SS: MC= 3:1:1, 3:2:1, and 3:3:1]. Results showed that the pile [3:1:1] was most beneficial to composting. The final compost products contained a C/N ratio (12.17), nitrification index ($N-NH_4/N-NO_3$) (0.2), organic matter degradation (36%), N content (1.75%), and Germination Index (GI) 77.4%. Final compost showed low amounts of heavy metals, and significant reduction of pathogens indicating mature and stable bio-mass

Key Words: co-composting, organic fraction of municipal solid waste, sewage sludge mature, compost.

ادارة حمأة مياه الصرف الصحي لتحسين قيمتها السمادية باستخدام طريقة التحلل البايولوجي المترافق

تسنيم فاهم جيا
مدرس مساعد
كلية الهندسة – الجامعة المستنصرية

د. ايمان صاحب سلمان
رئيس مهندسين زراعيين اقدم
وزارة الزراعة
الخلاصة

د. جنة عبد الكريم ابراهيم
استاذ مساعد
قسم هندسة البيئة – كلية الهندسة – جامعة بغداد

يمكن تحقيق التحلل البايولوجي المترافق بمزج نسب مختلفة من النفايات الصلبة العضوية مع الحمأة المتولدة من مشاريع تصفية مياه الصرف الصحي مع السماد العضوي المحضر (MC) والذي يعد مادة محفزة ومألئة، وذلك للتغلب على مشكلة تراكم النفايات الصلبة البلدية ومشاكل مشاريع الصرف الصحي في التخلص من الحمأة المتجمعة وفي الوقت ذاته الاستفادة من المادة الجديدة الناتجة كمحسن تربة في مجال الزراعة والبستنة. تم التحري عن أحسن نسبة خلط من النفايات الصلبة العضوية والحمأة والسماد العضوي المحضر بتغيير نسبة الحمأة، إذ أن ارتفاع المحتوى المائي للحمأة وأحتوائها على نسبة مثالية من (الكاربون/النيتروجين) (C/N) يجعلها مادة مثالية لتحسين خواص الخلطة الاولى. تم تهيئة ما يقارب من 10 كغم من خلط نفايات عضوية صلبة مع الحمأة مع السماد العضوي المحضر وبالنسب الوزنية التالية: نفايات عضوية صلبة : حمأة : سماد عضوي محضر = 3:3:1 ، 3:2:1 ، 3:1:1

أثبتت النتائج أن الخلطة بالنسبة 3:1:1 كانت الافضل كمادة مسمدة محضرة اذ حصلت على أعلى نسبة تحليل مواد عضوية(36%) وأعلى محتوى نيتروجيني(1.75%). أحتوت الخلطة الناجحة على النسبة C/N(12.17) والتي هي ضمن الحدود الموصى بها (12-25) وبلغ معامل النترجة (N-NH₄/N-NO₃) (0.2) وبلغت تراكيز النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم (NPK) 1.75%, 0.98%, 1.99% على التوالي, أما معامل إلاستنبات (GI) فقد بلغ 77.4%. وكذلك احتواءه على نسب قليلة من العناصر الثقيلة واخيرا الانخفاض الحاد في كثافة المحتوى البكتيري مما يعطي دلالة عن نضوج وأستقرار السماد الحيوي الناتج.

الكلمات الرئيسية: التحلل البايولوجي، الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية ، حماة احواض التجفيف الناضجة، سماد عضوي.

1. INTRODUCTION

Due to rapid increases in urban population, organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage sludge (SS) (bio solids) have increased dramatically in the past 20 years. Environmental pollution caused by OFMSW and SS has become a serious social problem which hinders urban development **Girovich, 1996**. In many nations there are now strict mandatory targets to reduce the amount of biodegradable municipal waste (BMW) entering landfill due to the lack of available landfill space and increasing concerns about climate change **EC, 2001**. Further some countries also advocate that any waste that enters the landfill must first be treated to reduce its environmental impact. Treatment options include incineration, separation of recyclable and compostable materials at the source by householders, or raw waste undergoing some form of mechanical biological treatment (MBT), with the residuals being landfilled **Farrell and Jone, 2009**. The organic content of a waste is generally higher in developing countries; therefore, composting is an appropriate alternative for waste management **Kanat et al., 2006**. Composting not only helps to solve the problem of waste disposal, but also produces a useful bio amendment agent (compost) **Banegas et al., 2007**. OFMSW usually has the characteristics of an incompact structure and a relatively high carbon to-nitrogen ratio (C/N), whereas SS usually has the characteristics of a dense structure due to its high moisture content and low C/N. Therefore, SS requires a larger amount of bulking agent (such as sawdust, vegetal remains, or straw) to absorb moisture, provide the composting mass with an appropriate degree of sponginess and aeration, and increase the C/N ratio **Chen et al., 1996 ; Marek et al., 2003 ; Banegas et al., 2007 and Guardia et al., 2008**. OFMSW could act as a bulking agent for sewage sludge due to its loose structure and relative high C/N. Mixing OFMSW and SS can thus improve the sewage structure, increase the nitrogen content of municipal solid waste (MSW) for the compost product, and meet the goal of fast sanitization and stabilization **Banegas et al., 2007**.

Composting is a popular way to treat organic solid waste **Bari and Koenig, 2001**, but there are many factors that affect the composting process, such as the proportions of the mixture, the aeration rate, oxygen consumption rates, compost recycling, moisture content, pH and C/N, **Golueke and Diaz, 1996; Smith and Hughes, 2004 and Meunchang et al., 2005**.

For different materials, the composting parameters are different. For example, **Banegas et al. 2007** studied the composting of SS with sawdust as the bulking agent and found that a 1:1 weight ratio was most suitable for aerobic compost process. **Meunchang et al. 2005**, conducted composting experiments with a 2:1 weight ratio of filter cake and bagasse to reduce the C:N ratio in order to reduce N loss during composting.

An optimal composting mixture of 50% food waste, 40% manure, and 10% bulking agent was found from previous in-vessel composting study by **Cekmecelioglu et al. 2005. Marek et al. 2003**. They suggested that only a small part of the SS could be utilized for composting because of the limitations of the volumetric ratio between the organic wastes and SS, considering the required properties of the

raw mixture (moisture, porosity and the ratio C/N). The use of chicken dung and soil as feedstock seems to be necessary to increase carbon to nitrogen ratio (C/N) in the optimal range for efficient composting and to compensate for the presence of poorly degradable sources of carbon in SS **Yamada and Kawase, 2006**.

Despite many previous studies on MSW or SS composting processes, information on the characteristics of the co-composting of MSW and SS are not available.

The objectives of the present study is to investigate the characteristics of the co-composting of municipal solid waste (MSW) and sewage sludge (SS) through changes in temperature, organic matter, moisture content, carbon (C), nitrogen (N), C/N, and N loss, using three different mixing ratios.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Experimental Composting Configuration

A column vessel of 30 cm diameter and 45 cm height was used as a bioreactor with a perforated steel plate elevated 10 cm from the bottom of the vessel as given in **Fig. 1**. The perforated steel plate was installed to ensure air intrusion through mass voids, leachate collection and raw materials supporting. A glass thermometer was mounted below the surface of the materials for rapid temperature monitoring. A top slot next to the main opening was fitted tightly with a valve to ensure fermentation gases outlet. Humidity and pH sensors were installed inside the bioreactor. The composting material was rolled every 12h, for 5 min each time in order to provide proper mixing and aeration. Hydration was adjusted manually to maintain mixture humidity rate between 40% and 50%. The bioreactor was buried in the soil to maintain and control temperature for the composting process.

2.2 Composting Material

Approximately 10 kg of raw material consisted of sewage sludge that were taken from the drying beds in Al Rustemeyia wastewater treatment plant at Al-Rusafa side in Baghdad which treats mainly domestic wastewater, blended with kitchen organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) as presented in **Table 1**, and finally with mature compost (MC) prepared previously. The composting process consisted of four experiments lasted about 40 days each, as follows:

1-An OFMSW with same components and weights as indicated in **Table 1** was composted alone in the bioreactor to prepare mature compost (MC), to be used as a raw material for the following experiments.

2- Mixture of (OFMSW), SS, and MC was composted in experiments E1, E2, and E3 with different proportions. The three experiments were compared to find one appropriate proportion out of the three following mixtures: (OFMSW: SS: MC, 3:1:1, 3:2:1, 3:3:1). The ratio of MSW, SS and MC was chosen to achieve optimal homogenization and an incompact structure. It was noticed that if the SS content is high, the mixture will not mix uniformly because of the structure of dewatered SS is viscous and is not easy to spread.

2.3 Sampling and Analyses

Samples were taken at regular intervals, using compositing sampling method which offers the advantage of increased accuracy through the use of large numbers of sampling units per sample **Banegas et al., 2007**. Organic analysis samples were taken every three days, while temperature and pH analysis samples were taken daily. The final sample was formed after mixing six samples

together to form a homogeneous material. From this homogeneous material a portion of sample was air-dried and crushed into powder using a laboratory mortar until no gritty particles can be detected and then stored for heavy element analysis. Another portion was used for the, N-NH₄, N-NO₃, total nitrogen, organic carbon content, organic matter content and pathogenic bacteria TMECC, 2002.

2.4 Characterization of Composted Material

Organic matter was determined using the combustion method ASAE, 2004: Two grams of the sample were weighed and dried in an air oven at 105°C for 24hr. The dried sample was weighed to determine dry weight (A). The dried sample was then burned in a furnace at 550°C for 4 hours, then weighted to measure the ash weight (B).

The contents of organic matter and carbon are measured as follows ASAE, 2004:

$$\% \text{ organic matter} = (A-B)/A \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ carbon} = (\% \text{ organic matter}) / 1.8 \quad (2)$$

The content of nitrogen as ammonium and as nitrate and total nitrogen was determined by kjeldah method. The compost temperature was measured at regular time intervals throughout the composting duration, using a digital thermometer. Another set of temperatures were measured in different parts of the bioreactor until the termination of the composting trial. An average value was accepted as the temperature of the composting material.

Ten grams of sample were weighted and strewed into Erlenmeyer flask, 100 ml of distilled water was added. Auto shaken for 30 min to measure the pH of samples extract using a pH meter. Moisture content (gravimetric, wet basis) was determined by drying at 105 °C for 24 hours.

Total phosphorous as P₂O₅, total potassium as K₂O, magnesium as MgO, calcium as CaO and heavy metals concentrations (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer 2380, AAS-EM). To estimate the reduction of the pathogenic microorganisms, biological analyses have been performed to evaluate their density prior and after the composting processes. The analyses evaluated the density of the total and faecal coliforms and helminthes eggs in the compost produced for each trial.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Characterization of Raw Materials

From **Table 2**, the drying bed SS is characterized by high moisture content of an average value of (72.60) % and low C/N ratio (17.79). The C/N ratio of MSW is about 30 and is optimal for composting as it can be composted alone with the addition of water **Ogunwande et al., 2008; Huang et al., 2011; and Al-Zubaidi, 2013.**

The initial pH values of MC, OFMSW and SS were measured to be 6.3, 8.5, and 6.5 for respectively as shown in **Table 2**. The presence of high concentrations of heavy metals such as Zn and Pb were the trace-elements acquiring the highest concentrations in SS used in this study.

3.2 Physicochemical Parameters

3.2.1 Mass loss

The starting weight of 10 kg raw material turned to be 3.3kg, 3.75kg and 4kg through 40 days of composting for E1, E2 and E3 respectively indicating successful reduction in mass quantities.

3.2.2 Mineralization or (Organic matter degradation)

Mineralization is the decomposition or oxidation of the chemical compounds in the organic matter into plant accessible forms **Girovich, 1996**.

The mineralization process which took place in the composting bioreactor resulted in lowering organic matter content of the substrate. Organic matter content of the substrate at the initial stage of composting on the 1st day dropped from 60.24% to 38.34% for E1, 58.83% to 42.58% for E2 and 56.84% to 45.36% for E3 at the end of the composting process (40 days) as shown in **Fig.2**. Organic matter was subjected to an overall reduction of 36% throughout E1 composting process, 28% reduction throughout E2 and 20% throughout E3, while the remaining carbon content at the end of each process was 21.3%, 23.65% and 25.2% respectively, which is considered to be a good value referring to **Brinton, 2000** and is expressed in **Table 3**.

3.2.3 Temperature

Temperature followed a typical temperature profile for composting (mesophylic-thermophylic-mesophylic), **Fig.3**. In each pile the temperature increased from ambient temperature to more than 50 °C within 2-5 days, and showed rapid initiation of the compost process, due to the appropriate C/N ratio besides the process is exothermic. The substrates passed from an initial mesophylic phase (<40 °C) to a thermophylic phase after the 2nd day for E1, the 3rd day for E2, and the 5th day for E3. Comparing the piles, it seems that higher temperature was achieved in the mixture of E1 (3:1:1), confirming the assumption that self-heating ability is closely correlated to the waste characteristics. Temperature may increase up as a result of biological degradation of organic materials in solid waste or other organic matter in first days of composting process. High moisture content and low amount of composting material mass may not produce enough heat and may lost the heat it produced easily **De Guardia et al., 2010**.

As the organic compounds were degraded, the piles become richer in the more stable compounds which were less accessible to the microorganisms and as a result the corresponding temperature begun to decrease gradually reaching almost ambient temperature. The temperature reached a second mesophylic phase on the 6th day of E1, the 4th day of E2, and on the 8th day of E3 while the maturation process took place during this last stage of composting as shown in **Fig. 3**. Similar temperature profile was observed in related pilot scale bioreactor composting experiments held locally **Al-Zubaidi, 2013; Talib, 2014** and globally **Tang et al., 2007; Lu et al., 2008; Elango et al., 2009; and Gao et al., 2010**. Reaching high temperatures may participate actively for accomplishment of compost stability and reduction of retention time in the bioreactor **Elango et al., 2009**. Finally, the temperature of each pile approached the ambient temperature at day 30-40. Elevated temperatures (>50 °C) were maintained in the bioreactor for five continuous days (2nd to 6th day) for E1, two days (3rd to 4th day) for E2 and one day (7th day) for E3, which is sufficient time for the sanitation of the substrate in E1 and E2 to get rid of pathogenic microorganisms that exist in SS mainly, while one day for E3 may indicate low compost stability. Many researchers reported that the temperature range for optimal composting is between 52 to 60°C **Boch et al., 1984; Elango et al., 2009; Huang et al., 2011; and Al-Zubaidi, 2013**.

3.2.4 pH.

As shown in **Fig.4**, the pH values increased during the initial stage of anaerobic composting (9.7 on the 3rd day, 8.8 on the 4th day, and 9.9 on the 5th day for E1, E2 and E3 respectively, probably this

is due to rapid activity of bacteria which release ammonia as organic matter decays. Thereafter, through ammonia volatilization and its oxidation to nitrates by the action of nitrobacteria and trapped air, ammonia content decreased and thus the pH value drops to around 7 at the end of the process. The pH of the mature compost was near neutral (6.3–7.6) indicating a good quality compost that is within the suggested range of (6–8.5) **TMECC, 2002**. This finding was closely related to **Sánchez- Mondero et al., 2001**; and **Huang et al., 2011**.

3.2.5 Moisture content (Mc)

Moisture content is the single most important factor that promotes and accelerates the decomposition process. The initial substrates were prepared to have relative high moisture content (78.0%, 72.0% and 70.0 % for E1, E2 and E3 respectively) to sustain thermophilic phase **TMECC, 2002**. At final stages of composting moisture content decreased gradually reaching 45%, 34% and 30% at the final day of the process (40th), for E1, E2 and E3 respectively as shown in **Fig.5**. Final low water content reduces the intensive microbiological activity and at the same time, reduces the transportation costs of mature compost as it occupies less volume.

3.2.6 Nitrogen content

Nitrogen content was measured at the end of each trial i.e. on the 40th day, it was found to be 1.75%, 1.40% and 1.05% for E1, E2 and E3 respectively, as shown in **Table 3**. During composting, nitrogen is metabolized mainly to ammonium while the non-soluble complexes of nitrogen decompose to soluble nitrogen forms that are readily available for metabolic activities.

Losses in nitrogen gas during composting occur mainly as ammonia but may also occur as nitrogen and nitrates oxides **Eklind and Kirchmann, 2000**. On the other hand, in terms of dry weight, there is an increase in total nitrogen concentration due to the mineralization of organic matter and consequent loss of weight in the mass being composted through losses of CO₂ and H₂O **Banegas et al., 2007**. According to **Table 3**, initial substrate acquired a 19.50, 18.32 and 30.42 C/N ratio, for E1, E2, and E3 respectively, due to carbon consumption at the end of the process the C/N ratio had decreased to 12.17, 16.90 and 24.00 for E1, E2 and E3 trials respectively which are qualified as good quality compost and thus can be applied in agricultural land. Maintaining C/N ratio after composting is an important factor to determine the value of finished compost as soil amendment for crops.

Researchers have suggested various ideal C/N ratios from more than 12 to lower than 25 **Brewer and Sullivan, 2003**; **Rihani et al., 2010**; and **Al-zubaidi, 2013** but the optimal value is often dependent on the initial feedstock. Therefore the ratios obtained in this study for E1, E2 and E3 were considered satisfactory.

C/N of E3 mixture was the highest of three ratios. Significantly high losses of N occurred during the composting process, and the losses of N increased when the amounts of SS in the mixtures increased (3:3:1). The degree of stability of the compost is also strictly related to the nitrification index (N-NH₄/N-NO₃). For the 3:1:1 mixture, the C/N was the lowest of the three ratios. However, a higher N content (1.75%) was found in the final composting which contribute to the reduction of the nitrification index (N-NH₄/N-NO₃) during compost maturation and can be considered as an indicator of a high degree of compost stabilization **Brinton, 2000**; **Abouel wafa et al., 2008**; and **Huang et al., 2011**. The appearance of significant quantity of nitrates at the final day (968.4, 1230.8 and 1350.7 mg/kg) in conjunction to low ammonium concentration (200.7, 340.5 and 420.3 mg/kg) are shown in **Table 4**. In his study, the acquired ratio was 0.2, 0.28 and 0.31, for E1, E2, and E3 respectively, where ratios less than 0.5 are the better for mature compost **Brinton, 2000**.

3.2.7 Nitrogen, phosphorous and potassium (NPK)

Levels of NPK value in the finished compost are also important in determining the quality of compost, since those elements are essential nutrients for plant growth. **Iyengar and Bhawe in 2006** reported that the nitrogen, phosphorous and potassium (NPK) contents for compost should be more than 1% each. The total N% found to be 1.75%, 1.4% and 1.05% for E1, E2 and E3 respectively as forementioned in **Table 3**. The results shown in **Table 5** revealed that initial values of nutrient P as percentages decreased to 0.98, 0.86, and 0.56 for trials E1, E2, and E3 respectively, while the amount of P in the original heaps were 1.68, 1.48, and 0.96 as percentages respectively. This reduction may be attributed to consumption of phosphoric compounds in cell growth and reduction in total mass. The amount of K values increased to 1.99, 1.83, and 1.82 as percentages for the three trials. According to the aforementioned literatures and the data obtained from E1, E2 and E3 trials, the nutrients level of the end-product composts appeared to be sufficient for plant growth for E1(3:1:1) only.

3.2.8 Heavy metals

High levels of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn in the composts represent an obvious concern if they were to be applied to food crops. Heavy metals do not degrade throughout the composting process, and frequently become more concentrated due to the microbial degradation and loss of carbon and water from the compost **Richard and Woodbury, 1992**.

The heavy metals concentrations in the final composts were generally low and did not exceed the suggested European Union states and USA limits presented in **Table 6**. In addition compost produced from E1, E2 and E3 trials may be classified as first class compost based on the metal quality standards for compost and stabilized bio-waste **Brinton, 2000**. Total metal contents in compost are of concern when repeated applications to land occur. Field trials involving MSW compost application to soil have all reported an increase in soil and plant metal concentrations. Generally, increasing the overall heavy metal burden of the soil may be undesirable. Yet the risk of metal contamination from MSW-derived composts is of similar magnitude to that posed by bio solids application to land which is now a widely accepted practice.

3.2.9 Pathogenic microorganisms

One of the problems posed by direct use of sewage sludge in agriculture is the risk of plant and human contamination by pathogens. According to **Stentford in 1996**, temperatures more than 55 °C favor sanitation, values between 45 and 55 °C favor degradation, and 35 and 40 °C favor microbial diversity. The maximum temperatures during the present composting process were ranged between (51 and 58) °C. These temperatures, which were maintained for several days during the process, ensured that the composting process followed was suitable for stabilizing organic matter and suppressing pathogenic microorganisms. The development of microbial populations, which cause numerous physicochemical changes within the mixture, could influence the metal distribution through release of heavy metals during organic matter mineralization or the metal solubilization by the decrease of pH, metal bio sorption or metal complexation with the newly formed humic substances **Zorpas and Loizidou, 2008**.

To estimate the reduction of the pathogenic microorganisms, analyses have been performed to evaluate the density of total coliforms, faecal coliforms and helminthes eggs prior and after composting processes as shown in **Table 7**. The elimination or inactivation of pathogenic

microorganisms in composts depends on the time/temperature conditions maintained during composting. In this study, elevated temperatures ($>55^{\circ}\text{C}$) were obtained for approximately four continuous days (2nd to 5th day for E1), above 50°C for two days (3rd to 4th day for E2) and equal 51°C for one day (7th day for E3), as shown previously in **Figure 3**. Therefore, it can be inferred that the composting trial for E1 had been performed successfully with respect to the sanitization of bio solids since the levels of pathogenic microorganisms detected at the end of the process in E1 was significantly lower than E2 and E3. However, a quite difference has been observed between E1, E2 and E3 trials for total and fecal coliforms in the final compost due probably to different ratio of SS. While in all cases, data comply with the guidelines for the safe reuse of fecal sludge **USEPA, 1993; WHO, 1996; and Brinton, 2000**.

3.2.10 Germination test

The compost obtained from E1 trial, after 40 days at 70% moisture and C/N ratio of 12.17 was chose to carry out the germination test, to check the phytotoxic effect on plant growth.

The outcomes of the germination test are given in **Table 8** that shows 86% relative seed germination and 90% relative root growth; the calculated value of germination index (GI) is 77.4%. On the other hand, poor relative seed germination (60%), root growth (68%) and GI (40.8%) values were observed for the commercial compost extract, this is an indication that the commercial compost was probably immature. The following equations were used to calculate the relative seed germination, relative root growth, and germination index (GI) **Marek et al., 2003**:

$$\begin{aligned} \text{Relative seed germination (\%)} &= \frac{\text{Number of seeds germinated in compost extract}}{\text{Number of seeds germinated in control}} \times 100 \\ \text{Relative seed germination (\%)} &= \frac{43}{50} \times 100 = 86\% \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative root growth (\%)} &= \frac{\text{Mean root length in compost extract}}{\sqrt{\text{Mean root length in control}}} \times 100 \\ \text{Relative root growth (\%)} &= \frac{0.90}{\sqrt{1}} \times 100 = 90\% \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{GI (\%)} &= \frac{(\text{Relative seed germination}) \times (\text{Relative root growth})}{100} \\ \text{GI (\%)} &= \frac{(86) \times (90)}{100} = 77.4\% \end{aligned} \quad (5)$$

There is a potential concern that the applicability of these results could be limited because; the data used are not suitable measurements for the quality of the compost in land application.

4. CONCLUSIONS

1. Composting provides a critical step in the treatment of MSW as mass reduction. The residuals after composting is about 33.0%, 37.5 %, and 40.0 % of the original weight for the three trials respectively indicating that E1 (3:1:1) is the best trial for reducing weight.
2. The present study has shown that E1 was superior to E2 and E3 during composting, especially for moisture-content due to its ability to accumulate and retain heat and to achieve high organic matter



degradation. The organic matter was subjected to an overall reduction of 36% throughout E1, 28% reduction throughout E2 and 20% throughout E3, while the remaining carbon content at the end of each process was 21.3%, 23.65% and 25.2% respectively, which is considered to be a good value.

3. The temperature of each trial elevated above 50 °C, and were maintained in the bioreactor for five continuous days, for E1, two days for E2 and one day for E3, which is sufficient time for the sanitation of the substrate in E1 and E2 for the destruction of pathogenic microorganisms that exist in SS mainly.

4. The changes in temperature and chemical parameters of different OFMSW: SS: MC ratios indicate that the E1 (3:1:1) is the best for maintaining the highest N content in the final composting product.

5. Nitrogen content measured at the end of each trial was found to be 1.75%, 1.4% and 1.05% for E1, E2 and E3 respectively, which proved all to be satisfactory. Due to carbon consumption at the end of the process the C/N ratio has decreased to 12.17, 16.90 and 24.00, for E1, E2 and E3 trials respectively that is still within the recommended range.

6. The acquired ratios of nitrification index ($N-NH_4/N-NO_3$) were 0.2, 0.27 and 0.31, for E1, E2, and E3 respectively. Biomass with lower than 0.5 nitrification ratio is considered as mature compost.

7. The P percentage values decreased to 0.98 %, 0.86 % and 0.56 % for trials E1, E2, and E3 respectively.

8. The amount of K values increased to 1.99, 1.83, and 1.92 as percentages for the three trials.

9. The nutrients level NPK of the end-product composts appeared to be sufficient for plant growth for E1 (3:1:1) only.

10. All of the heavy metal concentrations were relatively low when compared with the allowable limits.

11. Composting trial E1 had been performed successfully with respect to the sanitization of bio solids since the levels of pathogenic microorganisms detected at the end of the process in E1 was significantly lower than E2 and E3.

12. The obtained GI for E1 trial was 77.4 %, which can be classified as mature compost since GI is almost near the recommended level.

13. In conclusion, a 3:1:1 mixture of OFMSW:SS: MC is recommended for agricultural application in terms of pH, high organic degradation, low heavy metal contents and satisfying content of nutrients, germination index, and pathogens concentrations reduction.

5. RECOMMENDATIONS

1. It is recommended that segregation for MSW should be carried out at the household level in terms of achieving highest efficiency for compost production.

2. Further studies are recommended to use composting technology to solve organic pollutants.

3. The system could be used by municipalities to conduct composting trials of their yard waste and organic residues.

4. It is recommended that further pilot study should be carried out to investigate the effect of different food wastes on the composting process.

5. Following the production of bio solids a field study is recommended to assess the effects of land application of bio solids on crop yield and soil quality, the heavy metal accumulation in soil, crop and also groundwater. This kind of collaboration makes the use of sludge in agriculture more reliable.

REFERENCES

- Abouel wafa, R., AitBaddi, G., Souabi, S., Winterton, P., Cegarra, J., and Hafidi, M., 2008, *Aerobic Biodegradation of Sludge from the Effluent of a Vegetable Oil Processing Plant Mixed with Household Waste: Physical -Chemical, Microbiological, And Spectroscopic Analysis*. Bio resource Technology, 99(18):8571-8577.
- Al-zubaidi, A., M., 2013, *Solid Wastes In-vessel Composting for Small Communities*. M.Sc. Thesis. University of Baghdad.
- ASAE, 2004, Standards, Food and Processing Eng., ASAE, USA.
- Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., Garca, C., León, G., and Hernández, T., 2007. *Composting Anaerobic and Aerobic Sewage Sludge's using Two Proportions of Sawdust*. Waste Management, 27, 1317–1327.
- Bari, Q.H.,and Koenig, A., 2001. *Effect of Air Recirculation and Reuse on Composting of Organic Solid Waste*, Resources, Conservation and Recycling 33, 93–111.
- Boch, P.D., Schoda, M., and Kubota, H., 1984, *Waste Water Microbiology*, Third Edition. J. Ferment. Technol., 62, 285.
- Brewer, L.J.,and Sullivan, D.M., 2003, *Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Trimmings*. Compost Science and Utilization 11, 96–112.
- Brinton, W.F., 2000, *Compost Quality Standards and Guidelines: an international view*. Woods End Research Laboratory Inc., ME.
- Cekmecelioglu, D., Demirci, A., Graves, R.E.,and Davitt, N.H., 2005, *Applicability of Optimized In-vessel Food Waste Composting for Windrow Systems*, Bio systems Engineering 91 (4), 479–486.
- Chen, Y., Inber, Y., Chefetz, B., and Hadar, Y., 1996," *Compost and Recycling of Organic Wastes*". In: Rosen, D. et al. (Eds.), *Modern Agriculture and the Environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 341–362.
- De Guardia A., Mallard P., Teglia C., Marin A., Le Pape C., Launay M., Benoist J.C. and Petiot C., (2010), *Comparison of Five Organic Wastes Regarding their Behavior During Composting: Part 1, Biodegradability, Stabilization Kinetics and Temperature Rise*, Waste Management, 30, 402-414.
- EC (European Commission), 2001, *Working Document on Biological Treatment of Bio Waste*, 2nd Draft (Proposal of Biowaste Directive), DG ENV A.2/LM/Biowaste, Brussels.



- Eklind, Y., Kirchmann, H., 2000, *Composting and Storage of Organic Household Waste with Different Litter Amendments II: Nitrogen Turnover And Losses*. Bio resource Technology 74, 125–133.
- Elango, D., Thinakaran, N., Panneerselvam, P., and Sivanesan, S., 2009, *Thermophilic Composting of Municipal Solid Waste*. Appl. Energy 865, 663–668.
- Farrell, M., and Jone, D., L., 2009, *Critical Evaluation of Municipal Solid Waste Composting and Potential Compost Markets*, Bio resource Technology 100 , 4301–4310.(5)
- Gao, M., Li, B., Yu, A., Liang, F., Yang, L., and Sun, Y., 2010, *The Effect of Aeration Rate on Forced-Aeration Composting of Chicken Manure and Sawdust*, Bioresour.Technol. 101, 1899–1903.
- Girovich, Mark J., 1996, *Biosolids Treatment and Management Processes for Beneficial Use*, Marcel Dekker, Inc.
- Golueke, C.G., and Diaz, L.F., 1996, *Historical Review: Composting and its Role in Municipal Waste Management*. In: Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.), the Science of Composting, Part 1. Blackie, Glasgow, pp. 3–14.
- Guardia, A.D., Petiot, C., Rogeau, D., and Druilhe, C., 2008, *Influence of Aeration Rate on Nitrogen Dynamics During Composting*, Waste Management 28, 575–587.
- Huang, G., Wang, X., and Han, L., 2011, *Rapid Estimation of Nutrients in Chicken Manure During Plant-Field Composting Using Physicochemical Properties*, Bioresour.Technol. 1022, 1455–1461.
- Iyengar, S.R., and Bhawe, P.P., 2006, *In-vessel Composting of Household Wastes*, Waste Management 26, 1070–1080.
- Kanat, G., Demir, A., Ozkaya, B., and Bilgili, M.S., 2006, *Addressing the Operational Problems in a Composting and Recycling Plant*, Waste Management 26, 1384–1391.
- Lu, L.A., Kumar, M., Tsai, J.C., and Lin, J.G., 2008, *High-Rate Composting of Dregs with Sewage Sludge in A Pilot Scale Bioreactor*, Bioresource Technology 99, 2210–2217.
- Marek, S., Magdalena, J., and Roman, Z., 2003, *In-vessel Composting for Utilizing of Municipal Sewage Sludge*, Applied Energy 75, 249–256.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., and Weaver, R.W., 2005, *Co-composting of Filter Cake and Bagasse; By-products from a Sugar Mill*, Bioresource Technology 96, 437–442.
- Ogunwande, G.A., Osunade, K.O., Adekalu, K.O., and Ogunjimi, L.A.O., 2008, *Nitrogen loss in chicken litter compost as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency*, Bioresour. Technol. 99, 7495–7503.
- Richard, T.L., and Woodbury, P.B., 1992, *The Impact of Separation on Heavy Metal Contaminants in Municipal Solid Waste Composts*, Biomass Bioenergy. 3, 195–211.
- Rihani, M., DimitriMalamis, BouchraBihaoui, Samira Etahiri, Maria Loizidou, and Omar Assobhei, 2010, *In-vessel Treatment of Urban Primary Sludge by Aerobic Composting*.



- Sánchez-Montero, M.A., Roig, A., Paredes, C., and Bernal, M.P., 2001, *Nitrogen Transformation During Organic Waste Composting by the Rutgers System and its Effects on Ph, EC And Maturity of the Composting Mixtures*, Bioresource. Technol. 78, 301–308.
- Smith, D.C., and Hughes, J.C., 2004, *Changes in Maturity Indicators during the Degradation of Organic Wastes Subjected to Simple Composting Procedure*, Biology and Fertility of Soils 39, 280–286.
- Stentiford, E.I., 1996, *Composting Control: Principals and Practice*. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.), *The Science of Composting*. Blackie, London.
-
- Talib, R.A., 2014, *Biogas Recovery from Co-anaerobic Digestion of Agro-Industrial Lingo Cellulosic Waste Materials for Clean Energy Production*, M.Sc. Thesis. University of Baghdad.
- Tang, J.-C., Shibata, A., Zhou, Q., and Katayama, A., 2007, *Effect of Temperature on Reaction Rate and Microbial Community in Composting of Cattle Manure with Rice Straw*, J. Biosci. BioEng. 1044, 321–328.
- TMECC, 2002. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*, USDA and US. Composting Council, Bethesda, MD.
- USEPA. 1993, *Bio Solids Management Handbook 1.1-1 section 11, 11 C Summary of 40 CFR PART 503 Standards for The use or Disposal of Sewage Sludge*, Robert K. Bastian Office of Wastewater Management U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. 20460 Fed. Regist, 58, 9248.
- WHO (World Health Organization), 2006, *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, vol. 4. WHO, Geneva.
- Yamada, Y., and Kawase, Y., 2006, *Aerobic Composting of Waste Activated Sludge: Kinetic Analysis for Microbiological Reaction and Oxygen Consumption*, Waste Management 26, 49–61.
- Zorpas, A.A., and Loizidou, M., 2008, *Sawdust and Natural Zeolite as a Bulking Agent for Improving Quality of a Composting Product from Anaerobically Stabilized Sewage Sludge*, Bio resource Technology 99, 7545–7552

NOMENCLATURE & ABBREVIATIONS

BMW= biodegradable municipal waste

C/N = carbon to nitrogen ratio

GI = germination index

LOD = levels of detection

MBT= mechanical biological treatment



MC= mature compost

Mc= moisture content

MOA= ministry of agriculture

MSW= municipal solid waste

NPK= nitrogen, phosphorus and potassium content.

N.R= no reduction

OFMSW = organic fraction of municipal solid waste

SS= Sewage sludge

TKNW= water soluble total kjeldahl nitrogen

TMECC= test methods for the examination of composting and compost

TS= total solid

Table 1. OFMSW components.

| Item (kg) | MSW |
|--------------|------|
| Potato | 1.27 |
| Carrot | 1.96 |
| Broad beans | 1.96 |
| Meat | 0.34 |
| Steamed rice | 2.00 |
| Soil | 2.00 |
| Leaves | 0.46 |
| Water | 0.70 |
| Total | 10 |

Table 2. Physicochemical parameters of raw materials

| Parameters | MC | MSW | SS |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Organic matter% | 40.87 | 84.42 | 44.83 |
| Moisture content% | 67.90 | 68 | 72.60 |
| O.C% | 22.71 | 46.9 | 24.91 |
| N% | 1.40 | 1.87 | 1.40 |
| C/N | 16.22 | 25.0 | 17.79 |
| K% | 3.06 | 1.91 | 1.00 |
| P% | 0.21 | 2.04 | 0.17 |
| pH | 6.30 | 8.50 | 6.50 |
| Cd mg/kg | <LOD* | <LOD* | <LOD* |
| Cr mg/kg | 36.0 | <LOD* | 77.0 |
| Cu mg/kg | 34.0 | 23.0 | 108.0 |
| Ni mg/kg | 25.0 | 25.0 | 112.0 |
| Pb mg/kg | 65.0 | 30.0 | 125.0 |
| Zn mg/kg | 513.0 | 202.0 | 928.0 |

*LOD: level of detection

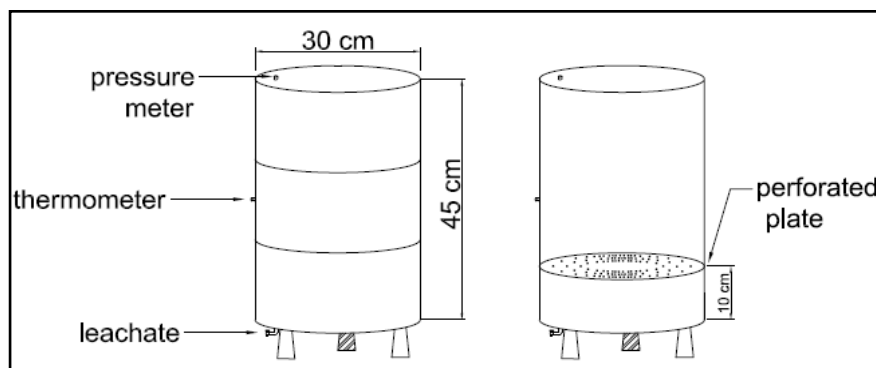


Figure.1. Schematic diagram of the bioreactor.

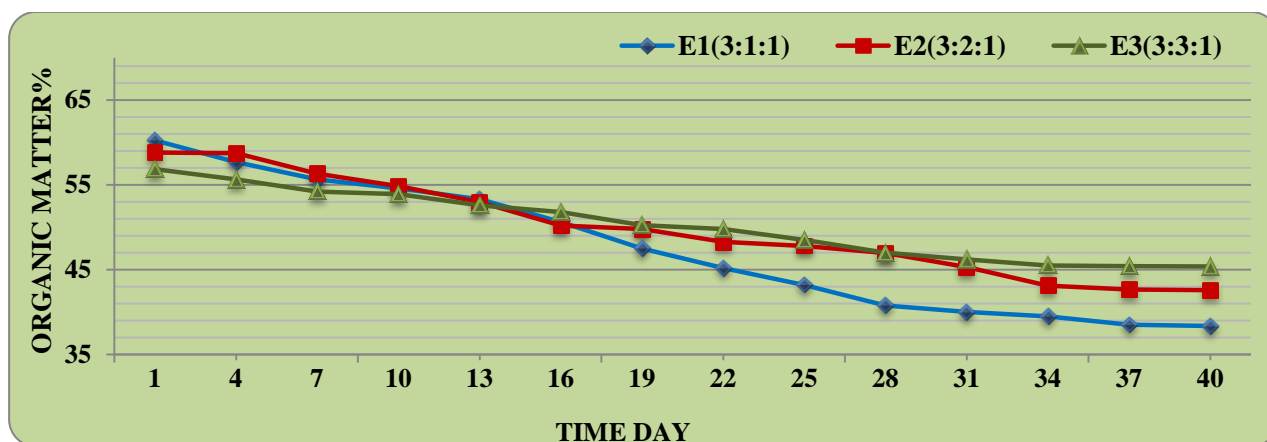


Figure 2. Organic matter variations through the composting processes.

Table 3. Properties of initial and final compost.

| Trials | O.M% | | %Red | O.C.% | | %Red. | N% | | %Red. | C/N% | |
|-------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | Initial | Final | | Initial | Final | | Initial | Final | | Initial | Final |
| E1 3:1:1 | 60.24 | 38.34 | 36.35 | 33.47 | 21.30 | 36.5 | 1.72 | 1.75 | N.R* | 19.50 | 12.17 |
| E2 3:2:1 | 58.83 | 42.58 | 27.62 | 32.68 | 23.66 | 27.6 | 1.78 | 1.40 | 21.3 | 18.32 | 16.9 |
| E3 3:3:1 | 56.84 | 45.36 | 20.19 | 31.58 | 25.20 | 20.20 | 1.04 | 1.05 | N.R | 30.42 | 24.0 |

N.R: no reduction

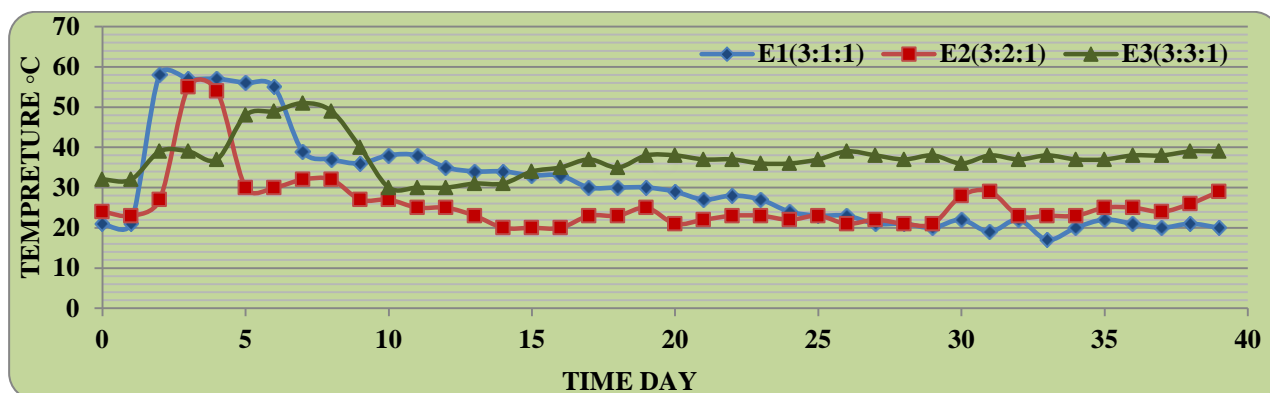


Figure 3. Temperature variation through the composting processes.

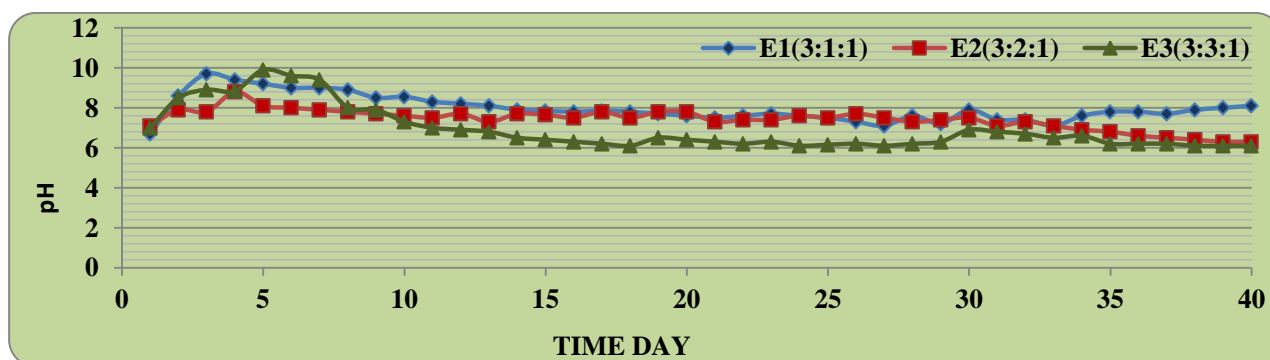


Figure 4. pH variation through the composting processes.

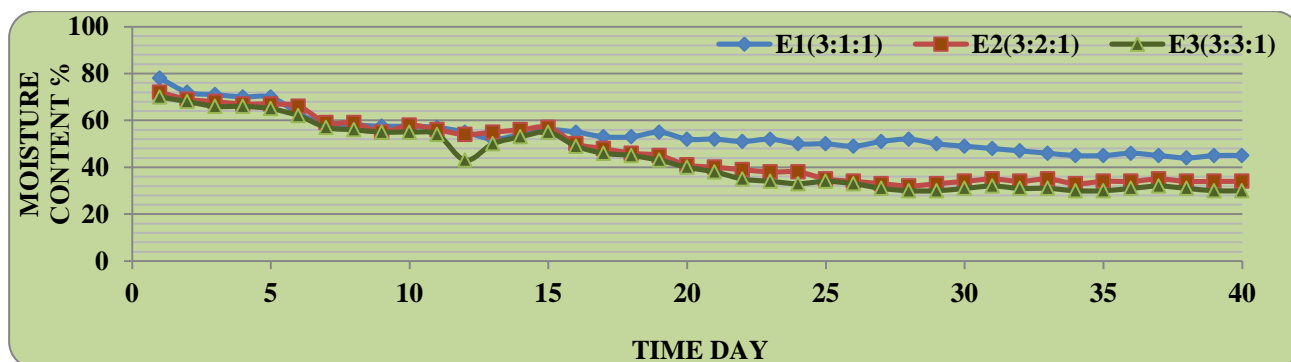


Figure 5. Effect of the proportion of municipal solid waste, mature compost and sewage sludge on moisture contents.

Table 4. Nitrification index for the concerned proportions.

| mg/Kg | E1(3:1:1) | E2(3:2:1) | E3(3:3:1) |
|---|-----------|-----------|-----------|
| NH_4^+-N | 200.70 | 340.50 | 420.30 |
| NO_3^+-N | 968.40 | 1230.80 | 1350.70 |
| $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^+-\text{N}$ | 0.20 | 0.28 | 0.31 |

**Table 5.** P and K levels in initial proportions and in final composts.

| Initial (Final) | E1(3:1:1) | E2(3:2:1) | E3(3:3:1) |
|--------------------|------------------|----------------|-----------------|
| P% | 1.68 (0.98) | 1.48 (0.86) | 0.96 (0.56) |
| K% | 1.96 (1.99) | 1.79 (1.83) | 1.88 (1.92) |

Table 6. Heavy metals concentration in the 3 trials and quality standards of stabilized bio-waste Brinton, 2000.

| Metal mg/Kg | EU | USA | E1(3:1:1) | E2(3:2:1) | E3(3:3:1) |
|-------------|----------|------|-----------|-----------|-----------|
| Cd | 0.7 | 32 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Cr | 70-200 | 1200 | <LOD | 59 | 176 |
| Cu | 70-600 | 1500 | 16 | 64 | 35 |
| Hg | 0.7-10 | 17 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Ni | 20-200 | 420 | <LOD | 49 | 80 |
| Pb | 70-1000 | 300 | 30 | 79 | 48 |
| Zn | 210-4000 | 2800 | 326 | 857 | 306 |

Table 7. Bio solids pathogen concentrations.

| Initial | E1(3:1:1) (final) | E2(3:2:1) (final) | E3(3:3:1) (final) |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Total coliforms* | 5.34 (0.2) | 9.89 (0.9) | 12.42 (1.8) |
| Fecal coliforms* | 4.64 (<0.1) | 7.63 (0.3) | 10.82 (0.5) |
| Helminthes eggs /10 g | 20.27 (<1) | 25.85 (<1) | 29.73 (<1) |

* Log10 MPN/10 g ds.

Table 8. Outcomes of germination test.

| Item/ parameter | Control test | Compost extract of in-vessel lab- scale reactor | Compost extract of Commercial compost |
|-------------------------------|-----------------|---|--|
| Total seeds | 50 | 50 | 50 |
| Germinated seeds | 50 | 43 | 30 |
| Mean root length cm | 1 | 0.90 | 0.68 |
| Relative seed germination (%) | - | 86 | 60 |
| Relative root growth % | - | 90 | 68 |
| Germination index % | - | 77.4 | 40.80 |

Extraction of heavy metals from contaminated soils using EDTA and HCl

Hatem Asel Gzar

Assistant professor

Department of Environmental Engineering
College of Engineering- Baghdad University
email: hatam_asal@yahoo.com

Israa Mohammed Gatea

Department of Environmental Engineering
College of Engineering- Baghdad University
email: sarawemoh@gmail.com

ABSTRACT

The present study examines the extraction of lead (Pb), cadmium (Cd) and nickel (Ni) from a contaminated soil by washing process. Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (Na_2EDTA) and hydrochloric acid (HCl) solution were used as extractants. Soil washing is one of the most suitable in-situ/ ex-situ remediation method in removing heavy metals. Soil was artificially contaminated with 500 mg/kg (Pb, Cd and Ni). A set of batch experiments were carried out at different conditions of extractant concentration, contact time, pH and agitation speed. The results showed that the maximum removal efficiencies of (Cd, Pb and Ni) were (97, 88 and 24) % respectively using (0.1 M) Na_2EDTA . While the maximum removal efficiencies using (1M) HCl were (98, 94 and 55)% respectively. The experimental data of batch extraction were applied in four kinetic models; first order, parabolic diffusion, two constant and Elovich model. The parabolic diffusion was the most fitted to the experimental data.

Key words: contaminated soil, heavy metals, soil washing, chemical extraction, kinetics.

انتزاع المعادن الثقيلة من التربة الملوثة باستخدام EDTA و HCl

إسراء محمد كاطع

قسم الهندسة البيئية كلية الهندسة/ جامعة بغداد

حاتم عسل كزار

استاذ مساعد

قسم الهندسة البيئية / كلية الهندسة/ جامعة بغداد

الخلاصة

في الدراسة الحالية تم دراسة الانتزاع للرصاص الكاديوم، والنيكل من التربة الملوثة باستخدام Na_2EDTA Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt و Hydrochloric acid (HCl) كمحاليل استخلاص.

ان طريقة غسل التربة لازالة المعادن الثقيلة هي واحدة من أكثر طرق المعالجة الملائمة والتي تستخدم خارج وداخل المواقع الملوثة. تمت دراسة تربة التي يتم تلويثها مختبرياً بالعناصر التالية: الرصاص، الكاديوم، النيكل حيث كان تركيز الملوث 500 ملغم/كغم. في تجارب الدفعة التي اجريت على التربة تم دراسة ظروف مختلفة مثل تركيز المستخلص و زمن التماس والرقم الهيدروجيني وسرعة الاهتزاز. اظهرت نتائج تجارب الدفعة على ان الحد الأقصى لكفاءة الإزالة (97، 88، 24) % للـ الكاديوم و الرصاص والنيكل على التوالي في عند استخدام (0.1) مولاري Na_2EDTA . بينما الحد الأقصى لكفاءة الإزالة باستخدام (1) مولاري من HCl كان (98، 94، 55) % . تم تطبيق البيانات والنتائج العملية المستحصلة من تجارب الدفعة في أربعة نماذج رياضية (first order, parabolic diffusion, two constant و Elovich)، وتبين ان نموذج (parabolic diffusion) هو النموذج الرياضي الافضل لتمثيل البيانات والنتائج العملية.

الكلمات الرئيسية: تربة ملوثة، معادن الثقيلة، غسل التربة، الانتزاع الكيميائي، حركيات.

1. INTRODUCTION

Pollution of the soils with toxic metals is widespread across the globe, and threat in many countries today. It has become a major environmental concern in many parts of the world due to rapid industrialization, increased urbanization, modern agricultural practices and inappropriate waste disposal method. Accordingly, the cleanup of these soils is a difficult task for environmental engineering **Tandy, et al., 2004**.

Heavy metals are chemical elements with a specific gravity that is at least (5) times the specific gravity of water. They are often problematic environmental pollutants, with well-known toxic effects on living systems, **Evanko, et al., 1997**. They are introduced into the environment during mining, refining of ores, combustion of fossil fuels and industrial processes. They cannot be degraded or destroyed, **Davydova, 2005**.

The contamination of surface and groundwater with highly mineralized mine waters or with compounds leached from mine dumps or tailings pose a very persistent environmental problem. Harmful contaminants, derived from such sources, enter the surface streams, settle in sediments, dissolve gradually and enter the environment as hazardous substances over long periods of time, **Phelelani, 2007**.

As one of the most suitable in-situ / ex-situ physical / chemical treatment technologies, soil washing has been successfully used for the treatment of soils contaminated with heavy metals, hydrocarbons and semi-volatile organic compounds, **Peters, 1999**. Soil washing usually employs different extractants such as acids, bases, chelating agents, electrolytes, oxidizing agents and surfactants, **Reddy, and Chinthamreddy, 2000**. Soil washing is fast emerging technologies that is used to treat/clean up contaminated soil with contaminants ranging from heavy metals to hydrocarbons, **Shumba, 2008**.

The techniques are to separate the metal from soil by using chelating agents such as, ethylene diamminotetraacetic acid disodium salt Na_2EDTA , which, can extract heavy metals from contaminated soils with high efficiency. Strong inorganic acid, also, can be used as washing solutions in terms of reasonable cost and simple handling of the effluent solution. It is an effective solvent due to high its removal efficiency in extraction of heavy metal, especially hydrochloric acid (HCl), **Isoyama, and Wada, 2007**.

Soil washing is a variable treatment alternative for metal contaminated sites chemical extraction to enhance the efficiency of heavy metals extraction. Process parameters in soil washing include the mode of extraction (batch or continuous), extraction type and concentration, pH, electrolyte concentration, liquid-to-solid ratio (L/S), retention time. The soil related parameters are pH, particle size distribution and mineral type of metal to be extracted and their concentration, distribution and physicochemical forms in the soils, **Tandy, et al., 2004**.

2. MATERIALS

2.1 soil

Natural Iraqi soil samples were collected from depth not exceeded 20 cm below the ground surface. These samples were cleaned, dried and well stored with an additional sieving onto 2mm mesh to achieve satisfactory uniformity. **Table 1** summaries the physicochemical properties of the soil. The required tests for specifying the characteristics of soils are carried out at State Company of Geological Survey and Mining/ Ministry of Industry and Minerals.



2.2 Contaminants

To simulate the soil's lead, cadmium and nickel contamination, a solutions of $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, respectively (which are manufactured by Analar Company/made in England) were prepared and added to the specimen to obtain representative concentration. $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ has a molecular weight of 308.47 g/mole and atomic weight of cadmium ions is 112.4g/mole. For example, to prepare a soil sample with cadmium concentration of 500 mg/kg, 1.372 g of $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dissolves in 500 ml of distilled water and added to 1 kg of dry soil.

2.3 Na_2EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt, is a very effective chelating agent. Its ability to bind heavy metal ions can be used to sequester these trace metals, is very stable and can be mixed with just about any phosphate containing fertilizer at basically any pH. It is very resistant to microbial degradation; therefore it remains quite stable in soils. It is of interest that EDTA has been used medically to promote removal of lead from the human body and also as an additive to render floor polishes with zinc binders amenable to detergent washing, **Joseph, et al., 1997**. **Table 2** summaries the Na_2EDTA characteristics used in the present study.

2.4 HCl

Hydrochloric acid is a clear, colorless, highly-pungent solution of hydrogen chloride (HCl) in water. It is a highly corrosive, strong mineral acid with many industrial uses. HCl is found naturally in gastric acid. HCl is very effective in the removal of heavy metals and achieve high removal efficiency in the case of natural pH with out neutralization to no loss the acidic property that are of high importance for the movement of contaminant and solubility and thus easily extracted, **SRI, 2001**. **Table 3** summaries the HCl characteristics used in the present study.

3. Experimental Procedure

Batch equilibrium tests are carried out to specify the best conditions of contact time, pH, concentration of extractant and agitation speed. This means that these tests are suited to identify the activity of the chemical extraction using Na_2EDTA and HCl. Series of 250 ml flasks are employed, each flask contained 2 g of soil and 20 ml of (Na_2EDTA or HCl) extractant with a solid to liquid ratio (S/L) 1/10, and contamination rate of 500 mg/kg. The Na_2EDTA concentrations were (0.001, 0.005, 0.01, 0.05 and 0.1) M, and HCl concentrations were (0.01, 0.05, 0.1, 0.5 and 1) M. pH values of the five HCl solutions were (2, 1.7, 1.44, 1.16 and 1.08) respectively. The shaking of solutions were achieved by an orbital shaker (incubated AAH23212K, model S1-600R, Korea) at a speed of 200 and 250 rpm at temperature ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) at different contact time (1, 2, 3, 4, 5 and 6 hours).

Then the solution is filtered using a Whatman No 42 filter paper. The supernatant was analyzed for heavy metal using atomic absorption spectrometry (AAS) (GBC, SensAA (Australia)). All tests were performed in triplicate and the results were presented as average of the duplicates extracts. Kinetic studies were investigated with different values of pH (4, 7, 10) for Na_2EDTA .

The removal of each contaminant can be calculated using the following Eq.(1), **Reddy, and Chinthamreddy, 2000**. as :

$$\text{Contaminant removal \%} = \frac{\text{contaminant mass in supernatant } (C_L V_L)}{\text{initial contaminant mass in soil } (C_S M_S)} \times 100\% \quad (1)$$

where:

C_L : concentration of contaminant in supernatant (mg/L).

C_S : concentration of contaminant in soil (mg/kg).

V_L : volume of supernatant (L).

M_S : dry mass of the soil (kg).

4. Results and Discussion:

4.1 Effect of pH

Solution pH is an important factor determining the efficiency of extraction because it can influence the soil retention of metals by extraction, **Peters, 1999**, and effect the capability of extractant to extract the contaminants from soil through different mechanisms.

Fig. 1 shows the effect of pH on removal efficiency. Highest removal efficiencies (88% for Pb, 97% for Cd and 24% for Ni) were obtained at lower pH=4, because of protons (H^+) can promote oxide dissolution, besides protons (H^+) can react with soil surface sites (layer silicate minerals and /or surface functional group Al-OH, Fe-OH, and COOH groups) and enhance extraction of metals cations, which are transferred into washing fluid. Also the mobility of heavy metals increased with the pH value of soil decreased. Hydroxo complexes tend to absorb protons in acidic pH, as a result, the concentration of effective anion in soil surface decreased and the ability of extracting heavy metals was weakened. However, further increase in pH values would cause a decreasing in removal efficiency. This may be attributed to the formation of negative (Pb, Cd and Ni) hydroxides $Pb(OH)_2^-$, $Cd(OH)_2^-$ and $Ni(OH)_2^-$, which are precipitated from the solution making true extract studies impossible.

HCl solution concentrations of (0.01, 0.05, 0.1, 0.5 and 1) M were used in the present study, pH values of these concentrations are (2, 1.7, 1.44, 1.16 and 1.08) respectively. NaOH did not added to neutralize the acid because this will reduce the acidic property or loss will overshadow (OH) instead of (H) and thus will reduce the movement of metals in polluted soil, which are necessary for the transfer of pollutants to the washing solution and therefore will prevent or reduce extraction. This agrees previous studies in the use of HCl. Also at pH < 2 this dissolution process replace ion exchange, **Kuo, et al., 2006**.

4.2 Effect of Contact Time

Extraction time plays a very important role in soil washing. The percentages of removal of (lead, cadmium and nickel) were determined using Na_2EDTA and HCl solutions. Heavy metals were estimated at different contact times (1, 2, 3, 4, 5 and 6 hr) keeping the other parameters (pH, extractant concentration, and agitation speed) fixed. Metal removal efficiency by chemical extraction process depends on soil geochemistry (soil texture, cation exchange capacity, organic matter, particle size, and large surface area of contaminated soils allow extract of pollutants). They were observed that the heavy metals removal increase as the contact time increase and it remains constant after reaching the equilibrium, **Mohanty, and Mahindrakar, 2011**. Because of a large amount of extractant became exhausted, the extraction rate is controlled by the rate at which the extract is transported from the soil exterior to the interior sites of the extractant, because buffering capacity for soil reaching equilibrium. However, further

increase in contact time had no significant effect on heavy metals removal. **Figs.2** and **3** show the effect contact time on extraction (Pb, Cd and Ni) using Na₂EDTA and HCl .

4.3 Effect of Extractant Concentration

Chelating agent modify metal concentration in soil solution by forming various soluble complexes , thus enhance metal removal (**Reddy andChinthamreddy,2000**). Different concentrations (0.001,0.005,0.01,0.05 and 0.1M) of Na₂EDTA were used in the present study. The soil washing with Na₂EDTA extractant was at pH=4. For the extraction of contaminated soil using HCl extractant, different concentrations of HCl (0.01,0.05,0.1,0.5 and 1M) were used . No pH adjustment was made in the experiments of soil extraction by HCl. The extraction of heavy metals from contaminated soil using Na₂EDTA and HCl was at solid/liquid ratio 1/10 and shaking speed 200 rpm.

Removal of the three metals increased with increasing Na₂EDTA and HCl concentrations and this agree with result of **Kirpichtchikova, et al., 2006**. This may due to the soil's properties, such as metals distribution and physicochemical forms in the soil .

High concentrations achievedacidic mediumwhich isessentialforthemovement of pollutantsand ease oftransmissionandexchangeofionswithwashingsolutions. Also this was expected that the higher concentrations of extractant in soil, the greater availability of extraction. The extraction were carried out using different dosage of extractants as shown in **Figs.4** and **5**.

4.4 Effect of Agitation Speed

Effect of agitation on removal efficiency is shown in **Figs .6** and **7**. These figures showed that the removal efficiency decrease after 200 rpm speed. This may due to stick a part of the contaminated soil on inside surface of volumetric flask neck during the operation of thermostatic mixer which lowers the extraction of metals. Therefore, 200 rpm was taken as the best agitation speed where maximum removal efficiency can be obtained .

4.5 Kinetic Models for Soil Washing

In order to examine the heavy metals extraction mechanism, kinetic data were fitted with four mathematical models: first order, parabolic diffusion, two constant and elovich model. **Min, et al., 2008** presented the linear forms of these mathematical models as shown in **Table 4** which were applied for experimental data in the present study.

2.5.1 First order kinetic model

The first-order model is generally expressed as below Eq.(2) (Kue and Lotes, 1973):

$$\ln q_t = \ln q_0 - k_1 t \quad (2)$$

Where q_t and q_0 are amount of contaminant desorbed (mg/kg) after time period of extraction , k_1 is first order rate constant (s^{-1}).

2.5.2 Parabolic diffusion kinetic model

Khater and Zaghloul proposed parabolic diffusion kinetic model, which can be written as Eq.(3) , **Khater and Zaghloul, 2002**.

$$q_t = q_0 + k_p t^{0.5} \quad (3)$$

Where k_p = is diffusion rate constant (mg contaminant/ kg)^{-0.5}

2.5.3 Two-constant kinetic model

The two-constant model is generally expressed as below Eq.(4) , **Dang et al.,1994** :

$$q_t = at^b \quad (4)$$

Where a = is initial contaminant desorption rate constant (mg contaminant/kg/s)^b , b = is contaminant desorption rate coefficient (mg contaminant/kg)⁻¹

2.5.4 Elovich Kinetic Model

A widely used equation to describe the kinetics of chemical desorption is the Elovich Eq.(5)

,Polyzopoulos et al., 1986:

$$q_t = 1/\beta_s \ln \alpha_s \beta_s + 1/\beta_s \ln t \quad (5)$$

Where α_s = is initial contaminant desorption rate (mg contaminant/kg/s), β_s = is contaminant desorption constant (mg contaminant/kg)⁻¹

The kinetic constants of each model were obtained using Microsoft excel software. From calculating the coefficient of determination (R^2) of each model ,the best fit model can be found.

This fitting can be intercept by the higher coefficients of determination (R^2) as shown in **Tables 5 and 6.**

The parabolic diffusion model provided the best correlation {coefficient of determination (R^2) } with experimental data.

5. CONCLUSION

1- The batch result indicated that several factors such as extraction or equilibrium time, initial pH of the solution, extractant concentration and agitation speed affect the extraction process. The best values of these factors that will achieve the maximum removal efficiency of heavy metals can be summarized as follow:

- a- Using Na₂EDTA as extractant, the best contact time was three hours for removing lead and four hours for removing cadmium and nickel .
- b- Using HCl as extractant, the best contact time was four hours for removing lead and cadmium, and five hours for nickel.
- c- The best pH value was 4 when using Na₂EDTA .
- d- Maximum removal percentage of lead, cadmium and nickel in batch extraction was obtained at concentrations of 0.1 M Na₂EDTA and 1 M HCl.
- e- The agitation speed 200 rpm gave higher removal efficiencies compared with 250 rpm.

2- The removal efficiency of extraction increase with:

- b- Increase time until reach equilibrium time.
- c- Decrease pH solution.
- d- Increase extractant concentration.
- e- Decrease agitation speed to a certain limit.

3- The sequence of heavy metals removal was Cd > Pb > Ni.

4- The parabolic diffusion model provided the best correlation with experimental data.



REFERENCES

- Dang, Y.P., Dalal, D.G., Edwards, D.G., Tiller, K.G., 1994, *Kinetics of Zinc Desorption from Vertisols*, Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 58, PP 1392-1399.
- Davydova, S., 2005, *Heavy Metals as Toxicants in Big Cities*, Microchemical Journal, Vol. 79, PP. 133-136.
- Evanko, C.R., and Dzombak, A., D., 1997, *Remediation of Metals- Contaminated Soils and Groundwater*, Technology Evaluation Report, TE-97-01.
- Joseph, S. H., Wong, R., Hicks, R. E. and Probst, R. F., 1997, *EDTA Enhanced Electroremediation of Metal Contaminated Soils*, J. Hazardous Materials. Vol. 55, No. 1-3, PP. 61-79.
- Isoyama, M., and Wada, S.I., 2007, *Remediation of Pb-Contaminated Soils by Washing with Hydrochloric Acid and Subsequent Immobilization with Calcite and Allophanic Soil*, J. Hazard. Mater., Vol. 143, PP. 636-642.
- Khater, A.H., and Zaghloul, A., M., 2002, *Copper and Zinc Desorption Kinetics from Soil: Effect of pH*, In 'the 17th World Conference on Soil Science', Vol. 47, PP. 1-9.
- Kirpichtchikova, T.A., Manceau, A., Spadini, L., Panfili, F., Marcus, M.A., and Jacquet, T., 2006, *Speciation and Solubility of Heavy Metals in Contaminated Soil Using X-ray Microfluorescence, EXAFS Spectroscopy, Chemical Extraction, and Thermodynamic Modeling*, Geochimica et Cosmochimica Acta., Vol. 70, No. 9, PP. 2163-2190.
- Kue, S., and Lotse, E.G., 1973, *Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite*, Soil Science, Vol. 116, PP. 400-406.
- Kuo, S., Lai, M.S., Lin, C.W., 2006, *Influence of Solution Acidity and CaCl_2 Concentration on the Removal of Heavy Metals from Metal-Contaminated Rice Soils*, Environ. Pollut., Vol. 144, PP. 918-925.
- Min, Z., Bohan, L., Ming, L., Young, Z., Qingru, Z., Bin, O., 2008, *Arsenic Removal from Contaminated Soil using Phosphoric Acid and Phosphate*, Journal of Environmental Sciences, Vol. 20, PP. 75-79.
- Mohanty, B., and Mahindrakar, A.B., 2011, *Removal of Heavy Metal by Screening Followed by Soil Washing from Contaminated Soil*, International Journal of Technology and Engineering System (IJTES). Vol. 2, No. 3, PP. 290-293.
- Peters, R.W., 1999, *Chelant Extraction of Heavy Metals from Contaminated Soils*, Journal of Hazardous materials, Vol. 66, PP. 151-210.
- Phelelani, P., 2007, *Remediation of Soil and Water Contaminated by Heavy Metals and Hydrocarbons using Silica Encapsulation*, MSc. Thesis, Witwatersrand University, College of Science.



- Polyzopoulos, N.A., Keramidas, V.Z., Pavlatou, A., 1986, *On the Limitation of the Simplified Elovich Equation in Describing the Kinetics of Phosphate Sorption and Release from Soils*, Journal of Soil Science, Vol.37, PP. 81-87.
- Reddy, K.R., and Chinthamreddy, S., 2000, *Comparison of Extractants for Removing Heavy Metals from Contaminated Clayey Soils*, Soil and Sediment Contamination, Vol.9, PP. 449-462.
- Shumba, T., 2008, *Removal of Heavy Metals from Crud and Slimedam Material using Soil Washing and Bioremediation*, MSc. Thesis, Stellenbosch University, College of Engineering.
- SRI, 2001, *Hydrochloric Acid*, Chemicals Economics Handbook .733. http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrochloric_acid.
- Tandy, S., Bossart, K., Mueller, R., Ritschel, J., Hauser, L., Schulin, R., and Nok, B., 2004, *Extraction of Heavy Metals from Soils using Biodegradable Chelating Agent*, Environ.Sci.Technol., Vol, 38, PP. 937-944.



NOMENCLATURE

a = is initial contaminant desorption rate constant (mg contaminant/kg/s)^b

b = is contaminant desorption rate coefficient (mg contaminant/kg)⁻¹

A = the intercept ; B : the slope

C_L = concentration of contaminant in supernatant (mg/L).

C_S = concentration of contaminant in soil (mg/kg).

k_1 = is first order rate constant (s⁻¹)

k_p = is diffusion rate constant (mg contaminant/ kg)^{-0.5}

M_S = dry mass of the soil (kg).

q_t, q_0 = are amount of contaminant desorbed (mg/kg) after time period of extraction

S_0 = initial pollutant content in soil (concentration of contaminant in soil) (mg/kg).

S = pollutant removal content at time (concentration of removal from soil with time) (mg/kg).

t : contact time (hour).

V_L :volume of supernatant (L).

α_s = is initial contaminant desorption rate (mg contaminant/kg/s)

β_s = is contaminant desorption constant (mg contaminant/kg)⁻¹

**Table 1.**Composition and properties soil used in the present study .

| Property | Soil |
|--|--------------------|
| Particle size distribution (ASTM D 422) | |
| Sand (%) | 1.5 |
| Silt (%) | 63.5 |
| Clay (%) | 35 |
| Cation Exchange Capacity (meq/100g) | 12.5 |
| Initial pH | 8.3 |
| Background concentration of cadmium (mg/kg) | nill |
| Background concentration of nickel (mg/kg) | 3.52 |
| Background concentration of lead (mg/kg) | 15 |
| Organic matter (%) | 0.49 |
| Organic carbon (%) | 0.16 |
| Electrical conductivity EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 593 |
| Surface area (m^2/g) | 22.776 |
| Bulk density (g/cm^3) | 1.1317 |
| Porosity (n) | 0.493 |
| Specific weight | 2.69 |
| Soil classification | Silty clay loam |

**Table 2.** Physical and chemical properties of Na₂EDTA.

| Property | Value |
|---|------------------------|
| Molecular weight | 372.24 g/mole |
| Density | 1.01 g/cm ³ |
| pH (5% solution) | 4.3- 4.7 |
| Water – in soluble matter | 0.003% |
| Chloride (Cl) | 0.004% |
| Nitrilotriacetate N(CH ₂ COO) ₃ | 0.05% |
| Sulphate (SO ₄) | 0.02% |
| Calcium(Ca) | 0.002% |
| Copper (Cu) | 0.0001% |
| Iron (Fe) | 0.0005% |
| Lead (Pb) | 0.0005% |
| Magnesium (Mg) | 0.001% |
| Potassium (K) | 0.002% |

Table 3. Physical and chemical properties of HCl.

| Property | Value |
|-----------------------------|------------------------|
| Molecular weight | 36.46 g/mole |
| Minimum assay | 35% |
| Specific density | 1.19 g/cm ³ |
| Sulphate (SO ₄) | 0.0005% |
| Sulfite (SO ₃) | 0.001% |
| Free chlorine (Cl) | 0.0001% |
| Heavy metals (as Pb) | 0.0005% |
| Iron (Fe) | 0.0002% |
| Arsenic (As) | 0.0001% |

**Table 4.** The mathematical models applying to fit experimental data . Min, et al., 2008

| Model | Linear form |
|---------------------|----------------------|
| First -order | $\ln(S_0-S) = A -Bt$ |
| Parabolic diffusion | $S = A + Bt^{1/2}$ |
| Two-constant | $\ln S = A + B\ln t$ |
| Elovich | $S = A + B\ln t$ |

where:

t: contact time (hour).

S_0 : initial pollutant content in soil (concentration of contaminant in soil) (mg/kg).

S: pollutant removal content at time (concentration of removal from soil with time) (mg/kg).

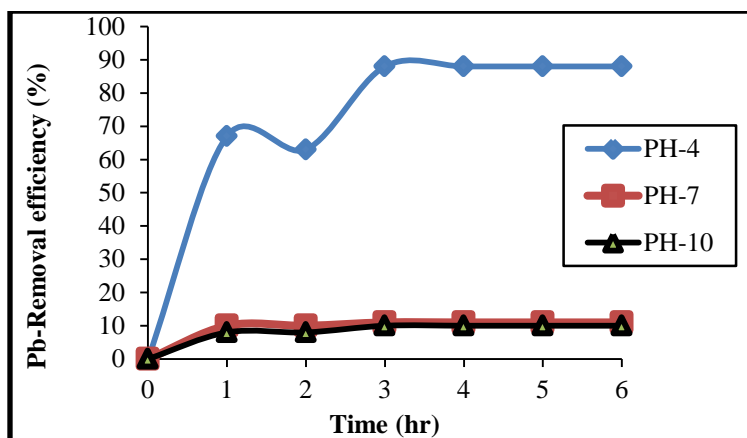
A: the intercept ; B: the slope.

Table 5. The coefficient of determination (R^2) of kinetic models for single component system using Na_2EDTA .

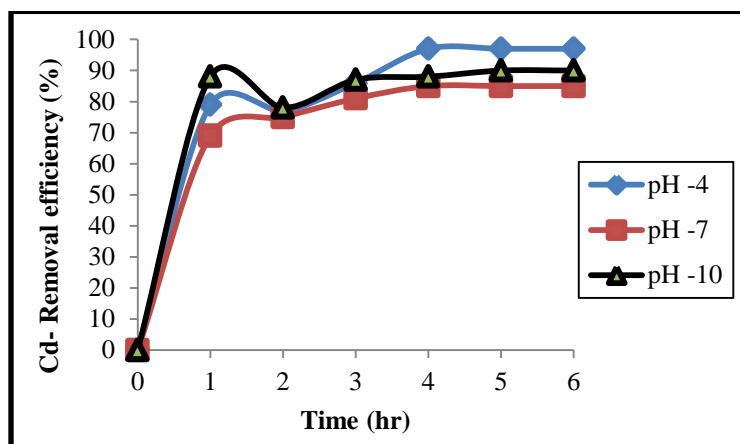
| Models | Coefficient of determination (R^2) | | |
|---------------------|--|--------|--------|
| | Pb | Cd | Ni |
| First -order | 0.591 | 0.753 | 0.896 |
| Parabolic diffusion | 0.9286 | 0.8514 | 0.8946 |
| Two-constant | 0.6048 | 0.6544 | 0.7438 |
| Elovich | 0.4495 | 0.7758 | 0.7758 |

Table 6. The coefficient of determination (R^2) of kinetic models for single component system using HCl.

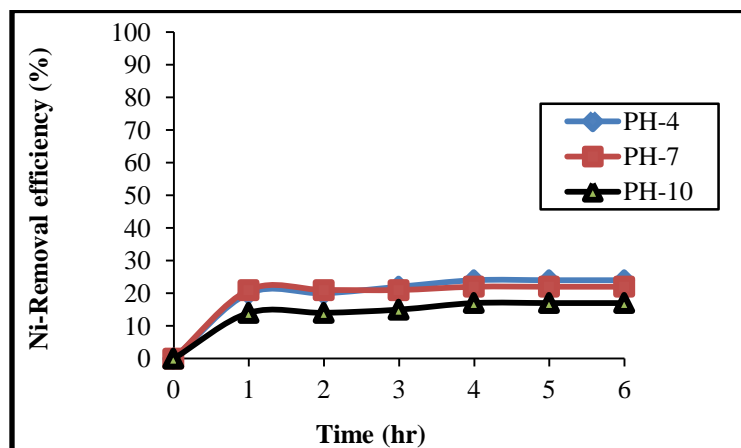
| Models | Coefficient of determination (R^2) | | |
|---------------------|--|--------|--------|
| | Pb | Cd | Ni |
| First -order | 0.078 | 0.821 | 0.333 |
| Parabolic diffusion | 0.7818 | 0.843 | 0.7646 |
| Two-constant | 0.0132 | 0.7758 | 0.7146 |
| Elovich | 0.0317 | 0.8523 | 0.7537 |



(a) Lead



(b) Cadmium



(c) Nickel

Figure 1.Effect of pH on removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time using Na₂EDTA (Na₂EDTA concentration = 0.1M ;speed = 200 rpm) .

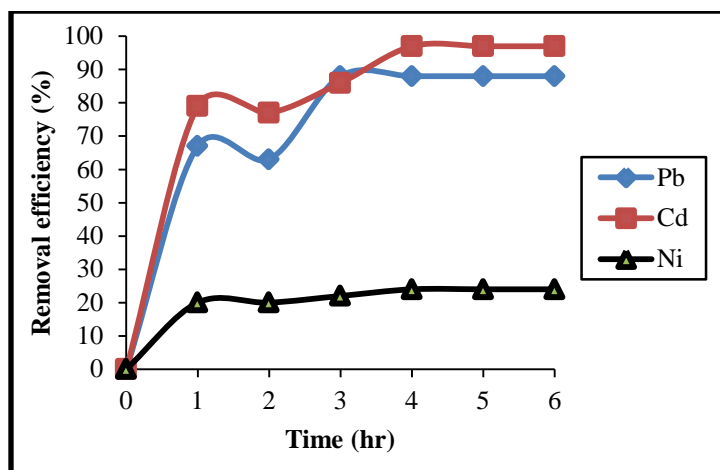


Figure 2.Removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time using Na₂EDTA (pH =4; Na₂EDTA concentration =0.1M; speed=200 rpm) .

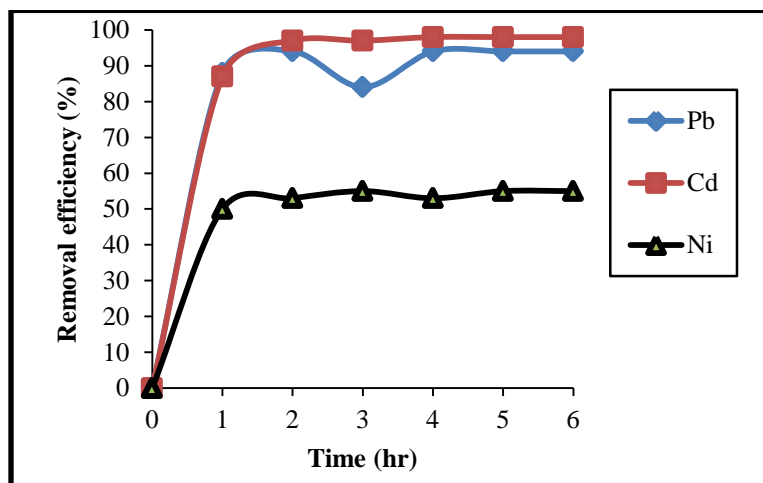
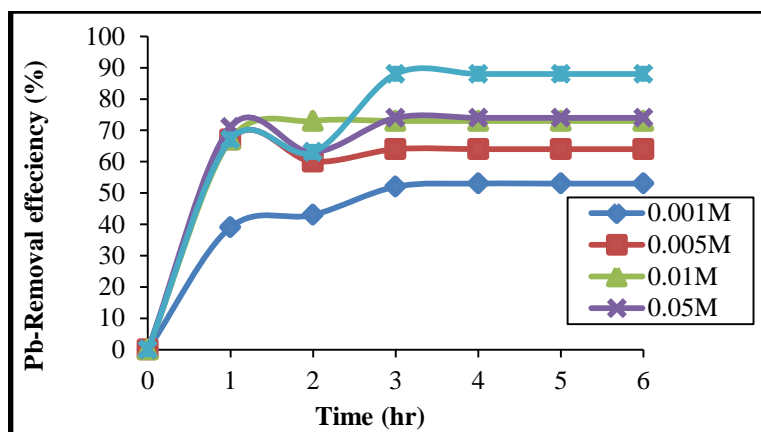
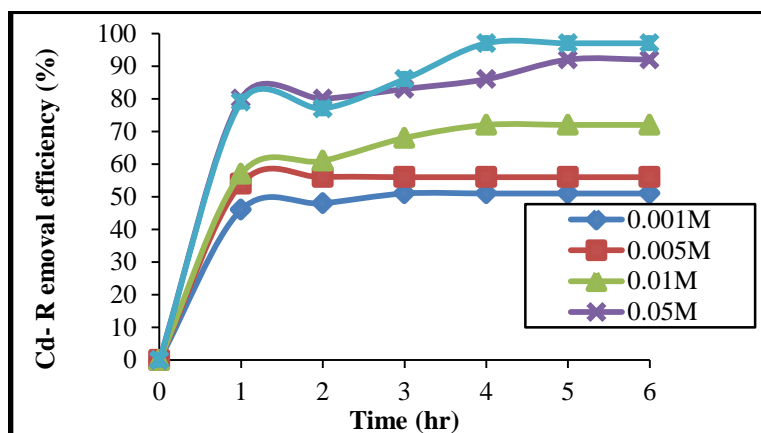


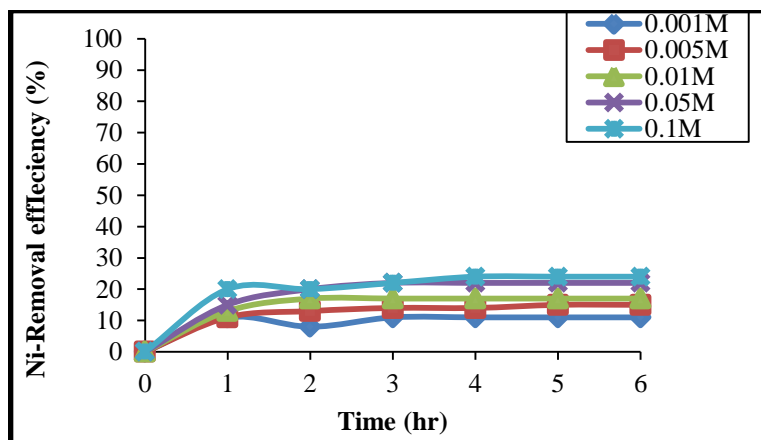
Figure 3.Removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time using HCl (pH =1.08; HCl concentration =1M; speed=200rpm) .



(a) Lead

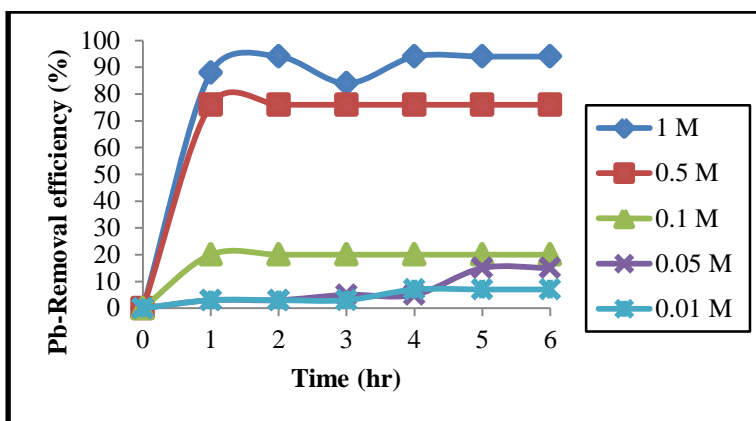


(b) Cadmium

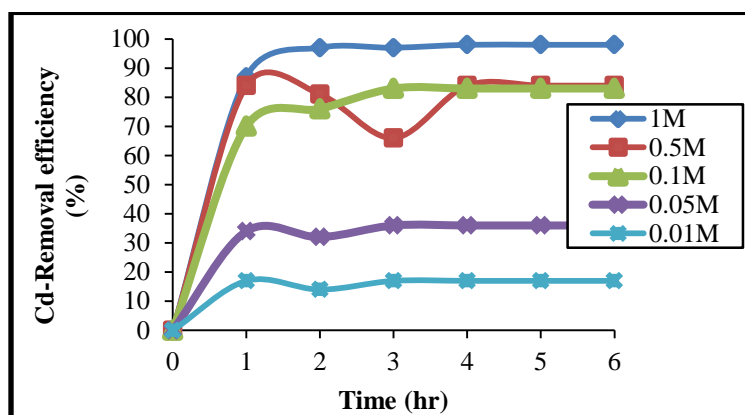


(c) Nickel

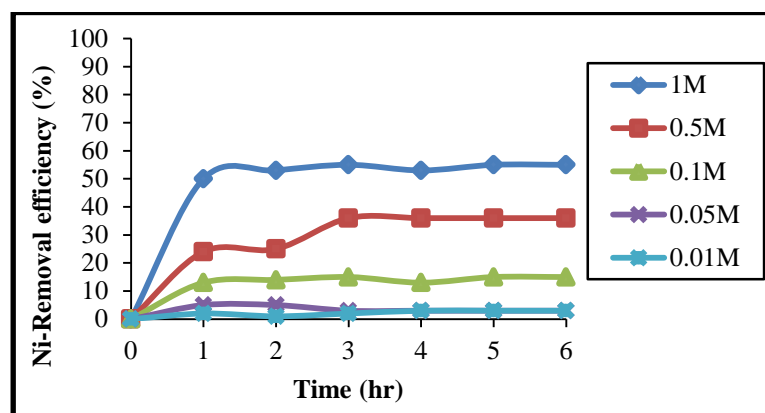
Figure 4.Effect of Na₂EDTA concentration on removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time (pH =4; speed=200 rpm) .



(a) Lead



(b) Cadmium



(c) Nickel

Figure 5.Effect of HCl concentration on removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time (speed =200 rpm) .

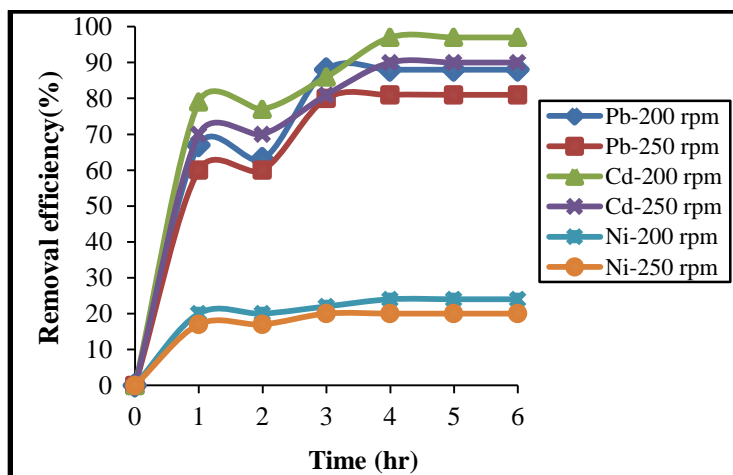


Figure 6.Effect of agitation speed on removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time using Na₂EDTA (Na₂EDTA concentration =0.1M; pH =4) .

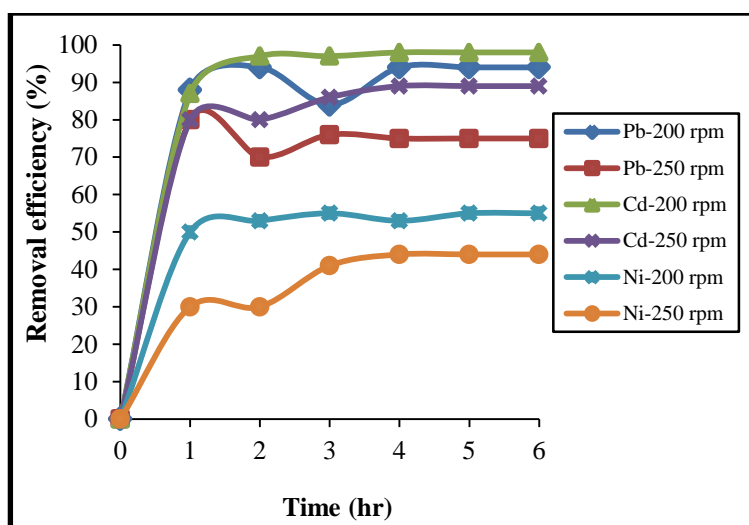


Figure 7.Effect of agitation speed on removal efficiency of (*lead, cadmium and nickel*) as a function of contact time using HCl (HCl concentration =1M; pH =1.08) .



Shell and Double Concentric Tube Heat Exchanger Calculations and Analysis

Basma Abbas Abdulmajeed

Assistant Professor

College of Engineering - University of Baghdad

e-mail: basma1957@yahoo.com

Fadhil Abed Allawi

College of Engineering - University of Baghdad

e-mail: fadel_eng2009@yahoo.com

ABSTRACT

This study concerns a new type of heat exchangers, which is that of shell-and-double concentric tube heat exchangers. The case studies include both design calculations and performance calculations.

The new heat exchanger design was conducted according to Kern method. The volumetric flow rates were $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ and $7.63 \text{ m}^3/\text{h}$ for the hot oil and water respectively. The experimental parameters studied were: temperature, flow rate of hot oil, flow rate of cold water and pressure drop.

A comparison was made for the theoretical and experimental results and it was found that the percentage error for the hot oil outlet temperature was (- 1.6%). The percentage errors for the pressure drop in the shell and in the concentric tubes were (17.2%) and (- 39%) respectively. For cold water outlet temperature, the percentage error was (- 3.3%), while it was (18%) considering the pressure drop in the annulus formed. The percentage error for the total power consumed was (-10.8%).

A theoretical comparison was made between the new design and the conventional heat exchanger from the point of view of, length, mass, pressure drop and total power consumed.

Key Words: new heat exchanger, conventional heat exchanger, length of heat exchanger, mass of heat exchanger, total power expenditure

الحسابات والتحليل للمبادل الحراري ذو القشرة والانابيب المتداخلة المتمركزة

فاضل عبد علاوي
كلية الهندسة-جامعة بغداد

بسمه عباس عبد المجيد
استاذ مساعد
كلية الهندسة-جامعة بغداد

الخلاصة

ان هذه الدراسة تعنى بنوعية جديدة من المبادلات الحرارية , هو المبادل الحراري ذو القشرة والانابيب المتداخلة المتمركزة. هذا البحث يتضمن الحسابات التصميمية وحسابات كفاءة المبادل. ان المبادل الحراري الجديد صمم على طريقة (kern method) حيث تم استخدام دهن ساخن ذو تدفق حجمي $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ وماء بارد ذو تدفق حجمي $7.63 \text{ m}^3/\text{h}$. المتغيرات التي تم قياسها من التجارب العملية هي درجة الحرارة و معدل الجريان للدهن الساخن ومعدل الجريان للماء.

تم اجراء مقارنة بين النتائج العملية والنظرية للمبادل الجديد حيث وجد ان نسبة الخطأ بالنسبة لدرجة حرارة الدهن الساخن الخارجة من المبادل هي (-1.6%), ونسبة الخطأ بالنسبة لهبوط الضغط في ال(shell) هي (17.2%), وكانت نسبة الخطأ بالنسبة لهبوط الضغط في الانابيب المتداخلة هي (-39%). اما بالنسبة للماء البارد فقد كانت نسبة الخطأ هي (-3.3%) بالنسبة لدرجة حرارة الماء الخارج من المبادل ونسبة الخطأ بالنسبة لهبوط ضغط الماء المار في التشكيل الجديد الحاصل من الانابيب المتداخلة هي (18%), اما بالنسبة لمقدار الطاقة الكلية المصروفة فقد كانت نسبة الخطأ (-10.8%).

هذا البحث تضمن مقارنة نظرية بين تصميم المبادل الحراري الجديد والمبادل التقليدي من حيث الطول, الوزن, هبوط الضغط ومقدار الطاقة المصروفة.

الكلمات الرئيسية: المبادل الحراري الجديد, المبادل الحراري التقليدي, طول المبادل الحراري, وزن المبادل الحراري, الطاقة الكلية المصروفة.

1. INTRODUCTION

A shell and double concentric tubes heat exchanger is a new invention in heat transfer devices that is used for transfer of internal thermal energy between three fluids at different temperatures (two hot flows and a cold flow H-C-H or opposite C-H-C).

These heat exchangers can be used in many specific applications such as air conditioning, waste heat recovery, chemical processing, power production, distillation, food processing, etc.

The use of these new heat exchangers will enhance the heat exchange and will increase compactness. It means the decrease of the cost and the weight of this type of heat exchanger.

The new heat exchangers are similar to the prior one; the differences are that the simple (or corrugated) tubes with or without fins are now replaced by double concentric tubes. The outside diameter of the envelope of the double concentric tube is the same order that tubes used in the shell and tube heat exchangers.

Principally, the second tube (inner tube) improves heat transfer through an additional flow passage and a larger heat transfer area per heat exchanger length unity.

Also, two new tube sheets are added to serve as flanges for attachment of the channels and their respective channel covers and two distribute a fluid in inner tubes of double concentric tubes. The old two tubes sheets are always used as flanges for attachment of the two channels and distribution of the fluid passing in the annular passage formed by the concentric tubes.

The typical shell-and-tube heat exchanger is not ideal in terms of its size. This contributes to an increased cost of manufacturing and installation, and on top of that, consumes a lot of space.

In this new heat exchanger the application of two different streams is the main one. In this case, the new heat exchanger is compact; it has a less exchanger length (volume) than a shell-and-tube heat exchanger. The new heat transfer area is equal to the heat transfer area of shell-and tube heat exchanger plus of inner tubes heat exchange area.

2. DESCRIPTION OF THE HEAT EXCHANGER

In shell and double concentric tubes heat exchanger as shown in **Fig. 1**, one sees the shell, the three distributors, the three collectors and the channel covers with four tube sheets. The two fluids of same temperature level enter by the first and the third distributor and goes out by the third and the first collector, respectively. The fluid of different temperature level of two other fluids, pass by the intermediate collector (or distributor).

First fluid (the same temperature level or the same nature as the third fluid) enters by the first distributor and passes by the first tube sheet and goes out by the fourth tube sheet and the last collector. Whereas second fluid penetrates into the heat exchanger by the second distributor and crosses the passages of annulus shape formed with the inner tubes and the second tube sheet then it goes out the heat exchanger by the third tube sheet and the last front collector. Third fluid enters the heat exchanger by the third distributor and crosses the heat exchanger at outside of double envelopes (shell side) and goes out the heat exchanger by the first collector in the same way as classic shell-and-tube heat exchangers.

These shell-and-double concentric-tubes heat exchangers are conceived in a different ways, according to present fluids. Tubes can be corrugated tubes with fins. Generally, fluid circulating towards the shell can circulate in multi pass because of the baffles presence. It allows irrigating better all the tubes. There are several types of baffles: segmental baffle, disc and doughnut baffle. Tubes can be arranged in the bundle following a staggered or aligned arrangement. The two fluids of same nature or same temperature level enter by the same heat exchanger side. The different fluid of the two other fluids



flowing in the annulus section of the concentric tubes passes generally in the opposite direction of the global circulation of the two other fluids.

3. THEORY OF DESIGN AND ANALYSIS

3.1 Design Consideration

In designing heat exchangers, a number of factors that need to be considered are:

1. Resistance to heat transfer should be minimized.
2. Contingencies should be anticipated via safety margins; for example, allowance for fouling during operation.
3. The equipment should be sturdy.
4. Cost and material requirements should be kept low.
5. Corrosion should be avoided.
6. Pumping cost should be kept low.
7. Space required should be kept low.
8. Required weight should be kept low.

Design involves trade-off among factors not related to heat transfer. Meeting the objective of minimized thermal resistance implies thin wall separating fluids. Thin walls may not be compatible with sturdiness. Auxiliary steps may have to be taken, for instance, the use of support plates for tubing, to realize sturdiness, **Saunders, 1988**.

The optimum thermal design of a shell and double concentric tubes heat exchanger involves the consideration of many interacting design parameters which can be summarized as follows:

Processes

1. Process fluid assignments to three streams shell side or inner tubes side and annulus side.
2. Selection of stream temperature specifications for three streams.
3. Setting shell side, inner tubes side and annulus side pressure drop design limits.
4. Setting shell side, inner tubes side and annulus side velocity limits.
5. Selection of heat transfer models and fouling coefficients for shell side, annulus side and inner tubes side.

Mechanical

1. Selection of heat exchanger TEMA layout and number of passes.
2. Specification two types of tube parameters - size, layout, pitch and material for bundle of inner tubes and bundle formed annulus passages.
3. Setting upper and lower design limits on inner tubes and annulus tubes length.
4. Specification of shell side parameters – materials, baffles cut, baffle spacing and clearances.
5. Setting upper and lower design limits on shell diameter baffle cut and baffles spacing, **John, 1998**.

3.2 Analysis of New Heat Exchanger

The analysis of heat new exchanger is simplified through a number of reasonable and realistic assumptions:

1. Steady- flow.
2. Kinetic and potential energy changes are negligible.
3. The specific heat of a fluid (oil and water) is constant.
4. The axial heat conduction along the tube (inner tubes and annulus passages) is negligible.



5. The outer surface of the heat exchanger is perfectly insulated.

Based on these assumptions, it can be shown through the first law of thermodynamics that the rate of heat transfer from the hot fluid be equal to the rate of heat transfer to the cold one.

The transfer rate to the cold fluid:

$$q_c = m_c C_{p_c} \Delta T_c \quad (1)$$

The transfer rate to the hot fluid:

$$q_h = m_h C_{p_h} \Delta T_h \quad (2)$$

The heating and cooling loads of a heat exchanger under operating conditions can be calculated from the above equations. The temperatures of the fluids in a heat exchanger are generally not constant but vary from point to point as heat flows from the hotter to the colder fluid. Even for a constant thermal resistance, the rate of heat flow will therefore vary along the path of the exchanger because its value depends on the temperature difference between the hot and cold fluid in the test section, **Ramesh, et al., 2003**. The evaluation of the logarithmic mean temperature difference (LMTD) for counter and parallel flow streams, respectively by using Eq. (3):

$$LMTD = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} \quad (3)$$

ΔT_a difference between the hot and cold fluid streams at the inlet to the heat exchanger, while ΔT_b is the temperature difference at the outlet from the heat is the temperature exchanger.

It is convenient to use an average effective temperature difference (ΔT_m) for the entire heat exchanger, defined by (Eq.1):

$$q = U A \Delta T_m \quad (4)$$

The average temperature difference (ΔT_m) can be taken as the same value of the logarithmic mean temperature difference for one tube pass. For more than one tube pass, the average temperature difference (ΔT_m), can be calculated by multiplying the logarithmic mean temperature difference by the temperature correction factor as Eq.(5), **Coulson, and Richardson, 1998**:

$$\Delta T_m = (F)(LMTD) \quad (5)$$

4. EXPERIMENTAL WORK

4.1 Manufacturing and Description

The test section was a shell- and -double concentric tube heat exchanger with dimensions of 1.3 m in length and 1.08 m effective tube length.

The tubes of the conventional shell and tube heat exchanger were replaced with double concentric tubes, to improve the heat transfer through an additional flow passage which gives larger heat transfer



area. The shell and double concentric tube heat exchanger was designed to work with three streams of fluids (two hot flows and a cold one H-C-H or the opposite C-H-C).

The shell and double concentric tube heat exchanger was designed for counter flow configuration, in which the hot oil flows in the inner tubes and also in the shell in opposite direction to the cold water which flows in the annulus section of the concentric tubes side. Thermometers and pressure gauges are connected to the tubes and shell sections.

The heat exchanger constituted with:

4.2 Tubes and Tube Sheet

A circular plate of carbon steel with 10 mm thick was used as the tube sheet. Tube holes were drilled with 6.25mm clearances in dimensions of the holes and hole pitches, with a tip of 45° cut in each hole. Tubes were welded to the tube sheet.

A bundle of 16 carbon steel tubes of 20 mm inside diameter and 25 mm outside diameter was used; the tubes are distributed as a triangular 30° tube pattern. The clearance between two adjacent tubes is 6.25 mm, and the tubes pitch is 31.25 mm.

A second bundle of 16 carbon steel tubes of 6 mm inside diameter and 10 mm outside diameter, were added concentrically in each of the mentioned above. **Fig. 2** shows the concentric tubes.

4.3 Shell

Plate of carbon steel with 8 mm thickness was used to construct the shell. Six flanges were welded, one in each of the ends of shell cylinder, one of them is to close the shell and the other flange has two holes for inlet and outlet flows to the inner tubes. Four flanges were in the ends of both bundles of the tubes, in each end two flanges. Shell had been drilled from points on top and bottom to insert the nozzle. The shell inner diameter is 203 mm, and the shell outer diameter is 220 mm. Baffles of thickness 6 mm were spaced by a distance of 100 mm. The free section left was of 25%.

4.4 System of Fluids

Two fluids are used to complete the cycle of the heat exchanges. The first one which passes through the shell side and the inner tubes side is forty stock oil (lube oil) from Dorra Refinery. The experimental working range of this oil is 120°C to 80°C. The other fluid is water. It passes in the annulus section of the concentric tubes. The temperature range for the water is 20°C to 30°C. The flow is accomplished counter currently.

4.5 Cooling Circulation Unit

Water was used as the cooling fluid for this unit. The circuit consisted of a pump of 3 HP to circulate cold water, and to pump water to the annulus passages in the heat exchanger.

The cold water is supplied by a constant head tank of 250 liters capacity. Water is pumped from the above mentioned tank through the test section.

The cooling water leaving the heat exchanger will flow to a vessel of 100 liters capacity as a container to measure the temperature of outlet water and drainage to the sewage.

4.6 Heating Circulation Unit

Oil was used as the heating media for this unit, it consisted of a cubical tank equipped with an immersed two electric heaters each of 3000 W to heat oil to the desired temperature and the two heaters were equipped with a thermostat to adjust the oil temperature. The flow was measured using a flow meter in the range of 70 l/min and the hot oil flow is controlled by gate valve.



The hot oil is pumped by a single stage centrifugal pump from 250 liters capacity heating tank through the test section and it returns back to the second heating tank.

4.7 Rig Construction

4.7.1 Construction

A lay out of experimental setup is shown in **Fig. 3**. All piping system used in this rig were supported firmly and easily dismantled. Also supports were used to prevent piping from breakage due to vibration and load. All piping was joined by using threaded joints. A gate valve was used as a bypass valve for the heating and cooling circulation pumps. All pipes were cleaned before use to avoid fouling problem. The test rig was closed circulated for hot media and open for cold media.

4.7.2 Measuring Instrumentation

Temperature, pressure and flow rate were measured in the piping system, using thermo couples, pressure gauges and flow meters have been used as the main measuring instruments.

The parameters to be measured during the test are:

1. The inlet and outlet temperatures of the tube side (inner and annulus) and shell side.
2. The inlet and outlet pressures of the tube (inner and annulus) side and shell side.
3. The flow rates of the tube side and the shell side.

4.7.3 Test Procedure

After completing checking steps, the test process begins by switching on the circuit breaker that supplies power to the whole system. Then, switching on the individual switches of the two heaters will transfer the electrical power to the heaters which will rise the temperature of oil in the reheater as required to the desired temperature fixed by setting off the thermostat. This process takes 60 to 90 minutes depending upon the required temperature from the thermostat and the temperature of oil before starting. After that, the hot oil pump will start and the gate valve that controls flow rate of hot oil to in the inner tube side and in the shell side in the heat exchanger is opened.

On the cold water side, the cold water pump is switched, at the same time of the hot oil pumping and the flow is set according to the required flow rate.

After reaching the steady state condition, flow rate is fixed in the annulus side cold water at $2.4 \text{ m}^3/\text{h}$ and at the required temperature of the hot oil set by the thermostat, the hot oil temperature is regulated and changed from 120°C to 80°C . On the hot oil side (inner tube side and shell side), flow rate of oil is regulated and changed from 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3 and $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Water temperatures are constantly measured during flow rate variation. The pressures are also measured at the inlet and the outlet of the exchanger.

The procedure was repeated for flow rate of cold water in the annulus side as 2.4, 3.6, $4.8 \text{ m}^3/\text{h}$ with fixed thermostat setting.

Tests were repeated after changing setting of the thermostat by 10°C step from temperature setting level of 80°C up to 120°C . During each step of test flow rate of water is regulated and temperature and pressure are taken. Analysis and comparison of readings results are carried out at different conditions.

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Comparison between the Results from Theoretical and Experimental Work for New Heat Exchanger



5.1.1 Exit Temperature of Hot Oil

The theoretical design for new heat exchanger represents that the exit temperature of hot oil is at 60°C. **Table 1** shows the experimental results obtained from the tested new heat exchanger and it can be seen from these results that the exit temperature of hot oil is 59°C.

The difference between the two temperatures is 1°C therefore, the experimental result is better than the theoretical design and the error ratio from these results is about -1.6%.

5.1.2 Exit Temperature of Cold Water

The temperature of cold water theoretically designed in new heat exchanger is at 20°C inlet and at 30°C outlet as shown in Appendix. The experimental results in **Table 1** represent that the exit temperature of cold water is at 29°C.

The experimental result for the exit temperature of cold water is also close to the theoretical result and the error ratio between these results is about -3.3%.

5.1.3 Pressure Drop in Shell Side

Calculations in Appendix shown the theoretically value of pressure drop for hot oil in shell side of a new heat exchanger is 1.25 kPa. Experimentally the result of pressure drop in shell side is 1.51 kPa as shown in **Table 1**. The error ratio between the two values is about 17.2%.

5.1.4 Pressure Drop in Inner Tubes Side

The theoretical design of new heat exchanger represents the value of pressure drop for hot oil in inner tube side is 35 kPa as shown in Appendix, but the experimental result given in **Table 1** shows a lower value of pressure drop in inner tube side of 21.4 kPa and the error ratio between the values of pressure drop is about -39%.

5.1.5 Pressure Drop in Annulus Side

The value of pressure drop for water in annulus passage is 9 kPa for theoretical design as shown in Appendix. From **Table 1** the pressure drop for water in annulus passage is 11 kPa for experimental work. The error ratio for these results is about 18%.

5.1.6 Total power expenditure

From Calculations in Appendix the value of total power expenditure is 0.037 W for theoretically designed heat exchanger and from the experimental result the value of total power expenditure is 0.033 W. It can be seen that the experimental result is better than theoretical result and the error ratio for these results is about -10.8%.

5.2 Comparison between the New and Conventional Heat Exchangers

5.2.1 Length of heat exchanger

Table 2 represents the variation of the heat exchanger length with the volumetric flow rate of the hot oil for the new and conventional heat exchanger. The results in this table were obtained from the thermal design equations for the new and conventional heat exchangers.

Comparison between the lengths of two heat exchangers is presented in **Fig. 4**. It can be seen that at a flow rate of 3.6 m³/h, the length of the conventional heat exchanger designed at 3.6 m³/h is higher about 63% than the length of the new heat exchanger.

Using a very small wall thermal resistance (copper tubes), the length of the new heat exchanger is $L=1.03\text{m}$ and the percentage difference in the volumes of the two heat exchangers is about 70%.

Table 2 shows also that the length of shell and double concentric-tube heat exchanger is reduced still, by increasing the hot oil volumetric flow rate. This length is smaller of about 75% in the case where the two heat exchangers work with an industrial oil mass flow rate equal to $30\text{m}^3/\text{h}$.

5.2.2 Mass of heat exchanger

The mass of the new heat exchanger falls to about 46% regarding the shell-and-tube heat exchanger for the volumetric flow rate $3.6\text{m}^3/\text{h}$ and 6/10mm inside /outside diameter for the inner tubes. **Table 3** shows the differences in the mass between the two heat exchangers. The results in this table were obtained from the thermal design equations for the new and conventional heat exchangers. This is earning decreases with the increase of inner tubes diameter and reaches 20 to 30%, and increases with increasing the length of heat exchanger and reaches to 89% in case where the two heat exchanger work with $30\text{m}^3/\text{h}$ volumetric flow rates of hot oil.

Fig.5; represents comparison between the masses of the two heat exchangers. The mass of new heat exchanger is always lower than the conventional heat exchanger in all volumetric flow rates of hot oil.

5.2.3 Pressure drop in heat exchanger

Fig. 6 shows the relation between the shell side pressure drop and volumetric flow rate of hot oil for new heat exchanger and conventional heat exchanger. The trend of this figure shows that increasing the hot oil flow rate causes an increase in its pressure drop component in two heat exchangers, but the pressure drop in the shell of the new heat exchanger is almost-still and falls about 85% with regard to that of shell-and-tube heat exchanger, as shown in **Table 4**.

The results in this table were obtained from the hydraulic design equations for the new and conventional heat exchangers.

5.2.4 Total power expenditure

Fig .7 shows the variation of the total power expenditure with volumetric flow rate of hot oil in the new heat exchanger.

The total power expenditure is negligible in new heat exchanger. The total friction power expenditure increases with the mass flow rate of the hot oil. The total power in the heat stream is minimal for the inner tube diameter 6/10 mm and do not exceed 0.037W of the heat exchanged by the hot oil mass flow rate designed $3.6\text{m}^3/\text{h}$ and reached to 7 W for $20\text{m}^3/\text{h}$.

6. CONCLUSION

- 1- The new heat exchanger is characterized with the heat transfer between three fluids, with its compactness and can be widened to the cross flow heat exchangers (simple-flow, parallel-flow and counter flow).
- 2- Optimizing a shell-and-double concentric tube heat exchanger lengthwise provides a considerable amount of savings in space and material when compared with a shell and tube heat exchanger with the same outer tube diameter of the double concentric-tubes and the shell diameter.
- 3- The length and mass of new heat exchanger are strongly dependent upon the diameters of tubes especially the inner tubes.
- 4- It is demonstrated that the relative diameter sizes of two tubes with respect to each other are the most important parameters that influence the new heat exchanger size.



- 5- The pressure drop in shell side of the new heat exchanger is lower than in the conventional heat exchanger.
- 6- The total power expenditure increases with increasing the flow rate of hot oil and its value in the new heat exchanger is very small and considered negligible.

REFERENCES

- Binay K.Dutta., 2009, *Heat Transfer Principles and Applications*, published by Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited.
- Bougriou, C., and Baadache, K., 2010, *Shell-and-Double Concentric Tube Heat Exchangers*. Heat and Mass Transfer, 46. PP.315-322.
- Chapman, A. J., 1984, *Heat Transfer*, Macmillan Publishing Company, 4th edition.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson, 1998, *Chemical Engineering*, Vol. 1, Butterworth-Heinemann, 5th Edition.
- Emad, Y. M., 2005, *Heat Transport Through a Corroding Metal Wall of concentric tube Heat Exchanger*", Ph.D. Thesis, Chem. Eng., Al-Nahrain University.
- Garci'a-Valladares, O., 2004, *Numerical Simulation of Triple Concentric Tube Heat Exchangers*, Privada Xochicalco S/N, Temixco, 62580 Morelos, Mexico, pp 980–991.
- Hewitt, G.F., et al 1994, *Process Heat Transfer*, CRC Press.
- John, E., Edwrads , 1998, *Design and Rating of Shell and Tube Hear Exchanger*, www.pidesgn.co.uk.pdf.
- Kern, D., 1999, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill.
- Nelson, W.L., 1958, *Petroleum Refinery Engineering*, McGraw-Hill, Inc.
- Perry, R.H., and Green, D., 1997, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 7th edition McGraw Hill.
- Ramesh, K., Shah and Dusan, P., Sekulic, 2003, *Fundamentals of Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons, Inc.
- Ray Sinnott, and Gavin Towler, 2009, *Chemical Engineering Design*, Butterworth-Heinemann, Vol.6, 5th Edition.
- Saunders, E.A.D, 1988, *Heat Exchanger Selection, Design and Construction*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.



- Shlünder, E., 1989, *Heat Exchangers Design Handbook*, Published by Hemisphere, New York, USA.

NOMENCLATURE

A_c = cross sectional area of the tube, m^2
 a_s = cross flow area at the shell, m^2
 B = baffle spacing, m
 C_p = specific heat, J/(kg K)
 D = diameter, m
 D_e = equivalent diameter on the shell-side, m
 D_s = shell inside diameter, m
 d = inner tube diameter, m
 d_{hs} = hydraulic diameter of the shell, m
 d_h = hydraulic diameter of the annulus, m
 F = corrective factor
 f = friction factor
 G_s = shell side mass velocity, $kg/m^2.s$
 h = heat transfer coefficient, $W/m^2.K$
 k = thermal conductivity, $W/m.K$
 U = overall heat transfer coefficient, $W/m^2.K$
 L = length of tube, m
 M = mass, kg
 m = mass flow rate, kg/s
 N_b = number of baffles
 N_t = total number of tubes
 N_{tp} = number of tubes per pass
 p = tube pitch, m
 P_T = total power expenditure, W
 Δp = pressure drop, Pa
 Q = volumetric flow rate, m^3/h
 q = heat transfer rate, W
 R = dimensionless temperature ratio
 S = dimensionless temperature ratio
 S_a = exchange surface, m^2
 T = temperature, $^{\circ}C$
LMTD = log-mean temperature difference, $^{\circ}C$
 u = fluid velocity, m/s

GREEK SYMBOLS

δ Thickness, m
 μ Dynamic viscosity, Pa s
 ρ Density, kg/m^3

**DIMENSIONLESS NUMBERS**

Nu Nusselt number: $Nu = h d/k$

Pr Prandtl number: $Pr = \mu C_p/k$

Re Reynolds number: $Re = \rho u d/\mu$

SUBSCRIPTS

| | |
|------|---|
| 1 | Hot oil (shell side), outer |
| 2 | Water, inner |
| 3 | Hot oil (inner tube) |
| 12 | Shell and annulus |
| 23 | Annulus and inner tube |
| s | Shell |
| h | Hydraulic |
| i | Inlet |
| io | Hot oil |
| o | Outlet |
| st | Shell-and-tube heat exchanger |
| sdct | Shell-and-double concentric-tube heat exchanger |
| w | wall |

Table 1. At 110°C inlet temperature of oil, 80 l/min flow rate of cold water and 20°C inlet temperature of cold water.

| Flow of oil inlet (l/min) | Temp of oil outlet (°C) | Temp of water outlet (°C) | P _i of oil shell (kPa) | P _o of oil shell (kPa) | P _i oil of inner tube (kPa) | P _o oil of inner tube (kPa) | P _i water Annulus (kPa) | P _o water Annulus (kPa) |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|------------------------------------|------------------------------------|
| 60 | 59 | 29 | 52 | 50.49 | 50.3 | 28.9 | 83 | 72 |
| 55 | 57 | 28 | 49.3 | 48.13 | 45.5 | 27.5 | 83 | 72 |
| 50 | 55 | 27 | 46 | 45.11 | 40.7 | 26.6 | 83 | 72 |
| 45 | 53 | 26 | 42 | 44.32 | 36.6 | 25 | 83 | 72 |
| 40 | 51 | 26 | 37.2 | 36.68 | 33.1 | 24.1 | 83 | 72 |
| 35 | 50 | 25.5 | 32 | 31.62 | 28.25 | 21.35 | 83 | 72 |



| | | | | | | | | |
|----|----|------|------|-------|------|------|----|----|
| 30 | 49 | 25 | 26.5 | 26.21 | 25.2 | 19.7 | 83 | 72 |
| 25 | 47 | 24 | 21.8 | 21.59 | 20.3 | 16.2 | 83 | 72 |
| 20 | 45 | 23.5 | 17 | 16.83 | 15.2 | 12.4 | 83 | 72 |

Table 2. Length of heat exchanger values.

| Volumetric flow rate (m ³ /h) of hot oil | Length of new heat exchanger (m) | Length of conventional heat exchanger (m) |
|--|-------------------------------------|--|
| 2 | 0.88 | 1.37 |
| 3.6 | 1.08 | 1.76 |
| 4 | 1.18 | 1.86 |
| 6 | 1.33 | 2.16 |
| 8 | 1.46 | 2.43 |
| 10 | 1.62 | 2.71 |
| 20 | 2.12 | 3.68 |
| 30 | 2.53 | 4.47 |
| 40 | 2.96 | 5.08 |

**Table 3.** The masses of the two heat exchangers.

| Volumetric flow rate (m ³ /h) of hot oil | Length of conventional heat exchanger (m) | Mass of conventional heat exchanger (kg) | Length of new heat exchanger (m) | Mass of new heat exchanger (kg) |
|---|---|--|----------------------------------|---------------------------------|
| 2 | 1.37 | 81 | 0.88 | 52 |
| 3.6 | 1.76 | 93.4 | 1.08 | 63.9 |
| 4 | 1.86 | 100 | 1.18 | 69.8 |
| 6 | 2.16 | 128 | 1.33 | 78.7 |
| 8 | 2.43 | 144 | 1.46 | 86 |
| 10 | 2.71 | 160 | 1.62 | 95 |
| 20 | 3.68 | 218 | 2.12 | 125 |
| 30 | 4.47 | 265 | 2.53 | 140 |
| 40 | 5.08 | 301 | 2.96 | 175 |

Table 4. The pressure drop in shell side for the two heat exchangers.

| Volumetric flow rate (m ³ /h) of hot oil | Pressure drop in shell in new H.E (kPa) | Pressure drop in shell in conventional H.E (kPa) |
|---|---|--|
| 2 | 0.3 | 1.6 |
| 3.6 | 1.25 | 7.2 |
| 4 | 1.5 | 9.5 |
| 6 | 3.2 | 19.2 |
| 8 | 6.4 | 37.2 |
| 10 | 10.5 | 61.3 |
| 20 | 47.5 | 287 |
| 30 | 117.3 | 703 |

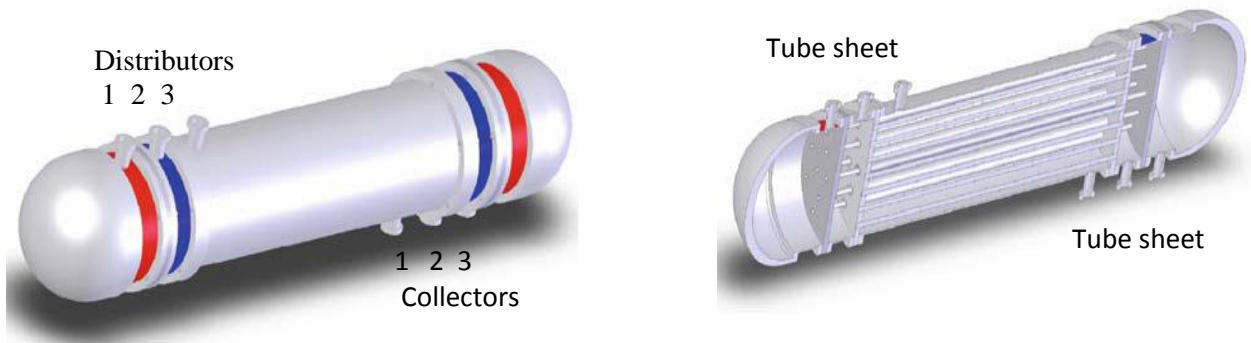


Figure 1. Perspective view and longitudinal section of the shell-and-double concentric-tube.



Figure 2. The concentric tubes.



Figure 3. All components of test rig.

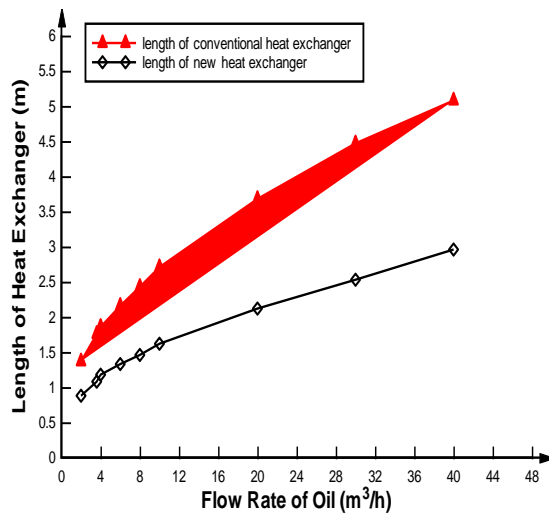


Figure 4. Length variation of the two heat exchangers with volumetric flow rate for hot oil.

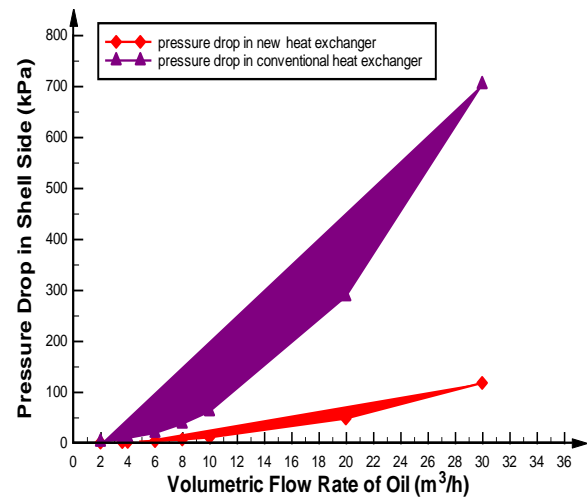


Figure 6. Variation of the shell side pressure drop with volumetric flow rate of hot oil for the new and conventional heat exchangers.

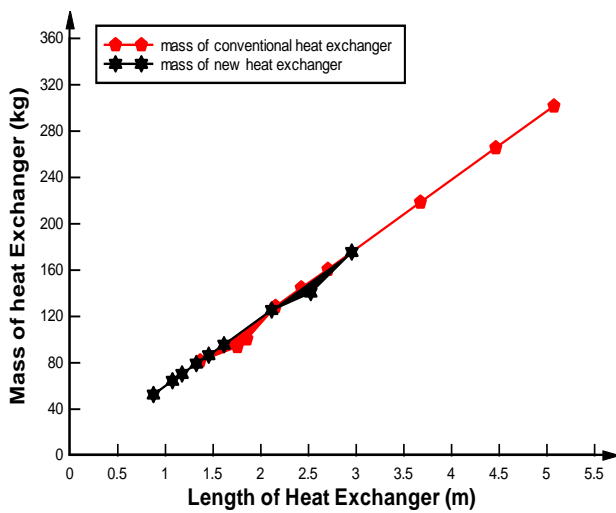


Figure 5. Variation the masses of the two heat exchangers with its length.

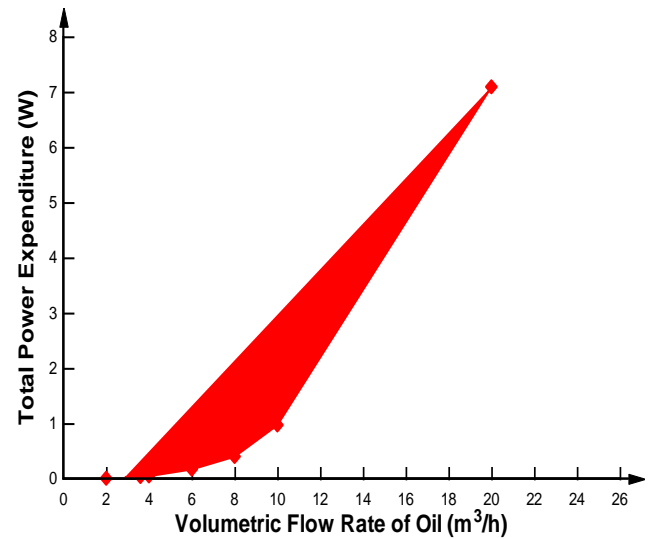


Figure 7. Variation of the total power Expenditure with volumetric flow rate of hot oil for the new heat exchanger.



APPENDIX SAMPLE OF CALCULATIONS

Conventional Heat Exchanger

The heat exchanger serves for cooling a flow of oil (forty stock) $Q_1 = 3.6 \text{ m}^3 / \text{h}$ of $T_{i1} = 110^\circ \text{C}$ to $T_{o1} = 60^\circ \text{C}$ with water flowing in the tubes of $T_{i2} = 20^\circ \text{C}$ to $T_{o2} = 30^\circ \text{C}$. The thermo physical properties of the oil for an average temperature of 85°C are as follows: $\rho_1 = 822 \text{ kg} / \text{m}^3$, $Cp_1 = 2135 \text{ J} / \text{kg.k}$, $K_1 = 0.1299 \text{ W} / \text{m.k}$ and $\mu_1 = 3.97 \times 10^{-4} \text{ pa.s}$, **Nelson, 1958**.

The thermo physical properties of water for an average temperature of 25°C are as follows: $\rho_2 = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$, $Cp_2 = 4180 \text{ J} / \text{kg.k}$, $K_2 = 0.607 \text{ W} / \text{m.k}$ and $\mu_2 = 8.9 \times 10^{-4} \text{ pa.s}$. **Perry, and Green, 1997**.

The heat exchanger is constituted of a bundle of $N_t = 16$ steel tubes of thermal conductivity $K_w = 50 \text{ W} / \text{m.k}$, of diameters inside/outside (D_2/D_1) of 20/25 mm, in the normal triangular pitch $p = 31.25 \text{ mm}$.

The heat exchanger has two passes. The shell has a diameter $D_s = 203 \text{ mm}$ and possesses baffles of thickness $\delta = 6 \text{ mm}$ spaced by a distance $B = 60 \text{ mm}$. The free section left with baffles is of 25%.

To determine the tubes length:

Mass flow rate m_1 of the hot oil is:

$$m_1 = \frac{3.6 \times 822}{3600} = 0.822 \text{ Kg} / \text{s} \quad (6)$$

The exchanged heat flux is:

$$q = m_1 Cp_1 (T_{i1} - T_{o1}) = 87748.5 \text{ W} \quad (7)$$

Mass flow rate m_2 of the water is:

$$m_2 = \frac{q}{Cp_2 (T_{o2} - T_{i2})} = 2.10 \text{ Kg} / \text{s} \quad (8)$$

Volumetric flow rate of water is:

$$Q = 7.56 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (9)$$

For counter flows the logarithmic mean temperature difference from Eq. (3) as:

$$LMTD = \frac{(110 - 30) - (60 - 20)}{\ln \frac{(110 - 30)}{(60 - 20)}} = 57.7^\circ \text{C}$$

The values of temperature ratio are:



$$R = \frac{(110 - 60)}{(30 - 20)} = 5 \quad (10)$$

$$S = \frac{(30 - 20)}{(110 - 20)} = 0.11$$

The corrective factor F of the logarithmic mean temperature difference, corresponding to the calculated values of R and S and from, **Kern, 1999** is:

$$F = 0.98$$

The cross sectional area of the tube is, **Binay, 2009**:

$$A_c = \frac{3.14}{4} \times (0.02)^2 = 3.14 \times 10^{-4} m^2 \quad (11)$$

The velocity of the water in tubes is:

$$u_2 = \frac{2.10}{1000 \times 8 \times 3.14 \times 10^{-4}} = 0.835 m/s \quad (12)$$

The calculation of the Reynolds number and the Prandtl number:

$$Re_2 = \frac{1000 \times 0.835 \times 0.02}{8.9 \times 10^{-4}} = 18764$$

and

$$Pr_2 = \frac{8.9 \times 10^{-4} \times 4180}{0.607} = 6.13$$

By using the Colburn Equation, the Nusselt number is:

$$Nu_2 = 0.023(18764)^{0.8} (6.13)^{0.33} = 109.7 \quad (14)$$

The heat transfer coefficient from Equation below is:

$$h_2 = \frac{109.7 \times 0.607}{0.02} = 3329.4 W/m^2.k \quad (15)$$

The shell equivalent diameter for triangular pitch is, **Ray Sinnott, and Gavin Towler, 2009**:

$$D_e = 0.0176 m$$

The bundle cross flow area is:



$$a_s = \frac{0.203 \times 0.06 \times 0.00625}{31.25 \times 10^{-3}} = 0.0024 m^2 \quad (16)$$

The shell side mass flow rate is calculated from Equation as:

$$G_s = \frac{0.835}{0.0024} = 347.9 kg / m^2 .s \quad (17)$$

The heat transfer coefficient in shell side is calculated as:

$$h_1 = 992.2 W / m^2 k \quad (18)$$

The overall heat transfer coefficient is, **Binay, 2009**:

$$U = \frac{1}{\frac{0.02}{0.025 \times 992.2} + \frac{0.02}{2 \times 50} \ln \frac{0.025}{0.02} + \frac{1}{3329.4}} = 874.12 W / m^2 k \quad (19)$$

The surface area of the heat exchanger is:

$$A = 1.77 m^2 \quad (20)$$

The length of the heat exchanger is calculated:

$$L = 1.76 m \quad (19)$$

The mass of conventional heat exchanger is, **Bougriou, and Baadache, 2010**:

$$M_{st} = 93.4 kg \quad (20)$$

4.2 The New Heat Exchanger

The same data of the conventional heat exchanger are used. In this case, one adds concentrically in each tube of diameters (D_2/D_1) of 20/25 mm a tube of diameters (d_2/d_1) of 6/10 mm.

Inner Tubes Side Calculation

The inner flow cross sectional area of the inner tubes is calculated as:

$$A_{e3} = \frac{3.14}{4} (0.006)^2 = 0.000028 m^2 \quad (22)$$

The mass flow rate of oil circulating inside the inner tubes is:

$$m_3 = 0.822 Kg / s \quad (23)$$

The velocity of oil inside inner tubes is:



$$u_3 = 2.23 \text{ m/s} \quad (24)$$

Inner Tubes Side Nusselt Number and Heat Transfer Coefficient

By using the Colburn Equation, the Nusselt number is, **Hewitt, G.F., et al 1994**:

$$Nu_3 = 0.023(27702.7)^{0.8} (6.52)^{0.33} = 153 \quad (25)$$

The heat transfer coefficient is:

$$h_3 = \frac{153 \times 0.1299}{0.006} = 3312.45 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (26)$$

Shell Side Calculation

The shell side mass flow rate is calculated from Eq.(17) as:

$$G_s = \frac{0.411}{0.0024} = 171.25 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Shell Side Heat Transfer Coefficient

The heat transfer coefficient is:

$$h_1 = \frac{91 \times 0.1299}{0.0176} = 671.64 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (27)$$

Annulus Side Calculation

The flow cross sectional area of the annulus passages is calculated from equation below:

$$A_{c2} = \frac{3.14}{4} ((0.02)^2 - (0.01)^2) = 2.35 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (28)$$

The velocity of water in annulus flow passages is:

$$u_2 = \frac{2.10}{1000 \times 2.35 \times 10^{-4} \times 8} = 1.117 \text{ m/s} \quad (29)$$

The equivalent diameter of the annulus is calculated as, **Emad, 2005**:

$$d_h = 0.02 - 0.01 = 0.01 \text{ m} \quad (30)$$



Annulus Side Nusselt Number and Heat Transfer Coefficient

By using the Colburn equation, the Nusselt number is, **Chapman, 1984**:

$$Nu_2 = 0.023(12550)^{0.8} (6.13)^{0.33} = 79.5 \quad (31)$$

The heat transfer coefficient is:

$$h_2 = \frac{79.50 \times 0.607}{0.01} = 4825.65 W / m^2 .k \quad (32)$$

Overall Heat Transfer Coefficient

Overall heat transfer coefficient (U_{12}) between (the fluid in the shell side and fluid in the annulus passage) is calculated as:

$$U_{12} = \frac{1}{\frac{0.020}{0.025 \times 671.64} + \frac{0.02}{2 \times 50} \ln \frac{0.025}{0.02} + \frac{1}{4825.65}} = 744 W / m^2 k \quad (33)$$

Overall heat transfer coefficient (U_{23}) between (the fluid in the annulus passage and the fluid in the inner tube side) is calculated as:

$$U_{23} = \frac{1}{\frac{0.006}{0.01 \times 4825.65} + \frac{0.006}{2 \times 50} \ln \frac{0.01}{0.006} + \frac{1}{3312.45}} = 2222.2 W / m^2 k \quad (34)$$

Length of the Heat Exchanger

The double concentric tubes length in the shell is calculated as:

$$L = 1.08 m \quad (35)$$

Inner Tubes Side Pressure Drop Calculation

The inner tube side pressure drop is calculated as, **Shlünder, E., 1989**:

$$\Delta P_3 = \left(4 \times 0.024 \times \frac{1.08 \times 2}{0.006} + 4 \times 2 \right) \frac{822 \times (2.23)^2}{2} = 35 kPa \quad (36)$$

Shell Side Pressure Drop Calculations

The hydraulic diameter of the shell is calculated as, **Bougriou, and Baadache, 2010**:



$$d_{hs} = 0.025 \left(\frac{3.46}{3.14} \left(\frac{31.25 \times 10^{-3}}{0.025} \right)^2 - 1 \right) = 0.018 m^2 \quad (37)$$

The pressure drop is calculated as:

$$\Delta P_1 = \frac{0.32 \times (171.25)^2 (18 + 1) \times 0.203}{2 \times 822 \times 0.018} = 1.25 kPa \quad (38)$$

Annulus Side Pressure Drop Calculation

The annulus side pressure drop is calculated as:

$$\Delta P_2 = \left(4 \times 0.029 \times \frac{1.08 \times 2}{0.01} + 4 \times 2 \right) \frac{1000 \times (1.117)^2}{2} = 9 kPa \quad (39)$$

The Total Power Expenditure

The total power expenditure of the new heat exchanger is, **García-Valladares, 2004**:

$$P_T = \frac{0.411 \times 1.25}{822} + \frac{2.10 \times 9}{1000} + \frac{0.411 \times 35}{822} = 0.037 W \quad (40)$$

The Mass of Heat Exchanger

The mass of shell and double concentric tubes heat exchanger is:

$$M_{sdc} = 63.9 kg \quad (41)$$

A Visual Interface Design for Evaluating the Quality of Google Map Data for some Engineering Applications

Dr. Mouayed Y. Ahmed

Assistant Professor
Department of Surveying
College of Engineering
University of Baghdad

Dr. Maythm al-Bakri

Lecturer
Department of Surveying
College of Engineering
University of Baghdad

Email: m.m.m.s.albakri@gmail.com

Luma Layth Abedulridha

Department of Surveying
College of Engineering
University of Baghdad

Email: luma_laith90@yahoo.com

ABSTRACT

Today, there are large amounts of geospatial data available on the web such as Google Map (GM), OpenStreetMap (OSM), Flickr service, Wikimapia and others. All of these services called open source geospatial data. Geospatial data from different sources often has variable accuracy due to different data collection methods; therefore data accuracy may not meet the user requirement in varying organization. This paper aims to develop a tool to assess the quality of GM data by comparing it with formal data such as spatial data from Mayoralty of Baghdad (MB). This tool developed by Visual Basic language, and validated on two different study areas in Baghdad / Iraq (Al-Karada and Al- Kadhumiyah). The positional accuracy was assessed by adopting National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA). The evaluation procedure also involved one and two-sample t-test to analyze and compare the accuracy of two study areas. The findings found that the NSSDA accuracy of case study one was 15.48 m, while it was 8.71 m for case study two. This indicated that the accuracy of the GM data is different from site to site. The results also showed that the difference on mean was 6.16 m, which indicated that there is a difference in GM accuracy in different areas. It was concluded that the GM data is inappropriate for engineering applications that require high accuracy, but may be appropriate for applications that need low accuracy such as the primarily surveying of engineering design projects, tourism and reconnaissance....etc.

Key words: data quality, positional accuracy, VGI, formal data, Google Map Maker.

تصميم برنامج لتقييم جودة بيانات Google map لبعض التطبيقات الهندسية

لمى ليث عبد الرضا
قسم هندسة المساحة
كلية الهندسة / جامعة بغداد

م.د. ميثم مطشر شرقي
قسم هندسة المساحة
كلية الهندسة / جامعة بغداد

أ.م.د. مؤيد ياسين احمد
قسم هندسة المساحة
كلية الهندسة / جامعة بغداد

الخلاصة

ظهرت في الأونة الاخيرة كميات كبيرة من البيانات الجغرافية المكانية المتاحة على شبكة الإنترنت مثل خدمة (Open Source Google Map, OpenStreetMap, Yahoo imagery Data) على هذه الخدمات تكون البيانات الجغرافية المنتجة من مصادر مختلفة عادةً بمستويات دقة متباينة بسبب اختلاف طرق جمع البيانات، وهذا بدوره قد لا يلبي متطلبات المستخدمين للتطبيقات المختلفة.

يهدف هذا البحث إلى تصميم وانتاج برنامج لتقييم دقة مواقع البيانات المنتجة من (Google Map (GM) لأغراض التطبيقات الهندسية ، هذا البرنامج تم تطويره باستخدام لغة البرمجة (Visual Basic) من أجل مقارنة مدى قرب أو بعد البيانات المنتجة من (GM) مع تلك البيانات المنتجة من المصادر الرسمية مثل أمانة بغداد. يحتوي هذا البرنامج على ثلاثة مراحل رئيسية: إدخال البيانات، التحليل والاستنتاج، اخراج النتائج على شكل تقرير.

طبق هذا البرنامج على منطقتي دراسة في العراق/ بغداد (الكرادة و الكاظمية) من أجل التحقق فيما إذا كانت بيانات GM تمتلك دقة متماثلة في مناطق دراسة مختلفة. لقد صمم البرنامج لتقييم الدقة الموضوعية (positional accuracy) بالاعتماد على معيار (National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) وبالاعتماد على threshold value لقبول أو رفض النتائج. صممت الواجهة الرئيسة للبرنامج بحيث إذا أريد تقييم positional accuracy لأي مجموعة بيانات من (مصدر رسمي وغير رسمي) فإن البرنامج يطلب إستدعاء البيانات ويسأل عن threshold value وحدود الثقة (confidence interval) و (significance of level (p-value) من أجل التحليل الإحصائي. لقد أشارت النتائج أن دقة NSSDA لمنطقة الدراسة الأولى كانت 15.48 m ، بينما لمنطقة الدراسة الثانية كانت 8.71m. هذا يدل على أن دقة خرائط GM متباينة من منطقة إلى أخرى ومن خلال تطبيق الأسلوب الإحصائي two-sample t-test وجد إن الفرق في الدقة لمنطقة الدراسة الثانية عن منطقة الدراسة الأولى يساوي 6.16 m ومن خلال ذلك ، تم الاستنتاج إلى ان دقة خرائط GM غير ملائمة للتطبيقات الهندسية عالية الدقة ولكن قد يمكن أن تستخدم للتطبيقات ذات المساحات الصغيرة و المقاييس الكبيرة وكذلك تحديد المواقع الأولية لمسارات الطرق والتي عادة ما يتم تحديدها قبل عملية التصميم والتي قد تحتاج دقة موضوعية تتراوح ما بين 5- 50 m . كما يمكن استخدامها أيضا لأغراض السياحة والاستطلاع.... وغيرها.

1. INTRODUCTION

Recent development of geospatial data collection technologies and the growth of the World Wide Web (WWW) (e.g. web 2.0) for different applications have led to a massive increase in the amount of geospatial data on the Internet, **Cartwright, 2008**. The evolution of the Web 2.0 service enables users to produce and share, download, embed and add information from different online data sources. In literature, different definitions have been suggested to describe data on web. For instance, One of the first people to define geospatial data on web was **Goodchild, 2007**, who proposed Volunteered Geographic Information (VGI) to identify spatial data which is collected and distributed on Internet. **Turner, 2006**, defined this technology as 'Neogeography' which consists of a set of techniques and tools that fall outside the realm of traditional Geographic Information Systems GIS. The term 'Neogeography' was also used by **Flanagin and Metzger, 2008**, to refer to non-traditional GIS techniques that produce geography data without geographers. **Howe, 2006**, used the term 'crowdsourcing' to define geospatial data on web. Although crowdsourcing not specifically referring to geographical data. This definition is close to those of **Antoniou, et al., 2010**, used the term 'User-Generated Content' (UGC) to refer to various types of media content which are publicly produced available on web. The general idea of different descriptions of data on Internet was on how to use the Internet to create, share, and analyze geographic information via multiple computing devices/platforms (traditional desktops, iPads, or smart phones), **Haklay, et al., 2008**.

Today there are a wide range of geospatial data sources available on the Internet such as the Google Map service, the OpenStreetMap (OSM) project, the Flickr service, the interactive Wikimapia website, Yahoo imagery and others. Web mapping have continuously evolved with the time and all of these services have been called Collaborative Maps. All of this new information is open source geospatial data; therefore it is a legitimate topic for accuracy assessment. Accuracy assessment is a problem for information in general and geographical information in particular. Hence, it becomes a major issue with increased available data on the web. In this research Google Map data has been chosen in order to evaluate its positional accuracy for engineering applications. Different techniques and procedures were followed and applied to evaluate GM quality as will be illustrated in the following sections.

2. PREVIOUS RESEARCH ON VGI DATA QUALITY ASSESSMENT

In order to assess the quality of open source data to determine the appropriate usage for such geographical Information System (GIS) processing, it is necessary to identify different elements of spatial data quality, **Delavar, and Devillers, 2010**. These elements include: positional accuracy, attribute accuracy, temporal accuracy, logical consistency and completeness. In addition, there are other three elements of non-quantitative quality: purpose, usage, and lineage, as shown in **Fig 1**. Recently, with increasing geospatial data on the Internet, several researches have shown an increased interest in assessing the quality of open source data. For example, **Haklay, 2010**, examined positional and completeness accuracy of VGI data by comparing OSM data with Ordnance Survey (OS) reference dataset in London /UK. The buffering technique was adopted to assess the positional accuracy and the results indicated that there is a slight difference between OSM and OS datasets, while the completeness analysis indicated that there are omission and commission in OSM dataset.

Ather, 2009, assessed positional accuracy of OSM data. The analysis was performed by comparing the motorways data of OSM project with those formal OS Master Map Integrated Transport Network (ITN) layer. The methodology was essentially based on buffer analysis datasets. The results of this study found that the positional accuracy of OSM data is close to OS Master Map dataset. Further quality tests were also conducted in terms of the number of users per area and road name attribute completeness. Also it showed a positive correlation between road name attribute completeness and number of users per area. Another study on VGI data quality assessment was carried out by **Kounadi, 2009**, evaluated OSM data in Athens, Greece. The quality analysis was achieved on positional accuracy, the completeness and thematic accuracy of OSM road Network. The OSM data was compared with the Hellenic Military Geographical Service (HMGS) data which is the official cartographic service in Greece. The results found that the positional accuracy of OSM data is accepted when compared to HMGS data.

Analysis of VGI data quality was also achieved by **Ciepluch, et al., 2010**. The comparison was among data from GM, OSM, and Bing Maps (BM) in Ireland. Towns were chosen for these comparisons for five case studies. The accuracy was evaluated under three main headings: completeness, currency of the spatial information and ground-truth positional accuracy. The results found that the OSM project has shown many positive and negative characteristics in terms of providing a comprehensive mapping resource in Ireland. On the other hand, deduces that the OSM and GM projects provide the update and current road configuration, Unlike BM which estimate the data in more than one year old. In another major study, **Zielstra, and Zipf, 2010**, investigated the completeness of OSM data in Germany by comparing it with the TeleAtlas data. This work extended the studies from England by **Haklay, 2010** and **Ather, 2009**. The results showed that the geospatial data has been continues growth to freely available compared to open source spatial data in the past few years. Furthermore, the results indicated that there is still a very strong heterogeneity of OSM data in a terms of completeness .The tests showed that the larger cities is more complete than the medium –sized cities which can be indicate that the people of large cities is more interested on VGI.

Hochmair, and Zielstra, 2012, used other examples of open source data which facilitate the sharing of VGI in form of geotagged images. This measurement was conducted of 211 Flickr and Panoramio images distributed throughout six urban areas in Germany by comparing the geotagged position of photos to the position from where the photos were most likely taken. The results revealed that the Flickr provided less accurate position information than Panoramio image. In a study which set out to determine VGI data quality, **Jackson, et al., 2013**, tested VGI quality in North America. The focus was on completeness and spatial error of linear feature such

as roads and walkways and point features. They used three data sources: Federal government Oak Ridge National Laboratory (ORNL) as a reference data source, OSM data, and Open Street Map Collaborative Project (OSMCP) which is product of United State Geological Survey (USGS). The finding showed that the automated matching methods of OSMCP data with reference data source were more accurate than OSM data with ORNL datasets. While manual matching of OSM data with ORNL datasets were more accurate than OSMCP data with ORNL datasets. The main reason for that is due to the collection methods. The OSM data do not include the quality control processes, unlike the collection methods for OSMCP undergoes to government control.

Most of these researches focused on assessing the quality of OSM project. Therefore, the current study has chosen Google Map data, as another source for open data on a web, to study and analyze its quality such as positional accuracy measurement.

3. THE PROPERTIES OF GOOGLE MAP DATA

Google Map (GM) is a project designed to create and provide spatial data on Internet for free (non-commercial usage). It includes many map-based services such as the Google maps website, Google Transit (GT), Google Ride Finder (GRF), and maps embedded of the three websites types via the Google Maps API, **Books, and Wikipedia, 2010**. For some countries around the world, online spatial data is unavailable therefore Google has decided to open up Google Maps data through Google Map Maker (GMM) service. Google Map Maker is a Google Maps service that allows user to add or edit features, such as (roads, Points of Interest (also called POIs such as restaurants, banks, hotels, etc.) and polygons). Google Map Maker is a service launched by Google in June 2008, as a way to support the improvement of existing Google map data through the expert knowledge of local citizens. It's also a proprietary project; the GMM data can be downloaded for only 216 countries, **Google Map Maker, 2013**, as presented in **Fig. 2**.

When seeing the dynamic nature of Google Maps, one might think there is something magical going on under of dynamic nature. However, there's really nothing magical about it, it's just Hyper Text Markup Language (HTML), Cascading Style Sheets (CSS), and JavaScript working together. Google Maps presented new concept in sense of content and interactivity, which is beginning in 2005. The concept is based on the AJAX (asynchronous JavaScript and XML) which implies possibility of adding additional information on map by using a free access of programming code called Application Programming Interface (API), **Svennerberg, and Drimmie, 2010**. An API is a set of programming instructions and standards for accessing a Web-based software application or Web tool. API is available for use by programmers in form of coding in some of scripting programming languages, such as PHP, ASP.NET, or ColdFusion. The API sends information about the new coordinates and zoom levels of the map in Ajax calls that return new images, **Garrett, 2005**. Google Map helps people to navigate map information. The GM interface is simple, intuitive, and easy to use. It consists of several user controls for managing or monitoring the map, such as zoom control, scale, and gets point-to-point driving directions, **Kanduri, 2012**.

Google Map data depends on Universal Transfer Marketer Projection (UTM). When the earth is perfectly spherical, the projection would be the same as the Mercator. Google Maps uses the formula for the spherical Mercator, but cannot show the poles. Unlike Google Earth (GE) coordinates system have 3D, the GM coordinates system have only 2D, **Books, and Wikipedia, 2010**. The coordinates system used in GM is the World Geodetic System 84 (WGS84), which is the same system of the Global Positioning System (GPS). The coordinates are expressed using latitude and longitude. **Gibson, and Erle, 2006** mentioned that the property of Mercator

Projection (MP) of GM. It treats all lines of latitude as being perpendicular to all lines of longitude, and the MP conserves angles across local areas on the map, which is making it suitable for guiding navigation. Indeed this is one major reason of the Mercator projection continues to be used after 300 year, on the despite its tendency to distort the areas around the poles.

4. SITES OF THE STUDY

In this study two different study areas were chosen located in Al-Karada-Baghdad/Iraq and Al- Kadhumiyah-Baghdad/Iraq, as shown in **Fig. 3** (a and b). The main reason for this choice was to compare the positional accuracy of GM data in two different areas. In order to assess the positional accuracy, the preparation of the datasets was included selecting a well-defined points in tested datasets such as road intersection, building corners...etc. The selected points have the same coordinate systems and same projections in both tested and reference datasets. The number of tested points and area of two case studies are shown in **Table 1**. Geospatial dataset for two study areas were obtained from Mayoralty of Baghdad (MB), department of Geographic Information System (GIS) and Google Map (GM). The dataset were shapefiles and included several layers such as parcels, main road networks, street road networks, municipality boundaries, private and public buildings. The points were extracted for the edge of parcels and centerlines of the roads which provided into two datasets as can be seen from **Table 1**.

5. STATISTICAL METHOD FOR EVALUATING POSITIONAL DISCRIPENCY

One of the major concerns of geospatial data is accuracy. Positional accuracy of data may be far more important from other elements of quality to give users the position correctly. Accuracy can be grouped into two main categories: qualitative and quantitative. Also positional accuracy can be divided into two types: horizontal and vertical accuracy of a map or geospatial datasets, **Congalton, and Green, 2009**. Many organizations have established standards in a variety of ways as national or international standards. It can be used for the positional accuracy assessment, **Taupier, et al., 1999**. Most standards were designed in order to describe GIS data quality. The Spatial Data Transfer Standard (SDTS) from the American National Standards Institute (ANSI), for example, was approved in 1998 and considered five aspects of Geographic Information (GI) quality: lineage, positional accuracy, attribute accuracy, logical consistency and completeness. National Map Accuracy Standards (NMAS) was revised in 1947 in order to set standards of planimetric accuracy for paper maps, Accuracy Standards of Large Scale Maps, the Engineering Map Accuracy Standard (EMAS), **Congalton, and Green, 2009**. These standards were helpful but not specifically designed for digital geospatial data. Therefore, a more comprehensive standard was needed, due to the fact that geospatial data can be easily manipulated formats output, and reproduced at varying scales. In 1998, a committee of the Federal Geographic Data Committee (FGDC) developed and formed the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA). This standard enabled users to test and analyze positional accuracy of digital datasets, with respect to ground geospatial data of higher accuracy.

The NSSDA presents guidelines for the distribution of tested points. It assumed that the area to be evaluated is a rectangle. The tested area is divided into four quadrants and a diagonal is to be established across the area. Tested points should be spaced at interval of at least 10 percent of the diagonal. At least 20 percent of tested points are to be located in each quadrant. In addition, the minimum number of tested points should be no less than 20 well-defined points in order to evaluate the accuracy of the datasets. The NSSDA is index of relative horizontal accuracy which is tested at the 95% confidence interval, and it can be calculated as shown in Eqs. (1) and (2):

$$RMSE_E = \sqrt{\sum_i^n (E_d - E_c)^2} / n, \quad RMSE_N = \sqrt{\sum_i^n (N_d - N_c)^2} / n \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (\delta E_i)^2 + (\delta N_i)^2)} / n \quad (2)$$

n : The number of tested points,

E_d, N_d : The coordinates of formal dataset,

E_c, N_c : The coordinates of tested dataset, and

$\delta E_i^2, \delta N_i^2$: The differences in easting and northing for i^{th} check points, between formal and tested datasets.

The NSSDN accuracy can be computed for two cases as shown in Eqs. (3) and (4):

If $RMSE_E = RMSE_N$, then

$$RMSE_r = \sqrt{2(RMSE_E)^2} = \sqrt{2(RMSE_N)^2}, = 1.7308 * RMSE \quad (3)$$

If $RMSE_x \neq RMSE_y$, then

$$NSSDA \text{ Accuracy} = 2.4477 * 0.5 * (RMSE_E + RMSE_N) \quad (4)$$

In this research, tests were undertaken applying the NSSDA methodology to examine and analyze the relative positional discrepancies of tested points in both study areas. **FigS. 4 and 5** show the distribution of tested points according to NSSDA methods.

6. PROGRAM DESIGN FOR IMPLEMENTING RESEARCH METHODOLOGY

A visual tool interface or graphical user interface (GUI), by using Visual Basic Language, was implemented and designed to assess the quality of Google Map (GM) data. The intention was to create a user-friendly interface incorporating quantitative and visual analysis of GM dataset. The workflow of the designed program is illustrated in **Fig. 6**. By using designed interface, there are three main steps to determine and analyze positional accuracy, as shown in **Fig. 7**. First, data can be imported as a text file (.txt) for the coordinates of tested points. Second, the comparison and analysis of tested datasets will start by applying the methodology of this research. Third, output results (graphs and quantities values) can be exported and saved as a report.

After loading coordinates data, one can select positional accuracy assessment option from the main program interface. A window will appear to assess the positional accuracy of case study one, as illustrated in **Fig. 8**. This window has many options: Back, Run, Next, Export output, and Diagrams. These options can be used based on the needs of users. From **Fig. 8**, one can notice that the positional descriptive statistics are reported numerically, also box plot to represent t-distribution of different in easting, northing, and Euclidian distance of tested points. In addition, remarks to accept or reject the outcomes of case study one. Similarly, **Fig. 9** shows interface for evaluating the positional accuracy of case study two.

In this research, two-sample t-test was also adopted to compare the mean of the accuracy of GM data in two sites, as presented in **Fig. 10**.

7. POSITIONAL ERROR CHARACTERIZATION

The examination of positional error was conducted in a number of ways to determine the quality of Google Map (GM) data. Firstly, basic descriptive statistics were determined including mean, median, minimum, maximum, standard deviation, variance, and inter-quartile range. Secondly, statistical significance was analyzed using one-sample t-tests to investigate the relationship between GM data and Mayoralty of Baghdad (MB) data. In addition, a comparison between the two study areas was undertaken by applying two-sample t-test. Thirdly, boxes plot were created to interpret the outcomes.

Table 2 provides a comparison of the descriptive statistics of the differences in Easting and Northing (E, N) of case study one (Al-Karada-Baghdad). The mean errors of the sample were (1.016,-9.851) of differences in (E, N) respectively. The median errors were (0.888,-10.866) of differences in (E, N) respectively. From the table below, one can also see that the median value are smaller than the mean values which indicates that the distribution of differences of E could be normal. The standard deviation values were (2.033, 3.256) of differences in (E, N) respectively. A low standard deviation indicates that the tested points tend to be very close to the mean; while a high standard deviation indicates that the tested points are spread out over a large range of values. The mean and standard deviation are very important parameters for distribution of measurement values for normal distribution. In this research, the mean and standard deviation values are almost close to each other and which indicates that they are subject to be normal distributed. Similar observations can be made for the tested data of case study two (Kadhumiyah-Baghdad), as shown in **Table 3**.

As mentioned earlier, one-sample t-test was also applied to calculate the error values between reference and tested datasets. In one-sample t-test, the null hypothesis should be stated as ($H_0: \mu_1 = \mu_2$): where μ_1 is the mean of the first dataset (case study one), and μ_2 is the mean of the second dataset (case study two). On the other hand, the alternative hypothesis should be stated as ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$). For this project there are two values to accept or reject the null hypothesis: t-critical and p-value. the null hypothesis (H_0) assumed to be a smaller or equal to 0.6 depending on the accuracy of MB, While the alternative hypothesis (H_1) suggested to be greater than 0.6. The critical value usually obtains from the t- distribution. If the t-value falls within the non-rejection region, the null hypothesis at 95% CI cannot be rejected. It should reject the alternative hypothesis when t-value falls into the area of the rejection region. Whereas, P-value referred to significance level, it is used as a standard for accepted and rejected the null hypothesis, **Black, 2011**. For this study, 95% CI was applied according to NSSDA approach whereas P-value was 0.05. The findings in **Table 4** showed that the t-value was 24.307, t- critical was 1.960, and p-value was 0.000 which referred to that the t-value is larger than the t- critical, and the p-value is less than the $\alpha(0.05)$. This has sufficient evidence to reject the null hypothesis and accept the alternative hypothesis. The two-sample two-test found that the mean of the case study one (Al-Karada-Baghdad) was 10.190 m, while the mean value of the case study two (Al-Kadhumiyah-Baghdad) was 4.015m. This proves that there is a difference in the average deviation of the accuracy of the Google Map (GM) data in different study areas which was 6.175 m. Also, other statistical analysis, such as RMSE and NSSDA accuracy, showed that case study two have different values of case study one, as demonstrated in **Table 4**.

The results showed the accepted the alternative hypothesis and should be reject the Null hypothesis into both study areas based on the t-critical and p-value. This indicates that the data GM data cannot be appropriate for the purposes of engineering applications.

8. DISCUSSION AND CONCLUSION

A methodology has been developed to evaluate the positional accuracy of Google Map (GM) data. Tests were conducted using the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) to assess the relative positional accuracy of tested dataset. Then, the RMSE values were calculated, yielding comparative measures of positional discrepancy. The linear displacement (magnitude of error) of each point was determined by measuring the Euclidean Distance (ED) between the points of reference and tested datasets. The descriptive statistics such as mean, median, standard deviation, maximum, minimum, variance, and interquartile range for the differences in Easting and Northing were computed. A tool was designed using Visual Basic program to represent and analyze the results of positional accuracy. The code of this program contains three parts: input data, analysis, and output results. Two interfaces were designed for assessing positional accuracy of two study areas in order to reduce time and efforts for comparing the mean value of two-sample t-test.

The results of this analysis showed that the informal (GM) data does not match the formal datasets (MB) in any of the case study areas. The NSSDA accuracy at 95% Confidence Interval (CI) of the first case study (Al-Karada-Baghdad) was equal to 15.48 m for 260 tested points. While in second case study (Al-Kadhumiya-Baghdad) was equal to 8.71 m for 300 tested points. This refers to that 95% of tested points have an error with respect to formal data (Mayorality of Baghdad (MB)) equal to or smaller than 15.48 m, 8.71; whereas 5% of tested points have an error larger than 15.48, 8.71 m. In general, therefore, it seems that the easting of GM data is more accurate than the northing of GM data when compared with formal dataset (MB).

The results of one-sample t-test indicated that the accuracy of GM data larger than the threshold value (0.6 m) which indicated that the GM data is not suitable for accurate Engineering applications. The findings of two-sample t-test revealed that the case study two was more accurate than case study one. The difference of mean between two study areas was 6.18 m. This provides strong indication that the accuracy of GM data does not equal over different area. It concluded that the GM data can be used for engineering applications that need low accuracy such as the preliminary surveying of projects design, tourism, and reconnaissance.

REFERENCES

- Antoniou, V., Morley, J. and Haklay, M., 2010, *Web 2.0 Geotagged Photos: Assessing the Spatial Dimension of the Phenomenon*. Geomatica, The Journal of Geospatial Information, Technology and Practice, Vol. 64, PP.99-110.
- Ather, A., 2009, *A Quality Analysis of Open Street Map Data*, MSc. thesis, University College London.
- Books, L. and Wikipedia, S., 2010, *Web Map Services: Google Maps, Bing Maps, Openstreetmap, Wikimapia, Geabios, Transport Direct Portal, Google Map Maker, Openseamap, Yahoo Maps*, General Books.
- Cartwright, W., 2008, *Google Maps and Mobile Devices: Can Just One Generic Design Work?*, PP.215-222.
- Ciepluch, B., Jacob, R., Mooney, P. and Winstanley, A., 2010, *Comparison of the Accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps*, Proceedings

of the Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences 20-23rd July 2010, University of Leicester, UK.

- Congalton, R. G. and Green, K., 2009, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, USA, CRC Press / Taylor & Francis Group.
- Delavar, M. R. and Devillers, R., 2010, *Spatial Data Quality: From Process to Decisions*, Transactions in GIS, Vol. 14, PP. 379-386.
- Flanagan, A. J. and Metzger, M. J., 2008, *The Credibility of Volunteered Geographic Information*, GeoJournal, Vol. 72, PP. 137-148.
- Garrett, J. J., 2005, *Ajax: A New Approach to Web Applications*.
- Gibson, R. and Erle, S., 2006, *GoogleMaps Hacks*, O'Reilly Media, Inc.
- Goodchild, M. F., 2007, *Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0*, International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Vol. 2, PP. 24-32.
- Google Map Maker, 2013, Available at: <http://mapmaker.google.com/datadownload> [Accessed 20 July 2013].
- Haklay, M., 2010, *How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets*, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 37, PP. 682-703.
- Haklay, M., Singleton, A. and Parker, C., 2008, *Web Mapping 2.0: The Neogeography of the GeoWeb*, Geography Compass, Vol. 2, PP. 2011-2039.
- Hochmair, H.H., and Zielstra, D., 2012, *Positional Accuracy of Flickr and Panoramio Images in Europe*. In Jekel, T., A. Car, G. Griesebner and J. Strobl (Eds.), GI_Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning, Berlin: Wichmann, PP. 14-23.
- Howe, J., 2006, *The Rise of Crowdsourcing* [Online]. Available at: <http://www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds.html#Replay> [Accessed 10 July 2013].
- Kanduri, S., 2012, *Term Paper Is Google Maps a place for advertising? Give good examples!* HFU(Hochschule Furtwangen University).
- Kounadi, O., 2009, *Assessing the Quality of OpenStreetMap Data*, Msc thesis, Department of Civil, Environmental And Geomatic Engineering, University College of London, UK.
- Svennerberg, G. and Drimmie, R., 2010, *Beginning Google Maps API 3*, Apress.
- Taupier, R., Beliaeva, N., Gnadinger, L., Kovalenko, S. and Wheeler, M., 1999, *Parcel Mapping using GIS: A Guid to Digital Parcel Map Development for Massachusettslocal*



Governments, University of Massachusetts, Office of Geographic Information and Analysis for MASSGIS.

- Turner, A., 2006, *Introduction to Neogeography*, O'Reilly Media, Inc.
- Zielstra, D. and Zipf, A., 2010, *A Comparative Study of Proprietary Geodata and Volunteered Geographic Information for Germany*, 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science.

NOMENCLATURE

n = the number of tested points, dimensionless.

E_d, N_d = the coordinates of formal dataset, m.

E_c, N_c = the coordinates of tested dataset, m.

$RMSE_E$ = root Mean Square Error in Easting, m.

$RMSE_N$ = root Mean Square Error in Northing, m.

$RMSE$ = total Root Mean Square Error, m.

$\delta E_i^2, \delta N_i^2$ = the differences in easting and northing for i^{th} check points, between formal and tested datasets, m.

Table 1. Study areas and their properties.

| Data sets | Upper left corner | | Lower left corner | | Number of tested points | Area (km ²) |
|----------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| | Easting (m) | Northing (m) | Easting (m) | Northing (m) | | |
| Study Area (1) | 441998.350 | 3682841.827 | 449162.768 | 3683916.910 | 260 | 9.824 |
| Study Area (2) | 436255.880 | 3694110.799 | 439454.114 | 3688523.522 | 300 | 15.054 |

Table 2. Statistics computed from differences in Easting and Northing of case study one.

| Statistics | Diff .in easting (m) | Diff .in northing (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Mean | 1.016 | -9.851 |
| Median | 0.888 | -10.866 |
| Standard deviation | 2.033 | 3.256 |
| Maximum | 6.842 | 5.854 |
| Minimum | -4.565 | -13.839 |
| Variance | 4.131 | 10.605 |
| IQR | 2.379 | 3.107 |

Table 3. Statistics computed from differences in Easting and Northing of case study two.

| Statistics | Diff .in easting (m) | Diff .in northing (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Mean | -0.116 | -1.794 |
| Median | -0.031 | -0.447 |
| Standard deviation | 2.403 | 9.309 |
| Maximum | 6.322 | 6.669 |
| Minimum | -6.676 | -13.940 |
| Variance | 5.777 | 86.659 |
| IQR | 2.798 | 3.781 |

Table 4. Comparison of Root Mean Square Error (RMSE), National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), and t-distribution positional discrepancies for compared datasets.

| Case study | RMSE _(m) | NSSDA _(m) | t- value | t-critical | p-value |
|-----------------------|---------------------|----------------------|----------|------------|---------|
| Al-Karada_ Baghdad | 10.621 | 15.479 | 51.577 | 1.960 | 0.000 |
| Al-Kadhumiyah_ Bagdad | 5.428 | 8.713 | 16.192 | 1.960 | 0.000 |

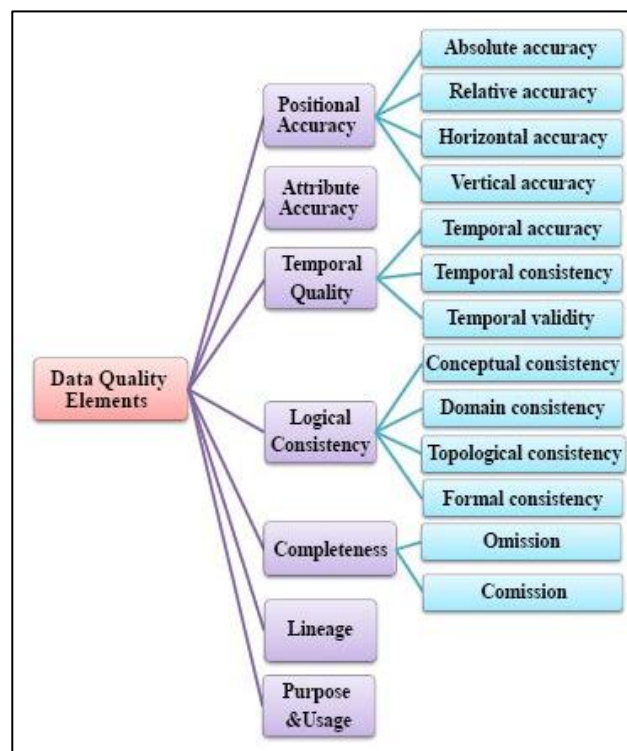
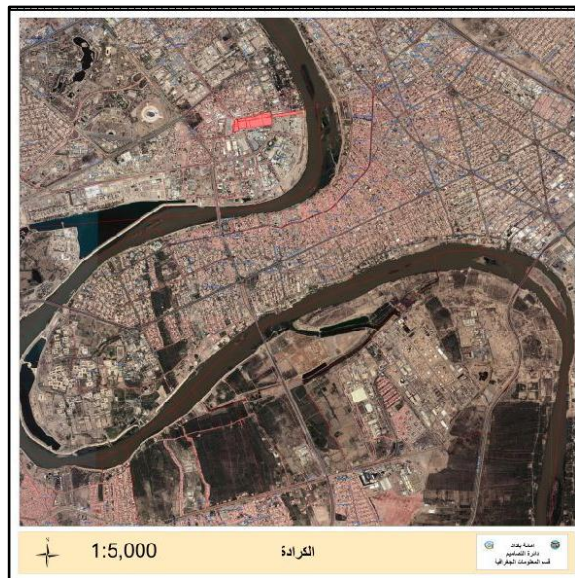


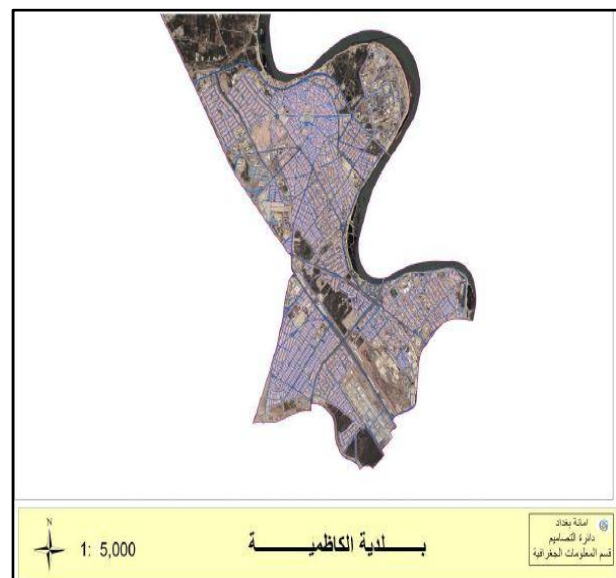
Figure 1. Data quality elements and sub-elements.



Figure 2. Google Maps Maker data availability.
(<http://www.google.com/mapmaker/mapfiles/s/launched.html>).



(a) Formal data Karada (case study one).



(b) Formal data Kadhumiyah (case study two).

Figure 3. Formal data (source: Mayoralty of Baghdad (MB)).

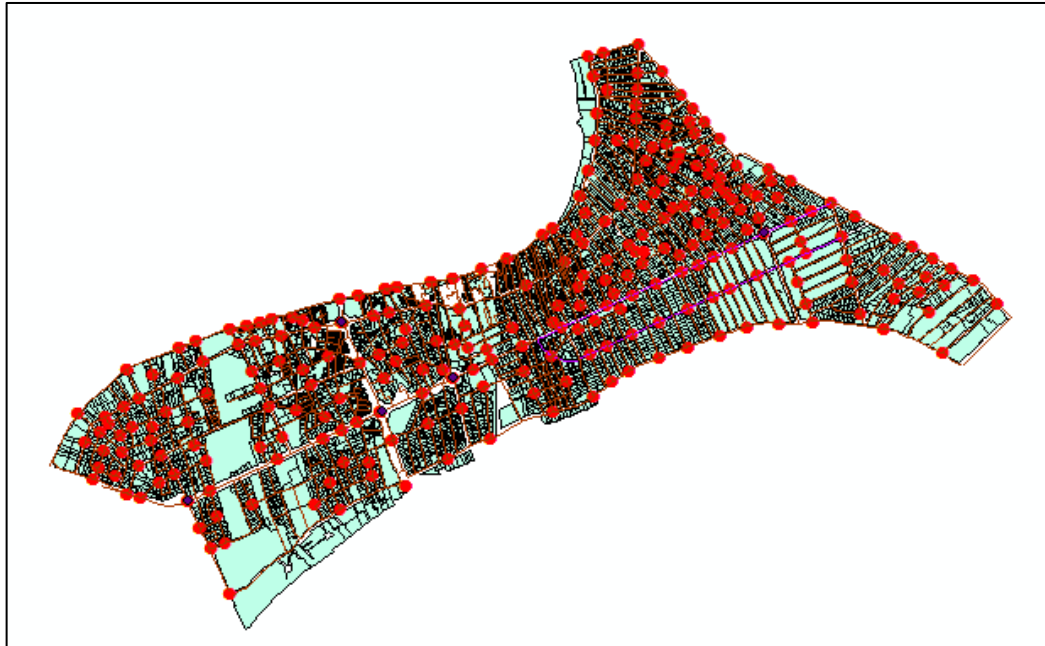


Figure 4. The distribution of tested points (case study one).



Figure 5. The distribution of tested points (case study two).

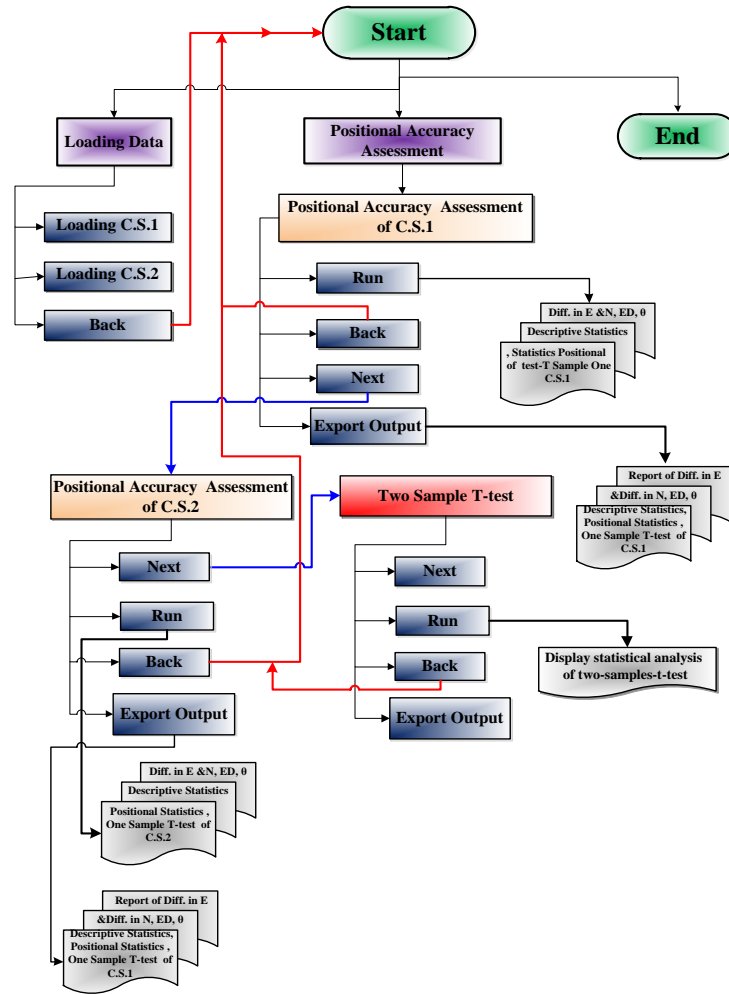


Figure 6. The workflow of the designed program.



Figure 7. The main interface of the developed program.

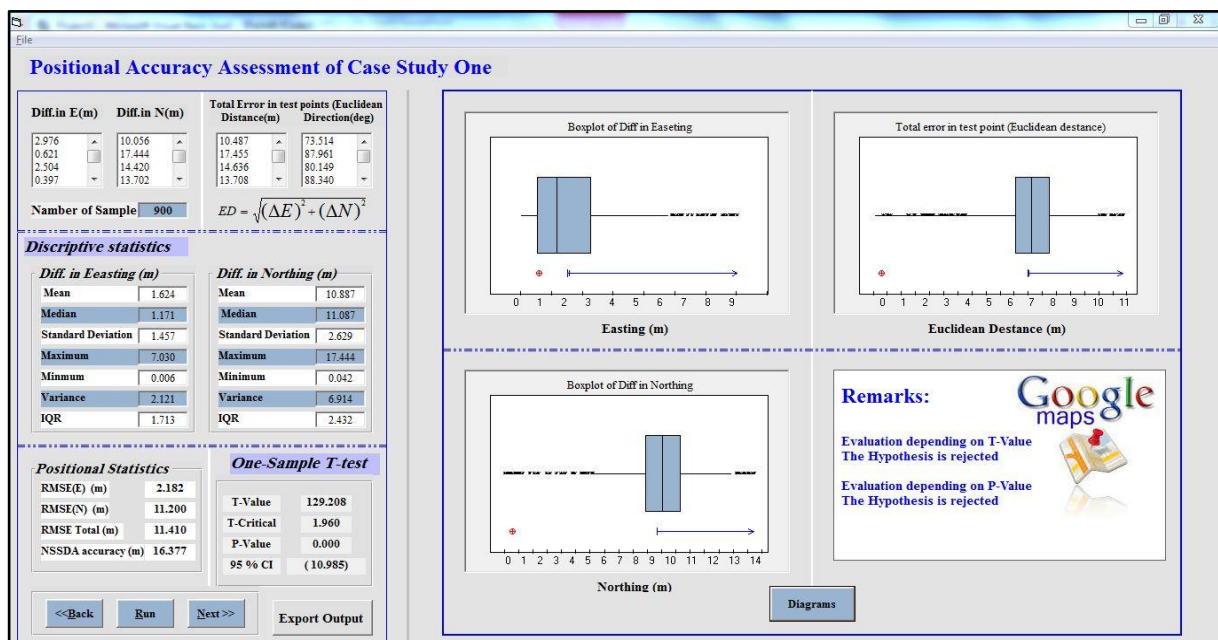


Figure 8. Interface for positional accuracy analysis (case study one).

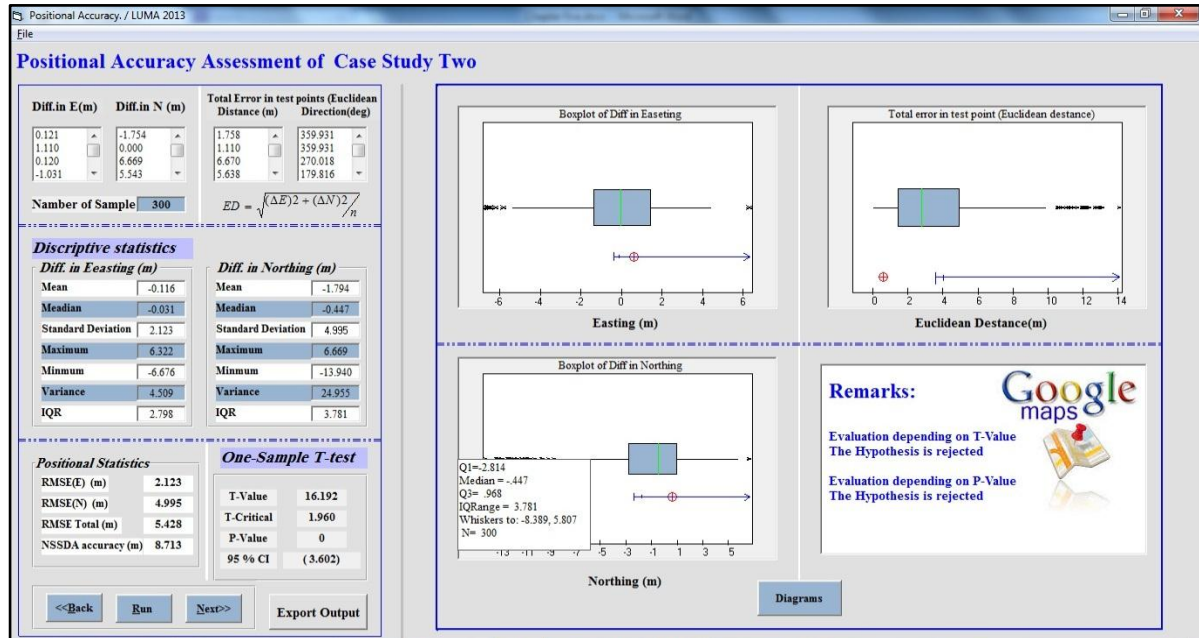


Figure9. Interface for positional accuracy analysis (case study two).

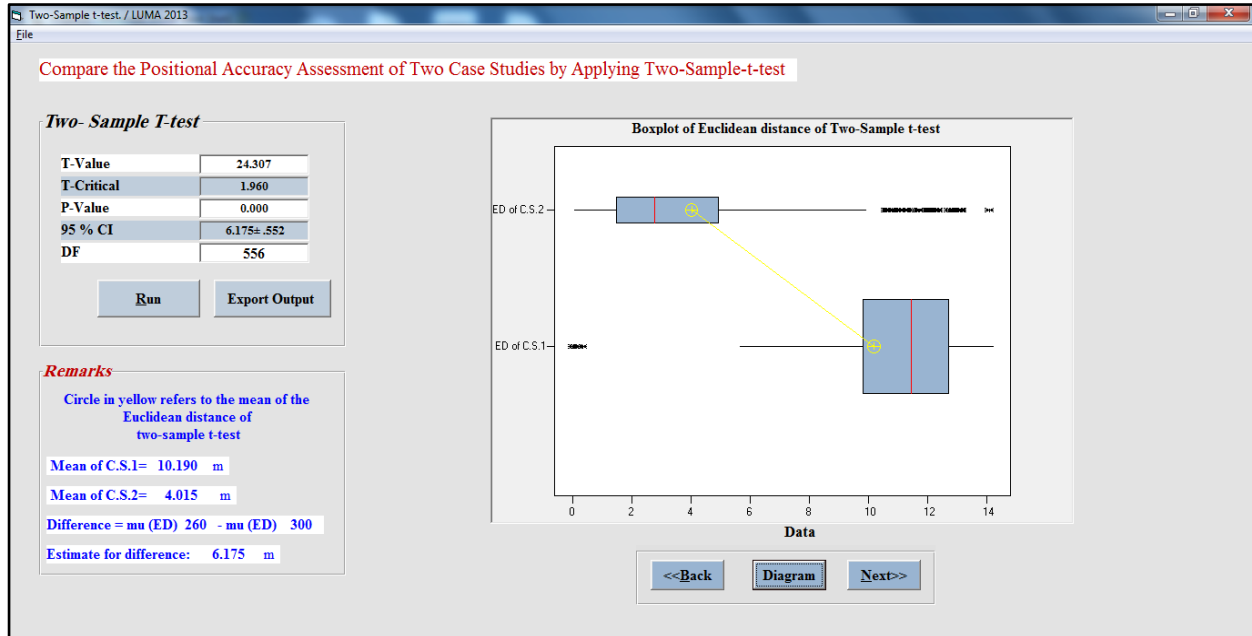


Figure 10. Interface for comparing the accuracy of GM in two different study areas.



GNSS Baseline Configuration Based on First Order Design

Oday Yaseen Mohamed

Lecturer

College of Engineering-University of Baghdad

oday_alhamadani@hotmail.com

Muayed Yaseen Ahmed

Assistant professor

College of Engineering-University of Baghdad

Zahraa Azeldeen Husain

Engineer

College of Engineering-University of Baghdad

Zahraaazeldeen@yahoo.com

ABSTRACT

The quality of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) networks are considerably influenced by the configuration of the observed baselines. Where, this study aims to find an optimal configuration for GNSS baselines in terms of the number and distribution of baselines to improve the quality criteria of the GNSS networks. First order design problem (FOD) was applied in this research to optimize GNSS network baselines configuration, and based on sequential adjustment method to solve its objective functions.

FOD for optimum precision (FOD-p) was the proposed model which based on the design criteria of A-optimality and E-optimality. These design criteria were selected as objective functions of precision, which lead to a homogenous and anisotropic network, respectively using Matlab programming language (V. 2012a). Al Ghammas Township, Al-Qadisiya city, which consists of twenty-five stations was taken as a study area in this research.

The results showed that there are 300 potential baselines for the GNSS network of the study area, which were reduced during the optimum configuration to about 70% of the total potential baselines by applying FOD-p, and there is high level of improvement in the objective functions of precision which reached to about 90% .

Key Words: configuration baselines, FOD, GNSS network, A-optimality, E-optimality

تشكيل خط اساس الـ GNSS اعتمادا على مسألة التصميم من الرتبة الاولى

زهراء عز الدين حسين

مهندس

كلية الهندسة- جامعة بغداد

مؤيد ياسين احمد

أستاذ مساعد

كلية الهندسة- جامعة بغداد

عدي ياسين محمد

مدرس

كلية الهندسة- جامعة بغداد

الخلاصة

تتأثر جودة شبكات الانظمة العالمية للتوابع الملاحية (GNSS) بشكل كبير بتشكيل خطوط الاساس المرصودة. حيث هذه الدراسة تهدف الى ايجاد التشكيل الأمثل لخطوط اساس الـ GNSS من حيث عددها وتوزيعها لتحسين معايير جودة شبكات الـ GNSS. أسلوب التصميم من المرتبة الاولى ومختصره (FOD) تم تطبيقه في هذا البحث للحصول على افضل تشكيل لخطوط الاساس الـ GNSS واعتمادا على اسلوب التصحيح المتعاقب لحل دوال اهدافها.

FOD للدقة المثلى (FOD-p) هو النموذج المقترح الذي اعتمد على معياري التصميم كل من A-optimality و E-optimality. هذه المعياران تم اختيارهما كدوال هدف للدقة والتي تؤدي الى تجانس وتوحيد خواص الشبكة على التوالي باستخدام لغة البرمجة MATLAB (V.2012a). حيث بلدة الغماس، مدينة القادسية والتي تتالف من 25 محطة تم اعتبارها كمنطقة دراسة لتطبيق النموذج المقترح في هذا البحث. أظهرت النتائج هناك 300 خط اساس محتمل لشبكة ال GNSS لمنطقة الدراسة والذي تم تخفيضها لحوالي 70% من المجموع الكلي من خلال تطبيق موديل ال FOD-p وان هناك مستوى عالي لتحسن دوال الهدف للدقة تصل الى حوالي 90%.

1. INTRODUCTION

Global Navigation Satellite System networks (G-net), referred as hereafter as applied for different kinds of surveys, such as topographic surveys, construction surveys and deformation and long-term monitoring surveys.

Furthermore, a geodetic network is defined as being any geometric configuration of three or more terrestrial survey points that are connected either by geodetic traditional observations made among them, such as directions and distance, and/or by astronomical measurements or space techniques: for instance, the global navigation satellite system (GNSS), **Andreea, 2011**.

Optimal design of a geodetic network is an important subject in many geodetic applications particularly, those which necessitates high level of precision consistency and homogeneity. The quality of a geodetic network, which sometimes referred to design criteria is characterized by its precision, reliability, and cost, **Amiri, 2004**. The precision of GNSS network can be expressed by the covariance matrix of the parameters (unknown coordinates). The optimization problems of geodetic networks are classified into zero order design problem (ZOD), first order design problem (FOD), second order design problem (SOD), and Third order design problem (THOD). As far as, the ZOD is defined as a search for an optimal datum, whereas the FOD is defined as the determination of an optimal configuration for the network. Regarding the SOD is defined as weight problem, and finally, the THOD is the optimal improvement of an existing network, **Grafarend, et al., 1985**.

In this research, optimization of a GNSS network is investigated based on selecting baseline vectors, which have maximum effect on design criteria, from all the probable baseline vectors that can be measured in a GNSS network. This configuration of baseline vectors, in terms of their number and their distribution between stations, is applied based on first order design **Curran, 2008**.

2. PREPARATIONS FOR G-NET DESIGN

There are various types of sources which are providing the approximate positions for the network stations, such as, aerial and satellite images, topographic maps, open sources like Google Earth and Google map, and GPS navigator. For designing the conventional geodetic networks, the visibility and the distances between the (adjacent) stations represent the most important factors in the designing stage. On the contrary, there is no need for station visibilities for GNSS networks. While, the baselines lengths represents one of the obstacles in the design of the G-net due to the reason that the baseline's precision depends on the configuration of the GNSS satellite constellation **Zilkoski, and Hothem, 1989**.

The field reconnaissance has to be carried out firstly for the purpose of optimum selection for G-net stations sites. This requires careful survey of the surrounding areas to the stations sites, e.g. avoiding reflective objects and surfaces which cause multipath of signals. Additionally, avoid buildings, bridges, structures, mountains, trees, etc. to prevent the cycle-slip which cause obstructions of the

satellite signal. For further information about the design specifications for network stations sites, the reader can refer to **Boal, 1992**.

After the design of the G-net stations sites is accomplished, certain specifications for field crews can be written. These specifications should include the method of observation that agrees with the requirements of the accuracy, number of GNSS receivers, maximum baseline length, and other items. When approximate station coordinates are determined, a stochastic model for the observational system can be estimated for the baseline vectors, which be calculated by differencing the approximate coordinates for adjacent stations, **Groten, et al., 1988**.

2.1 Baselines (Vectors)

After fixing the positions of G-net stations in design stage, the designer must determine the minimum number and maximum number of potential baselines before selecting the optimal baseline configuration. Where, the minimum number of baselines depends on the minimum number of sessions. The latter is defined as a period of time, which two or more receivers are simultaneously recording satellite signal, **Seeber, 2003**. Simple mathematical relationships is considered in this research to fix both of the number of sessions and the number of baselines based on both of the number of stations of G-net and the number of available GNSS receivers, **Dare, and Saleh, 2000**. The minimum number of the sessions, which is referred to by "se", is calculated as follow:

$$se = (ns - m) / (nr - m) \quad (1)$$

where:

nr stands for the number of available GNSS receivers,

ns represents the number of stations, and

m is the number of common stations between two sessions.

The number of minimum baselines, which is referred to by " b_{min} " is calculated as follow:

$$b_{min} = (nr - 1) \times se + 1 \quad (2)$$

While, the maximum number of baselines, which is referred to by " b_{max} " is calculated as follow:

$$b_{max} = (ns - 1) + (ns - 2) + (ns - 3) \dots + 1 \quad (3)$$

2.2 Redundancy

To distinguish and isolate outliers and systematic errors from the G-net in general, the observations designed with sufficient redundancy. The redundancy of G-net is carried out by connecting each station with at least two independent baselines, **Teunissen, and Kleusberg, 1998**. The adequacy of redundancy must be taken into account by the designer when configuring baselines, **Burfield, 2012**.

3. A PRIORI LEAST SQUARES ADJUSTMENT OF GEODETIC NETWORKS

A pre-analysis of the network is an a priori adjustment of a network. It enables a surveyor to design the network before performing any actual observations in the field, whether the possibility exists that the quality specifications needed by the customer can be met. The combination of a

stochastic and a functional model of the network are applied to estimate prior quality quantities, see **Fig.1**. These quantities are independent of the values of the actual observations and depend on the location of the stations, the observation scheme (the geometrical connections in the network), and on a priori assumptions about the expected precision of the observations. The latter is usually determined and claimed by the manufactures of the instruments, or can be estimated according to previous observations under similar conditions, **Koch, 1977** and **Staudinger, 1999**.

The means of a stochastic model is defined as the random effects of the observations, which include the determination of variances and covariance and subsequently the weights of the observations during the least squares adjustment. The variance is a parameter which measures the spread of the probability density of a random variable, whereas the statistic relationship between two random variables is described by the covariance, **Krakiwsky, 1999**.

3.1 Least Squares Adjustment of G-net

As noted earlier, because of the G-net contains redundant observations which they must be adjusted to make all coordinate differences consistent. By applying least square adjustment to the problem of adjusting baselines in G-net networks, observation equations are written in a way to relate station coordinates to the observed coordinate differences and their residual errors. Coefficient matrix of G-net observation equation is similar to that in differential leveling **Fig. 2** illustrates this procedure, **Ghilani, and Wolf, 2007**.

Observation equation for baseline IJ :

$$X_J = X_I + \Delta X_{IJ} + VX_{IJ} \quad (4)$$

$$Y_J = Y_I + \Delta Y_{IJ} + VY_{IJ} \quad (5)$$

$$Z_J = Z_I + \Delta Z_{IJ} + VZ_{IJ} \quad (6)$$

4. ELLIPSOID OF ERROR

The ellipsoid of error can be computed based on eigenvalues and eigenvectors. In the case of three-dimensional matrix, the solution is carried out based on solving an equation of the third order which in turn leads to produce three eigenvalues $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. To explain how this procedure can be achieved, the variance matrix for one point will be explained as follows, **AL-Joboory, 2010** and **Junhuan, 2005**.

$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Then the eigenvalues can be use in formula of $\det(Q_{xx} - \lambda I) = 0$, and this yields:

$$\det \begin{vmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (8)$$

After finding the eigenvalues, the three axes of ellipsoid are computed, and then the orientation angles are computed based on the computation of eigenvector u_1, u_2, u_3 , as follow:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sigma_y^2 - \lambda)(\sigma_z^2 - \lambda) - (\sigma_{yz})^2 \\ \sigma_{xz}\sigma_{yz} - \sigma_{xy}(\sigma_z^2 - \lambda) \\ (\sigma_z^2 - \lambda)\sigma_{xz} - \sigma_{xy}\sigma_{yz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Finally, the orientation angles of each axis in ellipsoid are computed as follow:

$$a\lambda = \tan^{-1}(u_1 / u_2) \quad (10)$$

$$v\lambda = \tan^{-1}(u_3 / \sqrt{(u_{12} + u_{22})}) \quad (11)$$

Where $a\lambda$ and $v\lambda$ refer to the horizontal and vertical rotations consecutively as shown in **Fig. 3**.

5. AREA OF STUDY

Network of Al Ghammas Township, Al-Qadisiya city, was chosen as the area of study to design the G-net. The dimensions of this network are around 5 km in North-South direction and 4 km in the East-West direction, and the network consists of 25 stations as shown in **Fig.4**. The initial geocentric coordinates (X Y Z)_{WGS84} of the G-net stations are listed in **Table 1**. **Fig.4** shows that the locations of twenty-five G-net stations for the area of study were distributed irregularly and this yielded irregular geometric shapes.

6. FOD FOR OPTIMUM PRECISION (FOD-p)

In the application of FOD-p, it was aimed to constitute a homogeneous and isotropic network. For that reason, an A-optimality solution ($\text{trace}(Q_{xx}) \rightarrow \min$) that leads to a homogeneous network and an E-optimality solution ($\lambda_{\max} \rightarrow \min$) that leads to an isotropic network were selected as objective functions. Through FOD-p code application in this research, the initial scheme of G-net observations was determined firstly, and then the axes of ellipsoid errors and the resultant of axes of ellipsoid, which defined as helmert errors (HPE), were computed. HPE was used to distinguish between stations which have maximum level of error than the stations which have minimum level of error. The objective functions were improved (minimize) by adding new baselines which have maximum effect on both objective functions. In FOD-p code of this research, the baseline that connects between two stations of maximum and minimum error was found a significant effect on the objective function, and was added firstly. One of the most important finding in this research that when the changes in the both of the objective functions have a few impact on

improving precision, this refers to obtain the optimum precision in terms of a homogeneity and isotropy for all stations.

6.1 FOD -p for the Area of Study (Al-Ghammas Township)

The effect of adding new baselines on the values of objective functions of precision, which represented by A-optimality and E-optimality is shown in **Table 2** and in **Fig 5**.

The values of objective functions for both of A-optimality and E-optimality were reduced by around 90%, which yielded from adding baseline that have maximum effect on minimizing objective functions of precision.

The values for both of axes of ellipsoid error and helmert point error for the twenty-five stations in the initial and final scheme are listed in **Table 3**.

GNSS baselines configuration was started from the first scheme to reach optimal precision of G-net in seventeenth scheme as in **Fig 6** (a-b).

7. CONCLUSIONS

This research showed that the optimal configuration of GNSS baselines can be carried out effectively based on the first order design (FOD) with sequential adjustment solution technique to improve the quality criteria of GNSS network in terms of precision.

FOD-p model, which based on minimizing both of A-optimality and E-optimality as objective functions, was achieved to gain the best possible precision of the G-net in terms of decreasing errors, improving homogeneity, and enhancing isotropy.

In the initial scheme of G-net for the area of study, the stations which are located around the center of the network have minimum ellipsoid errors due to their adequacy of observations. Unlike the stations which are located on the perimeter of the network have maximum ellipsoid error due to their inadequacy of observations.

REFERENCES

- AL-Joboory, B. S., 2010, *Adjustment in Surveying: Theory and Practice*, University of Baghdad, College of Engineering, Iraq, in Arabic.
- Amiri-Simkooei, A., and Sharifi, M. 2004, *Approach for Equivalent Accuracy Design of Different Types of Observations*, Journal of Surveying Engineering, 130(1), 1-5
- Andreea, B. U. 2011, *Considerations on The Development of Geodetic Network by Classical and GPS Methods*, Agriculture, agricultural practice and science journal, 77, 230-234.
- Boal, J. D., 1992, *Guidelines and Specifications for GPS Surveys*, Geodetic Survey Division, Canada.
- Curran, L. P., 2008, *Global Navigation Satellite Systems for Geodetic Network Surveys*.
- Dare, P., and Saleh, H., 2000, *GPS Network Design: Logistics Solution Using Optimal and Near-Optimal Methods*, Journal of Geodesy, 74(6), 467-478.



- Ghilani, C. D., and Wolf, P. R., 2007, *Principles of Least Square*, In Adjustment Computations (pp. 173-204): John Wiley & Sons, Inc.
- Grafarend, E. W., Sansò, F., and Benciolini, B., 1985, *Optimization and Design of Geodetic Networks*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Groten, E., Blewitt, G., Melbourne, W. G., Bertiger, W. I., Dixon, T. H., Kroger, P. M., et al., 1988, *GPS Geodesy with Centimeter Accuracy*, In GPS-Techniques Applied to Geodesy and Surveying, 19, 30-40: Springer Berlin Heidelberg.
- Junhuan, P., 2005, *The Asymptotic Variance-Covariance Matrix, Baarda Test and The Reliability of L- Norm Estimates*, Journal of Geodesy, 78(11), 668-682.
- Koch, K. R., 1977, *Least Squares Adjustment and Collocation*, Bulletin géodésique, 51(2), 127-135.
- Krakiwsky, E. J., and University of New Brunswick. Dept. of Geodesy and Geomatics, E., 1999, *Development and Testing of In-Context Confidence Regions for Geodetic Survey Networks*, Fredericton: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.
- Seeber, G., 2003, *Satellite Geodesy*, Walter de Gruyter. Berlin .New .York.
- Staudinger, M., 1999, *A Cost Orientated Approach to Geodetic Network Optimisation*, Vienna University of Technology.
- Teunissen, P. J. G., Kleusberg, A., 1998, *GPS for Geodesy*, 2: Springer Berlin.
- Zilkoski, D., and Hothem, L., 1989, *GPS Satellite Surveys and Vertical Control*, Journal of Surveying Engineering, 115, 262-281.

**LIST OF SYMBOLS**

| Symbol | Description |
|-----------------------------------|--|
| σ_0^2 | variance of unit weight, cm^2 . |
| σ | standard deviation, cm. |
| $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ | standard deviation of coordinates, cm. |
| v | vector of residuals, m. |
| Q_{xx} | cofactor matrix of the unknown parameters, cm. |
| n | no. of observations, dimensionless. |
| u | no. of unknowns, dimensionless. |
| $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ | eigenvalues, dimensionless . |
| u_1, u_2, u_3 | eigenvector, dimensionless . |
| $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ | baseline vectors, m. |
| se | the number of sessions, dimensionless. |
| bi | the number of baselines, dimensionless. |
| nr | the number of receivers, dimensionless. |
| ns | the number of stations, dimensionless. |
| m | the number of common stations between two sessions, dimensionless. |

**Table 1.** The initial geocentric coordinates (WGS84) of the area of study.

| Stations | X (m) | Y(m) | Z (m) |
|----------------|------------|------------|------------|
| S ₁ | 3863932.02 | 3812639.41 | 3337605.20 |
| S ₂ | 3863929.35 | 3812863.89 | 3337351.68 |
| S ₃ | 3864422.90 | 3812938.49 | 3336699.54 |
| S ₄ | 3864331.45 | 3813222.93 | 3336468.69 |
| S ₅ | 3864639.19 | 3813104.62 | 3336249.46 |
| S ₆ | 3864534.58 | 3813404.50 | 3336027.52 |
| S ₇ | 3864934.71 | 3812730.31 | 3336335.47 |

Table 1. The initial geocentric coordinates (WGS84) of the area of study.

| Stations | X (m) | Y(m) | Z (m) |
|-----------------|------------|------------|------------|
| S ₈ | 3864698.04 | 3813522.68 | 3335705.08 |
| S ₉ | 3865053.31 | 3812752.69 | 3336174.64 |
| S ₁₀ | 3864843.58 | 3813578.41 | 3335475.65 |
| S ₁₁ | 3865106.50 | 3813058.98 | 3335763.92 |
| S ₁₂ | 3865232.06 | 3813337.94 | 3335302.98 |
| S ₁₃ | 3865340.59 | 3812654.95 | 3335955.25 |
| S ₁₄ | 3865547.80 | 3812950.91 | 3335378.68 |
| S ₁₅ | 3865510.76 | 3812391.52 | 3336057.04 |
| S ₁₆ | 3865790.59 | 3812977.65 | 3335068.27 |
| S ₁₇ | 3865766.37 | 3812493.04 | 3335648.49 |
| S ₁₈ | 3865866.43 | 3813009.20 | 3334944.97 |
| S ₁₉ | 3865806.74 | 3812155.22 | 3335995.09 |
| S ₂₀ | 3866064.18 | 3813190.00 | 3334512.87 |
| S ₂₁ | 3866110.76 | 3812226.29 | 3335565.21 |
| S ₂₂ | 3866169.49 | 3812645.35 | 3335022.65 |
| S ₂₃ | 3866503.44 | 3812211.55 | 3335130.17 |
| S ₂₄ | 3866771.75 | 3812282.55 | 3334740.57 |
| S ₂₅ | 3867284.47 | 3812268.06 | 3334166.09 |

**Table 2.**Improved objective functions of FOD-p by adding baselines.

| No. iteration | No. Baselines | A- optimality | E- optimality |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 47 | 19.96 | 1.01 |
| 2 | 49 | 11.04 | 0.40 |
| 3 | 51 | 9.00 | 0.29 |
| 4 | 53 | 7.51 | 0.25 |
| 5 | 55 | 6.30 | 0.22 |
| 6 | 57 | 5.55 | 0.19 |
| 7 | 59 | 5.21 | 0.18 |
| 8 | 61 | 4.63 | 0.16 |
| 9 | 63 | 4.08 | 0.14 |
| 10 | 65 | 3.73 | 0.13 |
| 11 | 67 | 3.39 | 0.12 |
| 12 | 69 | 3.14 | 0.12 |
| 13 | 71 | 2.98 | 0.11 |
| 14 | 73 | 2.81 | 0.10 |
| 15 | 75 | 2.61 | 0.09 |
| 16 | 77 | 2.42 | 0.08 |
| 17 | 78 | 2.41 | 0.08 |

**Table 3.**The results of FOD-p model for the area of study.

| Stations | a | | b | | c | | Helmert Point | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| | Semi-Axis | | Semi-Axis | | Semi-Axis | | Errors,cm | |
| | Ellipsoid,cm | Ellipsoid,cm | Ellipsoid,cm | Ellipsoid,cm | Ellipsoid,cm | Ellipsoid,cm | Initial | Final |
| | Initial | Final | Initial | Final | Initial | Final | Initial | Final |
| 1 | 4.81 | 1.19 | 5.07 | 1.25 | 10.03 | 2.48 | 12.23 | 3.02 |
| 2 | 4.45 | 1.11 | 4.69 | 1.17 | 9.28 | 2.31 | 11.31 | 2.81 |
| 3 | 4.17 | 1.11 | 4.39 | 1.17 | 8.69 | 2.32 | 10.60 | 2.83 |
| 4 | 3.92 | 1.33 | 4.13 | 1.41 | 8.17 | 2.78 | 9.96 | 3.39 |
| 5 | 3.68 | 1.14 | 3.88 | 1.20 | 7.67 | 2.38 | 9.35 | 2.90 |
| 6 | 3.45 | 1.12 | 3.64 | 1.18 | 7.20 | 2.34 | 8.78 | 2.85 |
| 7 | 3.25 | 1.22 | 3.42 | 1.29 | 6.77 | 2.54 | 8.25 | 3.10 |
| 8 | 3.06 | 1.24 | 3.23 | 1.30 | 6.39 | 2.58 | 7.78 | 3.14 |
| 9 | 2.90 | 1.23 | 3.06 | 1.30 | 6.05 | 2.57 | 7.37 | 3.14 |
| 10 | 2.77 | 1.35 | 2.92 | 1.42 | 5.78 | 2.81 | 7.04 | 3.42 |
| 11 | 2.67 | 1.35 | 2.82 | 1.42 | 5.57 | 2.81 | 6.79 | 3.43 |
| 12 | 2.61 | 1.22 | 2.75 | 1.29 | 5.45 | 2.54 | 6.64 | 3.10 |
| 13 | 2.59 | 1.22 | 2.73 | 1.29 | 5.40 | 2.55 | 6.59 | 3.10 |
| 14 | 2.61 | 1.21 | 2.75 | 1.28 | 5.45 | 2.53 | 6.64 | 3.08 |
| 15 | 2.67 | 1.34 | 2.82 | 1.41 | 5.57 | 2.79 | 6.79 | 3.40 |
| 16 | 2.77 | 1.11 | 2.92 | 1.17 | 5.78 | 2.32 | 7.04 | 2.83 |
| 17 | 2.90 | 1.35 | 3.06 | 1.42 | 6.05 | 2.81 | 7.37 | 3.42 |
| 18 | 3.06 | 1.22 | 3.23 | 1.29 | 6.39 | 2.55 | 7.78 | 3.11 |
| 19 | 3.25 | 1.24 | 3.42 | 1.30 | 6.77 | 2.58 | 8.25 | 3.14 |
| 20 | 3.45 | 1.13 | 3.64 | 1.19 | 7.20 | 2.35 | 8.78 | 2.87 |
| 21 | 3.68 | 1.11 | 3.88 | 1.17 | 7.67 | 2.32 | 9.35 | 2.83 |
| 22 | 3.92 | 1.13 | 4.13 | 1.19 | 8.17 | 2.35 | 9.96 | 2.87 |
| 23 | 4.17 | 1.11 | 4.39 | 1.17 | 8.69 | 2.31 | 10.60 | 2.81 |
| 24 | 4.45 | 1.11 | 4.69 | 1.17 | 9.28 | 2.32 | 11.31 | 2.82 |
| 25 | 4.81 | 1.10 | 5.07 | 1.16 | 10.03 | 2.29 | 12.23 | 2.79 |

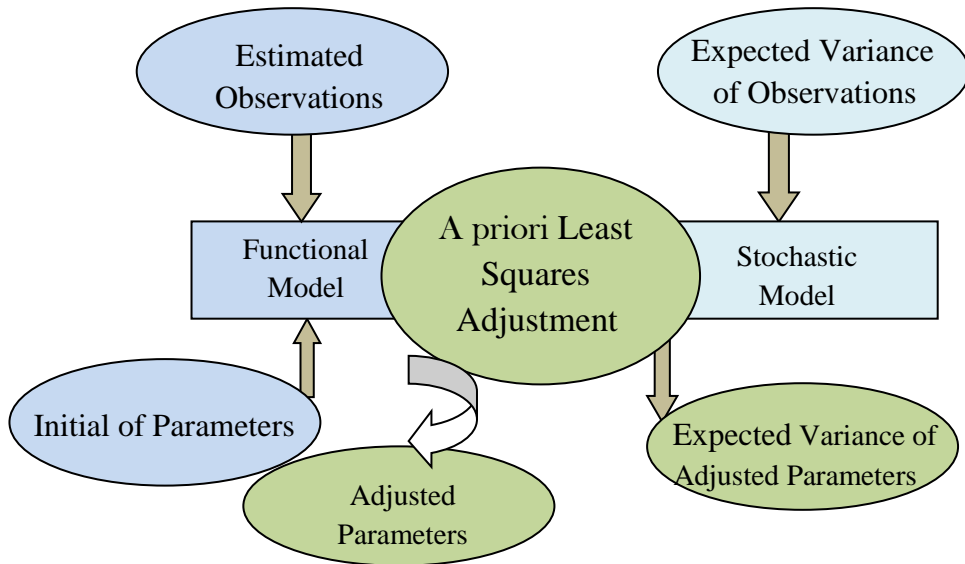


Figure 1. The main stages of least square adjustment, **Staudinger, 1999**.

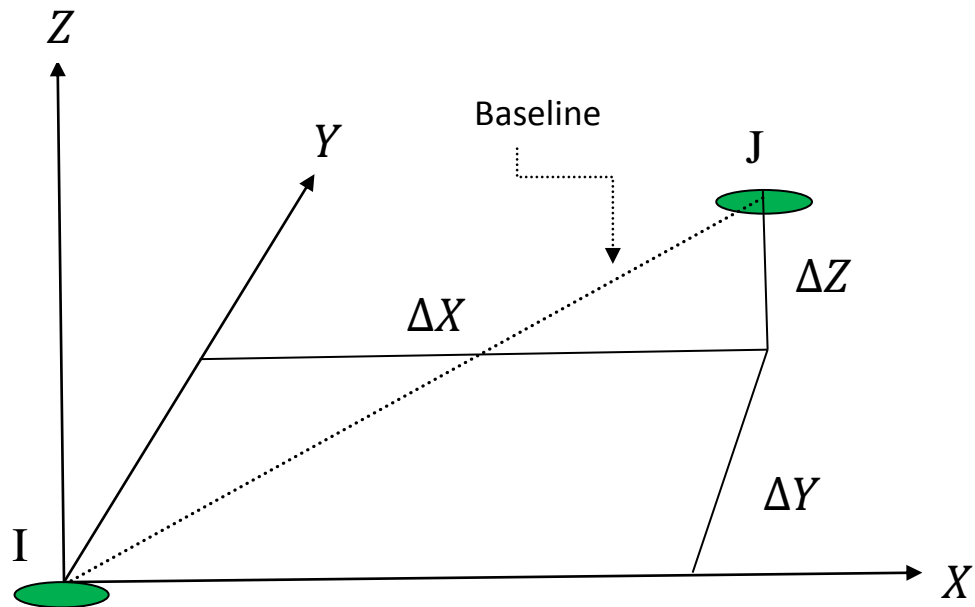


Figure 2. Baseline vectors of GNSS network, **Ghilani and Wolf, 2007**.

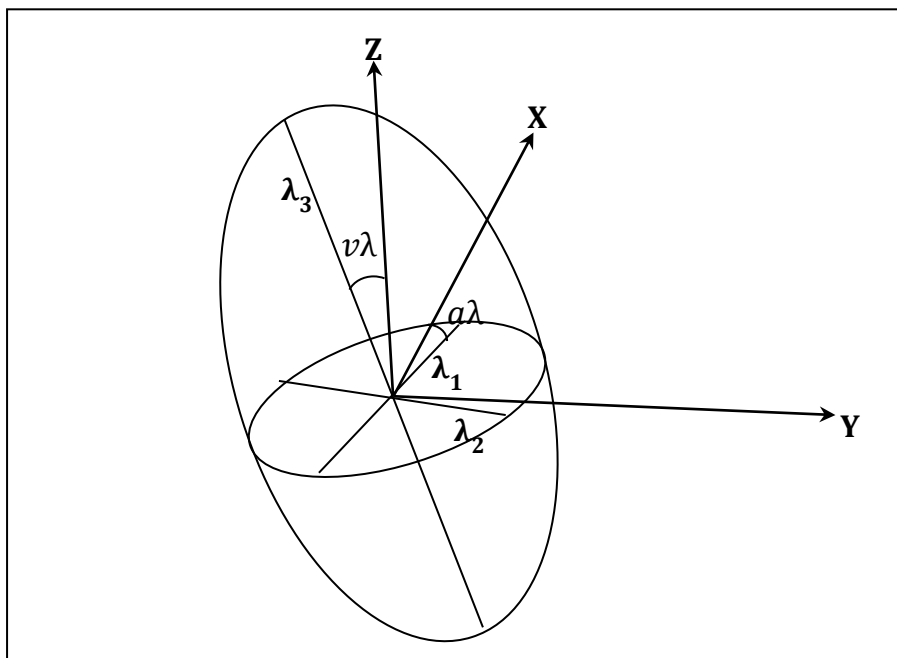


Figure 3. Ellipsoid of error.

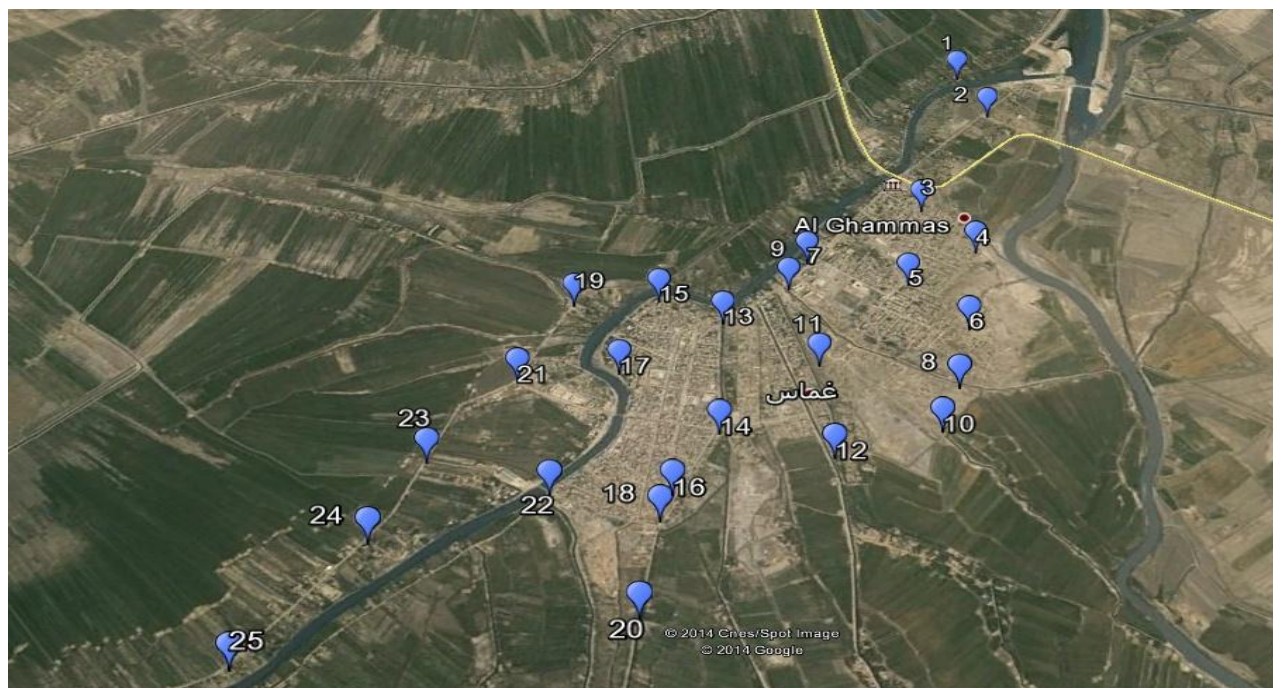


Figure 4. The area of study, Al Ghammas township, Al-Qadisiya city.

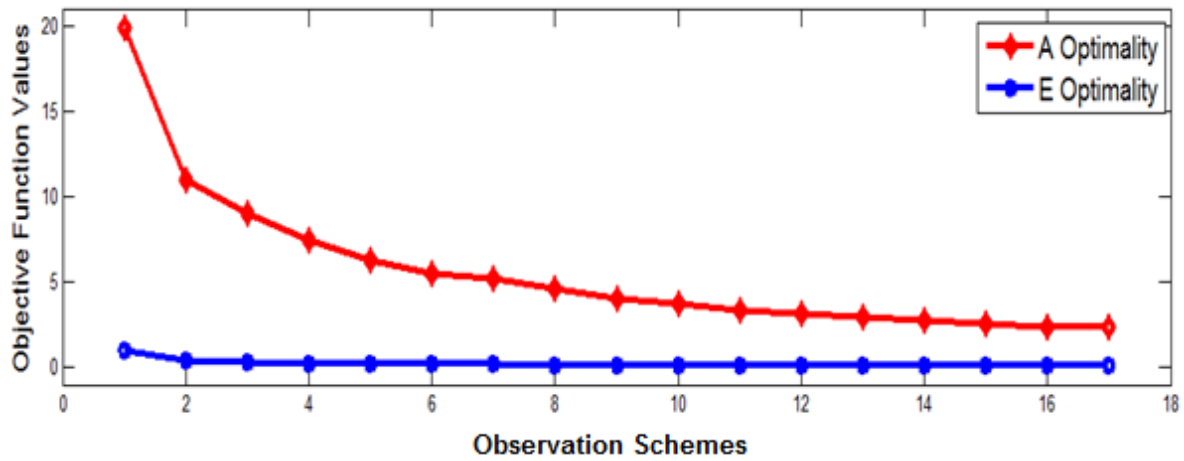
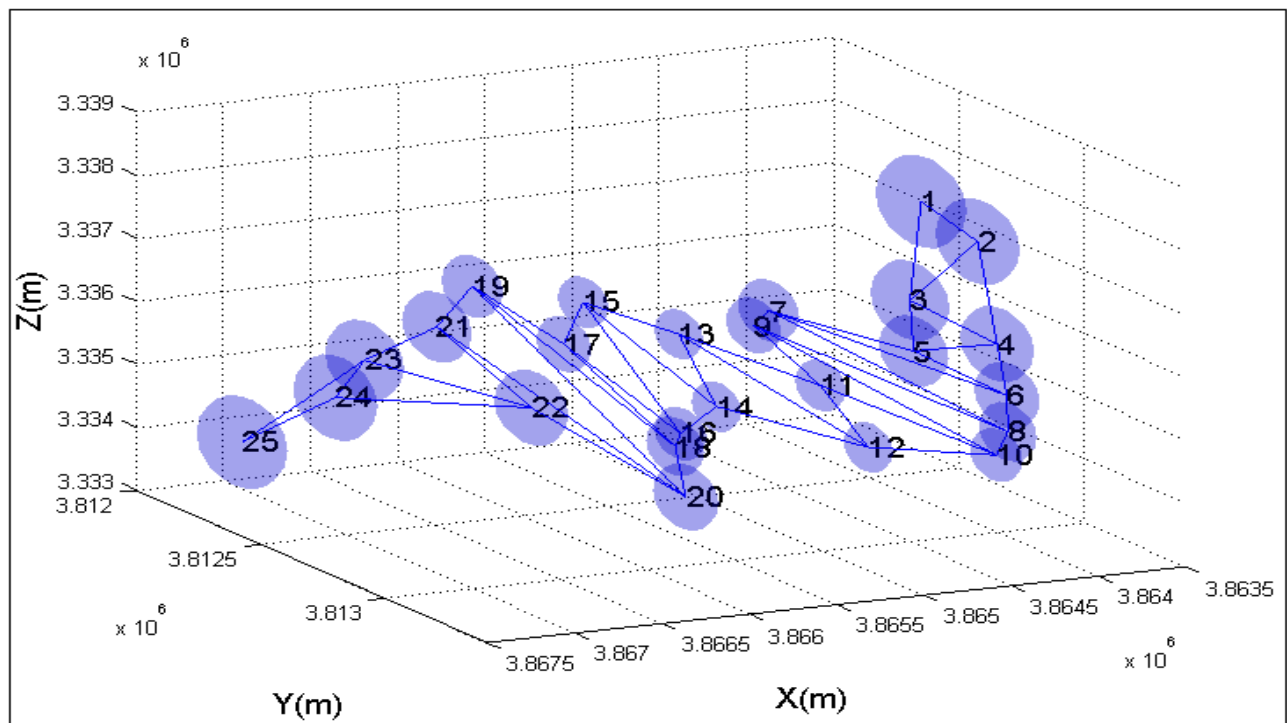
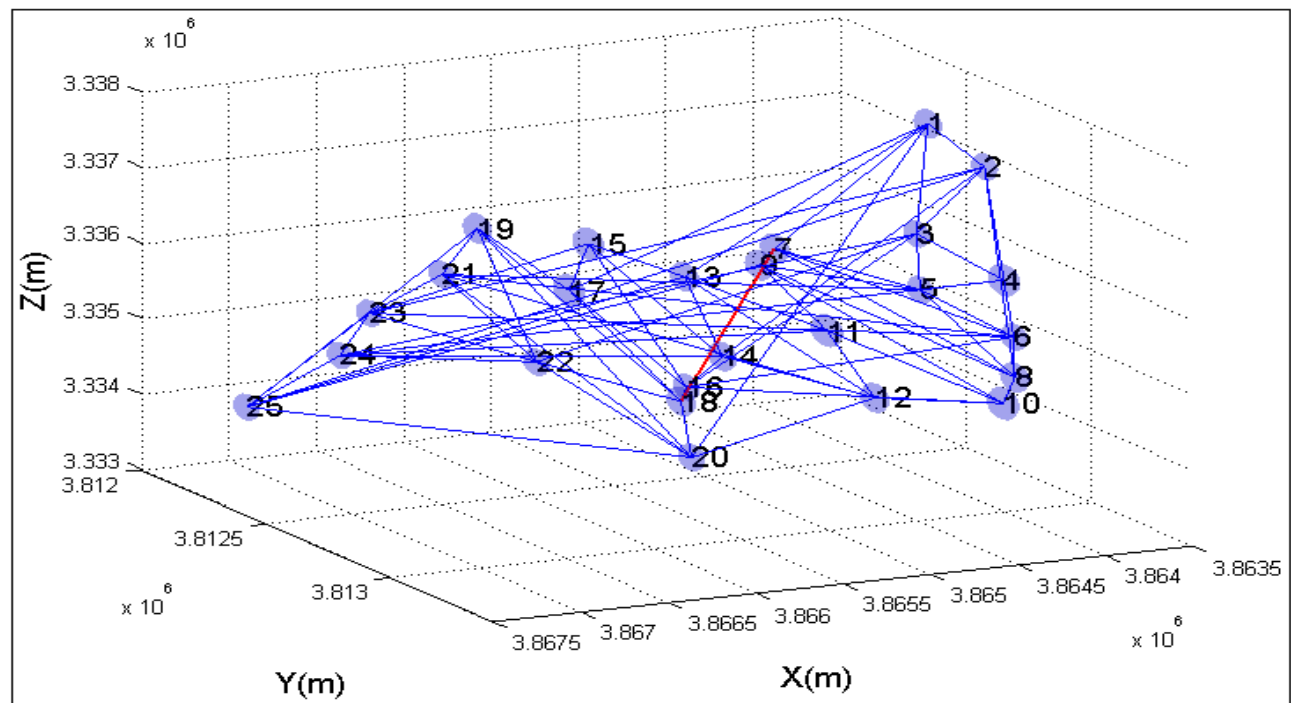


Figure 5. The improvement of the objective functions over 17 schemes.



(a) The First Observation Scheme

Figure 6. Observation schemes of FOD-p model for the area of study.



(b) The Final (Seventeenth) Observation Scheme

Figure 6. Observation schemes of FOD-p model for the area of study.



Reinforcement of Asphalt Concrete by Polyester Fibers to Improve Flexural Bending Fatigue Resistance

Dr. Mohammed Qadir Ismael
Instructor

University of Baghdad-Civil Engineering Dept.
drmohammedalbayati@gmail.com

Hiba M. Al-Taher
M.Sc. Student

University of Baghdad-Civil Engineering Dept.
hibamalik1986@yahoo.com

ABSTRACT

Reinforcing asphalt concrete with polyester fibers considered as an active remedy to alleviate the harmful impact of fatigue deterioration. This study covers the investigation of utilizing two shapes of fibers size, 6.35 mm by 3.00 mm and 12.70 mm by 3.00 mm with mutual concentrations equal to 0.25 %, 0.50 % and 0.75 % by weight of mixture. Composition of asphalt mixture consists of different optimum (40-50) asphalt cement content, 12.50 mm nominal aggregate maximum size with limestone dust as a filler. Following the traditional asphalt cement and aggregate tests, three essential test were carried out on mixtures, namely: Marshall test (105 cylindrical specimens), indirect tensile strength test (21 cylindrical specimens) and flexural bending test (21 beam specimens). The results revealed that, more asphalt content needed as the fibers length and concentration increased. The fatigue life estimation depending on cyclic load to failure in the beam test support the idea that polyester fibers really improve the resistance of fatigue cracking since the repetitions to failure increased by 9.40 % for the 0.50 % of 12.70 mm fibers length. Both of Marshall stability and indirect tensile strength suffer from slight reduction in their values, whereas, the 0.75 % of 12.70 mm fibers length caused lowering in Marshall stability and indirect tensile strength by 11.70 % and 6.00 % respectively.

Key words: Asphalt Pavement, fatigue cracking, polyester fibers, beam test, tensile strength

تعزيز الخرسانة الأسفلتية باللياف البوليسيتير لتحسين مقاومة الكلال لانحناء الثني

هبة مالك الطاهر
طالبة ماجستير
جامعة بغداد – قسم الهندسة المدنية

د. محمد قادر اسماعيل
مدرس
جامعة بغداد – قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

اعتبر تعزيز الخرسانة الاسفلتية باللياف البوليسيتير كعلاج فعال للتقليل من الاثر الضار لتدهور الكلال. يغطي هذا البحث التحقيق من استخدام شكلين من احجام الاليف، 6.35 مم * 3.00 مم و 12.70 مم * 3.00 مم وبنسب مشتركة تساوي 0.25%، 0.50% و 0.75% من وزن الخلطة. مكونات الخلطة الاسفلتية تتألف من محتوى امثل متعدد من السمات الاسفلتي 40-50، 12.5 مم من المقاس الاسمي الاقصى للركام مع غبار حجر الكلس كمادة مالئة. تبع اجراء الفحوص التقليدية للسمات الاسفلتي والركام اجراء ثلاث فحوص رئيسية للخلطات واسمائها: فحص مارشال (105 عينة اسطوانية)، فحص قوة الشد غير المباشر (21 عينة اسطوانية) وفحص انحناء الثني (21 عينة عتبة). اظهرت النتائج الحاجة الى المزيد من محتوى الاسفلت كلما زاد تركيز وطول الاليف. تقدير عمر الكلال اعتمادا على التحميل الدوري الى الفشل في فحص العتبة ساند فكرة ان اليف البوليسيتير فعلا تحسن مقاومة تشقق الكلال حيث ان التكرارات للفشل زادت ب 9.40 % ل 0.50 % من الاليف بطول 12.70 مم. كلا من ثبوتية مارشال وقوة الشد غير المباشر عانت من نقصان قليل لقيمه، حيث 0.75 % من الاليف بطول 12.70 مم سبب تخفيض لثبوتية مارشال و قوة الشد غير المباشر ب 11.70 % و 6.00 % بالتعاقب.

1. INTRODUCTION

It is widely recognized that highways play an important role in economic and social development of societies, therefore, many studies are directed towards modifying pavement properties. In Iraq as well as other countries, pavement surface cracks are considered as a major problems affected the performance of road networks. In order to prevent the cracking progress of asphalt layer, numerous efforts are devoted to improve the performance of asphalt mixtures, hence, many additives are used for this purpose. Polyester fibers are incorporating in asphalt mixtures production to enhance the resistance of flexible pavement against fatigue cracking, **Abtahi, et al., 2010**.

Reinforcement generally includes addition of materials which have some desired properties to other materials which do not have these properties. Fibers reinforcement was used to carry the tensile loads, improve the pavement resistance to some distresses as well as to prevent the formation and propagation of cracks, **Mahrez and Karim, 2010**.

1.1 Objective of the Study

The main purpose of the effort presented in this study is to investigate the role of reinforcing the asphalt mixture by polyester fibers with different contents and sizes. The course of experimental work involved the conventional Marshall test properties and the ability of mixture to resist the tensile stress by conducting the indirect tensile strength test. The achievement of fatigue resistance will be accomplished by performing the flexural bending fatigue test on asphalt concrete beam specimens.

2. REVIEW OF LITERATURES

One of the most significant distress modes in flexible pavements is fatigue cracking. The action of repeated loading caused by traffic induces tensile and shear stresses in the bound layers which lead to the gradual loss in the structural integrity of the material. Fatigue initiates cracks in the wheel path at points where critical tensile strains and stresses occur. Once the damage initiates at the critical locations, the action of traffic eventually causes these cracks to propagate through the entire bound layer, **Al-Khateeb and Shenoy, 2011**.

Moghaddam, et al., 2011, depicted that fatigue resistance of asphalt mixture is its ability to withstand repeated bending without fracture. Most analyses utilize flexure stresses or strains on the underside of the asphalt concrete pavement layers to assess the fatigue life.

As cited by **Deacon, et al., 1994**, in the early 1960s, Monismith, et al., and Pell established the relationships between Hot Mixed Asphalt (HMA) fatigue life and horizontal tensile stress or tensile strain at the bottom asphalt layer by using the basic forms shown in Eqs. (1) and (2).

$$N_f = k_1 \left[\frac{1}{\sigma_t} \right]^{k_2} \quad (1)$$

$$N_f = k_3 \left[\frac{1}{\varepsilon_t} \right]^{k_4} \quad (2)$$

Where N_f is the number of repetitions to failure, σ_t is the magnitude of the tensile stress repeatedly applied, ε_t is the magnitude of the tensile strain repeatedly applied, and k_1 , k_2 , k_3 , and k_4 are the experimentally determined coefficients.

An interesting statement declared by **Serfass and Samanos, 1996**, demonstrated that adding fibers enables developing asphalt mixtures that are rich in bitumen which create high resistance to ageing, effects of water and fatigue cracking as well as mechanically strong high resistance to shear, tension and flexure.

Asmael, et al., 2010, showed that polyester fibers do improve the performance of the asphalt mix as they enhance the stability, mainly due to their stabilizing and multi-directional reinforcing function. They also absorb the bitumen and thicken the bitumen film adhering to the aggregate, which strengthens the resistance of the asphalt mix to environmental disruption and water damage.

Chen, et al., 2009, used polyester fibers as the reinforcement for improving the fatigue life of asphalt mixture, by conducting the fatigue beam test on densely graded bitumen concrete, they concluded that, addition of the fibers decelerates the deflection development and crack evolution significantly for heavy loading road applications.

Qunshan, et al., 2009, used three types of fibers including polyester fibers, cellulose fibers and mineral fibers as modifiers for asphalt mixture with the dosage of 0.30 %, 0.35 % and 0.40 % by the total weight of asphalt mixture. The fatigue properties of asphalt mixture were studied at different stress ratios. Their extensive work showed that fatigue parameters of asphalt mixtures with fibers were decreased, which indicated that fatigue property could be improved by fibers modifiers.

Xu, et al., 2010, investigated the effect of polyester fibers with different percentages (0.00 %, 0.20 %, 0.35 % and 0.50 % by weight of mixture) on fatigue properties of asphalt concrete mixtures. Third-point bending fatigue test with stress controlled mode was performed at 20°C. They reported that addition of fibers into mixture resulted in increment of fatigue life. Consequently, fatigue life of AC with polyester fibers was more than other mixtures. As mentioned in their study, the improvement of fatigue characteristic is attributed to the three-dimensional networking effect of fibers in AC and stabilization of binder on surface of aggregate.

Anurag, et al., 2009, used roofing polyester waste fibers with two lengths (0.635 cm and 1.270 cm) and two contents (0.35 %, and 0.50 % by weight of total mixture). After conducted the indirect tensile strength test of asphalt concrete mixtures, they reported that addition of the polyester fibers was beneficial in improving the tensile strength properties in addition to increasing the following parameters; void content, asphalt content, unit weight, and Marshall stability, furthermore, they found that 0.635cm long fibers with 0.5 % content proved to be the best combination.

In another study performed by **Ye, et al., 2009**, which was carried out on fatigue properties of three types of fibers modified binder containing cellulose fibers, polyester fibers and mineral fibers. It was shown that fatigue parameters (dynamic modulus $|E^*|$ and phase angle (δ)) were decreased, so, the fatigue properties of fibers modified asphalt mixtures were improved compared to control mixture. Besides, the indirect tensile fatigue test (ITFT) was performed at different stress ratios, and the result illustrated that polyester fibers had the best influence on fatigue resistance of mixture among the three.

Shaopeng, et al., 2008, investigated the role of reinforcing asphalt mixture by polyester fibers, they depicted that viscosity of asphalt binder is increased with increasing polyester fibers contents and the cycle numbers to fatigue failure of fibers modified asphalt mixture are increased with 1.9, 2.9 and 3.6 times at 0.5, 0.4 and 0.3 stress ratios, besides, they found that optimum polyester fibers content was 0.30 % by weight of total mixture.

Salman, et al., 2001, investigated the effects of several types of fibers on the Marshall properties, they reported that adding such types of fibers to asphalt-mixture caused negative effects on variables of Marshall test (stability, flow, unit weight, air voids content, and voids in mineral aggregate). They also found that fibers-asphalt mixes required more compaction effort as compared to the control specimens.

Hasan, 1997, added three types of fibers to asphaltic mixture with lengths of (1.0 cm and 0.5 cm) and contents of (0.10, 0.20, 0.30, and 0.40) percentages by weight of total mixture. These fibers included Polypropylene fibers, Fibers Glass, and Steel wires. Marshall properties, indirect tensile strength, temperature susceptibility and resistance to moisture damage are studied. He found that optimum fibers content necessary to provide all the desired mixture properties has been determined to be equal to 0.20 % (by weight of total mixture) and the use of fibers with optimum asphalt content had improved performance related properties of paving mixtures including tensile strength, resistance to plastic flow and resistance to moisture damage.

3. MATERIALS AND METHODS OF TESTING

3.1 Asphalt Mixtures Composition

In general, the hot mix asphalt mixtures designed for this study are composed of aggregates (coarse, fine and mineral filler), asphalt binder and polyester fibers. Essentially, all the participated materials are locally available and traditionally utilized in paving process excluding the fibers. Several test were undertaken on asphalt binder and aggregates particles to satisfy the **SCRB R/9, 2003** requirements. **Tables 1, 2, 3 and 4** summarized the principal outcomes of the performed tests.

The prepared mixtures involved the following substances:

- 40-50 penetration grade of asphalt cement obtained from Daurah refinery,
- 12.5 mm nominal aggregate maximum size brought from Al-Nibae quarry,
- Natural sand and limestone dust brought from Karbala province, and
- Sheets of Polyester fibers obtained from local market.

3.1.1 Polyester Fibers

The polyester fibers are spun bond, non-woven and continuous. This commercial product trim waste was obtained from the rolls of polyesters used for roofing. Based on previously mentioned literatures, the polyester fibers incorporated in the present work have two length sizes of 6.35 mm and 12.70 mm with one width size of 3.00 mm as shown in **Fig.1**. Implementation of these fibers sizes aided by using paper shredder machine. The content of these fibers has three percentages; 0.25 %, 0.50 % and 0.75 % by weight of mixture.

3.2 Preparation of Asphalt Mixtures

Following the operation of sieving, the aggregates recombined with appropriate proportions which is necessary to meet the range of gradation specified by **SCRB R/9, 2003** for the wearing course asphalt pavement as listed in **Table 5** and portrayed in **Fig.2**. Prior to conducting the I.T.S and fatigue tests, Marshall test method (**ASTM D-6927**) was carried out on cylindrical specimens (101.6 mm in diameter and 63.5 mm in height) with different asphalt content for control mixture (0.00 % fibers) and reinforced mixtures to gain the optimum asphalt content for each combination in order to prepare the mixtures for the remaining tests, 105 specimens have been prepared for this test and some of them are displayed in **Fig.3**.

The polyester fibers were mixed with aggregates thoroughly for 15-25 sec, the aggregate are then heated to a temperature of 155 °C before mixing with asphalt cement which has already been heated to a temperature that produce a kinematic viscosity of (170 ± 20) centistokes (up to 163 °C as an upper limit), then, the asphalt cement is weighed to the desired amount and added to the heated aggregates and mixed thoroughly until all aggregates and polyester fibers particles are coated with asphalt. The direct measurements from Marshall test are stability and flow values while the following properties are calculated depending on density - voids analysis:

$$AV = [1 - G_{BM} / G_{MM}] \times 100 \quad (3)$$

$$VMA = 100 - [G_{BM} \times P_A / G_{BA}] \quad (4)$$

$$VFA = [VMA - AV / VMA] \times 100 \quad (5)$$

where:

AV = percent of air voids by total mixture weight,

VMA = percent of voids in mineral aggregate,

VFA = percent of voids filled with asphalt,

G_{BM} = bulk specific gravity of mixture,

G_{MM} = theoretical maximum specific gravity of mixture,

P_A = percent of aggregate by total weight of mixture, and

G_{BA} = bulk specific gravity of aggregates.

3.3 Indirect Tensile Strength Test

This test was performed according to the method described in **ASTM D-6931**. The same Marshall mold dimensions have been utilized with total number equal to 21 specimens. They left to cool at room temperature for 24 hours and then placed in an air bath at 25 °C for 4 hours in order to bring them to test temperature. The loading strips were placed and the load was applied at a strain rate of 50 mm/min. Three specimens for each mix combination were tested and the average results were reported. The indirect tensile strength in kPa was then calculated as follows:

$$I.T.S. = \frac{2000 \quad P_{ult}}{\pi \quad t \quad D} \quad (6)$$

where

P_{ult} = ultimate applied load required to fail the specimen, N

t = thickness of the specimen, mm

D = diameter of specimen, mm

3.4 Preparation of the specimens for the flexural bending fatigue test

The beam specimens have the dimensions of 500 mm in length, 100 mm in width and 50 mm in height and required approximately 5.750 kg of prepared asphalt mixture. The manufactured iron mold was heated to the compaction temperature. The mold and tamping foot were lightly oiled; 2 sheets of 10 cm by 50 cm papers placed on the mold base plate. The compactor foot was maintained sufficiently hot to prevent the mixture from adhering to it. One half of the required amount of

mixture for one specimen was placed in the mold in a uniform layer, spade the mixture vigorously with a heated spatula or trowel 40 times around the perimeter of the rectangular and 27 times over the interior of the rectangular. The leveling plate was placed on top of the specimen. Using a compression testing machine, a static load of 45 kN was applied on the specimen at a rate of 0.50 mm/min. The other remaining quantity of asphalt material was added in the same procedure. Three beam specimens for each mix combination were tested and the average results were reported. **Fig.4** shows some of the 21 beams specimens formed for this test.

3.5 Repeated loading apparatus

This apparatus has the ability to apply repeated load with different pressure values and within various loading and testing periods, furthermore, the testing chamber can maintain the temperature at the desired heat condition, **Albayati, A. H., 2006**. Compressive loading was applied in the form of rectangular wave with a constant loading frequency of 120 cycles per minute including 0.1 sec loading time and 0.4 sec rest period. Application of 45 kPa stress level was utilized and the test was controlled at a temperature of 20 °C. In the fatigue test, the number of applications to failure (N_f) was counted. A third-point loading system was chosen due to the advantage of the constant bending moment existence over the specimen middle third, so that, any weak spot due to non-uniform material properties will show up in the test results as declared by **Huang, 2004**. The beam dimensions with applied load system is configured in **Fig.5** while the test running is shown in **Fig.6**.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Marshall test

The effort spent in conducting Marshall test was essential to specify the optimum asphalt content for the various mixtures combinations, in this way, the control mixture (0.00 % fibers) witness the best results at 4.90 % of asphalt content (by weight of total mixture). However, this percent is slightly increased when fibers presented, whereas, for the 6.35 mm fibers size, the asphalt magnitudes become

5.00 %, 5.15 % and 5.30 % for the three proportions of fibers (0.25 %, 0.50 % and 0.75 % by weight of mixture) respectively. In the same manner, the asphalt values elevated to 5.10 %, 5.25 % and 5.40 % in the case of using 12.70 mm fibers size for the same proportions. The justification of this behavior belongs to the larger surface area of fibers which defiantly required more asphalt to coat. All the test results are listed in **Table 6** while **Fig.7** visualized only the attitude of control mixture. **Fig.8** displays the effect of fibers content on optimum asphalt content. As regard to stability values, specimens molded utilizing fibers exhibited lower stability with reductions values of 3.00 %, 5.00 % and 9.80 % for the first size (6.35 mm) and 4.00 %, 8.80 % and 11.70 % for the second size (12.70 mm) as shown in **Fig.9**, this might be explained by the increase in asphalt content which cause some sliding action for aggregate particles. The specimens containing no fibers had lower air void content than the mixtures containing polyester fibers, for further detailing, mixtures containing fibers length of 6.35 mm have higher air voids than the control mixture by 1.30 %, 9.40 % and 13.50 % for the three fibers content categories while specimens containing the other fibers size witness an growth in air voids by 8.10 %, 10.80 % and 14.80 % as portrayed in **Fig.10**. However, this behavior could be understood due to the low specific gravity of fibers which resulted in reducing the bulk density of mixture that leading to increase air voids.

4.2 Effect of polyester fibers on I.T.S.

The influence of reinforcing asphalt mixtures by polyester fibers on tensile strength is plotted in **Fig.11**. As can be seen, there is a little reduction in tensile strength value as the fibers acted. In other words, incorporating fibers with 6.35 mm length produce values of reduction of 3.40 %, 5.00 % and 5.60 %, while for the other fiber size, the reduction values increased to 4.10 %, 5.50 %, and 6.00 % for the three fibers contents. This could be due to their relatively higher air voids, i.e., higher air voids provide more space resulting in greater expanding forces.

4.3 Effect of polyester fibers on flexural bending fatigue test

Performing the flexural bending test on asphalt beam specimens at the specified conditions provides the results which are listed in **Table 7** and plotted in **Fig.12**. It seems to be that adding polyester fibers indeed show some enhancement in the fatigue properties. Demonstrating by percentages, 4.70 %, 8.10 % and 7.40 % growth of cyclic loads to failure occurred when the fibers of 6.35 mm length size presented in the mixtures with their three blended categories. Referring to the fibers of 12.70 mm length size, the same increase happened with little enlargement, in other words, 5.40 %, 9.40 % and 8.70 % percentages of increase observed. It is clearly noticed that 0.50 % of fibers content yields the best results for both fibers configuration. This improvement confirmed to the fact that the fibers distributed in different directions of asphalt-aggregates matrix causing high strain capacity of the mixes owing to their higher asphalt content and the thicker film coating the aggregates.

5. CONCLUSIONS

- The potential of reinforced asphalt concrete to withstand fatigue deterioration succeed to show through flexural bending test, whereas, the 0.50 % with 12.70 mm fibers length showed the higher percentage of enhancement by 9.40 %, on the other hand, the lowest increment of increase, 4.70 %, occurred by incorporating 0.25 % of 6.35 mm fibers length.
- It is appeared that, as the polyester fibers size and content increased, the required asphalt binder to produce the optimum Marshall properties increased also. Referring to this, reinforcing mixture by 0.25 % of 6.35 mm fiber length need 5.00 % of asphalt binder to reach the optimum behavior, while this percent become 5.40 % when the 0.75 % of 12.70 mm fiber length utilized.
- Within the limit of this study , continues rising of polyester length and contents seems to be slightly have an impairs effect on Marshall stability, herein, 0.25 % of first fibers size caused a reduction in Marshall stability by 3.00 %, unfortunately, this reduction elevated to 11.70 % as the 0.75 % of the second fibers size presented. However, all the reinforced specimens are still at safe distance from the minimum specification values.
- The specimens containing no fibers had lower air void content than the mixtures containing polyester fibers. Mixtures containing fibers length of 6.35 mm have higher air voids than the control mixture by 1.30 %, 9.40 % and 13.50 % for the three fibers content categories while specimens containing the other fibers size witness a growth in air voids by 8.10 %, 10.80 % and 14.80 %.
- There is a little reduction in tensile strength value as the fibers acted. Incorporating fibers with 6.35 mm length produce values of reduction of 3.40 %, 5.00 % and 5.60 %, while for other size, the reduction values increased to 4.10 %, 5.50 %, and 6.00 % for the three fibers contents.

**REFERENCES**

- Abtahi, S. M., Sheikhzadeh, M., and Hejazi, S. M., 2010, *Fiber-Reinforced Asphalt Concrete - A Review*, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 24, Issue21, PP.871-877.
- Albayati, A. H., 2006, *Permanent Deformation Prediction of Asphalt Concrete Under Repeated Loading*, Ph.D Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Baghdad.
- Al-Khateeb, G., and Shenoy, A., 2011, *A Simple Quantitative Method for Identification of Failure Due to Fatigue Damage*, International Journal of Damage Mechanics, Vol. 20, PP. 3-21.
- American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards. Road and Paving Materials*, Volume 04.03, 2006.
- Anurag, K., Xiao, F., and Amirkhanian, S. N., 2009, *Laboratory Investigation of Indirect Tensile Strength Using Roofing Polyester Waste Fibers in Hot Mix Asphalt*, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 23, Issue 5, PP.2035-2040.
- Asmael, N. M., Ahmed, A. I., and Kareem, Q. S., 2010, *Effect of Additives Types and Contents on the Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures*, Engineering and Technology Journal, Vol. 28, Issue 21, PP.6414-6426.
- Chen, H., Xu, Q., Chen, S., and Zhang, Z., 2009, *Evaluation and Design of Fibers-Reinforced Asphalt Mixtures*, Journal of Materials and Design, Vol. 30, PP. 2595-2603.
- Deacon, J., Tayebali, A., Coplantz, J., Finn, F., and Monismith, C.L., 1994, *Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes, Part III – Mix Design and Analysis*, Strategic Highway Research Program Report: No. SHRP-A-404, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Hasan, M. A., 1997, *Effect of Reinforcement on Performance of Asphalt Paving Mixtures*, B.Sc. Thesis, College of Engineering of Baghdad University.
- Huang, Y. H., 2004, *Pavement Analysis and Design*.” 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Mahrez, A., and Karim, M. R., 2010, *Fatigue Characteristics of Stone Mastic Asphalt Mix Reinforced With Fiber Glass*, International Journal of the Physical Sciences, Vol. 5, PP. 1840-1847.
- Moghaddam, T. B., Karim, M. R., and Abdelaziz, M., 2011, *A Review on Fatigue and Rutting Performance of Asphalt Mixes*, Scientific Research and Essays, Vol. 6, PP. 670-682.
- Qunshan, Y. E., Shaopeng, W. U., and Ning, L. I., 2009, *Investigation of the Dynamic and Fatigue Properties of Fibers-Modified Asphalt Mixtures*, International Journal of fatigue, Vol. 31, Issue10, PP.1352-1364.
- Salman, H. Y., Salah, S. A., and Jony, H. H., 2001, *Some Properties of Fibers-Asphalt Paving Mixture*, Engineering Technology, Supplement of No.4, Vol. 20, PP. 204-211.
- SCRB, Revised Edition, 2003, *Standard Specifications for Roads and Bridges, Section R/9, Hot-Mix Asphaltic Concrete Pavement*, The State Corporation for Roads and Bridges, Ministry of Housing and Construction, Republic of Iraq.



- Serfass, J. P., and Samanos, J., 1996, *Fibers-Modified Asphalt Concrete Characteristics; Applications and Behavior*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 65, PP.193-218.
- Shaopeng, W. U., Qunshan, Y. E., and Ning, L. I., 2008, *Investigation of Rheological and Fatigue Properties of Asphalt Mixtures Containing Polyester Fibers*, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 22, Issue10, PP.2111-2115.
- Xu, Q., Chen, H., and Prozzi, J. A., 2010, *Performance of Fibers Reinforced Asphalt Concrete Under Environmental Temperature and Water Effects*, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 24, No.10, PP. 2003-2010.
- Ye, Q., Wu, S., and Li, N., 2009, *Investigation of the Dynamic and Fatigue Properties of Fibers Modified Asphalt Mixtures*, International Journal of fatigue, Vol. 31, PP.1598-1602.

NOMENCLATURE

| | |
|---|--|
| AC | asphalt concrete |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| AV | percent of air voids by total mixture weight |
| D | diameter of specimen, mm |
| G _{BA} | bulk specific gravity of aggregates |
| G _{BM} | bulk specific gravity of mixture |
| G _{MM} | theoretical maximum specific gravity of mixture, |
| HMA | hot mixed asphalt |
| I.T.S | indirect tensile strength |
| ITFT | indirect tensile fatigue test |
| k ₁ , k ₂ , k ₃ , and k ₄ | experimentally determined coefficients |
| N _f | number of repetitions to failure |
| P _A | percent of aggregate by total weight of mixture |
| P _{ult} | ultimate applied load required to fail the specimen, N |
| SCRB | The State Corporation for Roads and Bridges |
| t | thickness of the specimen, mm |
| VFA | percent of voids filled with asphalt |
| VMA | percent of voids in mineral aggregate |
| ε _t | magnitude of the tensile strain |
| σ _t | magnitude of the tensile stress |

**Table 1.** Physical properties of Daurah 40-50 asphalt cement.

| Test | Unit | ASTM Designation No. | Result | SCRB, R/9 Requirements |
|-------------------------------------|---------|----------------------|--------|------------------------|
| Penetration @ (25 °C, 100 gm, 5sec) | 1/10 mm | D-5 | 46 | 40-50 |
| Softening Point (Ring & Ball) | (°C) | D-36 | 51 | |
| Specific Gravity @ 25 °C | | D-70 | 1.01 | |
| Ductility @ (25 °C, 5 cm/min) | cm | D-113 | 114 | >100 |
| Flash Point, (Cleveland open Cup) | (°C) | D-92 | 319 | > 232 |
| Residue from Thin Film Oven Test | | | | |
| Retained Penetration, % of Original | % | D-5 | 80 | > 55 |
| Ductility @ (25 °C, 5cm/min) | cm | D-113 | 92 | > 25 |

Table 2. Physical properties of Al-Nibae aggregate

| Property | ASTM Designation No. | Coarse Aggregate | Fine Aggregate |
|--|----------------------|------------------|----------------|
| Bulk Specific Gravity | C-127 & C-128 | 2.600 | 2.640 |
| Apparent Specific Gravity | C-127 & C-128 | 2.644 | 2.652 |
| Percent of Water Absorption | C-127 & C-128 | 0.435 | 0.562 |
| Percent of Wear (Los Angeles Abrasion Test) | C-131 | 19.69 | |

Table 3. Physical properties of limestone dust

| Property | Result |
|------------------------|--------|
| % Passing Sieve No.200 | 100 |
| Specific Gravity | 2.69 |

Table 4. Physical properties of polyester fibers
(provided by manufacture company)

| Test Properties | Typical Value |
|-----------------------------|---------------|
| Weight, gm/m ² | 180 |
| Density, gm/cm ³ | 1.36 |
| Tensile Strength, MPa | >517 |
| Elongation-at-Break, % | 39 |
| Tear Strength, N | 75 |
| Softening Point, °C | 240 |
| Melting Point, °C | >255 |

**Table 5.** Gradation of combined aggregate

| Sieve Size | Specification Range, (%)* | Work Limit, (%) |
|------------|---------------------------|-----------------|
| 3/4" | 100 | 100 |
| 1/2" | 90-100 | 95 |
| 3/8" | 76-90 | 83 |
| No.4 | 44-74 | 59 |
| No.8 | 28-58 | 43 |
| No.16 | | 32 |
| No.30 | | 20 |
| No.50 | 5-21 | 13 |
| No.100 | | 10 |
| No.200 | 4-10 | 7 |

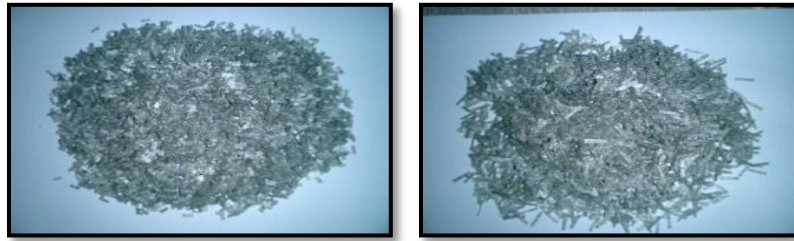
*(SCRB R/9, 2003)

Table 6. Marshall test results

| Fibers Length, (mm) | (%) Fibers, by wt. of mix. | O.A.C., (%) by wt. of mix. | Stability (kN) | Flow, (mm) | Bulk Density (gm/cm ³) | Air Voids (%) | V.M.A. (%) | V.F.A. (%) |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|------------|------------------------------------|---------------|------------|------------|
| Control mix | 0 | 4.9 | 10.2 | 2.0 | 2.340 | 3.70 | 14.40 | 74.30 |
| 6.35 | 0.25 | 5.0 | 9.9 | 3.0 | 2.334 | 3.75 | 14.70 | 74.48 |
| | 0.50 | 5.15 | 9.7 | 3.8 | 2.315 | 4.05 | 15.54 | 73.93 |
| | 0.75 | 5.3 | 9.2 | 4.0 | 2.285 | 4.20 | 16.75 | 74.92 |
| 12.70 | 0.25 | 5.1 | 9.8 | 3.5 | 2.322 | 4.00 | 15.30 | 73.85 |
| | 0.50 | 5.25 | 9.3 | 4.1 | 2.300 | 4.10 | 16.17 | 74.64 |
| | 0.75 | 5.4 | 9.0 | 4.2 | 2.280 | 4.25 | 17.10 | 75.14 |

Table 7. Flexural bending fatigue test results

| Fibers length(mm) | Control | 6.35 | | | 12.70 | | |
|-------------------|---------|------|------|------|-------|------|------|
| Fibers, (%) | 0 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
| N _f | 148 | 155 | 160 | 159 | 156 | 162 | 161 |



6.35 mm

12.70 mm

Figure 1. Samples of polyester fibers

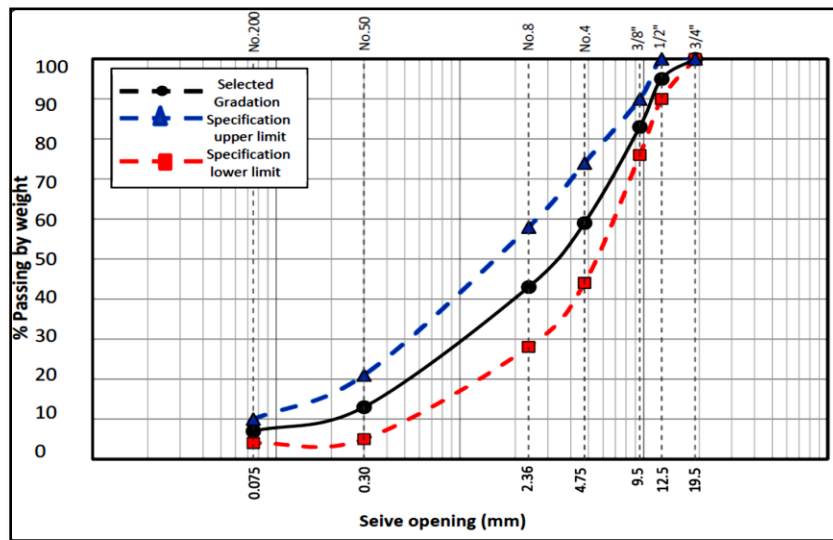


Figure 2. Specification limits and selected gradation for wearing course (12.5 mm nominal maximum aggregate size).



Figure 3. Marshall specimens.

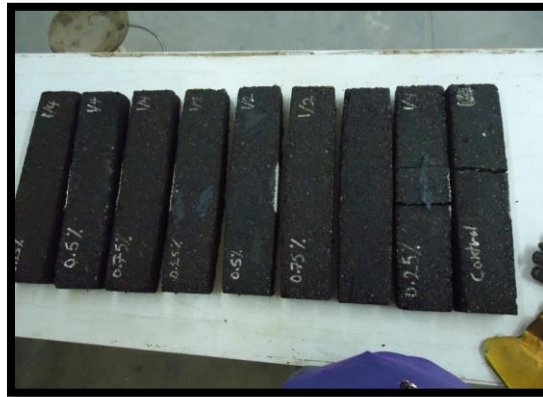


Figure 4. Asphalt beam specimens.

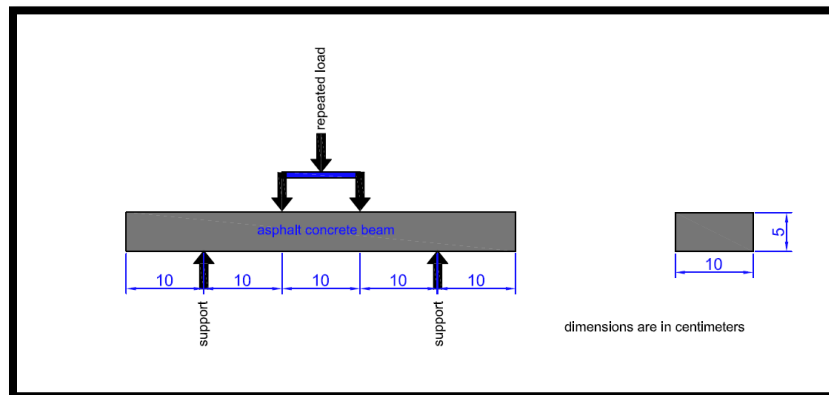


Figure 5. Diagrammatic view of third point loading system.



Figure 6. Flexural bending fatigue test.

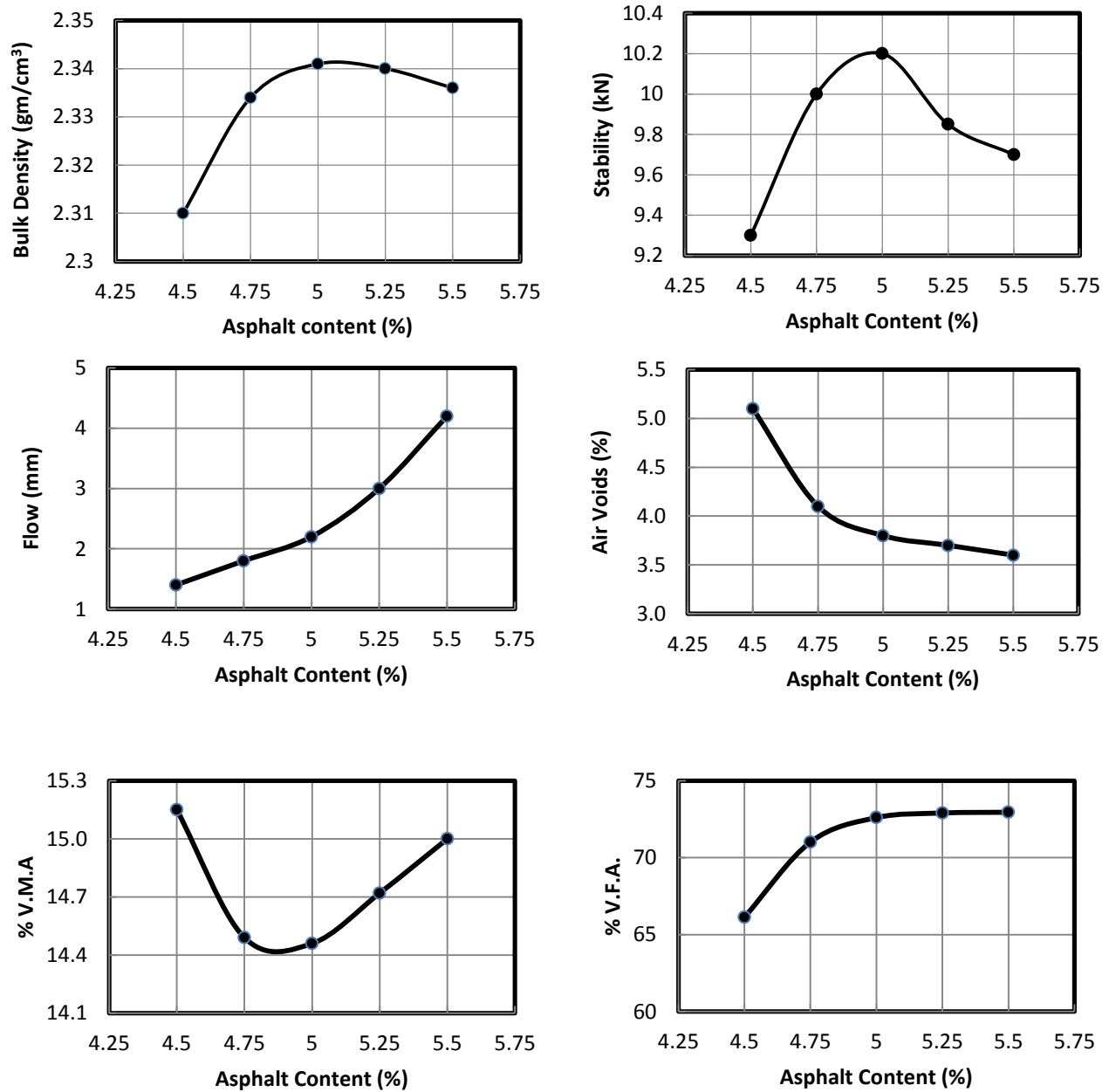


Figure 7. Marshall test results for control mixture.

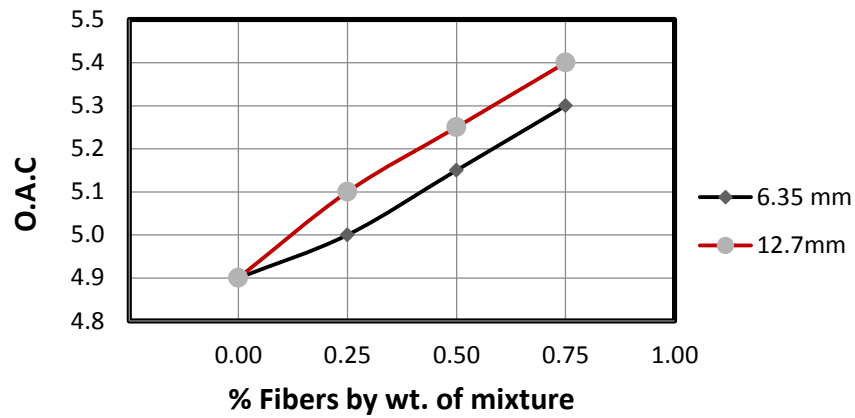


Figure 8. Effect of fibers content on O.A.C

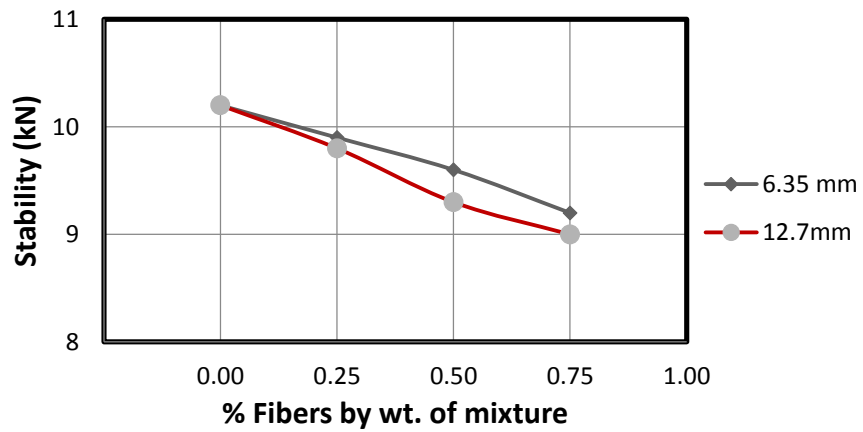


Figure 9. Effect of fibers content on Marshall stability.

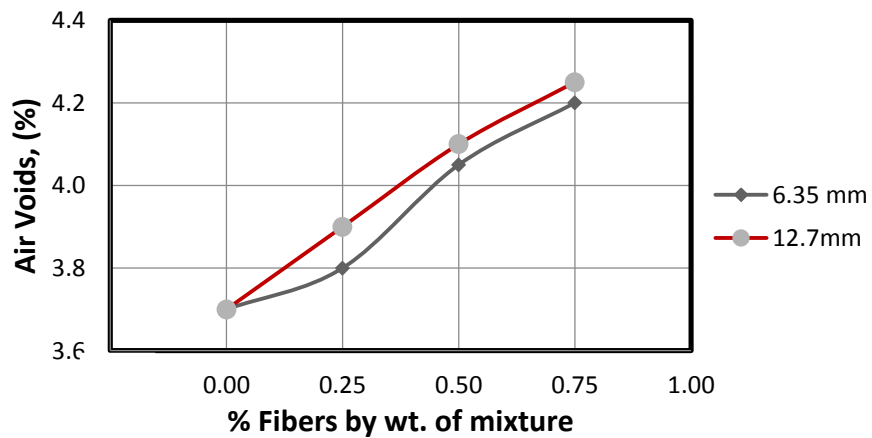


Figure 10. Effect of fibers content on air voids .

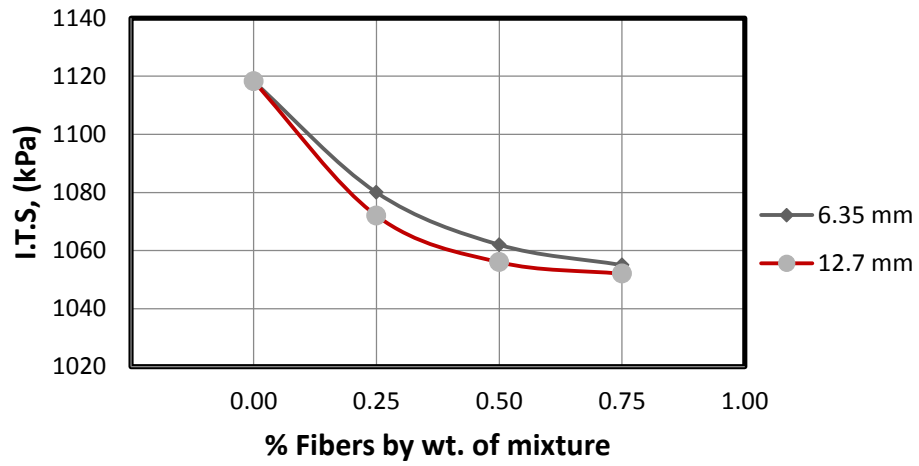


Figure 11. Effect of fibers content on I.T.S .

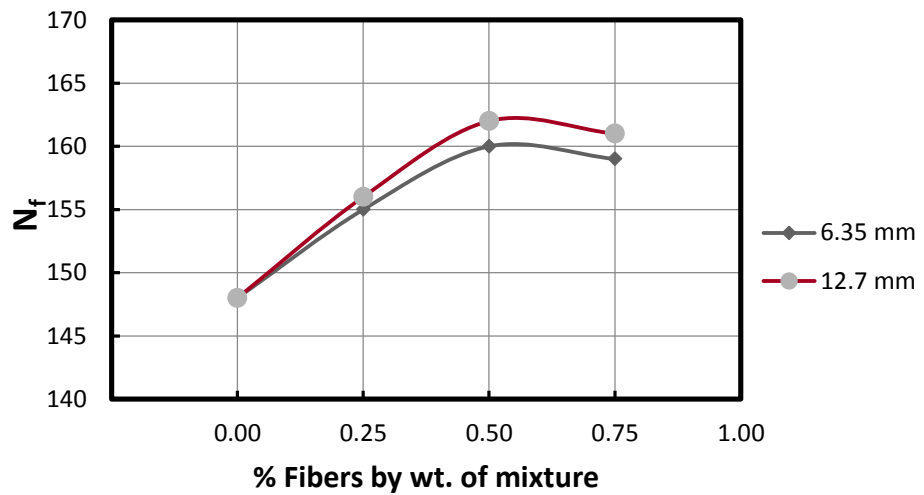


Figure 12. Effect of fibers content on N_f .

قائمة المحتويات

القسم العربي:

| الصفحة | العنوان |
|---------|---|
| 12 - 1 | دراسة عملية لتأثير الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق في تخفيض احمال تبريد الابنية د. قصي جهاد عبد الغفور بشار كامل محمود |
| 29 - 13 | تطوير أداء تنفيذ الهياكل الخرسانية في قطاع التشييد في العراق باستخدام التقنية الإدارية الحديثة (Six Sigma) أ.م.د. حاتم خليفة بريسم العجيلي حسن عبد الصاحب مهدي |
| 54 - 30 | الخصائص الشكلية للنمط المعماري للمساجد المعاصرة في ضوء مفهوم الطوبولوجية د. نوار سامي مهدي د. صبا سامي مهدي |

دراسة عملية لتأثير الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق في تخفيض احمال تبريد الابنية

د. قصي جهاد عبد الغفور

استاذ مساعد

قسم هندسة المكاين والمعدات

الجامعة التكنولوجية

بشار كامل محمود

قسم هندسة المكاين والمعدات

الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

أظهرت الدراسة العملية ان استخدام جدار ذي تجويف هوائي مغلق (سمك التجويف 5cm) يعمل على خفض حمل الكسب الحراري عبر الجدار بنسبة (21.5 %) بالمقارنة مع جدار تقليدي (بدون تجويف). وبينت النتائج ايضاً أن المقاومة الحرارية للتجويف المغلق كانت بمعدل $(0.2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$. وأظهرت النتائج العملية للدراسة أن الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق يعمل على خفض متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم بمعدل $(0.45 \text{ } ^\circ\text{C})$ مقارنة مع الجدار (بدون تجويف). وكذلك خفض مدى التغير في درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار خلال اليوم بمعدل $(0.66 \text{ } ^\circ\text{C})$ مقارنة مع الجدار (بدون تجويف) ايضاً.

الكلمات الرئيسية: جدار ذي تجويف مغلق ، جدار تقليدي ، احمال التبريد

Experimental Study of the effect of closed cavity wall on buildings cooling loads saving

Dr. Qussai Jihad Abdul Ghafour

Asst. prof.

University of Technology

Mechanical Engineering Department

kaisyqj@yahoo.com

Bashar Kamil Mahmoud

University of Technology

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

The experimental study showed the use of closed cavity wall (the thickness of the cavity 5cm) made a percentage reduction in the cooling load caused by heat gain from the wall by (21.5 %) compared with the conventional wall. also the thermal resistance of the closed cavity was an average $(0.2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$.

The experimental results of the study showed that the use of closed cavity wall reduced the average temperature of the inner surface of the wall during the day, and that the reduction was an average $(0.45 \text{ } ^\circ\text{C})$ when compared with the conventional wall , as well as the use of closed cavity wall reduced the temperature difference range of the inner surface of the wall during the day, and that the reduction was an average $(0.66 \text{ } ^\circ\text{C})$ when compared with the conventional wall .

المقدمة :

أصبحت مسألة استهلاك الطاقة في مختلف قطاعات الحياة وخاصة قطاع المباني الذي يمثل الجزء الأكبر من هذا الاستهلاك مسألة جوهرية ، خصوصاً في العراق الذي يتميز مناخه بكبر نطاق الأشهر الحارة على الباردة وارتفاع معدلات درجة الحرارة خلال الصيف مما زاد من استخدام منظومات التكييف لضمان بيئة داخلية ملائمة للشاغلين وهذا يؤدي الى زيادة في معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية .

وفي هذا البحث ومن خلال تصميم جدار يحتوي على تجويف هوائي مغلق ممتد على طوله ، تمت دراسة تأثير استخدام الجدار (ذي التجويف الهوائي المغلق) في تخفيض حمل التبريد نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار بالمقارنة مع جدار تقليدي (بدون تجويف) وكذلك دراسة تأثيره على درجة الحرارة للسطحين الخارجي والداخلي للجدار بالمقارنة مع الجدار التقليدي أيضاً.

فعندما يحاط الهواء بتركيب معين فان المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي المغلق يمكن ان تساهم في زيادة المقاومة الحرارية الكلية للتركيب وذلك بسبب الموصلية الضعيفة للهواء وان قيمة المقاومة الحرارية تعتمد على عدة عوامل منها (سمك التجويف، وميل التجويف الهوائي، واتجاه انتقال الحرارة، ومعدل درجة الحرارة داخل التجويف وكذلك درجة الحرارة والانبعاثية للموجات الكهرومغناطيسية الطويلة لأسطح التجويف)، وأن انتقال الحرارة خلال التجويف يكون عن طريق (التوصيل والحمل والاشعاع)، فالجزء المتعلق بالاشعاع يعتمد على درجة حرارة وخصائص السطوح الحدية (الامتصاصية والنفاذية والانعكاسية)، أما سماكة التجويف الهوائي وموقعه واتجاه انتقال الحرارة فإنها غير مؤثرة ، وبالمقابل فان الجزء المتعلق بانتقال الحرارة عن طريق الحمل يتأثر بـ (موقع التجويف الهوائي، واتجاه انتقال الحرارة، والاختلاف في درجة حرارة السطحين، وسماكة التجويف الهوائي) (ASHRAE, 2001).

ومن الدراسات التي تمحورت حول موضوع التجاويف الهوائية المغلقة ما قام به الباحثون (Robinson et al., 1954) من تجارب عملية، تم الاستناد اليها من قبل منظمة (ASHRAE) الأمريكية في ادراج قيم للمقاومة الحرارية لتجاويف هوائية مغلقة عند ظروف مختلفة (ASHRAE, 2001) . كما قام الباحثان (Ridouane, and Marcus, 2011) بمحاكاة عددية لدراسة الاداء الحراري لحائط متعدد الطبقات يحتوي على تجويف هوائي عمودي (0.089m x 2.44m) مغلق ومعزول من الاعلى ومن الاسفل بتغيير عدة عوامل (درجة حرارة المحيط و درجة انبعاثية أسطح التجويف و نسبة الطول الى العرض للتجويف)، حيث بينا ان المقاومة الحرارية للتجويف تقل بزيادة انبعاثية الاسطح المحيطة للتجويف بينما تزداد المقاومة بزيادة النسبة الباعية للتجويف، وتبلغ أعلى قيمة للمقاومة الحرارية للتجويف عندما تكون درجة حرارة المحيط الخارجي والحيز الداخلي متساويتين وتتناقص قيمتها كلما زاد فرق درجات الحرارة. وقام الباحثون (Aviram, et al., 2001) بدراسة عملية عن طريق استخدام صندوق اختبار الحرارة (guarded hot box) حققوا من خلاله عملية انتقال الحرارة لنسب طول الى عرض متغيرة لتجويف هوائي مغلق، حيث وجدوا تناقصاً في شدة انتقال الحرارة (Circulation) وتزايداً بالمقاومة الحرارية للتجويف بزيادة نسبة الطول الى العرض. وبنفس المجال توصل الباحث (Manz, 2003) الى نتائج متوافقة من خلال دراسة عددية لعملية انتقال الحرارة خلال تجويف مستطيل بنسب طول الى عرض (20,40,80).

الجانب العملي :

المنظومة العملية :

من اجل اجراء الدراسة فقد تم بناء جدارين متجاورين من الطابوق بالاتجاه الشرقي بارتفاع (3.0m) وعرض (1.0m) لكل جدار، احدهما تقليدي (بدون تجويف) والاخر ذو تجويف هوائي مغلق (سمك التجويف 5cm)، وتم بناء

حيز يؤلف الجانب الشرقي له الجدارين المتجاورين أما بقية الجوانب والسقف فتتألف من جدران من الفلين، وتم وضع جهاز مكيف شبكي في الجانب المقابل للجدارين. وتم اجراء التجريبتين خلال فصل الصيف.

الجدار التقليدي (بدون تجويف) :

تم بناء جدار بارتفاع (3m) وعرض (1m) وسمك (0.28m) مستند من الاسفل على قاعدة من الكونكريت بسمك (0.2m) متصلة بالارض والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m) والجدار متكون من ثلاث طبقات، وكما موضح بالشكل (1) :

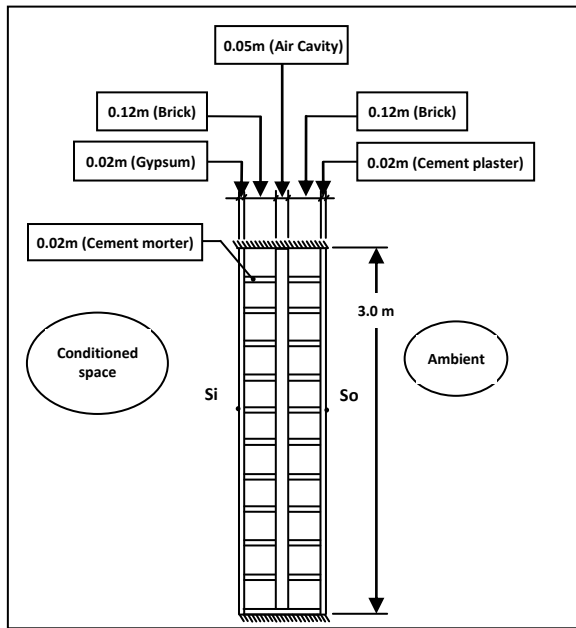
1. ليخ سمنتي بسمك (0.02m).
2. طابوق مثقب بسمك (0.24m).
3. بياض جصي بسمك (0.02m).

ويبين الجدولين (1) و (2) معامل المواصلة الحرارية للطابوق المثقب ومعامل الموصلية الحرارية لمواد البناء المستخدمة (المدونة العراقية للعزل الحراري 2013).

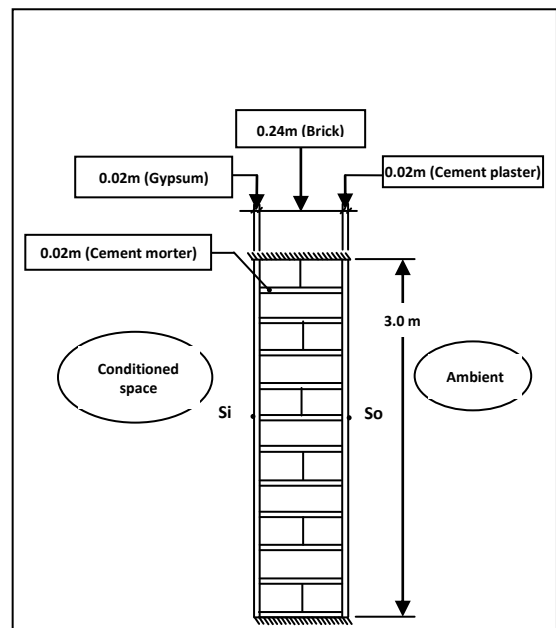
الجدار ذو التجويف الهوائي المغلق :

وهو بارتفاع (3m) وعرض (1m) وسمك (0.33m) يحتوي في المنتصف على تجويف مغلق بسمك (0.05m) ممتد على طول الجدار ويستند الجدار من الاسفل على قاعدة من الكونكريت بسمك (0.2m) متصلة بالارض والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب من جهة العرض بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m) والجدار متكون من خمسة طبقات وكما مبين في الشكل (2) :

1. ليخ سمنتي بسمك (0.02m).
2. طابوق مثقب بسمك (0.12m).
3. تجويف هوائي مغلق بسمك (0.05m).
4. طابوق مثقب بسمك (0.12m).
5. بياض جصي بسمك (0.02m).

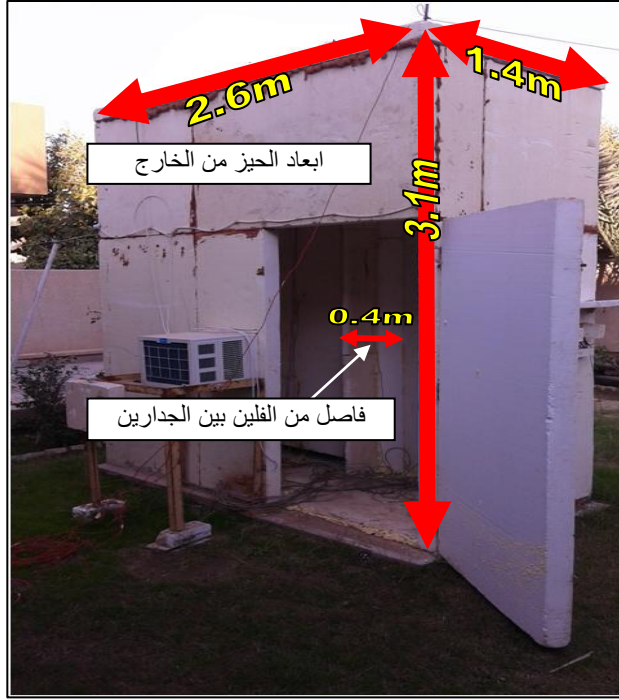


شكل (2) مقطع جانبي لجدار ذي تجويف مغلق



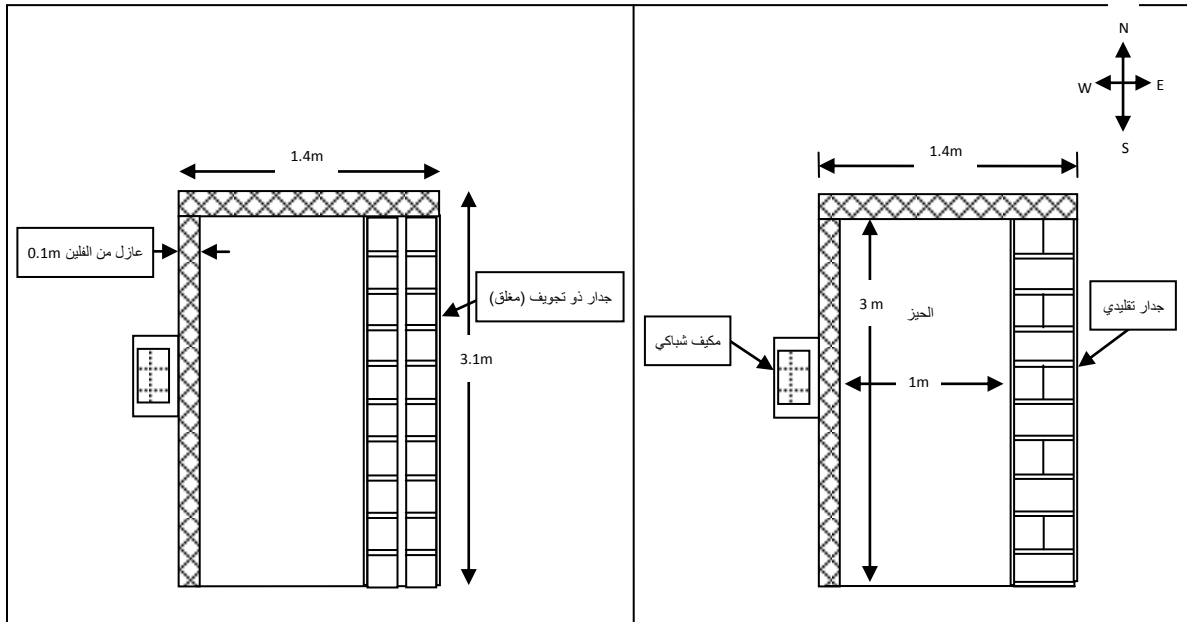
شكل (1) مقطع جانبي لجدار تقليدي (بدون تجويف)

الحيز مع جهاز التكييف :



الشكل (3) الحيز مع جهاز التكييف

وهو بطول (1m) وعرض (2.4m) وارتفاع (3m) متكون من ثلاث جدران وسقف وأرضية من الفلين بسمك (0.1m) والجدار الرابع المواجه للشرق مكون من جزئين (الجدار الاعتيادي والجدار المجوف) يفصل بينهما في المنتصف طبقة من الفلين بعرض (0.4m) لمنع انتقال الحرارة بين الجدارين وتم وضع جهاز مكيف شبكي سعة تبريد (7500 BTU) في منتصف الجدار الفليني المقابل بطريقة تضمن توزيع الهواء بصورة منتظمة داخل الحيز للحفاظ على درجة حرارة التبريد المطلوبة ، وكما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (4) مخطط يبين مقطعاً جانبياً لجداري الاختبار (جدار تقليدي بدون تجويف) ، جدار ذي تجويف مغلق مع الحيز وجهاز التكييف



الشكل (5) جداري الاختبار

قياس درجة الحرارة :

تم قياس درجة الحرارة للجدران والحيز باستخدام نوعين من الاجهزة

النوع الاول : مزدوجات حرارية (Thermo couples) من نوع (k) تتصل بـ (selector switch) للتحويل بين نقاط المزدوجات الحرارية ويتصل بدوره بـ (thermometer) موديل (DM6801A) لشركة (Victor)، Range: -50°C (to 200°C) لاخذ القراءات لدرجة حرارة السطح الخارجي للجدران، حيث تم وضع خمس مزدوجات حرارية لكل سطح جدار وتم توزيعها طوليا عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح الخارجي لكل جدار .

النوع الثاني : مسجل بيانات الكتروني نوع (Data logger) لشركة (Lap Jack) موديل (U3-LV) يتصل بحاسبة الكترونية من اجل تسجيل القراءات لدرجة حرارة السطح الداخلي للجدران، حيث تم استخدام حساسات الجهاز بواقع خمس حساسات لكل سطح جدار تم توزيعها طوليا عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح الداخلي لكل جدار .

الاجراءات العملية :

تم اجراء تجربتين في فصل الصيف واستغرقت التجربة الواحدة ثلاثة ايام حيث ان اخذ القراءات يكون في اليوم الثالث ولمدة اربع وعشرين ساعة وذلك للحصول على اكبر قدر من الاستقرار للمنظومة وتم اخذ القراءات للجدار التقليدي والجدار ذو التجويف الهوائي المغلق بنفس الوقت من اجل المقارنة بينهما.

الحسابات :

حساب متوسط الكسب الحراري للحيز عبر الجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال اليوم:

يتم حسابه عن طريق موازنة الطاقة حيث ان متوسط معدل الحرارة المنتقلة خلال اليوم من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للجدار بواسطة التوصيل يساوي متوسط معدل الحرارة المنتقلة خلال اليوم نفسه من السطح الداخلي للجدار الى الحيز بواسطة الحمل والاشعاع (متوسط الكسب الحراري عبر الجدار خلال اليوم) (ASHRAE , 2001) وكما يأتي:

$$\overline{Q_{in(1)}} = \overline{Q_{cond(1)}} \quad (1)$$

حيث أن

$$\overline{Q_{cond(1)}} = U_{wall(1)} \times A_{wall} \times (\overline{T_{so(1)}} - \overline{T_{si(1)}}) \quad (2)$$

$$U_{wall(1)} = \frac{1}{R_{wall(1)}} \quad (3)$$

$$R_{wall(1)} = (l/k)_{cement.p} + \left[\frac{A_{total}}{C_{brick(24)} \times A_{brick(24)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m(24)}} \right] + (l/k)_{gypsum} \quad (4)$$

حساب متوسط الكسب الحراري للحيز عبر الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق خلال اليوم :

يتم حسابه عن طريق المعادلة التالية :

$$\overline{Q_{in(2)}} = h_i \times A_{wall} \times (\overline{T_{si(2)}} - \overline{T_i}) \quad (5)$$

حيث ان

$$h_i = \frac{\overline{Q_{in(1)}}}{A_{wall} \times (\overline{T_{si(1)}} - \overline{T_i})} \quad (6)$$

حساب نسبة التخفيض في حمل التبريد (RCL) (Reduction of Cooling Load):

سوف يتم حساب نسبة التخفيض في حمل التبريد اليومي نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) وحسب المعادلة التالية :

$$RCL(\%) = \frac{\overline{Q_{in(1)}} - \overline{Q_{in(2)}}}{\overline{Q_{in(1)}}} \quad (7)$$

حيث ان معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي للجدار بواسطة الحمل والاشعاع (الكسب الحراري للحيز) في وقت معين لايساوي بالضرورة حمل التبريد للحيز في الوقت نفسه إذ ان الكسب الحراري الاشعاعي في الحيز يمتص جزئيا أولا في سطوح ومحتويات الحيز ولا يؤثر على درجة حرارة الهواء الا في وقت لاحق (الجودي ، 1986). ولكن متوسط الكسب الحراري للحيز يساوي متوسط حمل التبريد للحيز خلال اليوم الواحد (ASHRAE , 2001)، (على اعتبار ان الظرف الخارجي وعملية انتقال الحرارة خلال الجدار متغيران خلال ساعات اليوم الواحد ولكن مستقران للأيام المتتالية).

حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي (R_c) :

يتم حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي خلال اليوم وذلك عن طريق موازنة الطاقة بين متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف عن طريق الحمل والاشعاع ومتوسط معدل الحرارة الداخلة خلال اليوم عن طريق التوصيل للجدار وإيجاد معامل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدار بوجود تجويف وبالتالي يمكن حساب المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي وكما مبين في المعادلات التالية :

$$\overline{Q_{in(2)}} = \overline{Q_{cond(2)}} \quad (8)$$

$$\overline{Q_{cond(2)}} = U_{wall(2)} \times A_{wall} \times (\overline{T_{so(2)}} - \overline{T_{si(2)}}) \quad (9)$$

$$U_{wall(2)} = \frac{1}{R_{wall(2)}} \quad (10)$$

$$R_c = R_{wall(2)} - (R_{inner\ wall(2)} + R_{outer\ wall(2)}) \quad (11)$$

حيث ان:

$$R_{inner\ wall(2)} = (l/k)_{gypsum} + \left[\frac{A_{total}}{C_{brick(12)} \times A_{brick(12)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m}} \right] \quad (12)$$

$$R_{outer\ wall(2)} = (l/k)_{cement.p} + \left[\frac{A_{total}}{C_{brick(12)} \times A_{brick(12)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m}} \right] \quad (13)$$

جدول (2) معامل الموصلية الحرارية لمواد البناء

| ت | المادة | معامل الموصلية الحرارية (k) [W/m.°C] | الكثافة الكتلية [Kg/m ³] |
|---|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | سمنت (2رمل:1سمنت) | 1.08 | 2050 |
| 2 | جص | 0.57 | 1200 |

جدول (1) معامل الموصلية الحرارية للطابوق المثقب

| ت | المادة | السلك (m) | معامل الموصلية الحرارية (C) [W/m ² .°C] | الكثافة الكتلية [Kg/m ³] |
|---|------------|-----------|--|--------------------------------------|
| 1 | طابوق مثقب | 0.24 | 1.37 | 1200 |
| 2 | طابوق مثقب | 0.12 | 2.78 | 1200 |

ملاحظة : في الجدول (2) اعطيت قيم الموصلية الحرارية (k) للمواد لأنها متجانسة، في حين اعطيت في الجدول (1) قيم معامل الموصلة الحرارية (C) للطابق المثقب لأنها مواد غير متجانسة حيث يصعب ايجاد معامل موصليتها لوحدة الطول . وتحسب المقاومة الحرارية للمواد غير المتجانسة كالتالي : $R = \frac{1}{C}$.

النتائج والمناقشة

درجة حرارة السطح الداخلي للجدران :

من خلال الشكل (6) نلاحظ انخفاضاً لمنحني درجات الحرارة على مدار اليوم للسطح الداخلي للجدار ذي التجويف المغلق بالمقارنة مع الجدار التقليدي، فحينما يكون متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار التقليدي خلال اليوم بمعدل (27.51°C) للتجريبتين المنفذتين نجد انه للجدار ذي التجويف المغلق يكون بمعدل (27.06 °C) أي ان مقدار التخفيض الحاصل يساوي (0.45 °C) وكما مبين في الجدول (3) (تكلمة) . ويعود سبب ذلك الى المقاومة الحرارية التي يبديها التجويف الهوائي المغلق نتيجة للسعة الحرارية للهواء، وكذلك الموصلية القليلة للهواء المحجوز داخل التجويف المغلق والتي تؤخر وصول الموجة الحرارية وبالتالي تعمل على تقليل الحرارة الداخلة الى الحيز، حيث نلاحظ ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الخارجي لكلا الجدارين (تقليدي ، تجويف مغلق) بحدود الساعة الحادية عشر صباحاً بينما نجد ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الداخلي للجدار التقليدي تتراوح بين الساعة الخامسة والسادسة عصراً وبذلك يكون التخلف الزمني للموجة الحرارية (Time lag) (الفارق الزمني الذي تستغرقه الموجة الحرارية في الانتقال من السطح الخارجي لعنصر ما الى سطحة الداخلي) (الكود العربي الموحد للعزل الحراري 2004) بحدود ست الى سبع ساعات بالنسبة للجدار التقليدي، بينما نجد ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الداخلي للجدار ذي التجويف الهوائي المغلق بحدود الساعة الثامنة مساءً، اي ان التخلف الزمني للموجة الحرارية يكون بتسع ساعات للجدار ذي التجويف المغلق. وبذلك يكون الفارق بين التخلف الزمني للموجة الحرارية للجدار التقليدي والجدار ذي التجويف المغلق بحدود ساعتين الى ثلاث ساعات .

كذلك ونلاحظ من خلال الجدول (3) (تكلمة) أن مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (Δt_{si}) للجدار ذي التجويف المغلق كان بمعدل (1.02°C) للتجريبتين المنفذتين عندما يكون للجدار التقليدي بمعدل (1.68°C) اي ان مقدار التخفيض الحاصل يساوي (0.66°C).

درجة حرارة السطح الخارجي للجدران:

من خلال الشكل (7) نلاحظ أن درجة حرارة السطح الخارجي للجدار ذي التجويف الهوائي المغلق تكون اقل من درجة حرارة السطح الخارجي للجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال النهار (الفترة الواقعة بين الساعة السادسة صباحاً وحتى الساعة الثانية ظهراً تقريباً). أما لبقية اليوم فنلاحظ بان درجة حرارة السطح الخارجي للجدار ذي التجويف المغلق تكون اعلى بالمقارنة مع الجدار التقليدي.

الحرارة الداخلة الى الحيز :

من خلال الجدول (3) نلاحظ انه عندما يكون متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر الجدار التقليدي خلال اليوم ($\overline{Q_{m1}}$) بمعدل (49 W) للتجريبتين المنفذتين نجد أن متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر الجدار ذي التجويف المغلق خلال اليوم ($\overline{Q_{m2}}$) يكون بمعدل (38.5 W) اي ان نسبة التخفيض لحمل التبريد (RCL) تساوي (%) 21.5 ، وذلك بسبب المقاومة الحرارية التي يبديها التجويف (R_c) والتي كانت بمعدل (0.2 m².°C/W) والتي تزيد من مقاومة الجدار الكلية ، وهي قيمة تقع ضمن حدود القيم التي ادرجت من قبل منظمة (ASHRAE) الامريكية ، والتي تتراوح فيها قيمة المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي المغلق ذي السمك (5 cm) بين (0.15 – 0.22) m².°C/W حسب درجة

الانبعاثية للأسطح (ASHRAE , 2001). ويبين الجدول (3) خلاصة للنتائج السابقة وكذلك يبين أن قيمة معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي والمحسوبة خلال التجريبتين كانت تتراوح بين $(7.73-7.84) \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

الاستنتاجات :

من خلال التجربة المنفذة خلال شهر آب على جداري الاختبار المواجهان للاتجاه الشرقي ومن خلال الحسابات يمكن استنتاج ما يأتي :

1. إن استخدام التجويف الهوائي المغلق للجدار يعمل على تقليل حمل التبريد حيث بلغت نسبة التخفيض للجدار ذي التجويف المغلق بمقدار (21.5 %) بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) وهذا يساهم في تقليل الطاقة الكهربائية المصروفة على اجهزة التكييف.
2. إن استخدام التجويف الهوائي المغلق للجدار يعمل على تقليل معدل درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم مما يقلل من حمل التبريد للحيز ويعطي شعورا افضل للراحة الحرارية للأشخاص الموجودين داخل الحيز المكيف ، وكذلك يعمل على تخفيض مدى التغير في درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار خلال اليوم مما يعني تخميد الموجة الحرارية للسطح الداخلي وبالتالي نحصل على توزيع جيد (قليل التباين) لاحمال التبريد خلال اليوم وهذا يعمل على استقرارية وتقليل التذبذب في عمل اجهزة التكييف خلال اليوم ويعطينا سيطرة جيدة وسهلة على درجة الحرارة في تكييف الهواء .
3. ان قيمة المقاومة الحرارية المحسوبة للتجويف الهوائي المغلق للجدار كانت بمعدل $(0.2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W})$ وهي قيمة تقع ضمن حدود القيم المعتمدة من قبل منظمة (ASHRAE) الامريكية .
4. الفارق بين التخلف الزمني للموجة الحرارية للجدار بوجود تجويف مغلق والجدار التقليدي يكون بحدود ساعتين الى ثلاث ساعات .

المصادر:

- ASHRAE "ASHRAE Fundamentals Handbook" Atlanta, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc, (2001).
- Aviram, D.P., Fried, A.N., and Roberts, J.J., 2001, Thermal Properties of a Variable Cavity Wall, Building and Environment, Vol. 36, No. 9, PP. 1057–1072.
- Manz, H. 2003, Numerical Simulation of Heat Transfer by Natural Convection in Cavities of Facade Elements. Energy and Buildings, Vol. 35, No. 3, pp. 305-311.
- El Hassan Ridouane and Marcus, V.A., (2011), Thermal performance of Uninsulated and Partially Filled Wall Cavities, ASHRAE Annual Conference Montreal, Quebec 2011.
- Robinson, H. E., Powlitch, F. J., and Dill, R.S., 1954, The thermal insulating value of airspaces, Housing Research Paper 32, Housing and Home Finance Agency.

- "مدونة العزل الحراري" مدونة بناء عراقية، وزارة الاعمار والاسكان، وزارة التخطيط الطبعة الاولى، (2013) .

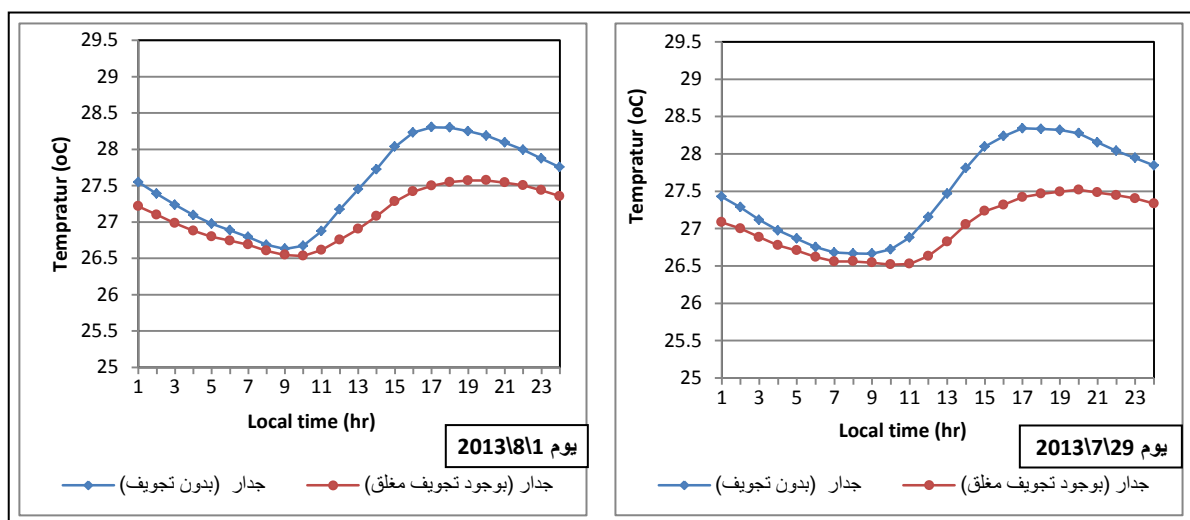
- الجودي ، خالد احمد "مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج" ، (1986).

- "الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، كودة العزل الحراري" مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب ، (2004).

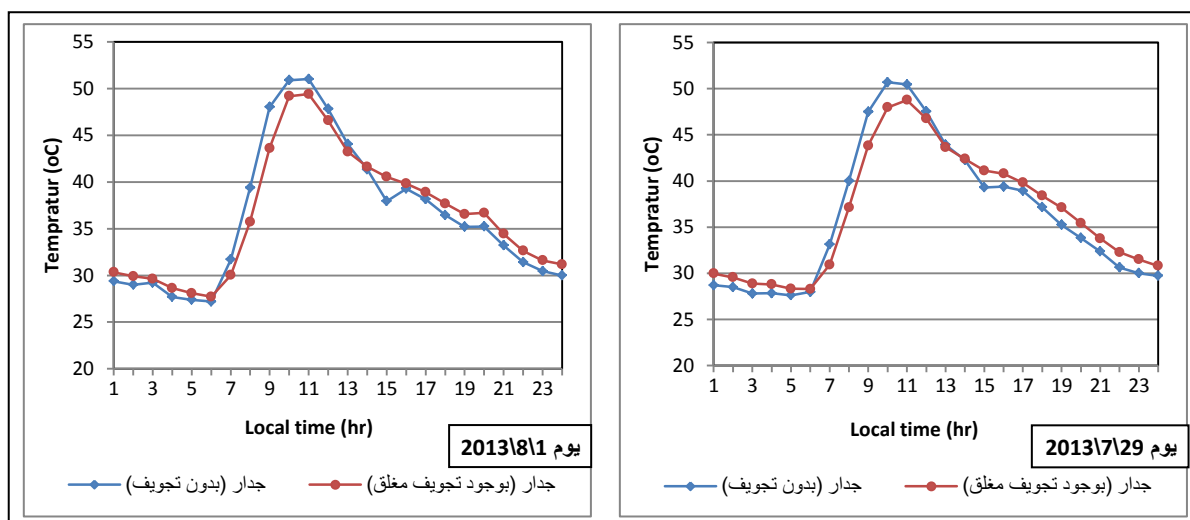
الرموز المستخدمة

| الرمز | المعنى | الوحدة |
|--------------------|--|-------------------|
| A_{wall} | مساحة الجدار | m^2 |
| $A_{brick(12)}$ | مساحة الوجه الخارجي للطابوق بسمك (12cm) | m^2 |
| $A_{brick(24)}$ | مساحة الوجه الخارجي للطابوق بسمك (24cm) | m^2 |
| $A_{cement.m(12)}$ | مساحة الوجه الخارجي لطبقة اللصق للطابوق بسمك (12cm) | m^2 |
| $A_{cement.m(24)}$ | مساحة الوجه الخارجي لطبقة اللصق للطابوق بسمك (24cm) | m^2 |
| l_{gypsum} | سمك طبقة البياض الداخلي بالجص | m |
| $l_{cement.p}$ | سمك طبقة اللبخ الخارجي بالسمنت | m |
| $l_{cement.m}$ | سمك طبقة اللصق بالسمنت بين الطابوق | m |
| T_{si} | درجة حرارة السطح الداخلي للجدار | $^{\circ}C$ |
| T_{so} | درجة حرارة السطح الخارجي للجدار | $^{\circ}C$ |
| T_i | درجة حرارة الحيز | $^{\circ}C$ |
| h_i | معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي | $W/m^2.^{\circ}C$ |
| U_{wall} | معامل انتقال الحرارة للجدار | $W/m^2.^{\circ}C$ |
| R_{wall} | المقاومة الحرارية للجدار | $m^2.^{\circ}C/W$ |
| R_{ineer} | المقاومة الحرارية للجزء الداخلي للجدار | $m^2.^{\circ}C/W$ |
| R_{outer} | المقاومة الحرارية للجزء الخارجي للجدار | $m^2.^{\circ}C/W$ |
| R_c | المقاومة الحرارية للتجوف الهوائي للجدار | $m^2.^{\circ}C/W$ |
| Q_{cond} | معدل الحرارة المنتقلة بواسطة التوصيل من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للجدار | W |
| Q_{in} | معدل الحرارة المنتقلة من السطح الداخلي للجدار الى الحيز | W |
| RCL | نسبة التخفيض في حمل التبريد (Reduction of cooling load) | % |
| $C_{brick(12)}$ | معامل الموصلة الحرارية للطابوق بسمك (12 cm) | $W/m^2.^{\circ}C$ |
| $C_{brick(24)}$ | معامل الموصلة الحرارية للطابوق بسمك (24 cm) | $W/m^2.^{\circ}C$ |
| $K_{cement.p}$ | معامل الموصلية الحرارية لسمنت اللبخ الخارجي | $W/m.^{\circ}C$ |
| $K_{cement.m}$ | معامل الموصلية الحرارية لسمنت طبقة اللصق | $W/m.^{\circ}C$ |
| K_{gypsum} | معامل الموصلية الحرارية للجص | $W/m.^{\circ}C$ |
| Δt_{si} | مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم | $^{\circ}C$ |

| | | |
|----------------|----------------------------------|-----|
| | $(t_{si\ max} - t_{si\ min}) =$ | |
| الرموز السفلية | | |
| | الجدار التقليدي (بدون تجويف) | 1 |
| | الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق | 2 |
| الرموز العلوية | | |
| | المتوسط خلال اليوم | --- |



الشكل (6) توزيع درجات الحرارة للسطح الداخلي لجدار تقليدي (بدون تجويف) وجدار بوجود تجويف مغلق للتجربتين المنفصلتين



الشكل (7) توزيع درجات الحرارة للسطح الخارجي لجدار تقليدي (بدون تجويف) وجدار بوجود تجويف مغلق للتجربتين المنفصلتين



جدول (3) خلاصة لنتائج التجريتين

| درجة حرارة الحيز (T_m) (°C) | معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي (h_i) (W/m ² .°C) | المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي (R_c) (m ² .°C/W) | نسبة التخميف (RCL) (%) | متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ($\overline{Q_{in(2)}}$) (W) | متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ($\overline{Q_{in(1)}}$) (W) | تاريخ التجربة |
|---------------------------------------|--|---|------------------------------|---|---|------------------|
| 25.42 | 7.84 | 0.23 | 23.3 % | 37.51 | 48.91 | 29/7 |
| 25.39 | 7.73 | 0.17 | 19.6 % | 39.49 | 49.13 | 1/8 |
| | | Ave = 0.20 | Ave = 21.5 % | Ave = 38.50 | Ave = 49.02 | |

تكملة جدول (3) خلاصة لنتائج التجريتين

| مقدار التخميف ($\Delta t_{si(1)} - \Delta t_{si(2)}$) (°C) | مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ($\Delta t_{si(2)}$) (°C) | مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ($\Delta t_{si(1)}$) (°C) | مقدار التخميف ($\overline{t_{si(1)}} - \overline{t_{si(2)}}$) (°C) | متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ($\overline{t_{si(2)}}$) (°C) | متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ($\overline{t_{si(1)}}$) (°C) | تاريخ التجربة |
|--|---|---|--|--|--|------------------|
| 0.68 | 1 | 1.68 | 0.48 | 27.02 | 27.50 | 29/7 |
| 0.63 | 1.04 | 1.67 | 0.42 | 27.09 | 27.51 | 1/8 |
| Ave = 0.66 | Ave = 1.02 | Ave = 1.68 | Ave = 0.45 | Ave = 27.06 | Ave = 27.51 | |

تطوير أداء تنفيذ الهياكل الخرسانية في قطاع التشييد في العراق باستخدام التقنية الإدارية الحديثة (Six Sigma)

حسن عبد الصاحب مهدي
جامعة بغداد- كلية الهندسة

أ.م.د. حاتم خليفة بريسمة العجيلي
جامعة بغداد- قسم الشؤون الهندسية
قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

يشير الواقع الميداني للمشاريع الإنشائية في العراق إلى حاجتها لتطوير الأداء لأجل تحسين مستوى الجودة وتقليل العيوب والأخطاء والسيطرة على الوقت والكلفة، لذا فإن هناك حاجة لتطبيق أساليب فعالة في هذا المجال، من الأساليب التي يمكن تطبيقها هو أسلوب ستة سيجما (Six Sigma). يهدف هذا البحث إلى تطوير الأداء وتحسين الجودة بالنسبة للمشاريع الإنشائية من خلال تحسين الأداء في أعمال تنفيذ الهيكل الخرساني اعتماداً على منهجية ستة سيجما، ولغرض تحقيق هدف البحث فقد اعتمد الباحث أولاً على الدراسة النظرية الشاملة لمفاهيم الجودة ثم الحديث عن منهجية ستة سيجما كنظام يعمل على تقليل العيوب وتحسين الجودة وثانياً على الدراسة الميدانية التي قام بها الباحث عن طريق أجرائه للاستبيان المفتوح المتمثل بالمقابلات التي أجراها الباحث مع شريحة من المهندسين من ذوي الخبرة في مجال تنفيذ المشاريع الإنشائية استطاع من خلالها تصميم استمارة استبيان مغلق اشتملت على محاور البحث الرئيسة وتم توزيعها على عينه مختارة من المهندسين من ذوي الخبرة في هذا المجال. كما قد قام الباحث بتطبيق منهجية (DMAIC) وهي إحدى الأساليب المعتمدة لتطبيق ستة سيجما على الحالة الدراسية (مشروع مختبر الإنشاءات في جامعة بغداد) لغرض تحديد أهم العيوب التي قد تظهر عند تنفيذ الهيكل الخرساني وتقييم مستوى جودة تنفيذ الهيكل الخرساني ثم تحليل أسباب حدوث هذه العيوب واقتراح إجراءات لتطوير الأداء وتحسين الجودة اعتماداً على المسح الميداني الذي تم إقراره. توصل الباحث إلى عدد من الاستنتاجات أهمها أن مستوى سيجما للحالة الدراسية التي تم اختيارها هو 2.35 وعدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب هو 211905 ويعتبر مستوى سيجما هذا قليلاً جداً ونسبة العيوب كبيرة مما يدل على تدني مستوى الجودة للحالة الدراسية.

الكلمات الرئيسية: الأداء، الهياكل الخرسانية، إدارة الجودة، ستة سيجما.

Performance Improvement of the Implementation of Concrete Structures in the Construction Sector In Iraq Using The Modern Management Technique “Six Sigma”

Asst. Prof. dr. hatem Khalifah breeam Al-Ajeeli
Baghdad University- Engineering Affaires Dep.
Email: dr.hatem2999@yahoo.com

Hassan Abdul-sahib Mehdi
Baghdad University

ABSTRACT

The reality of the field of construction projects in Iraq refers to needing for the development of performance in order to improve quality and reduce defects and errors and to control the time and cost, so there is needing for the application of effective methods in this area, one of the methods that can be applied in this area is the manner of Six Sigma. This research aims to enhance the performance and quality improvement for the construction projects by improving performance in the work of the implementation of the concrete structure depending on the Six Sigma methodology, and for the purpose of achieving the aim of the research, the researcher firstly depends on the theoretical study that include the concepts of quality and the Six Sigma methodology as a system aims to reduce defects and improve the quality and secondly on the field study carried out by the researcher through conducting the open questionnaire that include interviews conducted by the researcher with a slice of engineers experienced in the implementation of construction projects that leads to design closed questionnaire included the

major axes of the research and distributed on a selected sample of engineers with expertise in this area. The researcher applying the (DMAIC) methodology is one of the methods adopted for the application of Six Sigma on the case study (the project of structures laboratory at University of Baghdad) for the purpose of identifying the most important defects that may appear in the implementation of the concrete structure and assess the quality of implementation of the concrete structure and then analyzing the causes of these defects and propose procedures to enhance the performance and quality improvement depending on the field survey was conducted. The most important research conclusions are sigma level for the case study is 2.35 and the number of defects per million opportunities is 211905 and this Sigma level is very small which indicates the low level of quality for the case study.

Keywords : performance, concrete structures, quality management, six sigma,

مقدمة

ازدادت في الآونة الأخيرة أهمية تطبيق مفاهيم الجودة الحديثة في ظل المنافسة العالمية والثورة العلمية والتكنولوجية والمعرفية أصبحت المنظمات تتسارع وتتسابق للارتقاء بمستوى المخرجات والخدمات التي تقدمها لعملائها لتحقيق مكانة متميزة لها على المستوى المحلي والعالمي ولأن قطاع التشييد يحتل مكانة متميزة بين باقي القطاعات لذا فإن هناك حاجة لتبني مفاهيم الجودة وتطبيق الأساليب المتقدمة لإدارة الجودة وتحسين الأداء في هذا القطاع. إن العديد من أساليب تحسين الجودة قد طبقت في الصناعة الإنشائية من أجل تحسين إدارة أدائها ومن هذه الأساليب التي يمكن تطبيقها هو أسلوب ستة سيجما الذي يعمل على تقليل الانحرافات والتخلص من الأسباب الجذرية لحدوث العيوب، بخلاف أساليب تحسين الجودة الأخرى فإن أسلوب ستة سيجما يعمل على قياس نسبة العيب وتحليل الأداء وتحسين مستوى الجودة في المشاريع الإنشائية.

فرضية البحث

يمكن صياغة فرضية البحث بالصورة الآتية: (هناك ضعف واضح في إدارة المشاريع الإنشائية فيما يخص متابعة ومراقبة وضبط الجودة لأعمال تنفيذ الهيكل الخرساني في المشاريع الإنشائية مما يؤدي إلى ظهور مشاكل وعيوب عديدة بعد التنفيذ وهذا يتطلب العمل على تحسين أداء إدارة المشاريع وتحسين الجودة لمنع حدوث تلك العيوب اعتمادا على تقنيات ومنهجيات إدارية وإحصائية حديثة ومنها منهجية ستة سيجما).

أهداف البحث

يمكن تحديد أهداف البحث بما يلي:

- 1- تقييم مستوى أداء وجودة تنفيذ الهيكل الخرساني للمشاريع الإنشائية اعتمادا على منهجية (DMAIC) وهي أهم المنهجيات المعتمدة في تطبيق ستة سيجما (مشروع مختبر الإنشاءات في جامعة بغداد في الجادرية كحالة دراسية).
- 2- تحليل الأسباب الرئيسة المسببة للعيوب التي تظهر عند تنفيذ الهيكل الخرساني اعتمادا على الأدوات الإحصائية التي توفرها منهجية ستة سيجما.
- 3- اقتراح إجراءات لتحسين الأداء وتحقيق الجودة في أعمال تنفيذ الهيكل الخرساني.

العوامل الرئيسة المؤثرة على أداء المشاريع الإنشائية :

بصورة عامة هناك ثلاث عناصر رئيسة يجب تحقيقها في أي مشروع إنشائي هي (الكلفة الأقل، الانجاز الأسرع، والنوعية الأفضل). حيث من الصعب تحقيق تلك العناصر الثلاث في آن واحد وذلك كون الكلفة الواطئة تعني عادة نوعية عمل بمستوى أقل ووقت إنجاز طويل نسبيا، كما تعني النوعية أو الجودة العالية كلفة عالية ومدة طويلة للإنجاز ويعني الإكمال السريع للمشروع عادة كلفة عالية ونوعية عمل بمستوى أوطأ.

الكلفة

تعتبر من العناصر الأساسية في أي مشروع استثماري أو عام ومنها المشاريع الإنشائية. إذ يبدأ الصرف على المشروع منذ مرحلة الدراسات الأولية مروراً بكافة المراحل التي يمر بها المشروع. إن أي زيادة أو مبالغة في المصروفات خلال إحدى المراحل التي يمر بها المشروع أو التقليل منها سوف تؤثر تأثيراً سلبياً أو إيجابياً على حالة المشروع من حيث الوقت والنوعية (الجودة)، إن التقليل في المصروفات بشكل غير مدروس يؤثر تأثيراً سلبياً على مراحل

تنفيذ المشروع ويكون ذلك على حساب النوعية أو الوقت، كذلك تؤثر الزيادة في المصروفات على النوعية والوقت أيضا لفقرات تنفيذ العمل. فمن الممكن تقليل مدة الإنجاز للمشروع باشتغال ساعات عمل إضافية أو وجبات عمل إضافية (أمين، 2000).

الوقت

الوقت هو المدة اللازمة للوصول إلى الهدف، حيث لا يخفى على أحد أهمية وقت القوى العاملة والمكانن والمعدات والتمويل، ولكي تستعمل هذه المتغيرات وفق نظم محددة وكفاءة عالية وبأقل كلفة ممكنة يجب أن يكون الزمن مناسباً وبأقصر ما يمكن (أمين، 2000).

الجودة (النوعية)

لقد أصبح موضوع الجودة من أهم الموضوعات التي تم التركيز عليها خلال العقد الأخير من القرن الماضي، ففي ظل المنافسة العالمية والثورة العلمية والتكنولوجية والمعرفية أصبحت المنظمات الآن تتسارع وتتسابق للارتقاء بمستوى المخرجات والخدمات التي تقدمها لعملائها لتحقيق درجة التميز.

يرجع مفهوم الجودة (Quality) إلى الكلمة اللاتينية (Qualitas) والتي تعني طبيعة الشخص أو طبيعة الشيء ودرجة الصلابة وهي تعني أيضا الدقة والإتقان من خلال التصنيع للآثار التاريخية والتمثيل والقلاع والقصور لأغراض التفاخر (السلامة، 2007) وقد اختلفت الآراء حول تعريف الجودة لكنها في الواقع لم تخرج عن نطاق التعاريف الآتية: "ملائمة المنتج للاستخدام"، "تلبية احتياجات الزبائن"، "أن يعمل المنتج بصورة صحيحة ومن المرة الأولى لاستخدامه"، "تقليل التباين" وغيرها من التعاريف الأخرى التي يمكن الأخذ بها جميعاً كونها غير متناقضة (الحداد، 2009).

إدارة الجودة الشاملة

تعد فلسفة إدارة الجودة الشاملة أداة رائعة لتحسين العمليات، إذ أنها تساعد على بناء استراتيجيات للتميز، الكلفة الواطنة، والاستجابة السريعة وإن تطبيقها يتطلب مجموعة ناجحة من الأنشطة تبدأ بالبيئة التنظيمية التي ترعى الجودة، متبوعة بفهم مبادئ الجودة ومن ثم بذل الجهد في إشراك العاملين في الأنشطة الرئيسة لتنفيذ الجودة، وعند انجاز تلك الأنشطة بشكل صحيح فإن المنظمة سترضي زبائنهم وستحصل على ميزة تنافسية (الحداد، 2009).

وقد عرفت إدارة الجودة الشاملة بتعاريف متعددة منها ما عرفها (Logothetis, 1992) بأنها ثقافة تعزز مفهوم الالتزام الكامل تجاه رضا العميل من خلال التحسين المستمر والإبداع في كافة مجالات العمل (الطائي وقداة، 2008) وقد عرفها معهد المقياس البريطاني بأنها فلسفة إدارية تشمل كافة نشاطات المنظمة التي من خلالها يتم تحقيق احتياجات وتوقعات العميل والمجتمع، وتحقيق أهداف المنظمة بأكفأ الطرق وأقلها تكلفة عن طريق الاستخدام الأمثل لطاقت جميع العاملين بدافع مستمر للتطوير (مجيد والزيادات، 2007) وقد عرفها (Heizer & Render, 2001) بأنها إدارة المنظمة ككل بحيث تكون ممتازة في كل أوجه المنتجات والخدمات ذات الأهمية للمستهلك (الطائي وقداة، 2008).

مبادئ إدارة الجودة الشاملة

يقوم نظام إدارة الجودة الشاملة على مجموعة من المبادئ المتمثلة في (Dahlgard & others, 2007):

- 1) التزام الإدارة العليا
- 2) التركيز على العملاء والموظفين
- 3) القرارات المبنيّة على الحقائق
- 4) التحسين المستمر
- 5) مشاركة جميع العاملين في المنظمة

سِتة سيجما (Six Sigma)

أطلقت منهجية ستة سيجما من قبل شركة موتورولا عام 1987 وجاءت نتيجة لسلسلة من التغيرات في عالم الجودة ابتدأت من أواخر عام 1970 حيث تم تطوير هذا المنهج من قبل الإدارة العليا للشركة وعلى رأسهم المدير التنفيذي للشركة روبرت غالفن (Robert Galvin) (Park, 2003)، حيث قدم المدير التنفيذي للشركة مع مهندس الشركة يتقدمهم المهندس بيل سميث (Bill Smith) تقريراً حول مستوى الجودة التقليدية يوضح بأن قياس عدد العيوب في الألف فرصة لا يلبي متطلبات وحاجات العميل ولحل هذه المشكلة طلبوا قياس عدد العيوب لكل مليون فرصة، ومن هنا طورت شركة موتورولا هذا المعيار الجديد وأوجدت منهجية لذلك، وعملت على تغيير ثقافة الشركة لتلائم المنهجية الجديدة وبذلك كان لها وللمهندس سميث الفضل في إيجاد ستة سيجما والتي تحمل علامة تجارية باسم موتورولا (الراوي، 2011) وكانت النتيجة زيادة مذهلة في مستويات الجودة لعدة منتجات في شركة موتورولا، وحصول الشركة على جائزة مالكونم بالدريج القومية للجودة (Malcolm Baldrige National Quality Award) في عام 1988 (القراز وآخرون،

(2009). لقد حققت شركة موتورولا في الفترة ما بين عام 1987 إلى عام 1997 زيادة في حجم المبيعات بمقدار خمسة أضعاف ما كانت عليه سابقاً مع تزايد الأرباح بما يقرب من 20% سنوياً وقد وفرت موتورولا مبلغاً قدره 14 مليار دولار خلال هذه الفترة نتيجة لتطبيق منهجية ستة سيجما (Khan, 2005). ومع حلول العام 2000 كان العديد من شركات القمة العالمية قد بادرت لتطبيق ستة سيجما وبحلول العام 2003 بلغ مجموع المدخرات العالمية بواسطة نظام ستة سيجما أكثر من 100 مليار دولار (القزاز وآخرون، 2009).

مفهوم ستة سيجما

تعد ستة سيجما مفهوم إحصائي يعمل على قياس مستوى الأداء للعمليات اعتماداً على عدد العيوب وهدفها الوصول إلى 3.4 عيب لكل مليون فرصة لحدوث العيب (DPMO) (defects per million opportunities) كما أنها تمثل فلسفة إدارة تركز على التخلص من العيوب عن طريق التركيز على فهم وقياس وتحسين العمليات (Brue, 2006).

عرف هاري و شرودر (Harry & Schroeder, 2000) وهما المطوران الرئيسيان لبرنامج ستة سيجما في موتورولا ستة سيجما بأنها طريقة منضبطة وصارمة للغاية تستخدم جمع البيانات والتحليل الإحصائي لتحديد مصادر الأخطاء وسبل القضاء عليها (Pheng & Hui, 2004). كما عرف شودري (Chowdhury, 2001) ستة سيجما بأنها مقياس إحصائي وفلسفة إدارة تعلم الموظفين كيفية تحسين الطريقة التي يعملون بها بشكل علمي، وكيفية المحافظة على مستوى الأداء الجديد الذي وصلوا إليه وهي تعطي الانضباط والتنظيم والأساس لاتخاذ قرار صائب اعتماداً على إحصاءات بسيطة (Pheng & Hui, 2004). ويرى الباحث إمكانية تعريف ستة سيجما على أنها نظام متكامل يعمل على تحسين الأداء وتقليل الأخطاء من خلال جمع البيانات والتحليل الإحصائي لتحديد مصادر الأخطاء وسبل القضاء عليها، وبالتالي فإنها تؤدي بالمنظمة إلى تقديم خدمات أو سلعاً خالية من العيوب تقريباً لانخفاض نسبة العيوب في ستة سيجما إلى 3.4 عيب لكل مليون فرصة لحدوث العيب وهي بذلك تعمل على خفض التكاليف باستمرار وتحسين الجودة وتحقيق رضا الزبائن.

اشتقت فكرة ستة سيجما من توزيع إحصائي يعرف بالتوزيع الطبيعي (standard normal distribution) والذي يمثل بشكل منحنى متناظر على شكل جرس كما في الشكل (1). يمثل المنحنى المجتمع بأكمله بسلسلة لا متناهية من القطع في كلا الاتجاهين. كل قطعة تسمى سيجما "Sigma" ويرمز لها بـ "σ" وهي انحراف عن الوسط الحسابي بالمفهوم الإحصائي (Tehrani, 2010). يتضح من الشكل (1) بأن منطقة الرفض تقع خارج حدود 6σ والتي تعبر عن المنتجات والخدمات التي تقع خارج المواصفات المحددة وتمثل 3.4 عيب لكل مليون فرصة لحدوث العيب أما منطقة القبول فهي التي تقع داخل حدود 6σ وتمثل المنتجات أو الخدمات التي تقع ضمن المواصفات المحددة. ويوضح الجدول (1) مستوى سيجما وما يقابله من عدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب.

ويمكن توضيح العلاقة بين مقدار سيجما (Sigma) (σ) وعدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب (DPMO) بالمعادلة (1) (Niaraki, 2010) وكما يلي:

$$(1) \dots\dots\dots 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(DPMO)} = \text{مستوى } (\sigma)$$

أهداف ستة سيجما

يمكن تلخيص أهداف ستة سيجما بالنقاط الآتية (Pande & Holpp, 2002):

- (1) زيادة رضا العملاء
- (2) تقليل دورة الوقت
- (3) تقليل العيوب والأخطاء

يمثل تحقيق هذه الأهداف توفيراً في الكلف بالنسبة للمنظمة بالإضافة إلى زيادة الفرص للاحتفاظ بالعميل والحصول على أسواق جديدة وبناء سمعة للأداء المتميز للمنتجات والخدمات (Pande & Holpp, 2002).

منهجية تطبيق ستة سيجما

يتم تطبيق منهجية ستة سيجما من خلال منهجية التحسين المستمر المعروفة بإسم (DMAIC) وهي عبارة عن مجموعة من الخطوات تهدف إلى الحد من العيوب في سير العمليات القائمة حيث تشتمل هذه المنهجية على خمس مراحل وهي:

1. تعريف المشكلة Define the problem
2. مرحلة القياس Measure Phase : يتم في هذه المرحلة قياس مستوى الأداء الحالي للعمل.
3. مرحلة التحليل Analyze Phase : تحديد الأسباب الجذرية لحدوث العيوب.
4. مرحلة التحسين Improve Phase : القيام بالتحسين المطلوب على ضوء نتائج المرحلة السابقة.
5. مرحلة المراقبة Control Phase : مراقبة العمل للتأكد من استمرار سير العمل بالمستوى المطلوب.

الدراسة الميدانية

تعرف عملية المسح الميداني بأنها تسجيل الوضع السائد لنظام معين أو مجموعة أنظمة لغرض التحليل والاستنتاج ضمن الوقت المحدد لغرض الحصول على معلومات وبيانات كافية بهدف استنتاج قواعد تصلح للتطبيق في الأعمال المقبلة. يعتبر الاستبيان الميداني جزءاً من عملية المسح الميداني ووسيلة لإنجاز الهدف الجزئي المتعلق بتحديد بعض البيانات والمعلومات وتقويمها. تمثلت الدراسة الميدانية بمراحل الاستبيان الميداني ابتداءً بالاستبيان المفتوح ثم الاستبيان المغلق والتي كان الهدف منها تحديد أهم العيوب التي تظهر في أعمال الهيكل الخرساني وتحديد الأسباب الجذرية لتلك العيوب ودرجة تأثيرها.

الاستبيان الميداني

لغرض تحقيق هدف البحث كان لا بد من إجراء الاستبيان الميداني بطوريه الاستبيان المفتوح والاستبيان المغلق وكالاتي:

الاستبيان المفتوح

يقصد بالاستبيان المفتوح إجراء مقابلات شخصية مباشرة مع خبراء ومهندسين لديهم الخبرة الكافية في موضوع البحث للحصول من خلالها على إجابات لأسئلة معدة مسبقاً أو مستحدثة أثناء المقابلة والتحاور بهدف إضافة المزيد من المعلومات وتصحيح الأفكار للباحث قبل إجراء الاستبيان المغلق وهي بمثابة عملية عصف أفكار. خلال هذه الطور تم إجراء عدد من المقابلات الشخصية المباشرة مع عدد من الخبراء والمهندسين من ذوي الخبرة في مجال تنفيذ المشاريع الإنشائية، وظل الهدف من هذه المقابلات تطوير الأفكار والتهيئة والأعداد لتصميم استمارة الاستبيان المغلق بالاستفادة من آراءهم ومقترحاتهم وتقويمهم للأسئلة المقترحة في الاستبيان المغلق.

الاستبيان المغلق

بعد الانتهاء من طور الاستبيان المفتوح تم إعداد وتصميم استمارة الاستبيان المغلق والتي تتضمن محاور عدة تخص موضوع البحث تكون بشكل أسئلة تم إعدادها اعتماداً على المصادر العلمية والمعلومات التي تم جمعها من خلال المقابلات التي تمت خلال الاستبيان المفتوح وقد تم تقسيم استمارة الاستبيان إلى أربعة محاور هي:

المحور الأول/المعلومات الشخصية لأفراد العينة

تتضمن هذا المحور الأسئلة الشخصية التي تهدف إلى جمع المعلومات والبيانات عن أفراد العينة وقد تمثلت الأسئلة حول مقر العمل والدائرة أو الشركة التي يعمل بها المستبين والمستوى العلمي من خلال الشهادة الحاصل عليها وتخصصه الهندسي وعدد سنوات الخبرة والموقع الوظيفي الذي يشغله وبعض الأسئلة الأخرى التي توضح تأهيله للاشتراك بالاستبيان.

المحور الثاني/تحسين الأداء وستة سيجما

يتضمن هذا المحور مجموعة من الأسئلة التي تدور حول منهجية ستة سيجما وإمكانية تطبيقها في المشاريع الإنشائية وكذلك أسئلة عن أساليب تحسين الأداء وتحقيق الجودة للمشاريع الإنشائية.

المحور الثالث/الهيكل الإنشائي

يتضمن هذا المحور مجموعة من الأسئلة حول أهم العيوب التي تظهر في أعمال الهيكل الخرساني التي يشخصها المستبين من خلال دراسته العلمية وواقعه التنفيذي وكذلك أسئلة عن تحسين الأداء فيما يتعلق بتنفيذ الهيكل الخرساني. وبعد إجراء التحليل الإحصائي تبين ان اهم العيوب التي تظهر في اعمال الهيكل الخرساني وحسب اهميتها هي :

1. تشققات الانكماش اللدن
2. التفاوت في الأبعاد
3. عدم استوائية صب السقوف
4. انحراف محاور الأعمدة والجسور عن مواقعها الهندسية المحددة في المخططات
5. ظهور تجاويف في الخرسانة
6. عدم شاقولية الأعمدة
7. تشققات إنشائية بسبب أخطاء في التنفيذ
8. ظهور التواءات في الجسور
9. تشققات إنشائية بسبب أخطاء في التصميم

10. حدوث هطول في الجسور
11. ظهور انتفاخ في الجسور
12. حدوث هطول في السقوف
13. تفتت السطح الخرساني
14. صدأ الحديد وتساقط الغطاء الخرساني

المحور الرابع/أسباب ظهور عيوب في أعمال الهيكل الخرساني

يتضمن هذا المحور تقييماً لتحديد درجة تأثير كل سبب من الأسباب التي تؤدي إلى حصول العيوب في أعمال الهيكل الخرساني. وبعد إجراء التحليل الإحصائي تبين أن درجة تأثير الأسباب التي تؤدي إلى حصول العيوب في أعمال الهيكل الخرساني حسب أهميتها هي :

1. قلة خبرة المهندس المشرف على الصب
2. ضعف إسناد القوالب
3. استخدام قوالب رديئة النوعية
4. عدم وجود مراقبي جودة يتابعون أعمال التنفيذ
5. ضعف تدقيق أبعاد ومناسيب القوالب من قبل المهندس المشرف قبل الصب
6. عدم كفاءة العاملين على الصب
7. تغير في أبعاد القوالب الخشبية بسبب تعرضها للشمس والعوامل الجوية لفترة طويلة
8. حركة الآليات والعربات اليدوية والأشخاص على القالب
9. أخطاء في المخططات
10. حوادث طارئة

وبذلك فقد تم فحص نظرية البحث من خلال محاور الاستبيان وتأكد صحتها من خلال ضعف واضح في إدارة المشاريع الإنشائية فيما يخص متابعة ومراقبة وضبط الجودة لأعمال تنفيذ الهيكل الخرساني في المشاريع الإنشائية مما يؤدي إلى ظهور مشاكل وعيوب عديدة بعد التنفيذ

تطبيق منهجية (DMAIC) على الحالة الدراسية

تهدف منهجية (DMAIC) إلى القضاء على العيوب من خلال التخلص من الأسباب الجذرية لحدوثها وذلك عن طريق تطبيق مراحل المنهجية الخمس. عمل الباحث على تطبيق منهجية (DMAIC) على المشروع المنتخب كحالة دراسية وهو مشروع مختبر الإنشاءات في قسم الهندسة المدنية بجامعة بغداد في الجادرية وهو في مرحلة الهيكل الخرساني بمساحة بناء 1140 م² لتقييم وتحسين مستوى الجودة والأداء بالنسبة لأعمال تنفيذ الهيكل الخرساني.

1: مرحلة التعريف (Define Phase)

تعد مرحلة تنفيذ الهيكل الخرساني من أهم المراحل في تنفيذ المشروع والتي تؤثر بشكل كبير على المراحل اللاحقة حيث أن ضعف الأداء والجودة في تنفيذ الهيكل الخرساني يؤدي إلى ضعف الأداء والجودة في المبنى بشكل عام. على هذا الأساس تم اختيار مرحلة تنفيذ الهيكل الخرساني في هذا البحث لتطبيق مبادئ ستة سيكما عليها وذلك لتحسين أداء التنفيذ وجودته ومنع حدوث العيوب التي تؤثر سلباً على المراحل اللاحقة. يحتاج إصلاح بعض عيوب الهيكل الخرساني إلى كلف إضافية ووقت إضافي لذلك فإن منع حدوث هذه العيوب منذ البداية أمر ضروري لتجنب الوقت والكلفة الإضافيين وهذا هو هدف تطبيق منهجية ستة سيكما.

لغرض تحديد أهم العيوب التي يمكن أن تظهر عند تنفيذ الهيكل الخرساني فقد اعتمد الباحث على المقابلات الشخصية مع عدد من المهندسين ذوي الخبرة في مجال تنفيذ المشاريع الإنشائية والزيارات الميدانية التي قام بها الباحث لبعض المشاريع الإنشائية وعلى الاستبيان الميداني الذي تم إجراؤه، لذا فإن العيوب التي تم تحديدها هي:

- 1) التفاوت في أبعاد (مقاسات) المقاطع الخرسانية للعناصر الإنشائية (الأعمدة، الجسور، السقوف) مما هو موجود في المخططات. ويؤثر هذا العيب إنشائياً عند نقصان أبعاد المقطع مما موجود في المخططات التصميمية ومعماريًا عند نقصان أو زيادة أبعاد المقطع. اعتمد الباحث على الموصفات الأمريكية (ACI) لتحديد مقدار التفاوت المسموح به في الأبعاد حيث يعتبر العنصر الإنشائي الذي يحتوي على مقدار تفاوت في الأبعاد خارج حدود هذه الموصفات معيباً وهذا التفاوت عيب (Defect) وكما موضح في الجدول (2).

- (2) انحراف محاور الأعمدة والجسور عن مواقعها الهندسية المحددة في المخططات: لقد تم الاعتماد على المواصفات الأمريكية أيضا لتحديد مقدار الانحراف المسموح به ويوضح **الجدول (2)** ذلك.
- (3) عدم شاقولية الأعمدة: تؤثر عدم شاقولية الأعمدة إنشائيا وعلى قوة تحمل العمود إذا زاد الانحراف عن الحد المسموح به كما تؤثر تأثيرا معماريا أيضا إذ تؤثر على شكل المبنى وفي كلتا الحالتين قد يكون هناك حاجة لهدم العمود وإعادة صبه من جديد وهذا يؤدي إلى زيادة الكلفة وخسارة الوقت بسبب إعادة الصب. وقد اعتمدت المواصفات الأمريكية في **الجدول (2)** لتحديد المقدار المسموح للانحراف الشاقولي للأعمدة.
- (4) ظهور التواءات في الجسور.
- (5) عدم استوائية صب السقوف.
- (6) ظهور تشققات في الخرسانة: وهي كثيرة الأنواع إلا أن أهم أنواعها التي تم اعتمادها كعيب (Defect) هي :
 - تشققات الانكماش اللدن: تحدث هذه التشققات خلال الساعات الأولى بعد عملية صب الخرسانة وتنتج بسبب الجفاف السريع نتيجة تعرض الأسطح الخرسانية لتيارات هوائية شديدة أو بسبب ارتفاع درجات الحرارة مما يؤدي إلى تبخر الماء بدرجة أعلى من معدل خروج مياه النزف في الخرسانة وينتج عن ذلك إجهادات شد تؤدي إلى التشققات
 - تشققات إنشائية: تظهر هذه التشققات في الخرسانة بعد تصلدها وهي التشققات الناشئة بفعل إجهادات الشد الداخلية المتولدة في العناصر الخرسانية المختلفة عند تعرضها لأسباب مختلفة وذلك عندما تصل هذه الإجهادات إلى الحد الأقصى المسموح به والذي لا تتحمله الخرسانة، وعندما تكون هذه التشققات واسعة ومنتشرة تتسبب عادة في إحداث عيوب في الشكل وتؤدي إلى نقص في كفاءة وأداء هذه العناصر الإنشائية لوظيفتها والذي يمكن أن يؤدي إلى انهيار كامل لهذه العناصر وبالتالي يؤثر على أمان المنشأ ككل. إن هذا النوع من التشققات له أسباب متعددة لكن من أهم أسبابه هو حصول أخطاء في التصميم مثل حصول أخطاء حسابية أو استعمال حديد تسليح غير كافي وغيرها أو بسبب أخطاء في التنفيذ مثل التخزين غير المناسب للمواد أو عدم فحص المواد المكونة للخرسانة وغيرها.
- (7) ظهور تجايف في الخرسانة (Honeycomb & Segregation): إن انفصال مكونات الخرسانة بحيث يصبح توزيع مكوناتها غير منتظم وهو ما يطلق عليه (Segregation) يؤدي إلى حدوث ظاهرة ال (Honeycomb) أي أن يكون سطح الخرسانة بشكل خلية النحل وحصول تجايف فيها وقد يحدث ال (Honeycomb) لأسباب أخرى غير الانفصال الحبيبي (Segregation). إن من أهم المشاكل التي تسببها ظاهرة ال (Honeycomb) أنها تؤدي إلى نقص مقاومة الخرسانة وبالتالي عدم قدرة ذلك الجزء الخرساني على مقاومة الأحمال التي صمم لمقاومتها. وعند زيادة الأحمال على أي جزء خرساني بحيث لا يستطيع مقاومتها سوف يؤدي ذلك إلى أضرار كبيرة قد تصل إلى انهيار ذلك الجزء الخرساني.

2: مرحلة القياس (Measure Phase)

إن أهم ما يميز أسلوب سنة سيجما هو القياس حيث يعتبر من صميم عمل سنة سيجما بينما لا يوجد في أسلوب آخر حيث يعمل أسلوب سنة سيجما على قياس مستوى الأداء الحالي عن طريق قياس نسبة العيوب (Defect Rate) ثم إيجاد مستوى السيجما (σ) (Sigma Level) والذي يعطي تصورا عن مستوى الأداء الحالي وتقييما لمستوى الجودة. لغرض تقييم مستوى الأداء والجودة لتنفيذ الهيكل الخرساني للحالة الدراسية التي تم اختيارها (مشروع مختبر الإنشاءات) أي حساب مقدار السيجما (σ) فقد عمل الباحث ومن خلال الزيارات الموقعية للمشروع على تسجيل العيوب الظاهرة في الهيكل الخرساني للمشروع على استمارة تدقيق (Check Sheet). يحتوي المشروع على (31) عموداً (Column) و (45) جسراً (عتب) (Beam) و (10) سقوف (Slab) وقد تم فحص كل من هذه العناصر الإنشائية بدقة لمعرفة فيما إذا كانت تحتوي على العيوب التي تم تعريفها وتحديدتها في مرحلة التعريف أم لا فقد تم قياس الأبعاد للعناصر الإنشائية عن طريق شريط القياس كما تم تحديد الشاقولية للأعمدة عن طريق القبان ذو الفقاعة الهوائية فمثلاً للعيوب الأول الذي تم تعريفه وهو التفاوت في أبعاد المقاطع الخرسانية للعناصر الإنشائية فقد تم قياس أبعاد هذه الأعمدة والجسور والسقوف ومقارنتها بالأبعاد المؤشرة في المخططات فإذا كان التفاوت في الأبعاد خارج الحدود المسموح بها بحسب المواصفة الأمريكية (ACI) والمذكورة في **الجدول (2)** لأي من هذه العناصر الإنشائية يتم تسجيل ذلك كعيب (Defect) ويتم وضع علامة (×) في استمارة التدقيق مقابل العنصر الإنشائي المفحوص وإذا كان التفاوت في الأبعاد ضمن الحدود المسموح بها يتم وضع علامة (√) في استمارة التدقيق وهكذا تم تدقيق بقية العيوب المذكورة سابقاً وبيّن **الجدول (3)** جزء من استمارة التدقيق المستخدمة (Check Sheet) والنتائج المؤشرة عليها.

بعد جمع البيانات حول المشروع يجب حساب مستوى (σ) للمشروع ككل وكذلك يمكن حساب مستوى (σ) لكل من العناصر الإنشائية الثلاثة (الأعمدة، الجسور، والسقوف) التي تم تدقيقها كل على حدة وكما يلي:

1) الأعمدة (Columns):

من خلال ملاحظة استمارة التدقيق يمكن حساب عدد علامات (×) بالنسبة للعيوب التي يمكن أن تظهر في الأعمدة وهي (التفاوت في الأبعاد، انحراف محاور الأعمدة، عدم شاقولية الأعمدة، تشققات الخرسانة، وظهور تجايف في الخرسانة) وحساب عدد علامات (√) و

(×) الكلية للأعمدة والتي تمثل عدد الفرص لحدوث العيوب ثم إيجاد عدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب (Defects Per Million Opportunities) والذي يطلق عليه اختصاراً (DPMO) لأجل إيجاد مستوى (σ) وكما مبين أدناه:
عدد العيوب (عدد علامات ×) للأعمدة = 38
عدد التدقيقات (عدد علامات √ و ×) (عدد الفرص لحدوث العيوب) للأعمدة = 155

$$(DPMO) = 1000000 \times \frac{\text{عدد العيوب}}{\text{عدد الفرص لحدوث العيوب}} \dots\dots\dots (2)$$

$$(DPMO) \text{ للأعمدة} = 1000000 \times \frac{38}{155} = 245161$$

ثم يمكن حساب مستوى (σ) عن طريق المعادلة (1) والتي توضح العلاقة بين مستوى (σ) و (DPMO) وكالاتي:

$$(\sigma) \text{ مستوى} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(DPMO)}$$

$$(\sigma) \text{ مستوى} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(245161)} \\ = 2.24$$

(2) الجسور (Beams):

بنفس الطريقة السابقة يمكن إيجاد مستوى سيجما (σ) للجسور حيث إن العيوب التي يمكن أن تظهر في الجسور هي (التفاوت في الأبعاد، انحراف محاور الجسور، ظهور التواءات في الجسور، تشققات الخرسانة، وظهور تجاوب في الخرسانة) وبحساب عدد علامات (×) وعدد علامات (√ و ×) الكلية للجسور يمكن إيجاد مستوى سيجما (σ) وكما يلي:
عدد العيوب (عدد علامات ×) للجسور = 44
عدد التدقيقات (عدد علامات √ و ×) (عدد الفرص لحدوث العيوب) للجسور = 225

$$(DPMO) \text{ للجسور} = 1000000 \times \frac{44}{225} = 195556$$

$$(\sigma) \text{ مستوى} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(195556)} \\ = 2.40$$

(3) السقوف (Slabs):

إن العيوب التي يمكن أن تظهر في السقوف هي (التفاوت في الأبعاد، عدم استوائية صب السقوف، تشققات الخرسانة، وظهور تجاوب في الخرسانة) وبحساب عدد علامات (×) وعدد علامات (√ و ×) الكلية للسقوف يمكن إيجاد مستوى سيجما (σ) وكما يلي:
عدد العيوب (عدد علامات ×) للسقوف = 7
عدد التدقيقات (عدد علامات √ و ×) (عدد الفرص لحدوث العيوب) للسقوف = 40

$$(DPMO) \text{ للسقوف} = 1000000 \times \frac{7}{40} = 175000$$

$$(\sigma) \text{ مستوى} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(175000)} \\ = 2.48$$

يتضح مما سبق بأن أقل مستوى سيجما (σ) كان للأعمدة وهو 2.24 ثم يليه 2.4 للجسور ثم 2.48 للسقوف أي أن نسبة العيوب التي ظهرت في الأعمدة أكثر من الجسور والجسور أكثر من السقوف.
ثم يمكن حساب مستوى (σ) للمشروع ككل بحساب عدد علامات (\times) الكلية وعدد علامات ($\sqrt{\quad}$ و \times) الكلية وبتطبيق نفس المعادلات السابقة وكما يلي:

$$\text{عدد العيوب (عدد علامات } \times \text{)} = 89$$
$$\text{عدد التدقيقات (عدد علامات } \sqrt{\quad} \text{ و } \times \text{)} = (\text{عدد الفرص لحدوث العيوب}) = 420$$

$$(DPMO) = 1000000 \times \frac{89}{420} = 211905$$

$$(\sigma) = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.21 \times \ln(211905)}$$
$$= 2.35$$

وبهذا يتضح إن مستوى سيجما للمشروع ككل هو 2.35σ وعدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب هو 211905 ويعتبر عدد العيوب كبيراً لذلك نحتاج إلى رفع مستوى سيجما وتحسين الأداء والجودة.
يفترض الباحث بأن مستوى سيجما المستهدف للحالة الدراسية هو 3.5σ أي أن عدد العيوب ينخفض من 89 عيب إلى 10 عيوب وذلك حسب المعادلات السابقة لذا يجب العمل على التخلص من أسباب العيوب وتحسين الأداء للوصول مستوى سيجما المستهدف وهذا ما سيتابعه الباحث في الفقرة اللاحقة.

3: مرحلة التحليل (Analyze Phase)

إن المهمة الأساسية في هذه المرحلة هي تحديد متى وأين ولماذا حصل العيب (Defect) في المشروع الإنشائي، مما يستوجب في هذه المرحلة تحديد الأسباب الحقيقية الجذرية لحدوث العيب. عمل الباحث على معرفة أسباب حدوث العيوب من خلال إجراء المقابلات الشخصية مع عدد من المهندسين المشرفين الذين لديهم خبرة في مجال تنفيذ المشاريع الإنشائية وعليه تم التعرف على الأسباب الجذرية لحدوث كل نوع من أنواع العيوب التي تم تحديدها في مرحلة التعريف ثم أعاد الباحث ذكر هذه العيوب في استمارة الاستبيان التي وزعت على مجموعة من المهندسين لتحديد أكثر الأسباب تأثيراً في حدوث العيوب.
لغرض دراسة وتحليل الأسباب الجذرية لمشاكل الهيكل الخرساني في هذه المرحلة فقد تم استخدام أداتين من أهم أدوات ستة سيجما وهما مخطط السبب والنتيجة (Cause and Effect Diagram) ومخطط باريتو (Pareto Diagram) لكل نوع من أنواع عيوب الهيكل الخرساني التي تم ذكرها في مرحلة التعريف.

أولاً: مخطط السبب والنتيجة (Cause and Effect Diagram)

يستخدم مخطط السبب والنتيجة لتشخيص الأسباب التي تؤدي إلى ظهور مشكلة ما. ويقوم المخطط بتصنيف الأسباب المتعلقة بمشكلة رداءة الجودة وعدم مقبوليتها إلى فئات معينة وهي: المواد الأولية (Materials)، الماكائن والمعدات (Machines and Equipments)، ظروف وطرق العمل (Conditions and Methods of Work) والعامل البشري (People).
يوضح الشكل (2) مخطط السبب والنتيجة للعيوب المتعلقة بالتفاوت في الأبعاد وانحراف محاور الأعمدة والجسور عن مواقعها الهندسية المحددة في المخططات وعدم شاقولية الأعمدة وظهور التواءات في الجسور وعدم استوائية صب السقوف وأهم الأسباب التي تؤدي إلى حصول تلك العيوب والتي تم استيضاحها وتحديدها في الاستبيان الميداني.

ثانياً: مخطط باريتو (Pareto Diagram)

يعتبر مخطط باريتو أداة توضح نسبة مشاركة كل سبب من الأسباب في حصول المشكلة أو العيب حيث يضع تلك الأسباب بشكل صفوف من الأعمدة من اليسار إلى اليمين في ترتيب تنازلي. إن الفائدة من مخطط باريتو هي تركيز الاهتمام على الأسباب الأكثر تأثيراً في حدوث المشكلة من أجل معالجتها أولاً، استعرض الباحث من خلال الاستبيان الميداني الأسباب التي تؤدي لحدوث كل نوع من أنواع عيوب الهيكل الخرساني، وقد أوضحت عينة الاستبيان درجة تأثير كل سبب من الأسباب المذكورة في حصول العيب المذكور اعتماداً على مقياس موحد من 1 إلى 5 حيث يمثل الرقم 1 السبب قليل التأثير جداً ويمثل الرقم 5 السبب عالي التأثير جداً وقد تم احتساب معدل

التأثير لكل سبب من الأسباب المذكورة والذي يمثل المتوسط الحسابي (معدل التكرار) للإجابات ويوضح الشكل (3) مخطط باريتو لمعدل تكرار الإجابات.

يتضح من الشكل (3) بأن أكثر سبب يؤدي إلى حصول العيوب المذكورة هو قلة خبرة المهندس المشرف ثم يليه ضعف إسناد القوالب ويشكلان 22.9% من المجموع الكلي أي أن هذان العاملان هما العاملان الرئيسان في حصول العيوب ثم استخدام قوالب رديئة النوعية وبعدها عدم وجود مراقبين لضبط الجودة حيث إن هذه العوامل الأربعة تشكل 44.7% من المجموع الكلي لأسباب رداءة الجودة.

4: مرحلتى التحسين والمراقبة (Improve and Control Phase)

إن الهدف الأساس من هذه المرحلة بطورها التحسين والمراقبة هو القضاء على العيوب التي تم تعريفها اعتماداً على المعلومات التي تم الحصول عليها من مرحلة التحليل. إن التخلص من الأسباب الجذرية لحدوث العيوب يؤدي إلى التخلص من العيوب ورفع مستوى سيجما وتحسين الأداء والجودة.

يمكن القيام بهذه المرحلة من خلال اقتراح عدد من الإجراءات والسلوكيات لإدارة وضبط الأداء والجودة اعتماداً على المعلومات التي تم جمعها وتحليلها من خلال الاستبيان الميداني وما سبقه وما تلاه ثم مرحلة التحليل. إن الإجراءات المقترحة التي ينبغي الالتزام بها لتحسين الأداء وتحقيق الجودة المطلوبة تبدأ بإنشاء قسم خاص بإدارة الجودة.

قسم إدارة الجودة

إن الخطوة الأولى للوصول إلى تحسين الأداء والحصول على الجودة المطلوبة في شركات المقاولات الإنشائية المنفذة هي إنشاء قسم متخصص بإدارة الجودة كأحد الأقسام الأساسية في الشركة يكون ارتباطه بالإدارة العليا للشركة ويحتوي على مجموعة من الشعب والوحدات المحددة الوظائف بهدف تحقيق الجودة المطلوبة وتعمل الشعب على إعداد التقارير إلى الإدارة العليا للقسم في الشركة ويوضح الشكل (4) الهيكل التنظيمي لقسم إدارة الجودة المقترح الذي تقع عليه مسؤولية تطبيق الإجراءات المقترحة لتحسين الأداء.

الإجراءات المقترحة لتحسين الأداء

يمكن توضيح الإجراءات المقترحة لتحسين الأداء وتحقيق الجودة والتي تقوم بتطبيقها شعب ووحدات قسم إدارة الجودة فيما يلي:

أولاً: ضبط التصميم

تقع مسؤولية ضبط التصميم على عاتق شعبة ضبط التصميم مما يستوجب وجود مجموعة من الضوابط والإجراءات المطلوبة لضمان مطابقة التصميم لاحتياجات العميل مع ارتفاع جودتها لأقصى حد ممكن بعيداً عن أي أخطاء تحدث في التصميم أو في رسم المخططات أو في حركة المعلومات والبيانات. إن من أهم مسؤوليات ووحدات شعبة ضبط التصميم هو مراجعة التصميم وتدقيقه والتأكد من مطابقته للمواصفات والمعايير المتفق عليها من أجل تلافي حصول أخطاء في التنفيذ بسبب أخطاء في المخططات وغيرها من مستندات التصميم.

ثانياً: المشتريات

تمثل المشتريات جانباً حيويًا ومهماً في حياة أي طرف سواء كان مقاولاً أو صاحب عمل لأن شراء المواد جزءاً من عملية تجهيز الموارد للشركة وهو يؤثر على نوعية أعمالها وعلى مواردها المالية. إن مسؤولية شعبة المشتريات هي ضمان شراء مواد (أجهزة، معدات، ومواد أولية) مطابقة للمواصفات المعتمدة وذلك من خلال ما يأتي:

- 1- تحديد دقيق لبيانات الشراء من خلال المخططات والمواصفات وإعداد جداول الكميات.
- 2- وضع معايير محددة لتقييم المجهزين أهمها قدرة المجهز على تجهيز مواد وفقاً لمتطلبات العقد وأن يكون تسليم المواد متوافقاً مع الجدول الزمني للمشروع وكذلك ينبغي مراجعة تاريخ المجهز لتحديد القدرة الفنية له وبالتالي تحديد أهليته للتجهيز.
- 3- يجب وضع سجلات خاصة بتقييم المجهزين والاحتفاظ بهذه السجلات.
- 4- تحليل العروض والأسعار المقدمة.
- 5- التحقق من مطابقة المادة المشتراة للمواصفات وإجراء الفحوصات اللازمة لها.

ثالثاً: التخزين

تبقى مسؤولية إدارة المخازن من أهم المسؤوليات في الموقع الإنشائي والتي تناط بوحدة إدارة المخازن التابعة لشعبة المشتريات لاعتماد جودة العمل الإنشائي والهندسي على الحفاظ على المواد بصورة جيدة حيث يجب ضبط حركة المواد الأولية داخل المخزن والتأكد من عدم تلفها أو تعرضها لظروف تؤدي إلى تدهور جودتها كما إن عملية توثيق أوقات دخول المواد الأولية إلى المخزن وخروجها منه ضرورية للسيطرة على عدم تأخر المواد في المخازن. يجب أن يكون هناك نظام لمعرفة مكان أي قطعة في المخزن

وذلك لتسهيل تحديد مكانها وتوزيعها وخريطة أرضية تحدد موقع كل الموجودات تساعد على الحركة داخل المخزن وذلك للتأكد من أن المواد موضوعة في مكانها المناسب.

رابعاً: التنفيذ

تعتبر عملية ضبط التنفيذ من أهم الأمور التي تؤدي إلى تحقيق الجودة المطلوبة والتي يجب أن تناط بشعبة متخصصة لذلك والتي تتألف من فريق عمل مسؤوليته الأساسية هي متابعة التقنيات الفنية وطرق العمل وضبط الجودة أثناء التنفيذ حيث يجب أن يكون هذا الفريق متواجداً في الموقع خلال مراحل تنفيذ الهيكل الخرساني ابتداءً من عملية تخطيط المحاور وتسقيط الإحداثيات وانتهاءً بعملية معالجة الخرسانة ورفع القوالب ويتألف هذا الفريق من مهندسين لديهم الخبرة الكافية في مجال التنفيذ.

خامساً: الأجهزة والمعدات

إن مسؤولية وحدة المعدات التابعة لشعبة التنفيذ هو ضمان استخدام أجهزة ومعدات معتمدة وموثوق بها تعمل على إنجاز العمل بشكل مناسب مع مستوى الدقة المطلوبة وذلك عن طريق معايرة جميع الأجهزة والمعدات وفحصها دورياً للتأكد من صلاحيتها للاستخدام. تعتمد فترة المعايرة على نوع الجهاز وعدد مرات استخدامه ويجب تحديد الجهاز الذي تمت معايرته عن طريق وضع علامة تشير إلى ذلك مكتوب عليها وقت المعايرة السابقة.

سادساً: ضبط الفحوصات المختبرية

يجب تعيين فريق متخصص مسؤول عن ضبط جودة المواد الأولية الداخلة في العمل الهندسي والمتمثل بوحدة الفحوصات التابعة لشعبة التنفيذ يعمل على:

- 1- أخذ العينات التي يراد فحصها وإرسالها إلى المختبر.
- 2- استلام نتائج الفحوصات من المختبر.
- 3- توثيق ملاحظات المختبر أو الاستشاري حول المواد المرفوضة في الموقع.

سابعاً: التحليل الإحصائي

تقع على عاتق هذه الوحدة التابعة لشعبة التنفيذ مسؤولية توظيف الأدوات الإحصائية لغرض تحليل البيانات وتحديد أسباب المشاكل التي قد تحدث ومن أهم تلك الأدوات هي مخطط السبب والنتيجة ومخطط باريتو وغيرها من الأدوات التي يمكن استخدامها في هذا المجال حيث باستخدام الأساليب الإحصائية يمكن تحديد الإجراءات الوقائية المناسبة لمنع حدوث العيوب وكذلك الإجراءات العلاجية المناسبة لتصحيح الأعمال غير المطابقة للمواصفات.

ثامناً: التدريب

تعد مشكلة انخفاض كفاءة وخبرة المهندسين والأيدي العاملة من أهم المشاكل التي تؤدي إلى تدهور جودة العمل مما يستوجب تهيئة شعبة متخصصة بالتدريب والتأهيل تعمل على رفع الكفاءة والقدرة الفنية لجميع الأفراد العاملين والمحافظة على المستوى العلمي والعمل الجيد والقدرة الكافية على أداء وظائفهم بكفاءة عالية ويتم ذلك عن طريق تهيئة الدورات والتدريب المناسبين لهم كل حسب وظيفته.

الاستنتاجات

- 1) عدم معرفة العاملين في قطاع التشييد بمنهجية سته سيجما ودورها في الحد من الأخطاء والعيوب وقدرتها على تحسين الأداء وتحقيق الجودة.
- 2) ضعف استخدام الأساليب الإحصائية في الشركات الإنشائية العاملة في قطاع التشييد والتي تهدف إلى ضبط الجودة وتحسين الأداء.
- 3) مستوى سيجما (Sigma Level) للحالة الدراسية التي تم اختيارها هو 2.35 وعدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث العيب (DPMO) هو 211905 ويعتبر مستوى سيجما هذا قليلاً جداً ونسبة العيوب كبيرة مما يدل على تندي مستوى الجودة للحالة الدراسية.
- 4) بحساب مستوى سيجما للعناصر الإنشائية الثلاثة التي تم فحصها للحالة الدراسية (الأعمدة، الجسور والسقوف) كل على حدة فإن مستوى سيجما للأعمدة كان 2.24 ومستوى سيجما للجسور هو 2.40 ومستوى سيجما للسقوف هو 2.48 وبهذا يتضح أن أقل مستوى سيجما وأعلى نسبة عيوب كان للأعمدة ثم الجسور بالمرتبة الثانية وأما السقوف فلها أعلى مستوى سيجما وأقل

نسبة عيوب مما يدل على أن الأعمدة تمثل أكثر العناصر الإنشائية تعرضا للعيوب والأخطاء والسقوف أقلها تعرضا للعيوب والأخطاء.

التوصيات

- (1) اعتماد منهجية (DMAIC) لتحسين الأداء في العمليات الإنشائية المختلفة حيث أنها منهجية فعالة لها القدرة على علاج المشاكل ومنع حدوثها.
- (2) تعريف المهندسين العاملين في قطاع التشييد بمنهجية ستة سيجما وأهميتها عن طريق إقامة دورات تدريبية في هذا المجال.
- (3) ضرورة استخدام الأساليب الإحصائية في الشركات الإنشائية من أجل تحليل أسباب المشاكل ومنع حدوثها في المستقبل.

المصادر

- Brue, Greg, 2006 (*Six Sigma for Small Business*), CWL Publishing Enterprises, Inc., Entrepreneur Media, Inc.
- Dahlgaard, Jens J. & Kristensen, Kai & Kanji, Gopal K., 2007 (*Fundamentals of Total Quality Management*), Taylor & Francis Group.
- Khan, Obaidullah Hakeem, 2005 (*A Study of Critical Success Factors for Six Sigma Implementations in UK Organizations*), A MSc Thesis Submitted to the School of Management, Bradford University.
- Niaraki, Seyed Ali Mousavi, 2010 (*Six Sigma Approach to Real Time Cast In-Situ Slab Concreting Process Improvement*), A MSc Thesis Submitted to the Faculty of Civil Engineering, University Teknologi Malaysia.
- Pande, Pete & Holpp, Larry, 2002 (*What is Six Sigma*), McGraw-Hill companies, Inc., USA.
- Park, Sung H., 2003 (*Six Sigma for Quality and Productivity Promotion*), Asian Productivity Organization (APO), Tokyo, Japan.
- Pheng, Low Sui & Hui, Mok Sze, 2004 (*Implementing and Applying Six Sigma in Construction*), Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130. No. 4, pp. 482-489, ASCE.
- Tehrani, Maryam Dabbaghi, 2010 (*Performance Improvement in Construction Project based on Six Sigma Principles*), A MSc Thesis Submitted to the Department of Quality and Environmental Management, School of Engineering, University of Borås.
- أمين، رعد منيب محمد، 2000 (أسس نظام مقترح لتقييم مشاريع الأبنية)، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة البناء والإنشاءات، الجامعة التكنولوجية.
- الحداد، عواطف إبراهيم، 2009 (إدارة الجودة الشاملة)، الطبعة الأولى، دار الفكر، عمان، الأردن.
- الراوي، سينا أحمد عبد الغفور، 2011 (استخدام منهج سيجما ستة Six Sigma في ضبط جودة التدقيق الداخلي: دراسة ميدانية على المستشفيات الخاصة الحائزة على جائزة الجودة والتميز في محافظة عمان)، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم المحاسبة، كلية الأعمال، جامعة الشرق الأوسط.
- الريدي، محمد عبد الله، 2005 (إدارة وضبط الجودة لمشروعات الخرسانة المسلحة)، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- السلايمة، نضال حلمي، 2007 (إمكانية استخدام سيجما ستة لتحسين الأداء الصحي في المركز العربي الطبي (عمان الأردن))، رسالة ماجستير مقدمة إلى كلية الدراسات الإدارية والمالية العليا، جامعة عمان العربية للدراسات العليا.
- الطائي، رعد عبد الله وقداة، عيسى، 2008 (إدارة الجودة الشاملة)، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
- القزاز، إسماعيل إبراهيم والحديثي، رامي حكمت وكوريل، عادل عبد المالك، 2009 (Six Sigma وأساليب حديثة أخرى في إدارة الجودة الشاملة)، الطبعة الأولى، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، الأردن.
- مجيد، سوسن شاكر والزيادات، محمد عواد، 2007 (إدارة الجودة الشاملة تطبيقات في الصناعة والتعليم)، الطبعة الأولى، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

جدول (1) العلاقة بين مستوى سيجما وعدد العيوب لكل مليون فرصة (Park, 2003)

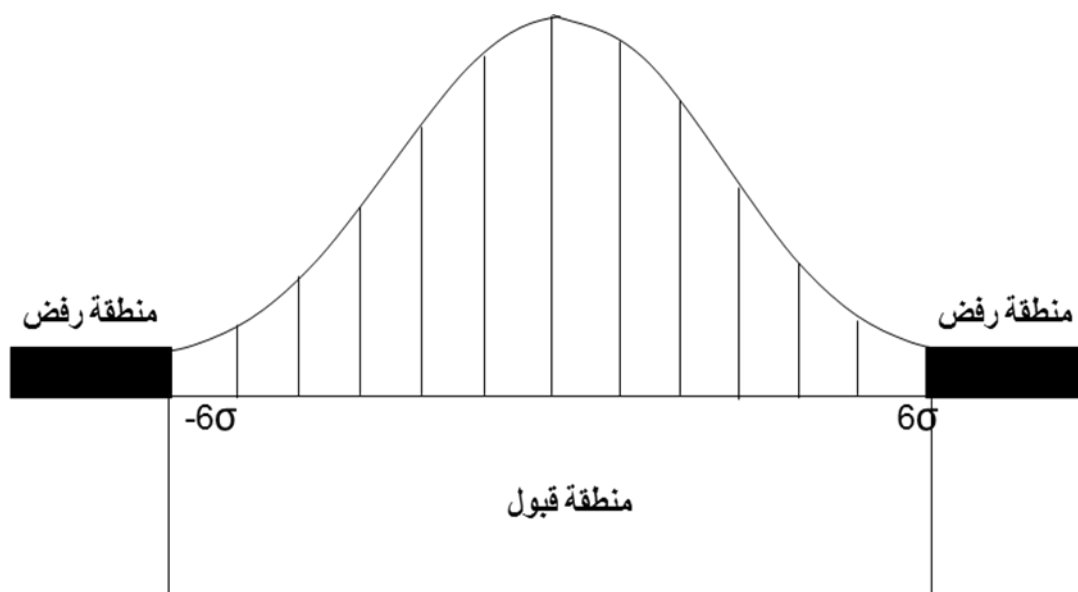
| المنتج غير المعاب (%) | العيوب لكل مليون فرصة | مستوى سيجما |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| 30.2328 | 697,672 | 1 |
| 69.1230 | 308,770 | 2 |
| 93.3189 | 66,811 | 3 |
| 99.3790 | 6,210 | 4 |
| 99.97674 | 233 | 5 |
| 99.99966 | 3.4 | 6 |

جدول (2) التفاوت المسموح به في الأبعاد طبقا للمواصفة الأمريكية ACI (الريدي، 2005)

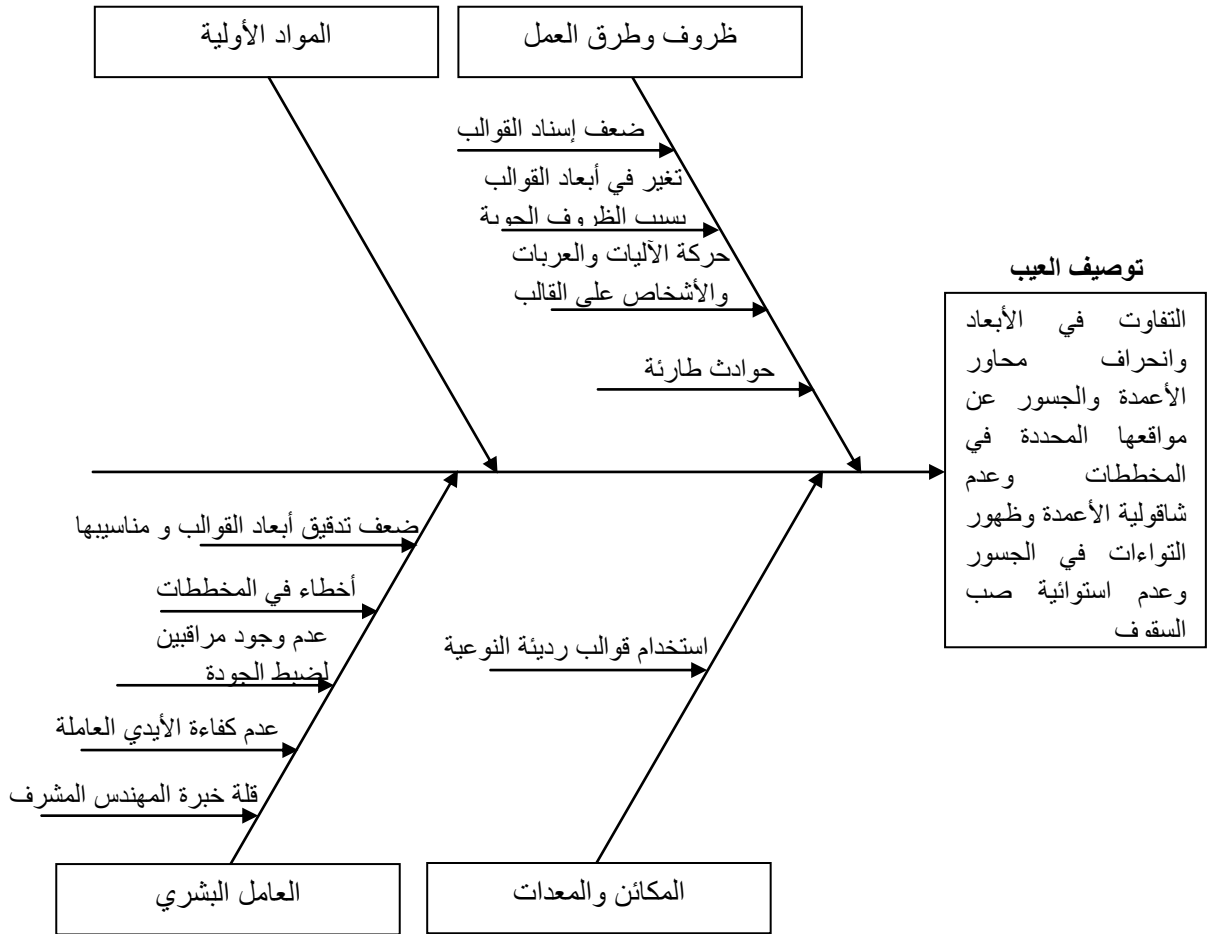
| البند | التوصيف | | التفاوت | |
|-------|--|--|------------------|------------|
| | | | انج | ملم |
| 1 | التفاوت المسموح به في مقاسات الأعمدة والجسور والميدات والسقوف والجدران | | | |
| | للمقاسات حتى 12 انج | | 0.25 - أو 0.375+ | 10+ أو 6- |
| | أكبر من 12 انج | | 0.375 - أو 0.5+ | 10- أو 13+ |
| 2 | أقصى تفاوت لأبعاد محاور الأعمدة والجسور والجدران | | | |
| | في أي باكية أو كل 20 قدم في أي اتجاه | | ± 0,5 | ± 13 |
| | البعد الكلي للمنشأ | | ± 1 | ± 25 |
| 3 | الاستقامة الرأسية (الشاقولية) لأسطح الأعمدة والجدران وخط تقاطع الأسطح مع بعضها | | | |
| | لكل 10 قدم ارتفاع | | 0.25 | 6 |
| | ارتفاع المبنى بالكامل (بعد أقصى 100 قدم) | | 1 | 25 |

جدول (3) جزء من استمارة التدقيق المستخدمة (Check Sheet) لجمع البيانات مؤشر عليها نتائج التدقيق

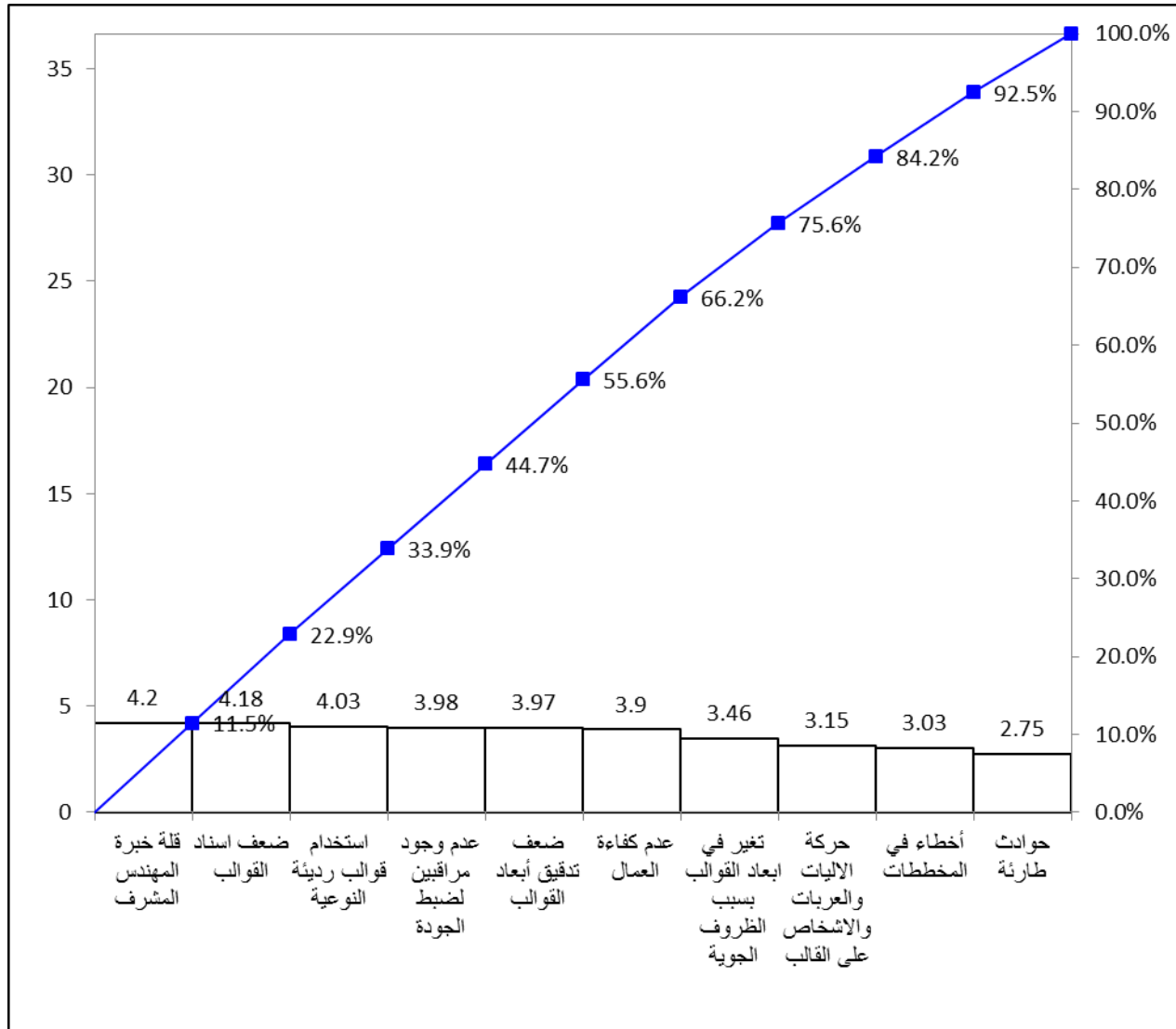
| الأعضاء الإتشائية | التفاوت في الأبعاد | انحراف محاور الأعمدة والجسور | عدم شاقولية الأعمدة | ظهور التواءات في الجسور | عدم استوائية صب السقوف | تشققات الخرسانة | ظهور تجاوزات في الخرسانة |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| عمود 1 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | × |
| عمود 2 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | × |
| عمود 3 | × | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| عمود 4 | × | ✓ | × | | | ✓ | ✓ |
| جسر 1 | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| جسر 2 | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| جسر 3 | × | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| جسر 4 | × | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| سقف 1 | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| سقف 2 | × | | | | ✓ | ✓ | × |



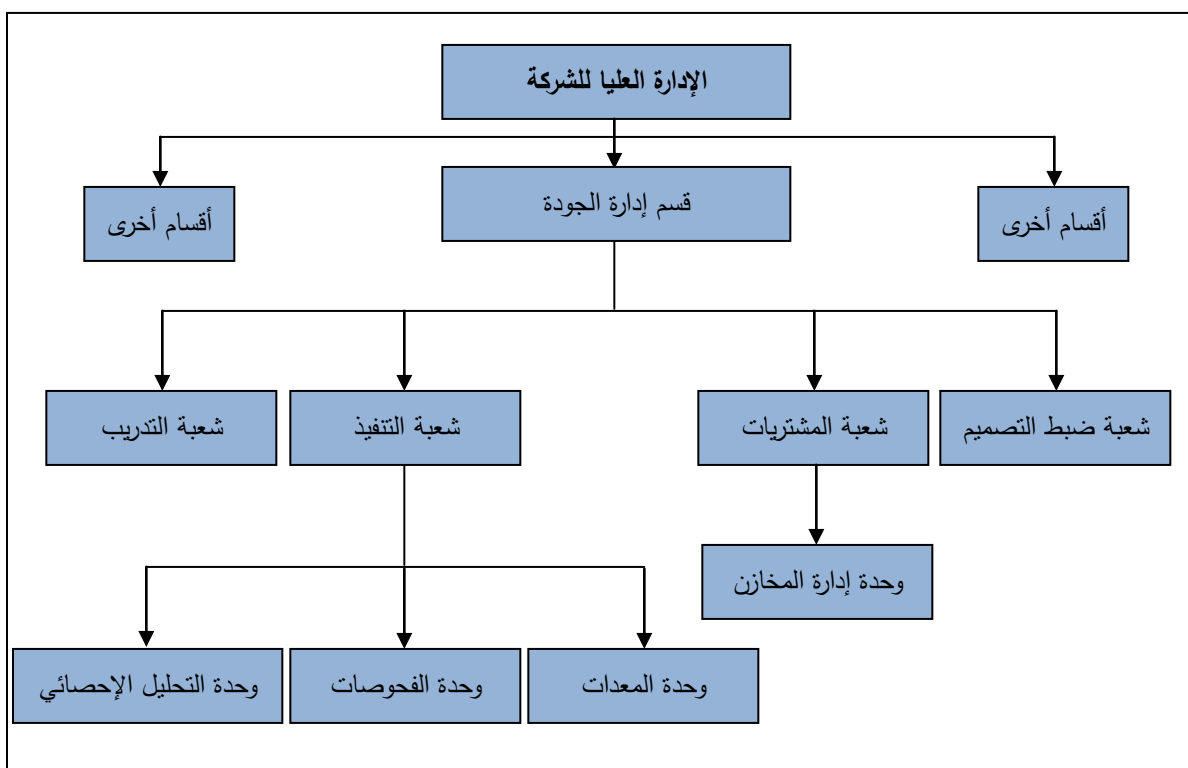
شكل (1) منحنى التوزيع الطبيعي



شكل (2) مخطط السبب والنتيجة لمشاكل التفاوت في الأبعاد وانحراف محاور الأعمدة والجسور عن مواقعها الهندسية المحددة في المخططات وعدم شاقولية الأعمدة وظهور التواءات في الجسور وعدم استوائية صب السقف



شكل (3) مخطط باريتو لأسباب عيوب التفاوت في الأبعاد وانحراف محاور الأعمدة والجسور عن مواقعها الهندسية المحددة في المخططات وعدم شاقولية الأعمدة وظهور التواءات في الجسور وعدم استوائية صب السقوف



الشكل (4) الهيكل التنظيمي لقسم إدارة الجودة المقترح الذي تقع عليه مسؤولية تطبيق الإجراءات المقترحة لتحسين الأداء

الخصائص الشكلية للنمط المعماري للمساجد المعاصرة في ضوء مفهوم الطوبولوجية

د. نوار سامي مهدي / استاذ مساعد / جامعة فيلادلفيا / nawarsm5@yahoo.com / الأردن

د. صبا سامي مهدي / مدرس / جامعة النهرين / sabasami1000@yahoo.com / بغداد

مستخلص

تعد دور العبادة ، ومنها المساجد الإسلامية ، من أهم وأقوى المؤسسات المعمارية النمطية على مر العصور ، وهي تلعب دورا رئيسيا في اكساب المدينة الاسلامية هويتها بما تحمله من ارث شكلي رمزي عال ، مفعم بالقيم الاعتبارية. ومع تمكن التقنية الرقمية ودخولها في عملية التصميم المعماري بمختلف مستوياتها ، شهدت عمارة المساجد ظهور نماذج جديدة أضيفت إلى الخزين المعماري لهذا النمط . مما يستدعي مراجعة هذا الجديد وتحديد التحولات الشكلية التي يقدمها وما تقترحه هذه التحولات من خصائص. يهتم البحث باستكشاف ما بقي ملازما من مكونات شكلية في نمط عمارة المساجد ، وما انحسر منها ، ورصد كيفية توظيفها في هذا العصر في ضوء مفهوم الطوبولوجية في العمارة ، حيث يعمد البحث الى استقراء ودراسة مجموعة من النماذج المعاصرة ، ومقارنتها بما مر به النمط من تطورات فيما يخص مكوناته الشكلية . كلمات مفتاحية : تصميم المساجد المعاصرة ، انماط المساجد ، الهندسة الطوبولوجية ، مكونات المسجد .

Formal Characteristics of the Architectural Type of contemporary Mosques within the concept of Topology

Dr. Nawar Sami Mahdi / Assistant professor/
University of Philadelphia- Jordan
nawarsm5@yahoo.com

Dr.Saba Sami Mahdi / Lecturer / University of
Alnahrain- Baghdad
sabasami1000@yahoo.com

ABSTRACT

Mosques could be considered as one of the most powerful architectural types throughout historical ages. With their highly symbolic formal legacy, Mosques play an essential role in providing the Islamic city with its special identity. Nevertheless, the advent of digital technology and its ubiquity at different levels of architectural design marked the emergence of new tendencies in the Architecture of Mosques, represented by various models added to the storage of this architectural type. Consequently a review of these tendencies would be needed, aiming at pointing out the formal transformations and new suggested characteristics.

The paper investigates the surviving and the disappearing formal components of the Mosque Type, and reviews the different ways they are contemporarily employed within the notion of Topology in Architecture. This is achieved through the study and analysis of several examples of contemporary mosques , with comparison to the development of the formal components undergone by the Mosque type.

Key Words: design of contemporary mosques ,types of mosques, topology, elements of mosque.

مقدمة :

في خضم هذا العصر المفعم بالتحويلات الاجتماعية والسياسية والاقتصادية السريعة ، ما زالت العمارة تتحو نحو استكشاف صياغات جديدة للأنماط المعمارية المختلفة ، وأحد هذه الأنماط هي المساجد الإسلامية . قال لوكوربوزيه Le Corbusier يوما عند دير لاتريت La Tourette Monastery في 1961 : " أنا مبدع عبارة (الفضاء الذي لا يوصف) " . فقد رأى أن الفضاء لم يعد يعتمد على القياسات بل على مدى نوعية كماله ولكونه ينتمي إلى حقل الذي لا يوصف ، حيث يعجز القول ويعجز التعبير في عملية التصميم¹ .

يهدف البحث إلى رصد واستكشاف ما بقي ملازما للنمط من مكونات شكلية في نمط عمارة المساجد ، وما انحسر منها ، ورصد كفاءات توظيفها في هذا العصر . **ويفترض البحث أنه** في ضوء مفهوم الطوبولوجية في العمارة الذي يركز على القيم النوعية للشكل بعيدا عن الهيئة التي تبدو عليها الاشكال، تكون القيمة النوعية التي يكمن فيها الاداء الطقسي - الوظيفي هي القيمة الأكثر تحفيزا لذاكرة الفرد والجماعة في نمط المساجد . **ويعتمد البحث منهجاً** يذهب نحو استقراء ودراسة مجموعة من النماذج المعاصرة التي ينحصر تصميمها في الفترة منذ سنة 2000 الى الوقت الحالي ، ومقارنتها بما مر به النمط من تطورات فيما يخص مكوناته الشكلية. ولكي يتسنى ذلك ، يشرع البحث، بعد التعريف بمفهوم الطوبولوجية، بتحديد المكونات المعمارية التي تحدد المسجد كنمط بين الأنماط الأخرى . ولأن المساجد لم تعد تبنى في البلدان الإسلامية فقط بل انتشرت في أنحاء العالم ، ولأن المرحلة التاريخية وما يلزمها من متغيرات في مختلف الأصعدة ، ومنها التطور التكنولوجي الرقمي ، وانعكاسات ذلك كله على العمارة ، فإن من الضروري التنويه بان **مجال البحث** لن يقتصر على المساجد في البلدان الإسلامية ، بل سيكون الرصد حيثما تظهر هذه النماذج ، ليرتبط على ذلك عدة تساؤلات لا تقتصر فقط على ما تمت المحافظة عليه من المكونات الشكلية للمسجد ، بل يطمح البحث الى الإجابة حول ما إذا هناك اختلاف في التوجه بين تلك التي تنشأ في المدن الإسلامية ، وتلك التي تنشأ في مدن أخرى .

1. الطوبولوجية (الهندسة اللا كمية) Topology :

الطوبولوجية (الهندسة اللا كمية) Topology هي فرع واسع من فروع الرياضيات يمتد حتى الهندسة ، ويهتم بطبيعة الفضاء ويتحرى بناء الدقيقة وبنيته الكلية ، ويتخذ تطبيق بيان الخرائط mapping أو الوظائف الرياضية المستمرة أهمية في الطوبولوجية (الهندسة اللا كمية) ، وهي الوظائف التي تمط الفضاء دون تمزيقه إلى أشلاء ، أو تلتصق الأجزاء المتميزة ببعضها² . فالهندسة الإقليدية ليست سوى نوع من أنواع الهندسة ، ونقطة خاصة على مقياس لا متناه من الحني أو الطي تنتج التسطح كمظهر توازن قائم في وسط تأثيرات متنوعة تكون في المقام الأول فضاءً منحنياً ، ولا تشكل فيها المكعبات والمكورات blobs أكثر من حالات على مقياس منزلق sliding scale من التعقيد الشكلي ، يمكن به قلب المكعب إلى مكور ، والعكس بالعكس ، من خلال تنويع بارامترات معرفّة ضمن الحيز الذي يشغله الشكل³ .

ووفقاً للتعريف الرياضي : الطوبولوجية (اللا كمية) : هي دراسة الخواص الداخلية والنوعية للأشكال الهندسية التي لا تتأثر بأي تغيير في الهيئة أو الحجم ، في حالة التحويلات أو التشوهات deformations المطية كالشد واللي . فالدائرة والشكل البيضوي ، يعتبران طوبولوجياً متعادلين وكذلك المربع والمستطيل ، وكل من الدائرة والمربع يمكن شدهما بالمط إلى كل من الشكل البيضوي والمستطيل⁴ ، ولهما خصائص مشتركة عديدة ، فكلاهما موضوع أحادي البعد من وجهة النظر الطوبولوجية (اللا كمية) ، وكلاهما يفصل المسطح إلى جزئين ،

أحدهما داخلي والآخر خارجي . كذلك المربع والمستطيل لهما نفس عدد الحافات edges ونفس عدد المتجهات vertices وبالتالي فهما من الناحية الطوبولوجية (اللا كمية) متطابقان أو : ذاتيا التحول Homeomorphic . (شكل 1) وتمتلك فكرة الطوبولوجية (الهندسة اللا كمية) قدرة خاصة في العمارة من حيث تأكيدها على التحول عن أشكال معينة في التعبير ، ضمن موقع محدد وبرنامج مقترح ، حيث تصبح هذه المعطيات المتداخلة القاعدة المنظمة والمكونة لتوليد الشكل وتحوله⁵ .

إن المدى الذي تهتم به الطوبولوجية (اللا كمية) هو العلاقات والاتصالات الداخلية ضمن السياق الفضائي وليس أشكالا محددة ، ويمكن تصوير الإنشاء الطوبولوجي الواحد من خلال عدة أشكال لا تحتاج لأن تكون منحنية الخطوط curvilinear . بعبارة أخرى تعنى الطوبولوجية بالعلاقات الفضائية أكثر من عنايتها بالتحديدات الفضائية⁶ .

إن العمل على أفكار الهندسة الطوبولوجية فيما يخص نمطا معيناً كنمط المساجد قد يوحي بأن البحث في سبيله إلى العمل في مساحة التجريد الرياضي ، في حين قد يوحي التعامل مع المساجد بأن البحث سيعمل في إطار النمط . إن كلا الأمرين معنيين إلى حد كبير في تحليلات البحث ، لكن الأمر يقع في مساحة مشتركة بين الإثنين ، حيث يستفيد البحث من طروحات الهندسة الطوبولوجية في استكشاف المكونات الشكلية التي لم يتم تنحيتها في نمط المساجد .

2. أهمية العناصر الشكلية المكونة لعمارة المساجد :

في معرض حديثه عن الـ (decorated sheds) ، وفي إشارة إلى Learning from Las Vegas يشرح كارستن هاريس Karsten Harries أن ما هو مقدس - من العمارة ، كما يبدو - يعتمد على التاريخ والذاكرة⁷ ، وأن العديد من البنى خال من المعنى ، وبأن العمارة تحتاج المقدس لكي لا تذبل⁸ . ورغم أن محور حديثه يبدو وكأنه يستهدف أهمية وجود المعنى في العمارة ، إلا أنه يشير بوضوح إلى أهمية التاريخ والذاكرة (الجماعية) في صيانة المعنى وديمومته عبر ما هو مقدس منها . أما ميروسلاف فلف Miroslav Volf ، الذي كتب حول الذاكرة والفضاء ، فيشير ، وتحت نفس المظلة ، إلى أن العمارة أصبحت موقعا للذاكرة المقدسة لما تشكله من هوية للأفراد ، لتصبح جزءا من تاريخ المجموع⁹ .

أن المزج السابق بين قدسية المعنى في العمارة وارتباطه بالذاكرة والتاريخ على مستوى الفرد والمجتمع يحيل بالضرورة إلى الربط بين الشكل في العمارة وخزين المعاني التاريخي للشكل في الذاكرة الفردية والجمعية ، ولأن المباني التي تحمل صفة القدسية تمتلك بعدا تاريخيا واعتباريا في ذاكرة الفرد والمجموع ، وفي حياتهما ، بغض النظر عن الديانة ، يصبح ارتباط الشكل فيها عبر هذه الذاكرة خاضعا إلى علاقة نوعية يحفز فيها الشكل ما هو كامن في ذاكرة الفرد والجماعة من قيم اعتبارية تخضعه إلى نوع من التقييم ، وتحكم عليه بالقبول أو الرفض ، فإما تصونه من خلالها ، أو تتركه إلى الإندثار . و يرى البحث أن الذهاب نحو فحص ومناقشة مكونات شكل المسجد في هذا العصر والمتغيرات التي طرأت عليه عبر العلاقات النوعية المتضمنة فيه ، من شأنه أن يعطي تصورا للمكونات التي بقيت راسخة مع المسجد وبالتالي قد يمكن تحديد تلك التي تلعب دورا في تحفيز هذه الذاكرة .

3. العناصر الشكلية المكونة لعمارة المساجد وخصائصها النوعية :

إن العناصر الشكلية المكونة لنمط عمارة المساجد هي المكونات التي لا يخلو منها أي مصدر يتحدث عن هذا النمط . فمن متطلبات العبادة وجود فضاء مقدس مكرس لهذا الغرض¹⁰ ، ومحراب ومنبر ، وغالبا وليس شرطا ، فناء بواجهات داخلية مصممة ، ومكان للوضوء وموقع مركزي ملائم للمساحات المستوعبة للمجتمع ، ثم اخيرا النداء للصلاة أي الأذان وهذه جميعا كانت المكونات المقبولة من قبل المسلمين . وسواء كانت مثبتة من زمن النبي في المدينة ، او خلال العقود التي تلت ، فان هذه المكونات كانت هي الجسد الثابت من الوظائف والاشارات الضرورية للمجتمع المسلم¹¹ .

ويذهب البحث مع اعتبار هذه المكونات مكونات رمزية ، وهي أساسية ، ويمكن اعتبار ما دونها من مكونات : إضافية أو مكملة¹² ، وسيستبعد البحث كل المكونات التي لا ترتبط بفريضة الصلاة ، وكما يلي :

3-1 - المكونات الرمزية الأساسية :

وهي المكونات الرمزية التي تخدم الناحية الرمزية والوظيفية ، من حيث أنها ترمز إلى المسجد ككيان معماري بشكل مباشر ، وترتبط بالأداء الوظيفي لعملية الصلاة . ولقد تناولتها بالشرح والتظهير عدة دراسات ، لكن البحث يرى أن من الضروري التطرق لها بإيجاز باعتبار أن خصائصها مفتاحا لرؤيته ، مركزا على الجوانب التي ترتبط مباشرة بهذه الرؤية . وهي من الناحية المعمارية كالآتي :

3-1-1 فضاء الحرم أو المصلى :

وهو الفضاء الرئيسي المسقف في المسجد الذي تتم فيه فريضة الصلاة . لقد كان منزل النبي محمد (ص) في المدينة هو المركز الأول لكل النشاط الديني والاجتماعي ، وكان فناءه مكانا مناسباً للقاء والصلاة والتعرف على تعاليم الإسلام . وبعد فترة وجيزة ، دعت الحاجة إلى إنشاء مكان مظلل يقي من حرارة الشمس على الحائط الشمالي للبيت ، وهو حائط يواجه إتجاه القبلة الأولى للمسلمين في بيت المقدس ، ثم أضيف مكان مظلل آخر على الحائط الجنوبي للمنزل ، الذي يواجه مكة المكرمة ، بعد أن تم تفضيلها واتخاذها قبلة للمسلمين بدلا من بيت المقدس¹³ . وهكذا كان المكون الإنشائي لهذا الفضاء حر الصياغة على مستويات مختلفة من شكله العام وحتى تفاصيله التزيينية .

لكن الحرم على مر العصور كان يضم خصائص نوعية في بنيته العامة ، فهو أولا يتمتع بضرورة وجود الاتجاه نحو القبلة ، وهي الكعبة المكرمة في مكة ، وتعد هذه الاتجاهية إحدى العوامل الحسية والبصرية المهمة التي أثرت على المدينة الإسلامية والتي تأثرت بدورها بشكل واضح بالدين الإسلامي .

من جانب آخر يثير فحص المكونات الإنشائية للحرم ، على اختلاف صياغاتها الشكلية ، وجود إيقاع ملازم يحدد اصطفااف المصلين من جهة ويعزز توجههم نحو القبلة¹⁴ . وحتى مع التغييرات التي حصلت في تخطيط المصلى في عمارة المساجد عبر العصور المختلفة ، واتخاذها أشكالا مختلفة مثل الدائرة والمثلث وغيرها من الأشكال التي قد لا تعطي اتجاهها واضحا نحو القبلة¹⁵ ، بقي التوجه نحو القبلة خاصية نوعية . ومن منطلق طوبولوجي ، تتساوى قيمة الفضاء المركزي مع الفضاء المضلع متعدد الاتجاهات . وبقي أيضا إيقاع اصطفااف المصلين خاصية نوعية أيضا ، وكلتا الخاصيتين كامناتان في اشكال المصليات على اختلافها .

3-1-2 حائط القبلة والمحراب والمنبر :

يضم الحرم حائط القبلة والمحراب والمنبر . ولقد كانت بداية حائط القبلة جدران منزل النبي محمد (ص) الواقع باتجاه القبلة¹⁶ . ويضم حائط القبلة : المحراب ، ويعتبر رمز القبلة التي يتجه اليها المسلمون ، وهو متوجه نحو المسجد الحرام ، ويقع حيث مكان وقوف الامام ليوم المصلين¹⁷ .

والمحراب هو عنصر رمزي وليس وظيفي لأن المصلين قاطبة لا يمكن أن يروه في أثناء تأدية الصلاة، بالإضافة الى أن المصلي يعلم مسبقا الاتجاه الذي يجب ان يتوجه إليه عند دخوله فضاء الصلاة¹⁸ . وظهرت فكرة المحراب لأول مرة في مسجد الرسول (ص) ، فقد وضع حجر اسود باتجاه بيت المقدس ، حيث كانت القبلة في البدء ثم انتقل الى الحائط المقابل لمكة المكرمة حين تغير اتجاه القبلة نحو الكعبة¹⁹ . وقد اتخذ المحراب لاحقا شكل حنية تفاوتت أحجامها وأشكال معالجاتها بين المساجد المختلفة . ويمكن تشخيص خاصية نوعية لارتبط بشكل الحنية ولكن بفكرة العمق المرتبط بالغموض المكتسبة من قدسية وجوده ، والذي يدعم موضوعيا ورمزيا الاتجاه نحو القبلة ، ويعزز الإحساس بالخشوع .

أما المنبر ، فقد كان ارتفاعا في الارض الى جانب موقع المحراب في مسجد الرسول ، استخدم كمنصة للخطابة يقف الرسول اعلاها . واكتسب لاحقا اهمية دينية وسياسية وإدارية . ويوضع في المساجد الجامعة²⁰ .

3-1-3 المئذنة :

رغم أن البحث يتفق حول القيم الاستراتيجية والعمرانية للمآذن²¹ ، لكنه يرى أن سبب انشائها ليس تاريخيا صرفا . فأسم المئذنة دال على وظيفتها بفعل الحاجة إلى رفع الأذان من على مرتفع ، وهو الأكثر ترجيحاً كسبب لاعتمادها ، لا سيما وأن بعض المصادر تشير لذلك²² ، وما القيم الأخرى إلا قيما تبعت هذه الخاصية النوعية المتمثلة بالاتجاه نحو الأعلى لإيصال الأذان لأبعد ما يمكن ، والتي جعلت المئذنة ملازمة للمسجد . كما أن قيمة المسجد الاعتبارية في المدينة تحتم تكون العلاقة بين دلالة المئذنة على المستوى الحضري وإشارتها إلى مكان المسجد – الجامع في احيان كثيرة . وهذا بمجمله يشكل خاصية نوعية أخرى يمكن تشخيصها للمسجد ، وهي ارتباطه بمكون يرتفع نحو الأعلى .

3-1-4 الميضاة :

وتسمى أحيانا : الفسقية (الميضاة الخارجية)²³ ، وهي مصدر للماء الجاري التنظيف يتم توفيره في المسجد لكي يتمكن الفرد من الوضوء قبل الصلاة²⁴ . وحضور عنصر الماء في المسجد يرتبط بمفهوم الطهارة ، وهي احد شروط فريضة الصلاة ، وفي مساجد الفترة الاسلامية المبكرة توقع الميضاة في وسط الفناء ، بينما في الفترة المتأخرة ، فقدت معانيها وغرضها الاساس ، واصبح حضورها رمزيا وجماليا فقط ولا تستعمل للوضوء²⁵ .

3-2 - المكونات الرمزية المكملة - الإضافية :

وهي تلك المكونات التي تراكمت وتطور المساجد كنمط :

3-2-1 القباب :

تعد قبة الصخرة أول بناء يتم تشييده بطراز اسلامي خالص²⁶ ، فكان اختيارها كما يراه البعض مذكرا بقبة السماء ، لذا بدا أن ارتباط القبة بالمساجد مثاليا ، رغم ما يرد بشأنها من تحفظات²⁷ ، وكذلك باعتبارها منشأ بنائيا يغطي مساحة كبيرة من الفضاء²⁸ . ويبدو هذا السبب أكثر واقعية ومنطقية من معاني إكساب القبة دلالة التذكير بالسماء ، من الناحيتين التصميمية والإنشائية فمن الطبيعي لمركزيتها المتفقة مع مركزية الصخرة . كذلك فإن اقتران القباب بالمساجد قد يكون ذا قيمة جمالية على مستوى النسيج الحضري²⁹ ، لكنه لم يكن ذا ميزة رمزية - دينية - معينة ، إلا فيما ذهبت إليه بعض أنماط المساجد - لأغراض دلالية - من تأكيد على منطقة المحراب³⁰ ، وقيام أنماط أخرى بتغطية المصلى بقبة رئيسية³¹ . ومن منطلق طوبولوجي ، يمكن للقباب ان تكون مرتفعة أو منخفضة ، مضلعة أو دائرية ، ويمكن إحالتها كلها إلى مسطح منبسط.

3-2-2 الصحن :

يمكن تتبع وجود الصحن ، لا سيما بشكله المحاط بالأروقة ، في المساجد منذ المسجد الأول³² ، لكنه اختفى نسبيا في المساجد الحديثة³³ . ويهيء الصحن انفتاحا نحو السماء كخاصية نوعية رمزية ، لكنه أيضا تفرغ في هندسة المبنى أكثر منه مكونا شكليا هندسيا ، وهذا التفرغ يقع في وسط هندسي من الترددات الإيقاعية المتكررة من الأواوين المقبأة أو المقببة الممتدة غالبا عن إيقاعات المصلى ، وهذا التكرار الإيقاعي يمكنه أن يتزايد عمقا وتكرارا ، أو يقل ويختزل ليصبح مجرد عنصر خطي واحد يتمثل بالسور ، وهذا الإيقاع هو الخاصية النوعية الكامنة في وجود الصحن والحرم معا ، وتندرج تحتها عناصر مثل الأعمدة والعقود والأواوين والأقبيبة إلى جوار القباب الصغيرة.

3-2-3 معالجة الأسطح :

تعتبر معالجة السطوح بالزخرفة والخط العربي من أهم الخصائص في العمارة الإسلامية . ولقد استخدمت عناصر زخرفية مختلفة استمد بعضها اصوله من فنون الامم القديمة ، اما البعض الآخر فقد ابتكره المسلمون³⁴ .

فبسبب ابتعاد المسلم عن الرسوم الآدمية والحيوانية - وعدم الميل نحو - رسم الانسان او الحيوان - باعتبار أن خلق - الخالق سبحانه لا يقلد³⁵ ، ابتكر المسلمون الزخارف - الهندسية - التجريدية ، والتميزة بالديمومة والاستمرار وقابلية التجديد ، وخلق ما لا نهاية من الاشكال ، باعتماد التكرار والتوالي³⁶ . كما اعتمد المسلمون الخط العربي ، فكتبوا على الجدران الآيات القرآنية وأسماء الله الحسنى ، والأدعية وذكر الأشخاص والتواريخ، وبالإضافة إلى المقرنصات والألوان³⁷ ، وقد حفلت المساجد ، قديمها وجديدها ، بمثل هذه الزخارف والكتابات .

إن ميزة ما ابتكره المسلمون من زخارف تهيء خاصية نوعية لمعالجة السطوح إذا ما نظر إليها على أنها (تضاريس) أو Patterns يمكن توليدها على سطح منبسط . ومن الجدير بالذكر أن الكتابة باللغة العربية وبخط عربي له بعده الرمزي بحد ذاته ، ذلك أن لغة القرآن هي اللغة العربية ، لذا لا غرابة في تلازم الكتابة بالخط العربي مع عمارة المسجد .

4. قراءات في المساجد المعاصرة

لقد حاول البحث من خلال مراجعة مكونات المسجد تحديد الخصائص الكامنة ضمنها من منظور طوبولوجي تمثلت بجملة من الخصائص النوعية - الرمزية لهذه المكونات والتي تمثل المؤشرات التي يتقاسمها البحث في أمثله من المساجد المعاصرة، وقد شملت بشكل عام : وجود عنصر طبيعي للتطهر ، التوجه نحو القبلة ، وإيقاع اصطفا المصلين ، وعمق المحراب المرتبط بالغموض بفعل قدسية وجوده ، والارتفاع نحو الأعلى لرفع الأذان ، وتقريب السقوف ، ووجود انفتاح فضائي ، مركزي أم غير مركزي ، نحو الأعلى - نحو السماء - ، ومعالجة السطوح بالزخرفة والخط العربي .

فقد وجد البحث أن مكونات المسجد أشبه بمجموعة من الوظائف والاشارات الضرورية للمجتمع المسلم لتحديد هوية مبنى المسجد ، في حين لم تتحدد أي أشكال ثابتة لأي من هذه المكونات ، رغم أن المحراب كان حنية ، والمنبر تطلب نظام سلال مكررة . فالتنظيم المهيمن للفضاء الداخلي كان باديء الامر نظام قاعة معقدة ، ذات عدد كبير من المراكز الحاملة للسقف بمسافات متساوية . وبمرور الزمن أدخلت نظاما شكلية أخرى مثل الصحن مع أربعة اواوين، او قبة مركزية كبرى وفناءات جانبية ، وعدد من التوزيعات على هذه المكونات . ولقد تم تطوير الاشكال على مدى القرون ، ومثل هذا التطوير يحمل عادة انعكاس للممارسات المحلية والايديولوجيات الموجودة في الاماكن المختلفة³⁸ . فإعطاء صياغة شكلية لمكون مرتبط بأداء فريضة الصلاة مثلا لم يكن ملزما للمسلم . ومع ذلك هنالك دائما صياغة نوعية - رمزية لأي مكون شكلي يرتبط بالمسجد . وهذه هي القضية التي يستهدف البحث إظهارها عبر مناقشته للأمثلة .

يتخذ البحث من الأمثلة التي يدرجها أدناه إسنادا لرؤيته في ذلك الترابط بين الهندسة الطوبولوجية وعمارة المسجد كنمط . وقد تم اختيار أمثلة متنوعة في العالم الإسلامي وفي غيره ، وبأحجام مختلفة ، وكان شرط الاختيار أن تظهر المعلومات المتوفرة تصورا للمصلى تحديدا ، بالإضافة إلى الشكل الخارجي للمبنى ، والهدف من هذا الاختيار هو : أولا : الجمع بين نمطين من الاعتبارات وفقا لنوعي المجتمعات ، أحدهما تهيمن عليه قوة النمط ويبحث عن ملامح المسجد ، والآخر يعتم على وجود هذا النمط ويتهيب من ملامحه . وثانيا : جعل الاختيار عشوائيا ، فقد تعمد البحث ذلك ليتوافق مع فكرة الذهاب نحو تلقائية انتقال المكونات الرمزية للمسجد في نماذج مختلفة³⁹ . وسيتم رصد ملامح المسجد حسبما ورد في جمل مصمميهم ومقاصدهم بالإضافة إلى القراءة المباشرة مما توفر من صور ومخططات ومجسمات حول المثال :

5-1 مساجد في البلدان الإسلامية :

5-1-1 مسجد شعاع الضوء في دبي/ المصممون ZEST للعمارة . , *The Ray of Light Mosque* , *Dubai, ZEST Architecture* (شكل 2)

يقدم التصميم مسجدا حديثا يصلي فيه النساء مع الرجال في فضاء واحد ، مع احترام الحاجة الى درجة معينة من الفصل . وبتعبير المصممين " يتخذ المصلى شكلا يحاكي قبة متدفقة مقسومة الى نصفين بشريط زجاجي يمثل "شعاع الضوء" ينفذ منه ضوء الشمس ليحقق فصلا ميتافيزيقيا بين الجنسين . ويتم تحقيق نفس التأثير ليلا بالانارة الاصطناعية . وينطوي احد نصفي القبة الى الاعلى ليحقق منارة مندمجة . وينحرف المخطط بزوايا مناسبة ليتحقق التوجيه نحو المسجد الحرام ، وتكون منطقة صلاة النساء خلف الرجال اتباعا لما كان في المساجد الاولى المفتوحة " ⁴⁰ . عليه يمكن استقراء ما يلي من :

- المئذنة ، التي اندمجت مع تسقيف فضاء المصلى (فضاء واحد يضم عزلا اعتباريا بين النساء والرجال) - كما يشير المصممون - ، لتولد شكلا مشابها للقبّة .
- التوجه نحو المسجد الحرام مؤكد عليه بشعاع الضوء نفسه الذي يفصل بين المصلين .
- استخدام الزخرفة بأسلوب يعتمد على إنارة ضوء الشمس في تسقيف الفضاءات العامة للمسجد .

5-1-2 مسجد قلب دبي / تصميم AEDAS - الجعفري حاتم 41 . The Dubai Mosque, Aedas Hatam Aljafari - (شكل 3)

- عمد المصمم الى ارساء القبّة على الارض مباشرة ، وبذلك فإنه " يرمز لجنّة ممكن وصولها لأي فرد " ، استخدم المصمم فن الخط لإدخال الضوء إلى مبناه⁴² ، فهو مكون من ثلاثة عناصر رئيسية : قبة ومكعب ومئذنة. ويضم المسجد مركزا للمعلومات والتعليم⁴³. عليه يمكن استقراء ما يلي :
- القبّة والمأذنة .
 - عنصر الخط والإيقاع داخل المصلى .

5-1-3 مقترح مسابقة مسجد نظمته : the municipality of kayseri , Turkey شركة manco-architects ومركزها استنبول (شكل 4)

في هذا المسجد : تم إبدال القبّة كعنصر أولي لصالح شكل إيقوني بديل تمثل بمكعب منكفيء للمحافظة على وجود فضاء واسع ووحده للصلاة . لقد تم تحريف هذا المكعب ، الذي كان نقطة البداية ليقع على سطح مستطيل للمسجد، كتصميم تخطيطي مبدئي للانتظام الخطي للمسجد . وقد تأثرت بحركات الحني كل من منطقة المحراب والسجود للصلاة ، فقد تم تقطيع منصة منطقة الصلاة المنحدرة بشكل شريطي نحو توجه الكعبة . وامتدت هذه المعالجة نحو الخارج لتقسم القطعة - الموقع - إلى فئتين بدرجات مختلفة - بارتفاعين مختلفين - ، الفناء الأعلى بينهما يضم صلوات المناسبات : الجمعة ، العيد ، والمآتم بينما يغرق الأوطأ بمقدار 1.5 متر تحت المستوى ويحاط ب annex⁴⁴ . ويمكن ملاحظة ما يلي :

- القبّة التي كما يبدو أنها اتخذت شكل الكعبة ، والمأذنة .
- عنصر فن الخط في سقف المصلى والإيقاع داخل الذي ظهر بشكل مدرجات لصفوف المصلين . أما المحراب والحائط القبلة فلم يتخذا شكلهما التقليدي الصلد . بل تحولوا إلى شكل نوافذ مستمرة من الزجاج ، فيها ايضا التقسيم الإيقاعي ، تتوسطها نافذة مميزة تمثل المحراب .

5-1-4 المسجد المتلاشي في دبي RUX Studio The vanishing mosque in Dubai by (شكل 5)

فاز ستوديو آر يو أكس من مناهاتن بمسابقة (ترافك) للتصميم متعدد الانتظام multi-discipline ، تحت صنف المسجد ، بالمسجد المتلاشي . الذي وضع ، وبما يرتبط به من تقاليد ، عددا من الأفكار البسيطة والجديدة⁴⁵. وتتلخص الفكرة الأولى بعدم رؤية المسجد كمكان بشكل مبنى ، بل فضاء يتلاشى في نسيج المدينة ، غير ملحوظ ضمن الشوارع ، مرتبط بنبض الحياة ، ومفتوح لأي كان ، في أي وقت ، ليصبح كعلامة إيقونية أكثر تداخلا بالجانبين الروحي والثقافي للمجتمع أكثر من أي مبنى مغلق له أبواب ونوافذ⁴⁶ . وتتعرّك شبكة المسجد المحيطة بالمسجد بقوة جاذبة مقننة تقتل مستوى أرضيا ، وتلوي الواجهات وترتف منظرًا منظوريا باتجاه مكة .

- لا يستغني هذا المسجد أيضا عما يلي :
- المئذنة ، ولا تلوح القبة في أي من ثناياه
- يندمج فيه المصلى مع خاصية الانفتاح على السماء ، وهي الخاصية التي يتمتع بها الفناء الوسطي .
- يستعير عن المحراب بتزييف توجه ثلاثي الأبعاد باتجاه القبلة يمثل ، فيجسد الغموض الذي صاحب المحراب بإظهاره بشكل تلاش مزيف في الأفق .
- ولا يستغني المسجد عن الإيقاع ، الذي يصحب صفوف المصلين ضمن المصلى ، فالإيقاع لا يبرز في الأرضية والجدران فقط ، بل وأيضا في التسقيف المؤقت للفناء الذي يفتح مع ارتفاع حرارة الشمس وشدة سطوعها .

5-2 مساجد في البلدان غير الإسلامية :

5-2-1 مسجد كولون المركزي (مسجد إيهرفيلد الكبير) في ألمانيا *The Cologne Central Mosque , Germany , by Paul Böhm* (شكل 6)

صمم المسجد بطراز عثماني ، وله جدران زجاجية ، ومئذنتين وقبة . وكان مقررا له أن يضم سوقا ، وقاعتين في مستوى السرداب ، أما المصلى فاتخذ الطابق العلوي مع مكتبة إسلامية . وتضمن التصميم أيضا حوائط زجاجية لتعطي الإحساس بالإنفتاح للزائرين ، وبحسب المصمم ، تم تعزيز هذا الانفتاح بسلم رحب من الشارع ، بالإضافة إلى مجموعة من الفعاليات الأخرى المفتوحة لكل الناس من كل الأديان⁴⁷.

- من خلال بعض ماورد أعلاه ، وما يمكن ملاحظته على المسجد يمكن تدوين ما يلي :
- للقبة حضورها على كتلة المبنى رغم كونها تبدو مجزأة على شكل شرائح ، كما أن للمسجد مئذنتين .
- أما (شرائح) القبة فتثير قضية الإيقاع داخل الحرم رغم ان إيقاعاتها لا تذهب نحو التوافق مع إيقاع اصطفا المصلين .
- يبدو من خلال المقطع ، والواجهات أن طريقة التقطيع ليست عشوائية ، بل تشكل مع المئذنة مفردة (الله) باتجاهين متعاكسين وبشكل واضح ، رغم أن المصمم لم ينوه عنها .

5-2-2 مركز ثقافي مع مسجد في البانيا *Islamic Cultural complex in tirana, Albania* (شكل 7) مجموعة بيغ Big ، ومقرها كوينهاغن الدنماركية

يستخدم التصميم متجهين متقاطعين هما التوجه الشبكي للمدينة وتقاطع مع إتجاه مكة . وينحت شكل المباني وفقا لمربع التقاطع بينما تسهم شوارع المدينة بمساواة خطوطها الخارجية . وللمسجد ساحتين ثانويتين على جانبي ساحة المسجد وساحة كبيرة رئيسية ، تنصهرها المأذنة ، لتمتد بها قدسية المكان إلى المدينة . وقد تمت معالجة الواجهة بتكرار منتظم Pattern من مستطيلات صغيرة ، تيمنا - بالنوافذ الإسلامية : المشربيات أو الشناشيل - ينفذ منها الضوء وتتغير شدته ونوعيته واتجاهه خلال النهار على السطوح المنحنية وفي داخل المسجد⁴⁸ .

في هذا المسجد :

- المئذنة ، ولها حضور واضح . أما القبة فتبدو ذات حضور رمزي رغم عدم ذكره ، من خلال تحليل المصممين أعلاه ، تم أخذ القراءة المعاكسة لها ، ليصبح الفضاء كتلة ، والكتلة فضاء ، ثم لي الكتلة من إتجاه المدينة نحو اتجاه مكة . وتكرار العملية لباقي مكونات المسجد .
- إتجاه القبة ، وله حضور وتأثر على صياغة التصميم ككل . أما حائط القبة فمازال يضم المحراب وإلى جواره المنبر بشكليهما التقليديين .
- الفناء الوسطي ، يسبق المصلى ، رغم عموميته وانفتاحه على المدينة .
- هناك زخرف Pattern لجدران المبنى تمثل بالاستيحاء من زخرف الشبائيك الإسلامية .

5-2-3 مسجد مدينة ستراسبورغ / زهاء حديد 2000 ، Strasbourg Mosque, by Zaha Hadid Architects, International competition (unbuilt) 2000 (شكل 8)

رفع المسجد والفناء فوق مستوى الأرض لعزله عن سياقه الحضري ، وتمكينه من تكوين فضاء مقدس عائم فوق المدينة. وينظر الى الفناء الوسطي بوصفه فضاء تأمل، ومنطقة تحول بين العالم الخارجي والعالم الداخلي ، ... بالإضافة لما له من طبيعة وظيفية تاريخية ، حيث تتم فيه صلوات المناسبات⁴⁹.

وتظهر بوضوح إستعارات الخط الإسلامي على الخطوط المناسبة للهيكل الإنشائي المبنى وفي قطاعاته ، وقد ضم الخط سورا من القرآن الكريم تظهر على الغشاء الداخلي للمصلى بشكل خاص . وقد نظم الصعود الى المسجد بتوظيف الضوء والصوت⁵⁰ . وتم التأكيد على جدار القبة من الداخل لتهيئة غلاف صوتي . وقد استخدمت فكرة الزخارف الهندسية الإسلامية لتوليد فضاء كسري . والكسري يعزز الاقواس الخرسانية بوصفها المنشأ الاساسي ، التي تدعم بدورها طبقة من الألواح الخرسانية المبعثرة والزجاج والسيراميك⁵¹ .

وتهيء المعلومات المتوفرة بمجملها ما يلي من الملاحظات :

- اختفاء القبة والمئذنة ، رغم أن نهوض فضاء المصلى عن مستوى الأرض قد يذكر بالقبة .
- يتألف المصلى من ترددات شريطية مناسبة ترتفع عن الأرض مكونة فضاء إيقاعيا يتمثل بالمصلى ، وهذه الإيقاعات تتسجم واتجاه الصلاة .
- تأكيد جدار القبة بمعاملته صوتيا ، وليس فقط بصريا .
- توظيف الخط العربي ضمن فضاء المصلى . في حين تم توظيف الخاصية النوعية الرياضية للزخرفة الإسلامية في تشكيل الفضاء .

ويبدو أن زهاء حديد تستخدم نفس النوع من الأفكار في مسجد كورنيش الدوحة⁵² .

5-2-4 مسجد ومركز إسلامي في لندن / مانجيرل ايفارس . Mosque in London , Mangera Yvars Architects (شكل 9)

هو مركز إسلامي عالمي يضم فضاءات مسجد ومدرسة ومعرض ، بالإضافة إلى حديقة إسلامية . ويمتد على ضفة نهر جانل سي ، ويتحدد شكل المسجد باتجاه الصلاة فينتجه نحو مكة ، وبخطوط الحديقة الإسلامية الجديدة ، وهي فضاء يهيء تحولا عن الحياة اليومية ذات الأعراق المتعددة في المدينة⁵³ . يمكن قراءة ما يلي في هذا المثال :

- يمتلك المبنى مآذن موزعة على أركانه ، أما القباب فلا يبدو لها وجود شكلي مع احناات الكتلة ، وقد تكون دائية فيها .
- يضم المبنى فضاء رئيسي للتجمع على المستوى الحضري ، يبدو وكأنه الفناء الوسطي . وتظهر على الكتلة (الغشائية) للمبنى خطوط متقاطعة تتألف بشكل زخرفي .
- يتبنى المبنى ككل إتجاه القبلة . ويتمتع المصلى بتكرار لخطوط تكون مستطيلات ذات ألوان مختلفة متعادلة ، ونصوص مكتوبة بالخط العربي ، كلها تمتد في غير اتجاه المصلين .

5. تحديد العلاقة بين النمط والهندسة الطوبولوجية من خلال نمط المسجد

إن الشعور بالراحة الناتج عن المعروف والمألوف لما هو من الماضي يغذيه مظهران في الثقافة الاسلامية المعاصرة . الاول يقع في صميم الاسلام وهو عدم وجود نظام لاهوتي مؤسس ، كما هو الحال في السياق المسيحي - رغم ان المذاهب الأربعة في الإسلام تعطي صيغة مشابهة ، كما أن وجود الأولياء والاعتقاد بمقدراتهم لا يذهب بعيدا عن ذلك - ، بذلك ليس هناك مرجع يقرر او يرفض التغييرات عدا المجتمع نفسه ككل . وكأي مجتمع ، يكون الحفاظ على الاساليب الماضية آمن السبل وأبسطها من تقديم الجديد .

أما المظهر الثاني فهو الحاجة الى اثبات الهوية والرموز المرتبطة بها ، في الفترة بعد الاستعمارية ، حيث يلعب المسجد دورا رئيسيا في ذلك⁵⁴ ، وهذا الأمر قابل للنقاش فيما يخص هذا العصر ، وأمام تيار العولمة والانفتاح العالي بين المجتمعات والتبادل السريع للمعلومات والبيانات ، التي اصبح كل نوع منها في متناول الجميع ، بشكليها الإيجابي والسلبي . ففي هذا العصر ، قد يصبح الميل نحو إثبات الهوية هو نوع من الحفاظ على جانب من الخصوصية النوعية التي تميز البشر عن بعضهم ، والأقاليم عن بعضها ، ووقوف أمام تيار الأسلوب الوحيد للعيش القائم على انتهاز الفرص ، والذي تتساوى فيه المعايير رغم تمايزها ، وتتشكل فيه عمارة تسيح فيها التمايزات والقيم الشكلية على بعضها البعض .

يرى البحث أنه ليس للمفارقة المتمثلة في التشابه بين مفردتي typology و topology دور في فكرة رصد التشابه بين الأفكار الجوهرية للطوبولوجية والنمطية ، بل يبدو أن الإثنتين يلتقيان بعدة نقاط إلى الحد الذي يدفع إلى التساؤل فيما إذا كان من الممكن للإثنتين أن يمثلتا وجهين لعملة واحدة . ولعل بالإمكان وضع مثل هذه نقاط بالشكل الآتي :

- أ. وجود الخاصية النوعية المستمرة عبر الزمن ، التي تتساوى بها القيم في البداية والنهاية . بغض النظر عن طبيعة هذه الخاصية - رياضية كانت أم دلالية - .
 - ب. كون الهيئة shape في أي موضوع لهما هو اختيار لأحدى البرهات الزمنية instances على مسار الزمن لهما . وأن هذا الاختيار حتمي لأنه يحقق النموذج .
 - ج. إن الاختيار لأي من هذه البرهات / الهيئات في أي لحظة - طالت أم قصرت - من لحظات الزمن يخضع لاعتبارات ومعايير خارجة عن النمط وعن الطوبولوجية .
- وتتداخل هذه النقاط مع بعضها البعض .

فلطالما كان من الممكن اعتبار النمط كمرجع من الحلول العامة لمشاكل الترتيب المعماري وتمثيلها بأقصى مستويات التخطيط ، أو اعتباره تلك البنية العميقة في لغة العمارة ، أو بنية داخلية في الشكل ، أو قاعدة تحمل الإمكانية اللانهائية لتنوع شكلي والتعديل على النمط نفسه . والطوبولوجية كما تم إشرحها تتمثل بالعلاقات

والاتصالات الداخلية ضمن السياق الفضائي وليس أشكالاً محددة . ولو تم الأخذ بنظر الاعتبار أن : النمط يحمل جملة من الخصائص النوعية التي تستمر عبر الزمن واعتبر الزمن هو مجال التغير الذي يتحول فيه الشكل الهندسي من هيئة لأخرى ويبقى فيه محافظاً على خصائصه النوعية ، فإن الطوبولوجية تتمثل حينئذ الجانب المنطقي - الرياضي لهندسة النمط ، وسيمثل النمط الجانب الحسي الذي يوصل المعنى الدلالي الذي ينتقل من خلال الهيئات / البرهات عبر الزمن .

وحاسبياً ، يمكن بسهولة تمثيل أيًا من العناصر التي تم رصدها مع خلفياتها ثم التنقل بين أشكالها بسهولة ، ليمثل كل شكل حالة من الحالات التي يمكن التوقف عندها . إذ تتشكل الهيئة لأي شكل من حافات وسطوح يمكن مضاعفتها أو تقليلها ، ويمكن زيادة حدتها أو تنعيمها حاسبياً ، ومن ثم تقسيم هذه الهيئة إلى قطاعات تتخذ اشكالاً مختلفة ، أو تذوب مع بعضها لصالح الهيئة فيصبح الشكل النهائي إما مجزءاً : كما في العديد من الأمثلة التاريخية للنمط ، أو مختزلاً وموحدًا في كل واحد : كما في بعض النماذج التي قدمها البحث . وتوضح التغيرات الشكلية الخاصة بالمتئذنة هذه الفكرة (الشكل 10) . ويعرف هذا الأسلوب في مجال التمثيل الرقمي بأسلوب الاستحالة الصورية Metamorphosis ، الذي يستخدم الزمن كبعد رابع في توليد الشكل رقمياً⁵⁵.

ويبدو : أن القيم المفاهيمية - لنماذج المساجد ببنائاتها المختلفة - ، كلما كانت مرتبطة بالقيم المفاهيمية الدينية للعقيدة الإسلامية ، كلما ترسخت هذه النماذج في الذاكرة الجمعية للعقل المسلم : مصمماً كان ، أم متلقياً أم ناقداً ، وما يرافق ذلك من تكرار لهذه القيم كانماط عليا مرجعية للنتائج اللاحقة أو النصوص النقدية⁵⁶ . وتمثل هذه القيم من وجهة نظر البحث القيم الدلالية للنمط الكامنة في خاصيته النوعية باعتبارها العامل الأول الذي يخضع له اختيار الهيئة التي يكون عليها النموذج . وتظهر النماذج التي قدمها البحث توظيفات علائقية جديدة لمكونات المسجد تلعب على القيم الدلالية لمكوناته لكنها مع ذلك تبقى محافظة على شيء من الخصائص النوعية الكامنة في تلك المكونات.

لكن التساؤل الذي قد يطرح نفسه هو إلى أي الحدود يمكن للفعاليات غير الدينية في المسجد أن تؤثر على طبيعة ما يعتبره المسلمون عموماً : مقدساً⁵⁷ . يرى البحث أن جواب مثل هذا التساؤل يقع فيما عرف في الفكر المابعد حدائي بالسياق ، فالسياق يبقى هو المحدد الآخر لاختيار الهيئة التي يكون عليها النمط بكل ابعاده المتعارف عليها لاسيما الأبعاد الاجتماعية والثقافية ، ويبقى هذا كله بعيداً عن قدسية المسجد وحرمة .

وبينما يحدث ذلك كله في كل برهة من برهات الزمن ، تبدو الأنماط العليا وكأنها تتعالى في كون فوق Hyper-Universe ، لتشكل من خلاله مقياساً للحكم على مصداقية الدلالة لأي النموذج ، وهو كون يذكر بالفضاء الفوقي Hyperspace الرباعي الأبعاد الذي تتواجد فيه الطوبولوجية نفسها به ، لتتظر منه إلى مقياس الزمن وهو يشهد التحولات في الهيئة ، في كل برهة منه .

6. خلاصة القراءات والاستنتاج

لإظهار الرؤية التي يقدمها هذا البحث تم تتبع العلاقات النمطية ومميزاتها في جملة من المساجد المعاصرة (جدول 1) . وتظهر النماذج المعاصرة لعمرارة المساجد على اختلاف مقترباتها ، وبضمنها تلك التي تبدو أشكالها منتجة رقمياً ، مجموعة من الخصائص التي تؤكد طبيعتها الوظيفية كمساجد من جهة ، والتي تحافظ على العلاقات والخصائص النوعية من جهة أخرى ، وهي خصائص متوارثة مع النمط نفسه . (الشكل 11)

ولقد ضمت كل المساجد فضاء للصلاة مبدئياً ، مقروناً بحائط القبلة والمحراب ، باستثناء ما جاء به مسجد التلاشي (المسجد المتلاشي) من حالة خاصة اختفى فيها كلاهما لصالح انطباع غير حقيقي بتلاشي الجدران

والتوجه نحو القبلة ، وهو حل عليه شيء من التحفظ لأنه يختزل معه حالة الاصطفاف في الصف الأول التي يتزاحم لأجلها المصلون . لكن المصلى كان موجودا ، رغم أنه ضم خاصية الانفتاح على السماء ، وهي خاصية من خواص الفضاء الوسطي أو الفناء (شكل 5) . وعموما كان هناك ثبات في التوجه نحو القبلة في جميع الأمثلة . كما أظهرت الأمثلة ، التي قدمت مصادرها تصورا للمصلى ، حضور الإيقاع في فضاء الحرم بشكل أو بآخر . وقد كان لبعض الإيقاعات خصوصية ارتبطت بصفوف المصلين وبتجاه الصلاة ، كما في المسجد المقترح من شركة معماريو مانكو التركية (شكل 4) الذي تدرجت فيه أرضية المصلى ، وهو نفس المقترح الذي حل فيه الزجاج مكان الصلادة في حائط القبلة ، وكذلك مسجد زهاء حديد في ستراسبورغ - فرنسا ، مبنى المسجد والمركز الاسلامي لمانجيرا ايفارس في لندن (شكل 8) .

وعلى مستوى المقرب ، أظهرت كل المساجد احتفاظها بجزء منها يرتفع عموديا يمثل المئذنة ، يبدو هذا الجزء أحيانا بشكل عنصر قائم بحد ذاته وأحيانا يبدو امتدادا لكتلة المبنى الرئيسية ، أو مدمجا معها . ويبدو أن وجود هذا المتجه العمودي الكامن في وجود المئذنة قد ارتبط بوجود المسجد دلاليا في السياق الحضري . أما القبة فلم تكن واضحة كما كان حضور المئذنة في معظم النماذج ، لكنها بدت أحيانا مدمجة مع كتلة المبنى الرئيسي (شكل 6) وأحيانا مدمجة مع المئذنة نفسها (شكل 2) (شكل 3) .

وفيما يخص الصحن ، ذلك الفضاء المفتوح نحو السماء فقد اختفى في العديد من المساجد بشكله التقليدي ، لكنه ظهر بشكل فضاء مركزي في بعض الأمثلة تكونه كتل الفعاليات المختلفة الحاضرة مع المسجد في أمثلة المراكز الإسلامية ، لا سيما تلك التي انشأت في دول غير إسلامية ، ومثل هذا الفضاء ، بقدر ما يعتبر امتدادا إلى حرم المسجد ، إلا أنه اعتبر كذلك ساحة للقاء والحوار بين البشر من مختلف الطوائف ، كما هو الحال في المراكز الإسلامية التي اقترحت في : تيرانا - ألبانيا ، التي تم اختيار مشروعها الفائزة في هذا البحث (شكل 7) ، ولندن - أنكلترا (شكل 9) . ولم يغيب استخدام الماء والميضأة كعناصر تصميمية في بعض النماذج (شكل 3) (شكل 4) .

ويبدو أن الشكل النهائي للمسجد بقي ، كما تم تشخيصه ، محتاجا إلى الخط العربي و/ أو الزخرفة لتثبيت هويته كمسجد وبالتالي فإنه رغم عمومية التجريد الذي تأتي به الهندسة الطوبولوجية وبالتالي عولمة الشكل هناك نوع من الترابط الإقليمي ، فالخط العربي هو لغة القرآن الكريم وهو خصوصيته ، أما الزخرفة العربية الإسلامية فهي خاصية من خصائص العمارة الإسلامية ، ولهذا مهما كان التجريد طاعيا فإنه يبقى محتاجا لهما في تحفيز الربط بين القيم الاعتبارية للمسجد وعلاقتها بالقيم الشكلية عبر استثارة الذاكرة بغرض تحقيق القبول والمعنى والحفاظ على المبنى من الاندثار . بذلك كانت الزخرفة والخط العربي حاضرين معا ، أو أحدهما ، في أغلب الأمثلة .

ومن هنا يمكن مبدئيا القول أن أهم الخصائص النوعية لمكونات المسجد التي كان لها حضورا أعلى في الأمثلة هي : الاتجاه نحو القبلة ، إيقاع صفوف المصلين ، الاتجاه نحو الأعلى أسوة بالمئذنة ، وجود الزخرفة أحيانا والخط العربي أحيانا أخرى أو الثنين معا . أما العناصر الأخرى فكان وجودها اختياريًا وكان التأكيد عليها واستحضارها يرتبط بالأفكار التصميمية .

أما فيما يخص تعدد الوظائف في المسجد باعتباره مركزا لدراسة القرآن والتدريس واللقاء والحوار فالواقع إن جمعها مع المسجد في مبنى / فضاء واحد له صيغة أخرى جاءت بها متطلبات العصر ، ألا وهي أن يجمع المسجد مع فعاليات ثقافية . هذا من جهة ، من جهة أخرى ، وبفعل عدم ارتباط أداء وظيفة الصلاة بمكان ذي صيغة شكلية محددة ، فإن أداء الصلاة في المجتمعات الإسلامية في هذا العصر أصبح ممكنا حتى في الشارع ، ولا تخلو العديد

من مؤسسات العمل ، على اختلاف أنماطها ، من مكان يتخذها المسلمون مصلى (مسجدا) لهم ليؤدوا الفرض حين يحين وقته أثناء عملهم .

إن قدسية المكان ترتبط بقدسية الفرض لا بشكله ولا بالوظائف الأخرى التي يمكن أن يضمها . وخلاصة القول : إن الخاصية النوعية لعمارة المسجد كنمط ، الكامنة في الأداء الطقسي – الوظيفي ودلالاته ، تجيز من منطلق طوبولوجي إمكانية تحرر الدلالة من وطأة القوالب الشكلية التقليدية لمكوناتها ، والذهاب بها نحو حرية التعبير بمكونات ذات أشكال من شأنها أن تحفظ للمسجد ارتباطه بذاكرة الفرد والجماعة . وبالتالي قد يكون من الممكن تجاوز تحديد نماذج شكلية مرجعية لمكونات المسجد ، والذهاب نحو خصائص نوعية تكون هي المرجعيات الجديدة لتلك المكونات فتشكلها بعيدا عن تعالي عالم الأنماط الشكلية المرجعية ، نحو عالم تفاعلي يقدم نمط المسجد بدلالات تحفظ له كيانه بقدر ما تخاطب هذا العالم الحافل المتغير بلغة معمارية يفهمها .

المصادر :

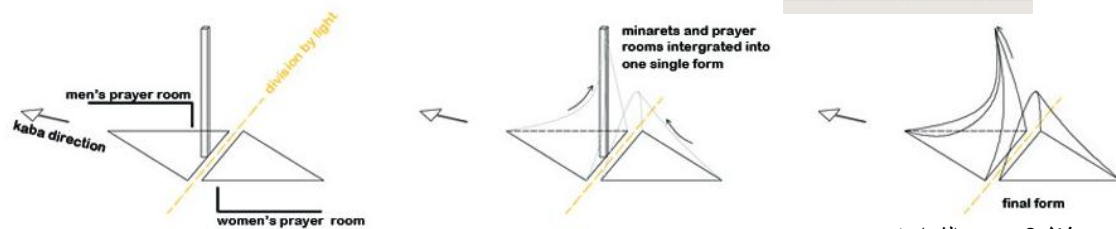
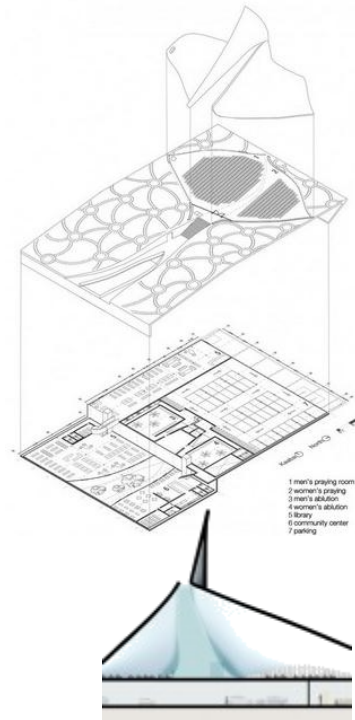
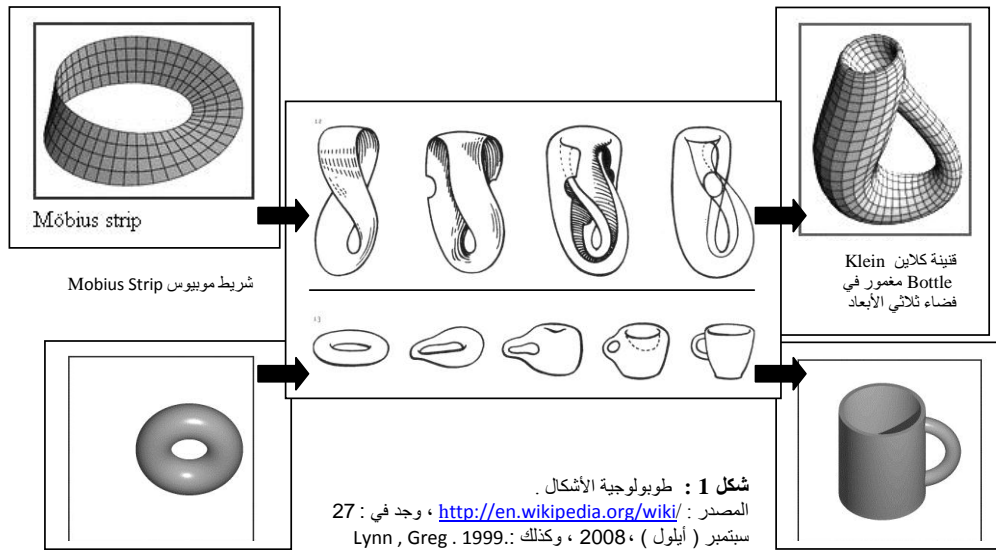
- الفتلاوي، استبرق عارف. **النظم المنشئية الحديثة لعمارة المساجد الجامعة المعاصرة**. رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد، 2011
- العميد، طاهر مظفر . **تخطيط المدن العربية الإسلامية**، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة بغداد، 1986.
- العمري ، حفصة رمزي . **عمارة المساجد في العراق** . رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1988 .
- المالكي، قبيلة فارس. **التناسب والمنظومات التناسبية في العمارة العربية الإسلامية**، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة بغداد 1996.
- دايكمان، توماس . **المجمعات السكنية في المدينة العربية المعاصرة**، في مجلة : عمارة ، ع3، تشرين الثاني 1989، بغداد ، صص 36-41.
- مهدي ، نوار سامي . **الاغتراب والموضوع المعماري : دراسة في العلاقة بين التصميم والعمارة الرقمية** . رسالة دكتوراه مقدمة إلى كلية الهندسة ، جامعة القاهرة . 2009
- نيازي طاهر ، أسماء . **الظواهر المشتركة في فن عمارة المساجد** : دراسة استقرائية مقارنة للمحور في الابنية الدينية . رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الهندسة جامعة بغداد . 1994 .
- نيازي طاهر ، أسماء . **الخلود في العمارة : مع دراسة تحليلية لخصوصية ظاهرة الخلود في العمارة الإسلامية** ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم العمارة ، كلية الهندسة ، جامعة بغداد ، 2002 .
- KOLARVEIC, Branko . 2003 , **Architecture in the Digital Age – design and manufacturing** . KOLARVEIC, Branko – editor , New York : Tylor & Francis
- Frishman, Martin. and Hasan-Uddin Khan. **The Mosque : History , Architectural development & Regional diversity**. Thames & Hudson, London, 1994
- Grover , Razia . **Sacred sites : Mosques** . Roli & Janssen BV, India, 2006. .

الهوامش:

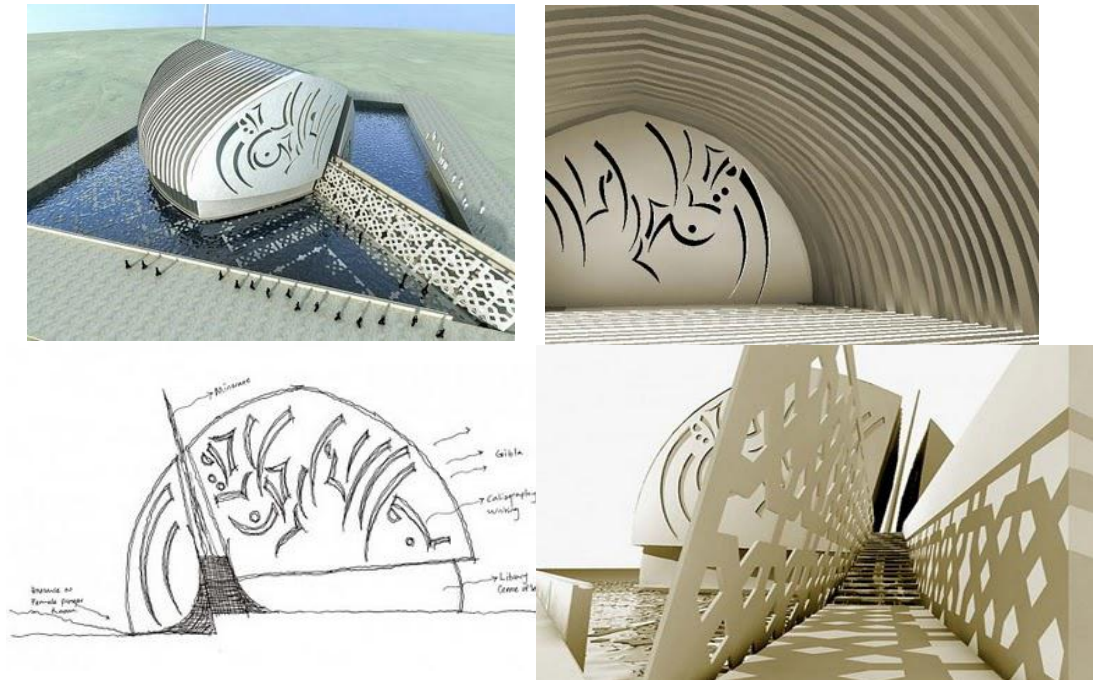
- 1 - <http://heartchitecture.wordpress.com/2012/03/> ، وجد في 14 أبريل / نيسان 2013 .
- 2 - Claus . 2014 . Spatio – Semantic Modelling of indoor environment for indoor navigation . Dissertation . Deutsche geodätische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften . اللجنة الجيوديسية الألمانية في الأكاديمية البافارية للعلوم . p 65 .
- 3 - KOLARVEIC, Branko . 2003 . Architecture in the Digital Age – design and manufacturing . KOLARVEIC, Branko – editor . New York : Tylor & Francis . p 15 .
- 4 - نفس المصدر ، ص 13 .
- 5 - نفسه ، نفس الصفحة .
- 6- ولأن الطوبولوجية (اللا كمية) تمثل من قبل الرياضيين بأشكال منحنية الخطوط curvilinear فإن المرء قد يعتقد بأنها مرادفة للسطوح المنحنية curve surfaces ، وهذا فهم خاطيء جذرياً ، شائع الاستخدام بشكل أو بآخر ، ومن ثم فإنه في النصوص المعمارية غير المطلعة ، غالباً ما يعني في (الطوبولوجي) : (الانحناء) والعكس صحيح . (نفس المصدر السابق ، ص6).
- 7 - "Untimely" , Karsten Harries : Yale University , Karsten Harries : Yale University , "Introduction" Karla Britton : Yale University , Friday, October 26 Afternoon : وقائع يوم : Meditations on the Need for Sacred Architecture" Session, 2:00 PM , MEMORY AND IDENTITY ، في الندوة : **Constructing the Ineffable: Contemporary Sacred Architecture** , October 26-27, 2012 , presented by the Yale School of Architecture with support from Yale Divinity School and Yale Institute of Sacred , بقيت وقائع الندوة معروضة على الموقع : <http://www.architecture.yale.edu/drupal/index.php?q=lectures/sacredarchitecture> ، حتى مطلع نيسان ، 2013
- 8 - نفس المصدر السابق
- 9 - RESPONSE Miroslav Volf, Yale University Stanley Tigerman, Architect "The Tribe versus the City-State: An Architectural Conundrum for the Jewish Project" نفس تفاصيل وقائع اليوم في المصدر السابق .
- 10 - راجع : p243 . Garber , Oleg . The Mosque in Islamic society . Frishman, Martin. and Hasan-Uddin Khan.(Edit.) **The Mosque : History , Architectural development & Regional diversity.** Thames & Hudson, **London, 1994**
- 11 - المصدر السابق ، نفس الصفحة .
- 12 - اعتماداً على ما جاء به المصدر السابق ، وكذلك المصدر : العمري ، حفصة . **عمارة المساجد في العراق** . رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد ، **1988** . رغم أن البحث يختلف مع هذه الرسالة في طريقة تقييم العناصر الأنشائية والتزيينية في المسجد . ولا يبتعد المصدر Grover, Razia. 2006 عن ذلك في الصفحات 21-22 pp.
- 13 - Grover , Razia . **Sacred sites : Mosques**, 2006, Roli&Janseen BV , India, p19.
- 14- نيازي طاهر ، أسماء . الطواهر المشتركة في فن عمارة المساجد ، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1994، ص58 .
- 15 - العمري ، حفصة . مصدر سابق ، ص 20 .
- 16 - المصدر السابق : Grover , Razia . P 22 .
- 17 - العمري ، حفصة . مصدر سابق ، ص 49 .
- 18 - نيازي طاهر ، أسماء . مصدر سابق ، ص 103 .
- 19 - العمري ، حفصة . مصدر سابق ، ص 49 .
- 20 - المساجد الجامعة (مفردتها المسجد الجامع) وهي المساجد التي تقام فيها صلاة الجمعة المصدر السابق ، ص 51 بتصرف .
- 21 - ترى بعض المصادر كما يبدو أن ظهور المئذنة كإحدى المكونات المهمة في المسجد كان سببه تاريخياً وهو : وجود الأبراج في المعبد الروماني القديم الذي تحول إلى كنيسة والذي انشأ فيما بعد على انقاضه المسجد الاموي المعروف . ثم ظهرت لها فوائد استراتيجية وعمرانية، ويتخذ مؤرخو الفن الاسلامي مئذنة جامع عقبة بن نافع في القيروان (105-109 هج) نقطة البداية لتاريخ المآذن وتطورها ، ففي العصر المبكر كانت المآذن تتبع تكويناً معمارياً مشتركاً ومتشابهاً لمئذنة القيروان أو قريباً منها . راجع المصدر السابق ، ص 47 .
- 22 - مصدر سابق : p243 . Garber , Oleg.

- 23 - العمري ، حفصة . مصدر سابق ، ص 41 .
- 24 - **Features of the mosques** , found in : http://www.educationislam.org/educationislam_download/featuresofamosque.pdf , 4 April 2013 .
- 25 - نيازي طاهر ، أسماء . مصدر سابق ، ص 72 .
- 26 - كما ورد في : العمري ، حفصة . مصدر سابق ، ص 52 .
- 27 - كما ورد في : المصدر سابق ، نفس الصفحة .
- 28 - المصدر سابق ، نفس الصفحة .
- 29 - كما ورد في : المصدر سابق ، نفس الصفحة .
- 30 - كما ورد في : المصدر السابق ، P. Razia. Grover .
- 31 - نيازي طاهر ، أسماء . 1994 ، مصدر سابق ، ص 64 .
- 32 - العمري ، حفصة ، مصدر السابق ، ص 9 .
- 33 - نفس المصدر ، ص 19 .
- 34 - نفسه ، ص 61 .
- 35 - نيازي ، أسماء . **الخلود في العمارة : مع دراسة تحليلية لخصوصية ظاهرة الخلود في العمارة الإسلامية** ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الهندسة المعمارية ، كلية الهندسة ، جامعة بغداد 2001 ، ص 127 .
- 36 - نفسه ، ص 61 ، وص 62 .
- 37 - نفسه ، ص 63 .
- 38 - بتصرف p243 . Garber , Oleg ، يسجل البحث تحفظا على بعض الجوانب الواردة في نص هذا المصدر .
- 39 - أن البحث عن الأمثلة قد أسفر عن عدد كبير من المساجد في بقاع مختلفة من العالم الإسلامي وغير الإسلامي ، ومجمل هذه الأمثلة لم يخرج عما أتى به هذا البحث . راجع مثلا الأمثلة في المواقع التالية : http://al-fikrah.net/index.php?option=com_kunena&func=view&catid=46&id=30070&limit=30&limitstart=60&Itemid=205 ، وكذلك : <http://www.archdaily.com/56689/mosque-proposal-studioz/> ، وكذلك : <http://erginbirinci.blogspot.com/2012/03/mosque-and-museum-of-religious-harmony.html> ، وكذلك : <http://www.tuvie.com/in-remembrance-of-sinan-the-great-by-nuvist-architecture-and-design/> ، وكذلك : <http://www.worldbuildingsdirectory.com/project.cfm?id=4449> ، وكذلك : http://www.myaa.eu/projects-detail/?id=482&filter_by=chosen ، وكذلك : <http://www.arch2o.com/avenues-mall-mosque-zaha-hadid> . وجدت المواقع في الفترة : 30 مارس / آذار 2013 - 27 سبتمبر / ايلول 2014 .
- 40 - <http://www.archdaily.com/81209/ray-of-light-mosque-zest-architecture> . وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 41 - <http://belajararsitek.blogspot.com/2011/01/contemporary-mosquedubai-mosque-from.html> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 42 - <http://www.aedas.com/News/Mosques-of-the-Future> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 43 - مصدر سابق : الفتلاوي ، ص 116 .
- 44 - <http://www.designboom.com/architecture/manco-architects-conceptual-mosque/> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 45 - <http://www.archi-europe.com/news-1009-the-vanishing-mosque-rux-wins-design-as-reform-com.html> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 46 - نفس المصدر
- 47 - https://en.wikipedia.org/wiki/Cologne_Central_Mosque . بتصرف . وجد في : 30 مارس / آذار 2013 .
- 48 - نفس المصدر

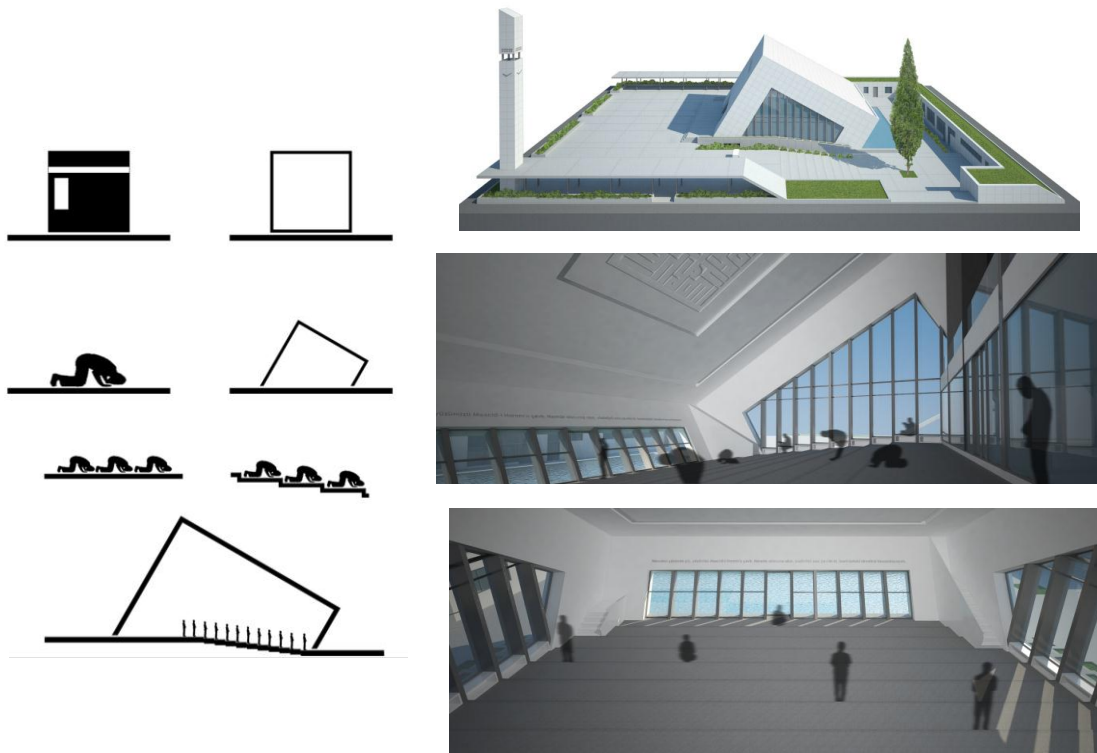
- 49 - <http://www.vam.ac.uk/content/articles/c/contemporary-islamic-architecture-projects> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013
- 50 - نفس المصدر ، بتصرف
- 51 - نفس المصدر ، بتصرف
- 52 - تظهر قراءة ما يهيئه الموقعين التاليين من صور إلى وجود نفس الأفكار في مسجد كورنيش الدوحة <http://www.csudh.edu/dearhabermas/hadid01.htm> ، وكذلك : http://archnet.org/library/images/thumbnails.jsp?collection_id=&location_id=9542&place_id=&st art=28&limit=9 ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013
- 53 - <http://blog.miragestudio7.com/new-islamic-centre-for-london/126> ، الصور : <http://clippings.com/images/mangerayvarsabbeymills88jpg-54658> ، وجد في : 30 مارس / آذار 2013
- 54 - p244 ، Garber , Oleg ، وبتصرف .
- 55 - سامي مهدي ، نوار . الاغتراب والموضوع المعماري : دراسة في العلاقة بين التصميم والعمارة الرقمية . رسالة دكتوراه مقدمة إلى كلية الهندسة ، جامعة القاهرة . 2009 . ص : 220 – 223 .
- 56 - نيازي طاهر ، أسماء . ص 123 . بتصرف : ويسجل البحث هنا تحفظه على مفردة – الخالدة – التي يستخدمها المصدر .
- 57 - p271 ، Arkoun , Mohammed ، يتحدث آركون عن العلاقة بين التعليم والمسجد واتباطهما بالتقوى والذات ، ومن ثم علاقة المساجد بمقامات الأولياء التي شملها مفهوم القدسية ، هذا بالإضافة إلى كون المسجد يمكن أن يكون مأوى سياسيا .



شكل 2 : مسجد الشعاع في دبي .
المصدر : www.archdaily.com/81209/ray-of-light-mosque-zest-architecture/ ،
عن : ArchDaily . 10 Oct 2010 ، وجد في : 8 نيسان (إبريل) 2014



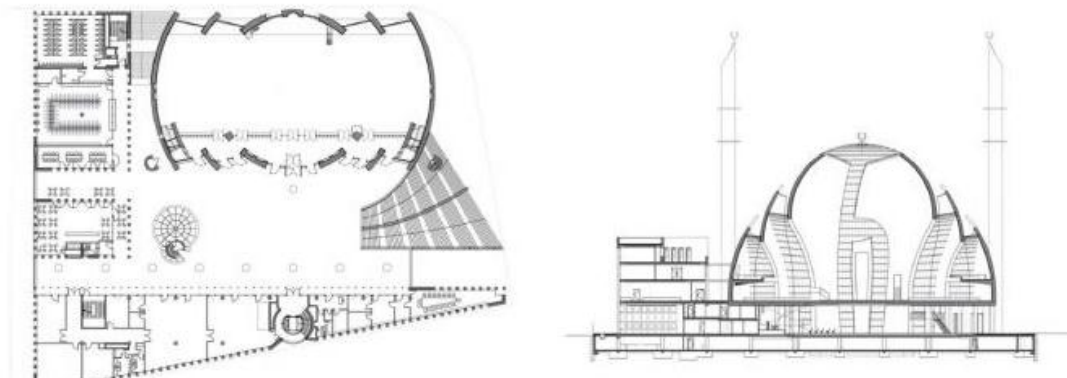
شكل 3 : مسجد قلب دبي . المصدر : http://arabianindustry.com/construction/united-arab-emirates/photos/2009/jun/3/dubai-mosque-3662269/#.U0NBZ_mSxT4
وجد في : 8 نيسان (إبريل) 2014



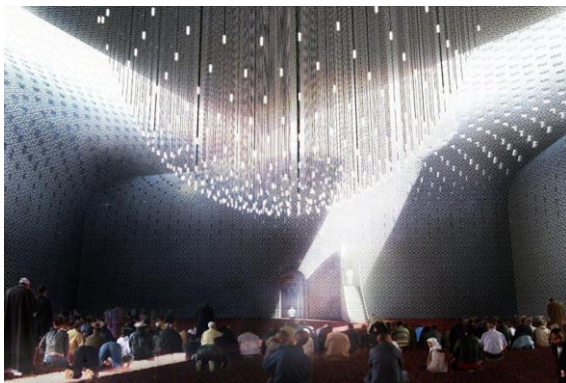
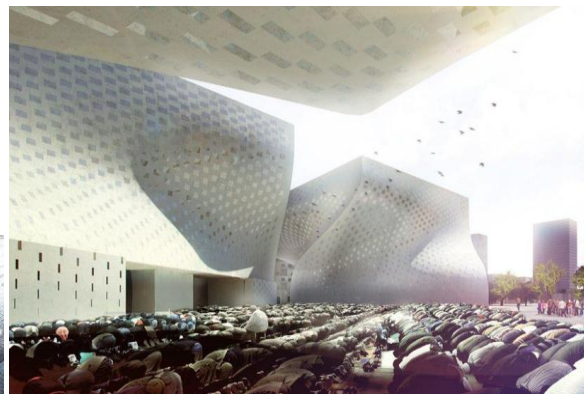
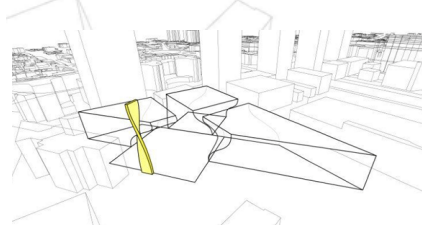
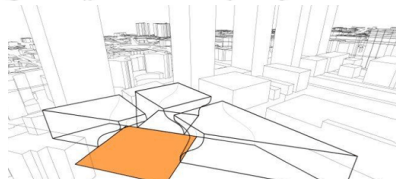
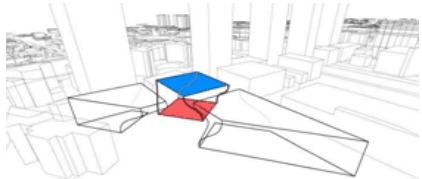
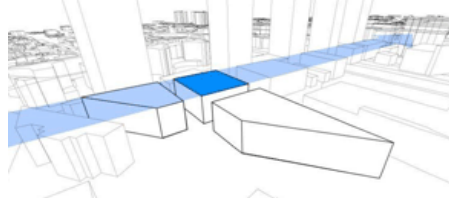
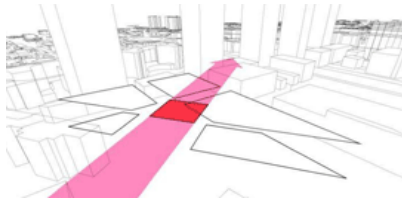
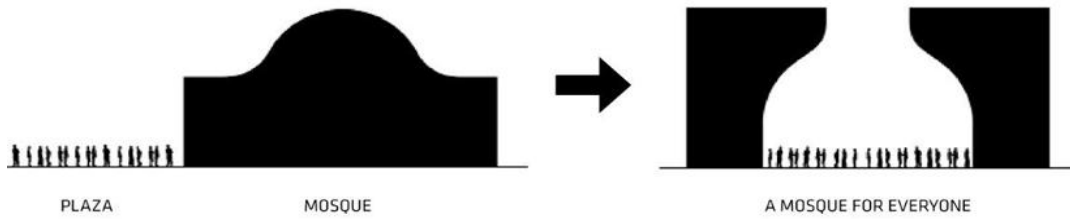
شكل 4 : مقترح مسابقة لشركة manco-architect في اسطنبول .
المصدر : www.designboom.com/architecture/manco-architects-conceptual-mosque/
وجد في : 8 نيسان (إبريل) 2014



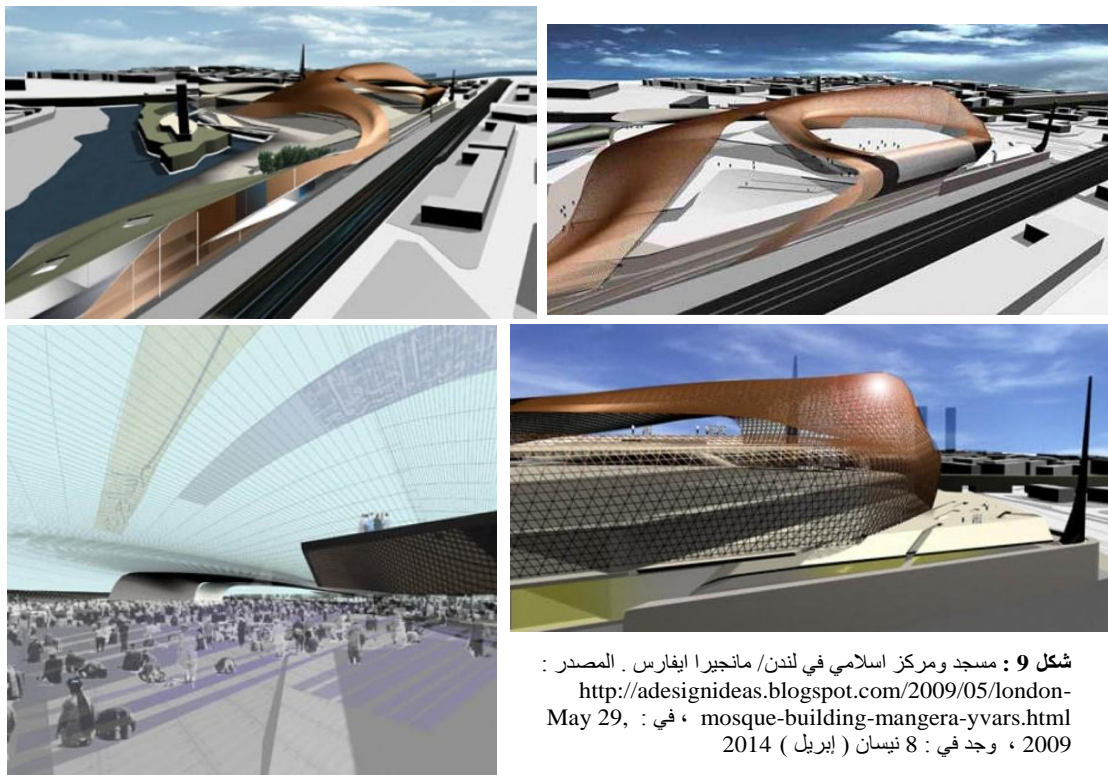
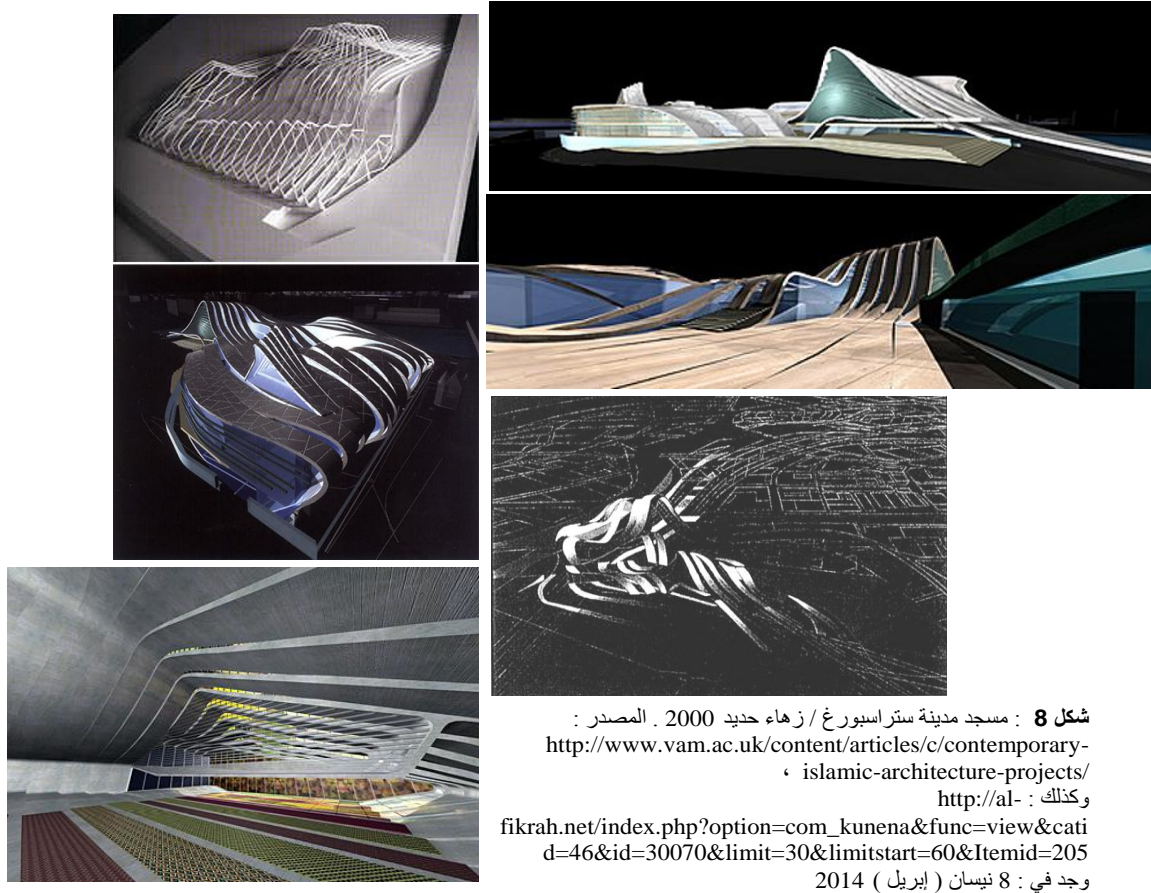
شكل 5 : المسجد المتلاشي في دبي . المصدر :
[http://www.dezeen.com/2010/07/19/the-vanishing-](http://www.dezeen.com/2010/07/19/the-vanishing-mosque-by-rux-design-for-traffic)
 mosque-by-rux-design-for-traffic
 وجد في : 19 July 2010 8 نيسان (إبريل) 2014



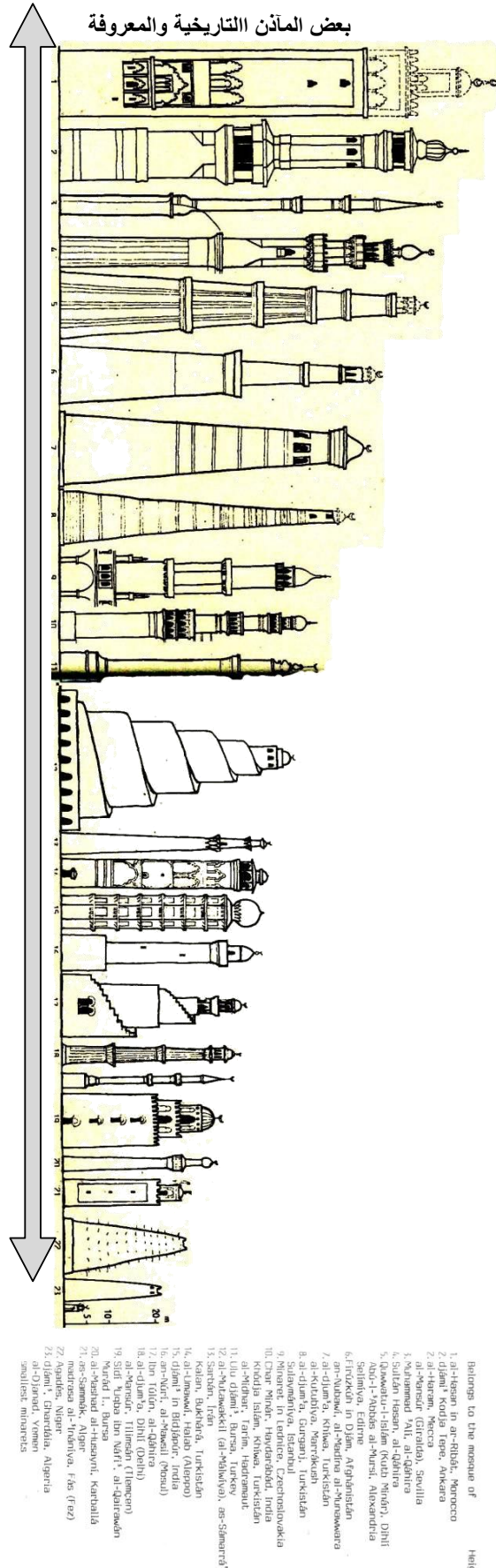
شكل 6 : مسجد كولون المركزي (مسجد إيهرنفيلد الكبير) في ألمانيا.
 المصدر : <http://forum.xcitefun.net/biggest-mosque-of-europe-in-germany-t92114.html> ، وكذلك :
<http://peribacasi.tumblr.com/post/49163377938/enochliew-cologne-central-mosque-by-paul-bohm>
 ، وجد في : 8 نيسان (إبريل) 2014



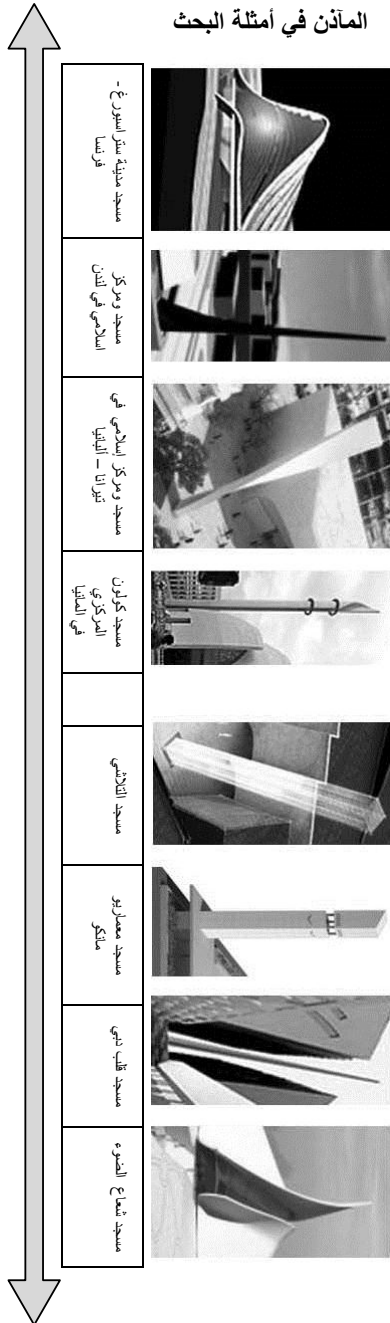
شكل 7 : مركز ومسجد في البانيا. المصدر :
[www.designboom.com/.../big-architects-cultural-](http://www.designboom.com/.../big-architects-cultural-center-in-albania/)
 center-in-albania/ ، في : 04, 2011
 وجد في : 8 نيسان (إبريل) 2014



بعض المآذن التاريخية والمعروفة



المآذن في أمثلة البحث

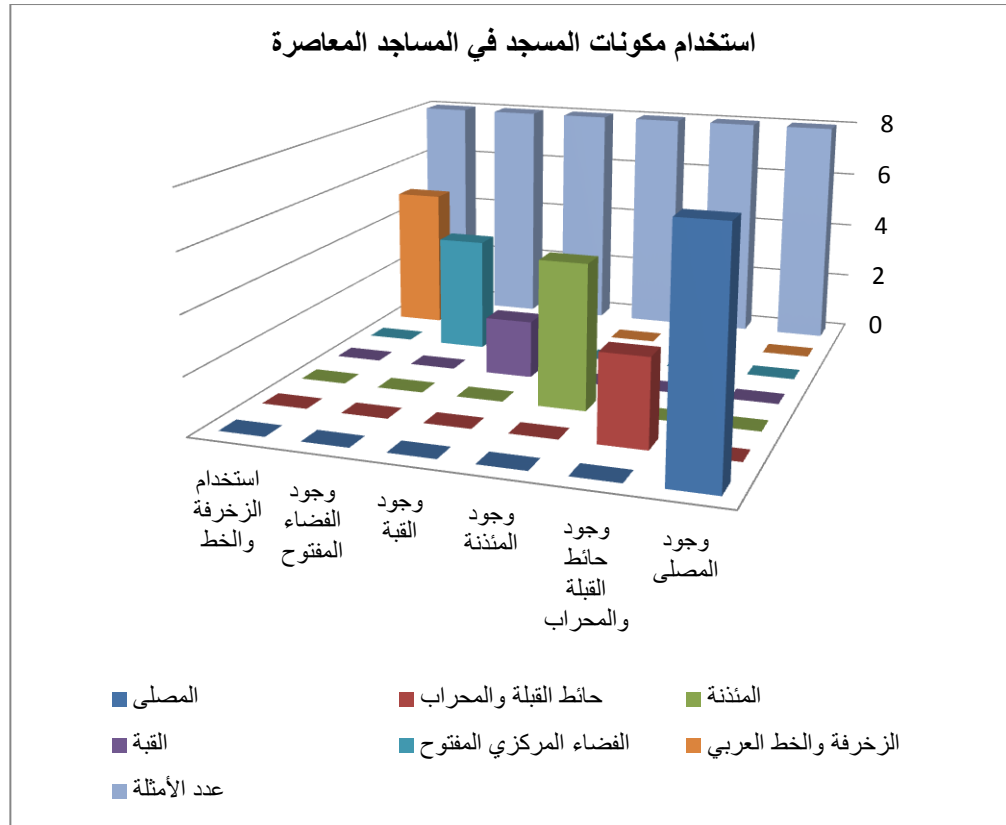


يمثل التطور التاريخي لشكل المآذن (الزمن) باعتبارها معاملاً للتغير في هندسة الشكل ، مقبلاً تتحرك من خلاله الخصائص الشكلية لها ، مع استمرار الحفاظ على صحتها الوعية الخاصة المتمثلة بالاتجاه نحو الأعلى ، فالحدود الخارجية للأشكال على مختلف ارتفاعاتها ومكوناتها هي عبارة عن حقائق يمكن ملاحظتها وتجميعها والتلاعب بأجزائها ، وبالتالي تجزئة الهيئة العامة للمآذن إلى مختلف القطاعات الدائرية منها أم الربعة ، العريضة منها أم المربعة ، في مقابل ثبات سمته الوعية واحدة هي الاتجاه نحو الأعلى ، دون المستوى الأدنى للمسجد ، أي كإن حجمه.

شكل 10 : تم تطوير الشكل مع ملاحظة أن رصف المبنى لا يتبع التطور التاريخي : مصدر رسومات المآذن : . 71 - 70 - pp. 1989. Zurich, MARR. Bouhamil PROUCHAZKA, Amjad.

جدول 1 : تصنيف وجود مكونات المسجد مقابل عدد الأمثلة

| اسم المسجد | المكونات الأساسية | | | المكونات الإضافية | |
|---------------------------------|---------------------------------------|---|---|--|--|
| | إيقاع المصلى | حائط القبلة | المأذنة | القبلة | الصحن |
| المسجد في البلدان الإسلامية | مسجد شعاع الضوء | المصلى ذو جزئين يكونان شكل موثوري باتجاه القبلة | لا يوجد حائط فعلي للقبلة | المأذنة مدمجة مع القبلة ليس لأي منهما شكل واضح | لا صحن |
| | مسجد قلب دبي | المصلى مدمج مع القبلة | حائط القبلة يحمل الخط العربي | المأذنة تختفي في قلب القبلة | لا صحن لكن المسجد يجلس على الماء لتحقيق العزل |
| | مسجد معماريو مانكو | أرضية المصلى مدرجة لها إيقاع المصلين ومزين بالخط | زجاجي ، بما في ذلك المحراب | لا توجد قبة - القبة تحولت لشكل مكعب | لا صحن لكن المسجد يقع في فضائه الخاص |
| | مسجد التلاشي | غير مسقف ، مفتوح إلى السماء ، معزز بالإيقاع في الجدران والأرضية | لا يوجد فعلي لجدار القبلة ، يتلاشى المسجد باتجاه القبلة | له مأذنة | لا يوجد للصحن ، لكن الانفتاح على السماء ، كخاصية ، مدمجة مع المصلى |
| المسجد في البلدان غير الإسلامية | مسجد كولون المركزي في ألمانيا | محتوى ضمن قبة رئيسية ذات ارتفاع كبير | وجود حائط للقبلة | له أكثر من مأذنة | فضاء يتشكل بين المسجد وباقي أرجاء المركز |
| | مسجد ومركز إسلامي في تيرانا - ألبانيا | يتمتع المصلى بكل المواصفات التي تتميز بها كتل المركز | وضوح حائط قبلة | له مأذنة | فضاء يتشكل بين المسجد وباقي أرجاء المركز |
| | مسجد مدينة ستراسبورغ | المصلى مكون من تتابع إيقاعي شريطي | تميز معالجة حائط القبلة | ليس للمسجد مأذنة أو قبة | تكون أجزاء المصلى فضاء وسطيا يسبق الدخول للمسجد |
| | مسجد ومركز إسلامي في لندن | له مصلى بخطوط شبكية إيقاعية يحمل بعضها أشرطة من الخط العربي والزخارف ولا يبدو حائط القبلة واضحا | له أكثر من مأذنة غير موحدة في الشكل | لا يوجد للقبلة | فضاء يتشكل بين المسجد وباقي أرجاء المركز |



8 من 8 له مصلى ، ومع وجود ذكر المسجد والمصلى ، يكون لكل المساجد مصليات كشرط لقيامها

3 من 8 له وضوح في حائط القبلة

5 من 8 له مأذنة واضحة

2 من 8 له قبة واضحة

4 من 8 له صحن أو فضاء مركزي واضح

5 من 8 يستخدم واضح للزخرفة أو الخط العربي

شكل 11 : تحليل مدى تواجد المكونات الأساسية والثانوية للمسجد في ثمانية من النماذج المعاصرة